

**ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»**

**Орловский региональный центр  
энергосбережения**



# **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ XXI ВЕК**

**март – июнь 2013 г., г. Орёл**

# **ENERGY AND RESOURCES SAVING XXI CENTURY**

**March – June 2013, Oryol**

**Орёл 2013**

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»  
ФИЛИАЛ ОАО «МРСК ЦЕНТРА» – «ОРЁЛЭНЕРГО»  
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»  
Госуниверситета - УНПК

# **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ XXI ВЕК**

**Материалы XI международной  
научно-практической интернет-конференции  
01 марта – 30 июня 2013 г., г. Орёл.**

**Орёл 2013**

УДК: 620.92 (063)  
ББК 31.15Я 431  
Э65

**Энерго- и ресурсосбережение XXI век.:** материалы XI международной научно-практической интернет-конференции, 01 марта – 30 июня 2013 г., г. Орёл / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. В.А. Голенкова, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2013. – 287 с.

**ISBN 978-5-93932-618-6**

В сборник материалов одиннадцатой 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-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)) с 01 марта по 30 июня 2013 года:

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

Предназначены учёным и специалистам, работающим в области энерго- и ресурсосбережения, а так же могут быть полезны студентам, аспирантам, докторам.

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 978-5-93932-618-6**

© ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК, 2013  
© ГУ «ОрёлРЦЭ», 2013  
© 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»  
ФИЛИАЛ ОАО «МРСК ЦЕНТРА» – «ОРЁЛЭНЕРГО»  
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»  
Госуниверситета - УНПК

---

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION  
ORYOL REGIONAL ADMINISTRATION  
ACADEMY OF ELECTRICAL AND TECHNICAL SCIENCE OF RUSSIAN  
FEDERATION  
ORYOL ADMINISTRATION  
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»  
JOINT-STOCK COMPANY BRANCH “MRSK CENTER”-“ORELOBLENERGO»  
“ELECTRICAL EQUIPMENT AND ENERGY SAVING” DEPARTMENT  
“STATE UNIVERSITY – EDUCATION SCIENCE PRODUCTION COMPLEX  
FOR SCIENTIFIC WORK” (Oryol)

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Злобин Николай Васильевич - председатель программного комитета, заместитель Губернатора и Председателя Правительства Орловской области
- Качанов Александр Николаевич - зам. председателя программного комитета, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН Российской Федерации, исполнительный директор ГУ «ОрёлРЦЭ», зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» Госуниверситет – УНПК.
- Жасимов Макар Мусаевич - д-р техн. наук, профессор, председатель технического комитета "Машиностроение" Республики Казахстан
- Иньков Юрий Моисеевич - заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН Российской Федерации, главный ученый секретарь АЭН Российской Федерации.
- 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 Российской Федерации.
- Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., президент Energy Saving International AS
- Jiří Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universitat Plzeň, Elek-trotechnische Fakultät
- Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
- Lupe Sergio (Италия) - Prof., Dr., University of Padova, Department of Electrical Engineering
- Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process
- Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
- Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universitat Ilmenau, Fachgebiet Elektrowarme
- Рыжикова Елена Юрьевна - технический секретарь программного комитета, экономист Центра энергосбережения Госуниверситет – УНПК.

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Голенков Вячеслав Александрович – председатель оргкомитета, д-р техн. наук, профессор, лауреат Государственных премий Российской Федерации, президент Госуниверситет – УНПК.
- Степанов Юрий Сергеевич – зам. председателя оргкомитета, заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, лауреат премий Президента и Правительства Российской Федерации, директор НОЦ нанотехнологий Госуниверситет – УНПК.
- Вакулко Анатолий Георгиевич – канд. техн. наук, доцент, лауреат Государственной премии Российской Федерации, директор НТИЦ ЭТТ, Национальный исследовательский университет «МЭИ».
- Гамазин Станислав Иванович – д-р техн. наук, профессор НИУ «МЭИ».
- Зенотич Евгений Аркадьевич – канд. техн. наук, доцент, лауреат Премии Правительства Российской Федерации, директор НИИ энергоэффективных технологий Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева.
- Кувалдин Александр Борисович – заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор НИУ «МЭИ».
- Павелко Николай Юрьевич – заместитель генерального директора – директор филиала ОАО «МРСК Центра» - «Орёлэнерго».
- Радченко Сергей Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе Госуниверситет – УНПК.
- Тимохин Вячеслав Александрович – главный инженер ОАО «Орёлблэнерго», доктор электротехники, заслуженный энергетик Российской Федерации.
- Пилипенко Ольга Васильевна, д-р техн. наук, профессор, ректор Госуниверситет – УНПК.
- Никольский Олег Константинович, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области образования, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова.
- Любимов Виктор Васильевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, член-корр. РАТН, зав. каф. «Физико-химические процессы и технологии», директор НОЦ «Нанотехнологии» ТулГТУ, г. Тула.
- Карнаухова Любовь Николаевна – технический секретарь оргкомитета, ведущий инженер Центра энергосбережения Госуниверситет – УНПК.

### **PROGRAM COMMITTEE**

- Nikolay Vasilievich Zlobin- Chairman of the Program Committee, Governor Deputy and Chairman of Oryol Regional Administration.
- Alexander Nikolayevich Kachanov - Vice - Chairman of the Program Committee (Russia), Ph.D., Professor, Academician of PSN Russian Federation, Executive Director of Orel RSC, Deputy of “Electrical Equipment and Energy Saving” Department.
- Makar Musyevich Zhasimov (Kazakhstan) - Ph.D., Professor, Chairman of the Technical Board "Mechanical Engineering" Kazakhstan
- Yurji Moiseevich Inkov (Russia) - Ph.D., Professor, Honored Worker of Science Russian Federation, Academician of PSN Russian Federation, Chief scientist, Secretary of APS Russian Federation
- Viktor Boleslavovich Demidovich - Ph.D., Professor Of “Electrotechnological and Transforming Technology St.Petersburg Electrotechnical University named by V. I. Lenin ”, academician – Secretary of Science Trade Department №6 AEU Russian Federation
- Dahlsveen Trond (Norway) - M.Sc. President of Energy Saving International AS
- Jiri Kozeny (Czech Republic) - Prof, Dr.-Ing., Westboemische Universitaet Plzen, Elektrotechnische Fakultat
- Li Qingling (China) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
- Lupe Sergio (Italy) - Prof, Dr., University of Padova, Department of Electrical Engineering
- Pahl Manfred H. (Germany) - Prof, Dr., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process
- Sawicki Antoni (Poland) - Prof., Dr., Politechnika Czestochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
- Schulze Dietmar (Germany) - Prof., Defended Dr. ,Technische Universitat Ilmenau, Fachgebiet Elektrowarme
- Elena Yurievna Ryzhikova - Program Committee Secretary , economist of Energy Saving Center State University – Education Science Production Complex.

### **ORGANIZING COMMITTEE**

- Vyacheslav Alexandrovich Golenkov - Chairman, Ph.D., Professor, Academician of APK Russian Federation, State Prize Laureate in science and engineering of Russian Federation, President of State University – Education Science Production Complex.
- Yury Sergeyeovich Stepanov - Deputy - Chairman (Russia), Ph.D., Professor, State Prize Laureate, Pro-rector of State University – Education Science Production Complex for Scientific Work.
- Anatoly Georgievich Vakulko - Can.Sc, Assistant Professor, State Prize Laureate, Chief of Sc. Tech. Inform. Centre, National Research University Moscow Power Engineering Institute (TU).
- Stanislav Ivanovich Gamazin - Ph.D., Professor, Moscow Power Engineering Institute (TU).
- Yevgeny Arkadievich Zenyutich - Can. Sc, Assistant Professor, State Prize Laureate, Executive Director of Nizhegorodsky Regional Center of Energy Saving technologies named by P.E. Alekseev.
- Alexander Borisovich Kuvaldin - Honoured Scientist Russian Federation, Ph.D., Professor, Academician of PSN Russian Federation, Moscow Power Institute (TU).
- Nikolay Yurievich Pavelko- Deputy of Chief Executive - Chief Executive of joint-stock company branch “MRSK Center”-“Oreoblenergo»
- Serhey Yurievich Radchenko - Ph.D., Professor, Vice-Chancellor of Scientific Work State University – Education Science Production Complex.
- Vyacheslav Alexandrovich Timokhin – Chief Engineer of joint-stock company «Oreoblenergo», Honoured Power Engineering Specialist, Doc. El.Sc.
- Olga Vasilievna Pilipenko - Ph.D., Professor, rector of State University – Education Science Production Complex.
- Nikolsky Oleg Konstantinovich, honored worker of science of Russian Federation laureate of Russian Federation Government Prize in science and technology, laureate of Russian Federation Government Prize in the field of education, doctor of engineering, Professor, head of Department «electrification of production and life» AltGTU them. I.I. Polzunov.
- Lyubimov Viktor Vasilievich, doctor of technical Sciences, Professor, honoured science worker of Russia, member-correspondent. Path, chair. KAF. «Physicochemical processes and technologies», Director of the research center «Nanotechnologies» ТулГТУ, Tula.
- Ljubov Nikolaevna Karnauhova – Technical Secretary of Organizing Committee, principal engineer of Energy Saving Center.

## **НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ**

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

## **SCIENTIFIC LINES**

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

# **СЕКЦИЯ № 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.**

Руководитель:

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

---

УДК 33.332

## **ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРОДСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Никулина О.М., Лоек А.В.**

*Россия, г. Белгород, Белгородский ГНИУ*

*Рассматривается проблема ресурсосбережения, связанная с обеспечением безопасности и комфорта проживания граждан на городских территориях. На основании анализа современного состояния процесса утилизации ТБО предложены некоторые рекомендации по решению этой проблемы.*

*Examines the problem of resource saving, connected with maintenance of safety and the comfort of staying of the citizens in urban areas. On the basis of the analysis of the current state of the process of utilization of solid domestic waste (SDW) offered some suggestions to resolve this problem.*

В современном мире как никогда обострились проблемы, связанные с ресурсосбережением и они продолжают усугубляться. Причина в том, что технологии, применяемые человечеством, направлены, прежде всего, на использование невозобновляемых природных ресурсов, чем наносят непоправимый вред его среде обитания. В дополнение к этому настоящим бедствием является накопление разнообразных бытовых и промышленных отходов. В современном городе в среднем на одного человека в год приходится около 350 кг твердых бытовых отходов, и этот показатель имеет тенденцию к увеличению на 4-6 % [1]. В этой связи в настоящее время самыми ценными становятся чистая атмосфера, качественная пресная вода и плодородная почва, которые будут являться важнейшими при определении качества жизни городского населения.

Современные наука и производство могут предложить эффективные технологии, которые направлены на системный подход к решению проблем ресурсосбережения и позволяют не только безопасно утилизировать, но и получить из городского мусора полезные продукты, например, в виде электроэнергии [2]. Считается, что практически все бытовые отходы – это потенциальное вторичное сырье, которое может приносить выгоду обществу и конкретному инвестору.

К настоящему времени в мире наибольшее распространение получили способы утилизации бытовых отходов, среди которых захоронение на полигонах, сжигание, биотермическое компостирование (органические отходы), пиролиз [1, 2]. Анализ перечисленных способов переработки мусора подтверждает, что некоторые являются тупиковыми и очень опасными. К таким можно отнести сжигание и захоронение. Однако в результате исследования технических и экономических показателей утилизации бытовых и промышленных отходов выявилась целесообразность применения на российском рынке современной технологии переработки в виде пиролиза [1]. Указанная технология в своей основе содержит процесс термического



разложения органических соединений без доступа кислорода и вызывает интерес, поскольку продукты пиролиза обладают высокой энергетической плотностью и большим потенциалом в использовании их в качестве топлива и сорбентов.

Основные экономические показатели локального энергетического комплекса по переработке мусора в электроэнергию приведены в таблице 1, и их анализ позволяет отметить его достаточно высокую эффективность.

Таблица 1 – Экономические показатели реализации проекта по применению локального энергетического комплекса по переработке мусора

№ п/п	Наименование	Значение
1.	Инвестиционные затраты (млн. руб.)	111,0
2.	Объем услуги по уничтожению ТБО (т/в год)	48000
3.	Валовая выручка за год (млн.)	72
4.	Выработка электроэнергии в год (МВт/ч)	21600
5.	Себестоимость уничтожения 1 тонны ТБО (руб.)	313,43
6.	Себестоимость кВт/ч электроэнергии (руб.)	1,04
7.	Количество обслуживающего комплекс персонала (чел.)	14
8.	Рентабельность производства (%)	38
9.	Срок окупаемости (год)	2

В заключение хотелось бы отметить, что в настоящее время существующий уровень энергоемкости экономики и социальной сферы, постоянный рост стоимости и снижения качества энерго- и коммунальных ресурсов, возрастающая антропогенная нагрузка на окружающую среду могут привести к негативным последствиям. Чтобы этого не произошло необходимо срочно осуществить ряд мер направленных на комплексное и системное решение проблем ресурсосбережения и внедрение новейших технологий, в том числе и по переработке отходов городов и других населенных пунктов. В настоящее время проблема бытовых отходов вышла за рамки только экономической и экологической плоскости. Они, являясь проблемой социальной, становятся и политической. Наладить производство сложно и затратно, но еще труднее перестроить мышление и воспитать людей. И это уже задача, решение которой под силу только государству.

#### Список литературы

1. Мубаракшина, Ф.Д. Современные проблемы переработки мусора в России и за рубежом [Текст] / Ф.Д. Мубаракшина, А.А. Гусева // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011.– № 4. – С. 91-99.
2. Систер, В.Г. Современные технологии обезвреживания и утилизации ТБО [Текст]/ В.Г. Систер, А.Н. Мирный.– М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 2003.– 303 с.

**Никулина Ольга Михайловна**, канд. эк. наук, доцент кафедры «Экономика и управление на предприятии (в городском хозяйстве)» ФГАОУ ВПО НИУ «БелГУ», e-mail: [nikom22@yandex.ru](mailto:nikom22@yandex.ru).

**Лоек Анастасия Владимировна**, магистрант кафедры «Экономика и управление на предприятии (в городском хозяйстве)» ФГАОУ ВПО НИУ «БелГУ».

УДК 627.1.03

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕМОНТУ ЗДАНИЙ В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ

Музалевская Г.Н., Музалевский А.А

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

*В настоящее время актуальной проблемой является энергосбережение для систем теплоснабжения. Сложность проблемы заключается в том, что долгое время отсутствовала концепция энергосбережения. Энергетические потери связаны с плохим состоянием зданий и тепловых сетей. В данной ситуации каждый дополнительный фактор энергосберегающего мероприятия должен учитываться. Для выполнения поставленной задачи необходимо создание рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов.*

*Nowadays power saving for heat supply systems is an actual problem. The problem difficulty is the absence of power saving conception for a long time. Generally power losses are connected with bad conditions of buildings and thermal networks. In this case it is necessary to consider every additional factor of power saving measures. In order to carry out these tasks, systems for rational and environmentally friendly energy and resource usage must be created.*

Здания российских городов стареют более быстрыми темпами, чем темпы возводимых новых более комфортных жилых зданий. Повышение энергоэффективности и внедрение энергосберегающих технологий является стратегической задачей при модернизации и ремонте зданий. Важнейшими государственными программными документами в сфере ЖКХ в России являются программы проведения капитального ремонта, модернизации, реконструкции и технического перевооружения, а также сноса ветхого и аварийного жилищного фонда. Для выполнения поставленной задачи необходимо разработать системы рационального использования энергетических ресурсов для этого необходимо создать комплекс мер по модернизации и обновлению жилых зданий построенных по типовым проектам в период 60-90-х годов.

Законы Российской Федерации «Об энергосбережении» и Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» предусматривают обязательное эффективное использование в отношении показателей энергетической эффективности по содержанию общего имущества многоквартирных домов.

Предпосылкой успешной реализации потенциала ресурсосбережения является введение оплаты по фактическому потреблению ресурсов в каждом доме и квартире. Для этого необходимо проведения энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при модернизации и ремонту зданий и, в первую очередь, их инженерных систем обеспечения микроклимата (систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха).

При модернизации зданий с использованием энергосберегающих мероприятий, предусматривающих оптимальное сочетание технических решений по ограждающим конструкциям и системам жизнеобеспечения, позволяет экономить от 30-до 50% энергозатрат.

Стоимость ремонта таких зданий незначительно отличается от обычной, а уровень комфортности и функциональность систем значительно улучшается. Это достигается, в первую очередь, постановкой задачи энергосбережения перед группой проектировщиков. Для получения количественных оценок и придания зданиям и сооружениям тех или иных свойств, служат эксплуатационно-технические характеристики, которыми наделяются конкретные строительные элементы, конструкции, узлы, детали и места сопряжений, а также и все здание целиком.

Например, комфортность определяется тепло-влажностным режимом помещений. Тепло-влажностный режим определяется температурой и относительной влажностью внутреннего воздуха помещений, которые в свою очередь определяются теплопроводностью, тепловой инерцией, воздухопроницаемостью и влажностью ограждающих конструкций и стен, а также перепадом температур между наружной и внутренней поверхностями ограждающих конструкций.

При оценке величины инвестиций в объекты недвижимости (затраты на капитальный ремонт, реконструкцию, модернизацию, перевооружение) всегда необходимо грамотно и правильно оценивать величину функционального устаревания, оценка которого требует значительных усилий по его определению и соответственно устранению в процессе ремонтно-строительных мероприятий. Требуются совместные усилия и профессиональные знания инвесторов, проектировщиков и оценщиков для выявления наличия функционального устаревания объектов. В первую очередь всем необходимо четко представлять и понимать, что функциональное устаревание оценивается всегда через трудоёмкость выполнения тех или иных видов работ, которыми создаются конкретные конструктивные элементы зданий (сооружений) и в итоге таких работ создается новый или обновленный объект. Именно трудоёмкость и не в коей мере в оценке функционального устаревания не участвуют показатели стоимости самих материалов, изделий, конструкций, оборудования и т.п. Сравниваются в едином масштабе трудоёмкость выполнения однотипных (аналогичных) видов работ, которые выполнялись по нормам и правилам, действовавшие в период проектирования и строительства конкретного объекта и трудоёмкость работ в текущем времени по новым нормам и правилам, которые действуют в настоящее время.

Это очень важное положение для понимания и его использования при проведении всех необходимых расчетов.

Для этого в дальнейшем используется компьютерное моделирование для анализа влияния тех или иных решений на затраты энергоресурсов зданием. Далее тщательная проверка на этапе приемки здания в эксплуатацию после ремонта. Заключительным этапом является обучение обслуживающего персонала. Понимание обслуживающим персоналом своих задач играет огромную роль в создании энергоэффективного здания.

Энергосберегающие мероприятия не определяются интуитивно. Потребление энергии зданием зависит от взаимодействия комплекса параметров, влияния которых может быть оценено путем моделирования сезонного и суточного, а также часовых расходов и всего теплового режима здания в целом.

При модернизации и капитальном ремонте здания необходимо, чтобы группа проектировщиков, состоящая из архитекторов, конструкторов, инженеров отделов отопления и вентиляции, и водоснабжение и водоотведение, электроснабжение и автоматизации, совместно с владельцем здания и подрядчиком поставило энергосбережение главной задачей. Для успешного решения этой задачи потребуются координация работы всех членов проектной группы в течение всего процесса проектирования и дальнейшего ремонта и модернизации объекта в целом.

В процессе планирования необходимо рассчитать энергетический баланс здания с учетом потребности в отоплении помещений, горячего водоснабжения, потерь тепла в распределительных сетях и накопителях, а также эффективность систем производства тепла, т.е. технический уровень теплогенерирующей установки. Сравнение рассчитанных значений с показателями аналогичных зданий, прошедших полную ресурсосберегающую модернизацию, поможет правильно и качественно выполнить мероприятия по внедрению ресурсосбережения в данном здании. Необходимо также учитывать потребление ресурсов насосами систем отопления и горячего водоснабжения. Тщательное планирование гидравлического режима распределительных систем и корректировка при изменении тепловых нагрузок

и теплоносителей для получения желательных тепловых потоков и температур и снижение расхода энергии при работе насосного оборудования. Насосы также необходимо выбирать с учетом эффективности расходования энергии.

На выбор стратегии реконструкции и модернизации 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.

Жилые дома, которые возводились, в 60 - 70 годах нуждаются в реконструкции в связи с изменением нормативной базы и устаревших инженерных систем и оборудования. 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 и модернизации 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. Например, для систем теплоснабжения необходимо указать источник теплоснабжения, параметры теплоносителей, место подключения, способ прокладки тепловых сетей. Тепловой баланс системы теплоснабжения позволит путем сравнения с проектными и нормативными показателями выявить нерациональные технологические потери энергии в системе в целом.

Для газоснабжения - давление, место подключения и т.д. Получив данные у заказчика по инженерным сетям и произведя обследование и проанализировав его, можно установить какие инженерные системы в период дальнейшей эксплуатации могут привести к различным неблагоприятным событиям и результатам: нарушению условий жизнедеятельности, излишним затратам материальных, энергетических и трудовых ресурсов, экологическому и материальному ущербу, поломкам и аварийным ситуациям.

К числу особенностей обследования инженерных коммуникаций можно отнести следующие: переход к количественным и качественным критериям оценок, использование принципов системного анализа, организационно-правовые проблемы обеспечения надежного, безопасного содержания и эксплуатации систем, учет воздействия случайных факторов.

При обследовании устанавливается, возможность использования существующих систем или полная их замена на вновь проектируемые или замена электродвигателя на частотно регулируемый электропривод. Для этого необходимо получить новые технические условия на соответствующие инженерные коммуникации. Путем анализа и расчета устанавливается технический уровень старой жилой застройки:

- 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 реконструкции или модернизации должны включать следующие аспекты:

- 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 (обычно в нормальных) 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;
- мероприятия по учету количества и качества потребляемых ресурсов;
- мероприятия по регулированию потребляемых ресурсов и наладки установленного оборудования;
- мероприятия по снижению нерациональных потерь потребляемых ресурсов;
- мероприятия по модернизации индивидуальных тепловых пунктов.

Только комплексный подход к эффективной модернизации и использование наиболее современных методов ремонтов в каждой конкретной ситуации позволит уменьшить энергопотребление зданий. Эффективное использование энергии будет способствовать сохранению природных ресурсов России, но также улучшит конкурентные позиции России на мировом энергетическом рынке.

#### Список литературы

1. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирование воздуха: Справ. Пособие /Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; Под ред. Л.Д. Богуславского, В.И. Ливчака.- М.:Стройиздат,1990. 624 с.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.
3. СНиП 41-01-2003.Отопление, вентиляция и кондиционирование. - Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.

**Музалевская Галина Николаевна**, Госуниверситет-УНПК, доцент кафедры «ГСиХ»  
**Музалевский Александр Александрович**, Госуниверситет-УНПК, студент АСИ,  
тел. (0862) 77-84-19; e-mail: [myz99@mail.ru](mailto:myz99@mail.ru), тел. 8 9102665337.

Глинкин Е.И., Везенкина С.Н.  
Россия, г. Тамбов, ТамбовГТУ

*Систематизирован анализ и синтез максимума сумм произведений частей диапазона для проектирования оптимальных эквивалентов адаптации метрологических средств.*

*The analysis and synthesis of a maximum of the sums of works of parts of range for design of optimum equivalents of adaptation of metrological means is systematized.*

Синтез эквивалента сумм произведений поддиапазонов логически обоснован как эквивалентом произведений сумм, так и разнообразных структур нормальных форм и инверсных базисов [1, 2], классификацией позиционных и мнемонических кодов на простые и сложные [3. с. 139, 212]. Для автоматического поиска оптимальной меры необходима гибкая самоорганизующаяся оптимальная оценка из множества случайных значений. Соответственно, эффективность случайных оценок относительно оптимального эквивалента становится достоверной и объективной в адаптивном диапазоне с заданной точностью нормированных мер [4]. Априорные измерения в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер диктуют автоматические оценки относительно гибкого оптимального эквивалента. Рассмотрены три метода оптимизации оценок: индукции, производной и динамического программирования для проектирования оптимального эквивалента адаптивного диапазона.

*Метод индукции* оптимизирует решение итерационным анализом от простого (частного) к сложному (общему) на численных примерах.

Задача: найти оптимальное разбиение диапазона по критерию максимума суммы  $S_i$  произведения  $\prod$  поддиапазонов.

**1 шаг:** Поделим диапазон на 2 отрезка (см. рисунок 1) и каждый разделим на две части линейной последовательности чисел от 0 до 10 для фиксированных сумм  $S_1 = a + b = 10$  и  $S_2 = c + d = 10$ .

Решение задачи заключается в последовательном переборе произведений  $\Pi_i = ab$  прямого  $a$  и убывающего  $b$  ряда чисел с выявлением максимального произведения первого отрезка (см. таблицу 1),  $\Pi_2 = cd$  прямого  $c$  и убывающего  $d$  ряда чисел с выявлением максимального произведения второго отрезка и последующего суммирования их произведений  $S\Pi_2 = \Pi_1 + \Pi_2$ .

Анализ 1 шага показывает максимальное произведение  $\Pi_2 = ab = cd = 25$ , а максимальная сумма произведений  $S\Pi_2 = 50$  соответствует делению диапазона на равные поддиапазоны  $a = b = c = d = 5$  для суммы  $S_2 = 10$ . Закономерные соотношения соответствуют зависимостям:

$$a = b = c = d = \sqrt[2]{\prod a_i}; \quad S = 2 \cdot \sqrt[2]{\prod a_i}; \quad \prod a_i = \left(\frac{S_2}{2}\right)^2. \quad (1)$$

**2 шаг:** Поделим диапазон на 3 отрезка и каждый также поделим на три части линейной последовательности чисел от 1 до 9 для фиксированных сумм  $S_i = a + b + c = 9$ ,  $S_2 = d + e + f = 9$  и  $S_3 = g + h + j = 9$ . Систематизируем последовательности: первая последовательность каждого поддиапазона имеет вид  $a = d = g = \overline{1,4}$ , вторая последовательность каждого поддиапазона имеет вид  $b = \overline{4,2}$

(табл. 2), а третью строку найдем как разницу сумм  $c = S_i - (a + b)$ ;  $f = S_2 - (d + e)$ ;  $j = S_3 - (g + h)$  из суммы  $S_i$  диапазона (см. третья строка таблицы 2).

Из сопоставительного анализа таблицы 2 следует максимальное произведение  $\Pi_3 = abc = def = ghj = 27$ , максимальная сумма произведений  $S\Pi_3 = 81$  при разбиении диапазона на три равных части  $a = b = c = d = \mathbf{K} j = 3$  для суммы  $S_i = 9$ . Результаты анализа представим алгоритмами:

$$a = b = c = d = \mathbf{K} j = \sqrt[3]{\prod a_i}; \quad S = 3 \cdot \sqrt[3]{\prod a_i}; \quad \prod a_i = \left(\frac{S_3}{3}\right)^3. \quad (1, a)$$

3 шаг: иллюстрирует диапазон из четырех поддиапазонов, каждый из которых также поделен на четыре произведения  $a_i = \{\overline{a, d}\}$ ,  $b_i = \{\overline{e, h}\}$ ,  $c_i = \{\overline{j, m}\}$ ,  $d_i = \{\overline{n, r}\}$  для  $i = \overline{1, 4}$  линейной последовательности от 1 до 12 суммы,  $S_4 = \sum_{i=1}^4 a_i = 12$  (см. рис. 3).

Представим поддиапазоны в виде последовательности чисел  $a_i$  (табл. 3): по возрастанию  $a_1 = a = e = j = n = \overline{1, 4}$  и по убыванию  $a_2 = b = f = k = o = \overline{4, 2}$ , тождественно первой  $a$  выбираем четвертую последовательность  $d = h = m = r = a$  и в виде остатка от суммы -  $\Delta S_4 = S_4 - \sum_{i=1}^3 a_i$  (таблица 3, c).

Сравнение столбцов табл. 3 отражает максимальное произведение  $\Pi_4 = 81$  и максимальная сумма произведений  $\Pi S = 324$  для тождественных поддиапазонов  $a_i = a_{i+1} = 3$  при делении суммы  $S_4 = 12$  на 4 по следующим закономерностям:

$$a = b = c = d = \mathbf{K} r = \sqrt[4]{\prod a_i}; \quad S = 4 \cdot \sqrt[4]{\prod a_i}; \quad \prod a_i = \left(\frac{S_4}{4}\right)^4. \quad (1, б)$$

4 шаг: иллюстрирует диапазон из пяти поддиапазонов, каждый из которых также поделен на пять частей из произведений:  $a_i = \{\overline{a, e}\}$ ,  $b_i = \{\overline{f, k}\}$ ,  $c_i = \{\overline{l, p}\}$ ,  $d_i = \{\overline{q, u}\}$ ,  $e_i = \{\overline{v, z}\}$  для  $i = \overline{1, 5}$  линейной последовательности от 1 до 15 суммы  $S_5 = \sum_{i=1}^5 a_i = 15$ .

Систематизируем поддиапазоны в виде последовательности чисел  $a_i$  в табл. 4: по возрастанию  $a_1 = a = f = l = q = v = \overline{1, 5}$  первую и вторую, третью по убыванию  $a_2 = b = g = m = r = w = \overline{5, 1}$  и в виде остатка от суммы  $\Delta S_5 = S_5 - \sum_{i=1}^4 a_i$  (таблица 4).

Сравнение столбцов табл. 4 отражает максимальное произведение  $\Pi_5 = 243$  и максимальная сумма произведений  $S\Pi_5 = 1215$  для тождественных поддиапазонов  $a_i = a_{i+1} = 3$  при делении суммы  $S_4 = 15$  на 5 по следующим зависимостям:

$$a = b = c = d = \mathbf{K} z = \sqrt[5]{\prod a_i}; \quad S = 5 \cdot \sqrt[5]{\prod a_i}; \quad \prod a_i = \left(\frac{S_5}{5}\right)^5. \quad (1, в)$$

Анализ четырех итераций от 1 шага деления диапазона на два отрезка (1) до 4 шага при пяти поддиапазонах (1, в) выявляет по методу индукции подобие структур формул (1) – (1, в): равенство отрезков  $j$  – той суммы  $S_j$  на число  $i$  – разбиений диапазона, составляющих максимальное произведение  $\Pi_j$  среднего числа в  $j$  – той степени.

j- шаг систематизирует формулы (1) – (1, в) в подобные им зависимости:

$$a_j = \sqrt[j]{\prod a_i}; \quad S_j = j \cdot \sqrt[j]{\prod a_i}; \quad \prod_{i=1}^j a_i = \left(\frac{S_j}{j}\right)^j. \quad (1, г)$$

n-ый шаг выявляет из систем (1,в) закономерности максимального произведения  $\prod_n$  деления диапазона суммы  $S_n$  тождественных  $i$ -ых поддиапазонов для  $i = \overline{1, n}$  в виде алгоритмов

$$a_n = \sqrt[n]{\prod a_i}; \quad S_n = n \sqrt[n]{\prod a_i}; \quad \prod_{i=1}^n a_i = \left(\frac{S_n}{n}\right)^n. \quad (1, д)$$

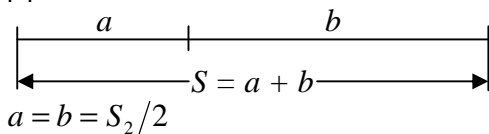
Следовательно, метод индукции на численных примерах итерационного анализа выявляет алгоритмы (1, г) оптимальных оценок реализации максимума произведения за счет разбиения диапазона на равные поддиапазоны со средней суммой, которые служат оптимальным решением синтеза идеального эквивалента адаптивной образцовой меры для проектирования автоматического программно - управляемого критерия оценки эффективности микропроцессорных измеряемых средств.

Строгое доказательство оптимального произведения суммы отрезков дает дифференциальное исчисление экстремума функции.

Метод производной является развитием метода индукции, включающим оптимизацию решения итерационным анализом по экстремуму производной аналитической функции. Метод производной развивает метод индукции итерационного анализа числовых последовательностей и доказывает тождественные закономерности максимума произведения равных частей со средней суммой для синтеза оптимального эквивалента, но более просто и строго, оперативно и технологично в виде целенаправленной последовательности однотипных операторов дифференциального исчисления **экстремума** функции по производной от простого к сложному решению.

Синтез эквивалента максимума сумм произведений проведен методом динамического программирования по принципу оптимальности, организующему рекуррентный алгоритм в закономерности.

Таким образом, оптимальные эквиваленты произведения сумм и суммы произведений тождественны по структуре и отражают максимальную предельную оценку в виде гибкой меры объективного критерия эффективности автоматического контроля адаптивного диапазона с заданной точностью симметричных образов. Для симметричных мер среднее геометрическое эквивалентно среднему арифметическому, которые больше СГ и СА произвольных вероятных несимметричных значений. Отношения несимметричных оценок к симметричным оптимальным эквивалентам организуют объективные критерии эффективности в относительном интервале 0,1 с оптимальным единичным эквивалентом.

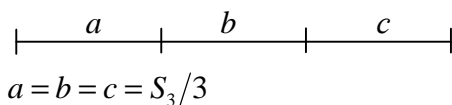


$$\Pi_2 = \left(\frac{S_2}{2}\right)^2; \quad S_2 = 2\sqrt{\prod a_i}$$

**Рисунок 1 – Два поддиапазона**

Таблица 1 – Два поддиапазона

<i>a</i>	0	1	2	3	4	<b>5</b>	6	7	8	9	10
<i>b</i>	10	9	8	7	6	<b>5</b>	4	3	2	1	0
<i>S<sub>i</sub></i>	10										
<i>Π<sub>i</sub></i>	0	9	16	21	24	<b>25</b>	24	21	16	9	0
<i>S Π<sub>2</sub></i>	0	18	32	42	48	<b>50</b>	48	42	32	18	0



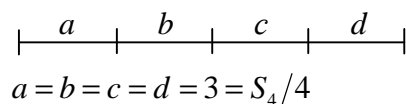
$$\Pi_3 = \left(\frac{S_3}{3}\right)^3; \quad S_3 = 3\sqrt[3]{\prod a_i}$$

**Рисунок 2 – Три поддиапазона**

Таблица 2 – Три поддиапазона

<i>a</i>	1			2			3			4		
<i>b</i>	4	3	2	4	3	2	4	<b>3</b>	2	4	3	2
<i>c</i>	4	5	6	3	4	5	2	<b>3</b>	4	1	2	3
<i>S<sub>i</sub></i>	9											
<i>Π<sub>i</sub></i>	16	15	12	24	24	20	24	<b>27</b>	24	16	24	24
<i>S Π<sub>3</sub></i>	48	45	36	72	72	60	72	<b>81</b>	72	48	72	72





$$a = b = c = d = 3 = S_4/4$$

$$P_4 = \left(\frac{S_4}{4}\right)^4; \quad S_4 = 4^4 \sqrt{P_4}$$

**Рисунок 3 – Четыре поддиапазона**

$$\prod_{i=1}^n a_i = \left(\frac{S_n}{n}\right)^n; \quad S_n = n^n \sqrt{P_n}$$

**Таблица 3 – Четыре поддиапазона**

<i>a</i>	1			2			3			4		
<i>b</i>	4	3	2	4	3	2	4	3	2	4	3	2
<i>c</i>	6	7	8	4	5	6	2	3	4	0	1	2
<i>d</i>	1			2			3			4		
<i>S<sub>i</sub></i>	12											
<i>Π<sub>i</sub></i>	24	21	16	64	60	48	72	81	72	0	48	64
<i>S Π<sub>4</sub></i>	96	84	64	256	240	192	288	324	288	0	192	256

**Таблица 4 – Пять поддиапазонов**

<i>a</i>	1			2			3			4			5		
<i>b</i>	1			2			3			4			5		
<i>c</i>	5			4			3			2			1		
<i>d</i>	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
<i>e</i>	6	5	4	5	4	3	4	3	2	3	2	1	2	1	0
<i>S<sub>i</sub></i>	15														
<i>Π<sub>i</sub></i>	60	75	80	160	192	192	216	243	216	192	192	128	100	75	0
<i>S Π<sub>5</sub></i>	300	375	400	800	960	960	1080	1215	1080	960	960	640	500	375	0

#### Список литературы

1. Метрология, стандартизация и сертификация/под ред. В.В.Алексеева. – М.: Академия, 2008.-381с.
2. Чичев С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Корпоративная интегрированная система управления распределительным электросетевым комплексом. – М.: Спектр, 2012.-228с.
3. Бронштейн И.А., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука,1986.-544с.
4. Глинкин Е.И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010.-168с.

**Глинкин Евгений Иванович**, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, Тамбовский ГТУ, профессор кафедры «Биомедицинская техника, e-mail: [glinkinei@rambler.ru](mailto:glinkinei@rambler.ru), тел.(8-4752) раб. 63-56-20, дом. 51-23-45.

**Везенкина Светлана Николаевна**, Тамбовский ГТУ, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: [s.vt2012@yandex.ru](mailto:s.vt2012@yandex.ru), тел. (8-4752), дом. 56-97-30.

УДК 519.1+621.3

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ**

**Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В., Правильникова В.В.**  
*Россия, Липецк, ЛГТУ*

*Рассматривается энергосберегающая система управления энергоресурсами в помещении плавательного бассейна с применением математического моделирования процессов воздухообмена, автоматического управления с помощью программируемого логического контроллера, анализа полученных данных о состоянии параметров и расхода энергоресурсов методами извлечения знаний из данных.*

*Automation control system of HVAC swimming pool system with program logical controller is considered. Application of mathematical modeling, knowledge discovery in databases, data mining techniques are considered in order to achieve energy saving in swimming pool premises. The article proposes an original approach to predict energy demand in HVAC system of the swimming pool premises.*

Работа поддержана РФФИ, проект № 11-07-97504-р\_центр\_a

Одной из важнейших социальных задач, решаемых техническими средствами, является создание среды обитания в зданиях и инженерной инфраструктуры населенных мест. Среда обитания человека характеризуется восприятием тепловой обстановки и состояния воздушной среды. 70% времени человек проводит в помещении, поэтому его здоровье и эффективность напрямую зависит от параметров внутренней среды.

Особенность обеспечения микроклимата – при работе систем отопления-охлаждения и вентиляции они потребляют большое количество электрической и тепловой энергии, стоимость которой высока и постоянно возрастает. Энергосбережение – мировая проблема, тесно связанная с проблемами экологии. СВКВ воздействует непосредственно с атмосферным воздухом, забирая его для подачи, в тоже время, загрязняя технологическими выбросами. Поэтому энергосбережение и охрана окружающей среды является идеологической основой отрасли техники и технологии.

Решение энергетической проблемы во всех странах мира приравнивается к обеспечению безопасности и решается на основании долгосрочных программ по развитию энергетики и энергосбережения. Так в Европе с 2008 года разработан пакет стандартов по энергопотреблению и микроклимату зданий Directive on the Energy Performance of Building [1]. Энергосбережение не только бережное расходование ресурсов, но и техническая политика, определяющая развитие способов получения, распределения и использования энергии.

Актуальной задачей на настоящий момент является создание зданий, для которых предусмотрен комплекс мероприятий по эффективному использованию первичных и вторичных источников энергии, то есть энергоэффективных, энергоактивных, умных зданий. Не менее важной задачей является создание методов повышения энергоэффективности уже существующих сооружений, построенным по «устаревшим» стандартам.

Целью данного исследования является создание алгоритмов оптимального управления энергоэффективностью здания аналитическими и интеллектуальными методами на примере помещения плавательного бассейна. С помощью этих методов должно достигаться эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, применимы с экологической и социальной точек зрения.

Решаемые в исследовании задачи по оптимизации энергопотребления здания включают следующие основные направления: обеспечение микроклимата помещений, максимальное использование энергии окружающей среды, оптимизация энергетических элементов инженерных систем здания и самого здания как целого. Указанные правила взаимосвязаны, совместное их решение должно обеспечивать основную задачу – комфорт обитания человека.

Методология системного анализа наиболее часто используется для построения и реализации математических моделей сложных объектов. Данный подход используется в [3] для описания теплового режима здания математическими моделями из совокупности всех физических факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку.

Математическое моделирование позволяет выполнить обширный анализ взаимодействия отдельных факторов на уровне систем. Анализ математической модели на уровне систем дает возможность выбирать оптимальное решение его расположения для конкретных условий местности.

В работах [3-4] построены математические модели теплового, влажностного, газового режимов помещения плавательного бассейна, предложен алгоритм расчет

оптимального расхода приточного воздуха, позволяющий значительно увеличить эффективность работы систем кондиционирования воздуха в помещении бассейна.

Но наряду с аналитическим подходом, возможно использование методики извлечения знаний Knowledge Discovery in Databases (KDD) – извлечение знаний из баз данных. Она описывает последовательность действий, которые нужно выполнять для обнаружения полезного знания. KDD включает методы подготовки данных, выбора информативных признаков, очистки, построения моделей, постобработки, интерпретации результатов. Ядром этого процесса являются методы Data Mining [5], позволяющие обнаружить закономерности и знания.

При эксплуатации и техническом обслуживании помещения плавательных бассейнов проводными и беспроводными датчиками производится мониторинг параметров воздушной, водной среды помещения, показателей потребления энергоресурсов. Это позволяет получать достаточно большой объем данных об измеряемых параметрах. Методика обнаружения знаний в данных вместе с ее центральным аппаратом Data Mining показала себя наилучшим подходом к анализу большого количества данных, а также в тех случаях, где математическая или физическая модель системы не очевидна [2].

К недостаткам моделирования можно отнести тот факт, что любую модель надо идентифицировать так, чтобы в ней воспроизводилось некоторое количество "ключевых экспериментов". Однако данных, которые можно извлечь из этих экспериментов, обычно для настройки параметров модели не хватает. Поэтому приходится привлекать данные из "третьих источников". Но и после этого остаются свободные параметры, которые выбираются в процессе моделирования ключевых экспериментов. А каждая степень свободы открывает для создателя модели возможности для неявной "подгонки" моделируемых процессов под процессы реальные. Поэтому оказывается, что чем больше таких параметров, тем менее значима содержательная часть модели.

В системе управления энергоэффективностью здания методики KDD применяются к параметрам состояния воздушной среды в бассейне, измерения которых поступают с датчиков на программируемый логический контроллер. Достоинство data mining состоит в быстром получении результатов, сопоставимых с физической моделью.

Избытки влаги, тепла и углекислоты выделяемые внутри помещения зачастую расходуются впустую или удаляются во внешнюю среду. Проводя анализ данных, удалось сгенерировать рекомендации для алгоритма управления, механизмов обратной связи и изменений в процессы управления. Интеллектуальный контроль исполнительного механизма системы, основанный на методиках KDD, положительно влияет на оптимизацию потребления энергии зданиями.

Зарубежный и отечественный опыт, результаты многочисленных исследований свидетельствуют от целесообразности применения в системах энергосберегающих технологий.

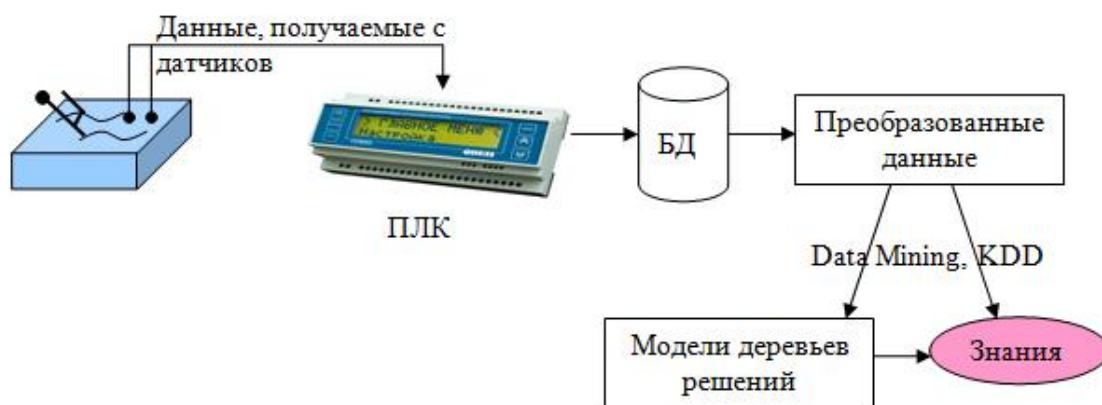


Рисунок 1 – Этапы KDD процесса

Научно-обоснованный подход к проектированию зданий и сооружений с эффективным использованием энергии развивается на базе методики системного анализа, позволяющего принимать решения в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы.

#### Список литературы

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. - Official Journal, 2010. – 35 p.
2. Yang Gao, Emmanuel Tumwesigye, Brian Cahill, Karsten Menzel. Using Data Mining in Optimisation of Building Energy Consumption and Thermal Comfort Management. – Software engineering and Data Mining (SEDM), 2010 2<sup>nd</sup> International Conference. – P. 434-439.
3. Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В., Правильникова В.В. Моделирование расчетов в информационно-аналитической системе энергосберегающих вентиляции и кондиционирования воздуха // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Сборник материалов IX Международной научно-практической Интернет-конференции, 2011, г. Орёл. – [Электронный ресурс].
4. Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В., Правильникова В.В. Автоматизированная система управления вентиляцией в помещении плавательного бассейна // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Сборник материалов IX Международной научно-практической Интернет-конференции, 2012, г. Орёл. – [Электронный ресурс].
5. Паклин Н.Б., Оршков В.И. Бизнес аналитика: от данных к знаниям. Учебное пособие. СПб.: - Питер, 2013. – 704 с.

**Погодаев Анатолий Кирьянович**, д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет, ректор, заведующий кафедрой прикладной математики, e-mail: [pak@stu.lipetsk.ru](mailto:pak@stu.lipetsk.ru), тел. (4742)328000.

**Блюмин Семен Львович**, д-р ф.-м. наук, проф., Липецкий государственный технический университет, профессор кафедры прикладной математики, e-mail: [slb@stu.lipetsk.ru](mailto:slb@stu.lipetsk.ru), тел. (4742)307934.

**Сараев Павел Викторович**, канд. техн. наук, доц., Липецкий государственный технический университет, декан факультета автоматизации и информатики, доцент кафедры прикладной математики, e-mail: [psaraev@yandex.ru](mailto:psaraev@yandex.ru), тел. (4742)328002.

**Правильникова Валерия Владимировна**, аспирант, Липецкий государственный технический университет, факультет автоматизации и информатики, кафедра прикладной математики, 2 год обучения, e-mail: [pravilnik@mail.ru](mailto:pravilnik@mail.ru), тел. (4742)458884.

УДК 621.316

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**Черкасова Н.И.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Карнаухова Л.Н.**

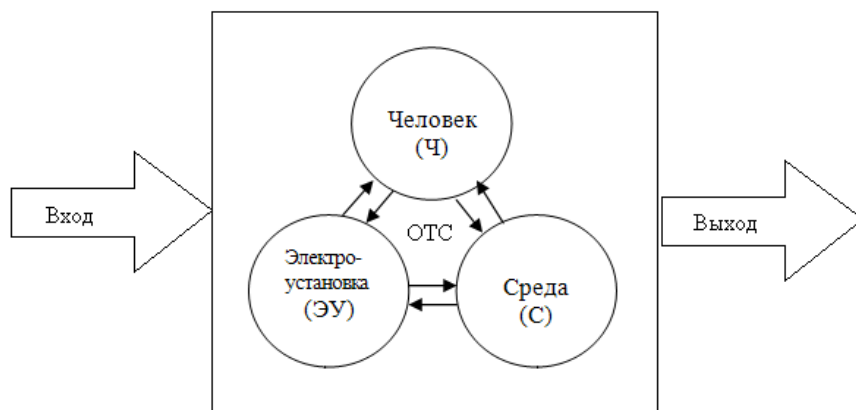
*Россия, г. Орёл, ГУ «ОрёлРЦЭ»*

*Рассмотрен новый подход к моделированию и оценки интегрального риска электроустановок на основе марковской цепи. Показано, что процедура формирования и расчета вероятности головного события (электропоражение, пожар) осуществляется путем построения дерева событий.*

*A new approach to modeling and evaluation of integrated risk for electrical installations based on Markov chain. Shows that the procedure of formation and compute the probability of an event (elektroporaženie, fire) by building a tree of events.*

Анализ рисков, занимающий важное место в проблеме надёжности и безопасности электроустановок, возможен при рассмотрении модели взаимосвязанных между собой компонентов, в результате функционирования которых могут возникать различные техногенные угрозы. Такой моделью, в частности, может быть модель вида (человек – электроустановка – среда). Здесь «человек» выполняет двойственную роль, выступая, с одной стороны, субъектом защиты, а с другой – оператором, выполняя функции, направленные на реализации поставленной цели – обеспечить безопасность при эксплуатации электроустановки. Под опасным состоянием электроустановки будем понимать такое её состояние, которое может привести к риску отказа, т.е. аварий. Последнее может вызвать электропоражение людей и пожары, обусловленные короткими замыканиями, разрывами электрических цепей, искрением в электрических контактных соединениях и т.д. В этой связи представляется актуальным методика оценки электропожаробезопасности технологического объекта и прогнозирование рисков.

Представим процесс возникновения, развития и исхода опасной техногенной ситуации (ОТС), в виде схемы (рисунке 1).



**Рисунок 1 – Модель развития ОТС**

При построении модели (Ч – ЭУ – С) можно выделить характерные группы потоков случайных событий:  
 Возникновение неисправностей и отказов электроустановки, возникновение ОТС, ее локализация и устранение, вывод электроустановки из

эксплуатации, демонтаж, ремонт, пуск в эксплуатацию [1].

При определённых допущениях модель (Ч – ЭУ – С) рассматривается как вероятностная система с определённым числом дискретных состояний. В общем случае имеем  $k$  состояний ( $k=1, n$ ). В любой момент времени система может находиться только в одном состоянии. С течением времени система переходит последовательно из одного состояния в другое. Для описания эволюции этой системы введём некоторую последовательность дискретных случайных величин (или случайных функций)  $R_0, R_1, \dots, R_n$  (индекс  $n$  играет роль времени). Если в момент времени  $t$  система находится в состоянии  $R_j$ , то будем считать, что  $R_n=j$ . Таким образом, случайные величины являются номерами состояния системы.

Последовательность  $R_0, R_1, \dots, R_n$  образует марковскую цепь, если для любого  $t$  и любых  $k_0, k_1, \dots, k_n, P[R(t)=j] = R_j$ . Отметим, что для марковских цепей вероятность в момент времени  $t$  попасть в состояние  $R_j$ , если известна вся предыдущая история изучаемого процесса, зависит только от того, в каком состоянии находится процесс в момент  $t-1$ , т.е. при фиксированном «настоящем» «будущее» не зависит от «прошлого». Свойство независимости «будущего» от «прошлого» при фиксированном «настоящим» характерно для марковских цепей [2].

Введём понятие интегрального риска  $R$  как некоторой суммы всех последствий ОТС. Будем считать, что все последствия, характеризующиеся потерями или ущербом, приводятся к единому базису – денежному эквиваленту. Тогда интегральный риск может быть представлен в виде некоторой вероятности  $R_{ij}$ , а состояние системы (Ч – ЭУ – С) при данном допущении – в виде матрицы вероятностей перехода

$$R_{\Sigma} = \begin{bmatrix} R_{11}(Y) & R_{12}(Y) & \dots & R_{1n}(Y) \\ R_{21}(Y) & R_{22}(Y) & \dots & R_{2n}(Y) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1}(Y) & R_{n2}(Y) & \dots & R_{nn}(Y) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $R_{ij}$  – вероятность (риск) перехода системы из состояния  $i$  в состояние  $j$ . Здесь, согласно [3],  $R_{ij} = P_{ij} \cdot Y_{ij}$ , где  $Y_{ij}$  – последствие ОТС (ущерб).

Пусть  $M_1(t)$  – случайный регулярный однородный марковский процесс, который описывает изменённое во времени техническое состояние электроустановки. Рассмотрим два вида состояния: в электроустановке отсутствуют какие-либо повреждения (ЭУ – исправна; состояние оценивается - «О»); в электроустановке произошёл отказ (пробой изоляции, короткое замыкание, замыкание на землю, разрыв рабочей цепи) – состояние оценивается – «1».

Будем считать  $M_2(t)$  - марковский процесс, который описывает изменения техногенной опасности в электроустановке. Обозначим через «О» - опасность отсутствует, а через «1» - возникли угрозы ОТС.

Примем  $M_3(t)$  - марковский процесс, который описывает изменения состояния технических средств электрозащиты. Обозначим через «О» - работоспособное состояние электротехнических средств, «1» - неработоспособное состояние защиты или её отсутствие.

В электроустановке ОТС (электропоражение, возгорание) может произойти при совпадении во времени трёх процессов  $M_1(t)=1, M_2(t)=1, M_3(t)=1$ .

В соответствии с аддитивностью марковских цепей совокупность процессов  $S(t)$  (рис. 1) будем рассматривать как один регулярный процесс с восьмью дискретными состояниями и непрерывным временем.

Система в любой момент времени может находиться в одном из множества состояний

$$S[S_1(0,0,0); S_2(1,0,0); S_3(0,1,0); S_4(0,0,1); S_5(0,1,1); S_6(1,0,1); S_7(1,1,0); S_8(1,1,1)], \quad (2)$$

где  $S_1(0,0,0)$  – в электроустановке отсутствуют повреждения, которые могут привести к авариям;

- опасные техногенные ситуации отсутствуют;
- средства электрозащиты находятся в работоспособном состоянии.

$S_2(1,0,0)$  – в электроустановке возникли повреждения;

- опасные техногенные ситуации отсутствуют;
- средства электрозащиты находятся в работоспособном состоянии.

Аналогично описываются и другие состояния  $S_j$ .

Если система попадает в состояние  $S_8(1,1,1)$  по логической цепи: «работоспособная электроустановка → авария → появление ОТС → исход ОТС» - происходит электропоражение или пожар.

Для определения времени безопасной работы электроустановки введём параметры процессов  $M_1(t)$ ,  $M_2(t)$  и  $M_3(t)$ , обозначая их через интенсивности переходов  $\lambda_1, \lambda_2$  и  $\lambda_3$  и  $a_1, a_2$  и  $a_3$  – длительности состояния системы при переходе из  $i$  в  $j$  состояние. Здесь  $\lambda_i = \frac{1}{\bar{a}_i}$ ,  $a_i = \frac{1}{\bar{a}_i}$ , где  $\bar{a}_i$  и  $a_i$  – средний интервал времени между

возникновениями аварий в электроустановке и средняя длительность существования аварии.

В общем случае  $\lambda_i = \frac{1}{a_i}$ ,  $\alpha_i = \frac{1}{a_i}$ ,  $i = [\overline{1,3}]$ .

Тогда  $\overline{a_2}$ ,  $a_2$  - средний интервал времени между возникновениями ОТС и средняя длительность её существования;  $\overline{a_3}$  и  $a_3$  - средний интервал времени между отказами средства электрозащиты и среднее время нахождения его в неработоспособном состоянии.

Вероятность исхода ОТС (электропоражение или пожар) в течение времени  $t$  из-за появления аварии, возникновения ОТС и отказа в срабатывании средства электрозащиты определяется как

$$P_{\text{исх}}(t) = 1 - [P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + \dots + P_8(t)]. \quad (3)$$

По аналогии с (1) матрица интенсивностей в общем виде примет следующий вид:

$$I = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1n} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{n1} & I_{n2} & \dots & I_{nn} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Вероятность нахождения модели (Ч – ЭУ – С) в каждом из восьми возможных состояний  $S_1(0,0,0)$ ,  $S_2(1,0,0)$ , ...  $S_8(1,1,1)$  определяется из решения системы уравнений [4].

$$P(t) = \overline{P}(t)A,$$

где  $P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^8$  - вектор-строка;

$$A = (\lambda - I),$$

где  $I$  – единичная матрица,  $\lambda$  – матрица интенсивности переходов.

Рассмотрим методику определения времени безопасной эксплуатации электроустановки. Пусть модель (Ч – ЭУ – С) находилась в течение времени  $t$  в состоянии  $i$  (событие  $A_i(t)$ ) и потом перешла в состояние  $j$  (событие  $A_j(t)$ ).

Тогда

$$P[A_{ij}(\tau)] = P_{ij}^{\tau-1} P_{ij} \quad (5)$$

Событие перехода системы из некоторого  $i$ -го состояния в  $j$ -е, независимо от времени пребывания её в  $i$ -м состоянии

$$A_{ij} = \bigcup_{R=1}^{\infty} A_{ij}^R(t), \quad (6)$$

Вероятность события (6), т.е. вероятность перехода модели из одного состояния в другое

$$P[A_{ij}] = \sum_{t=1}^{\infty} P[A_{ij}(t)] = \sum_{t=1}^{\infty} P_{ij}^{t-1} \cdot P_{ij} = \frac{P_{ij}}{1 - P_{ij}}. \quad (7)$$

Если предположить, что событие (6) уже произошло, т.е. модель находилась некоторое время  $t_i$  в состоянии  $i$  и затем перешла в состояние  $j$ , то, зная вероятности переходов  $P_{ij}$  можно определить вероятность случайного времени  $t_i$ .

Время безопасной эксплуатации может быть найдено путём последовательного выполнения следующих операций:

1. Определяется вероятности переходов  $P_{ij}$  на основании анализа статистических данных или экспертным путём.
2. Фиксируется переход модели в конкретное состояние, допустим из состояния  $i$  в состояние  $j$ .

3. Определяется длительность  $\alpha_{ij}$  этого перехода.

4. Указанный цикл повторяется до тех пор, пока модель не окажется в конечном состоянии, в котором с вероятностью, близкой к единице, не произойдет конечное событие (электропоражение или пожар). Тогда для одной цепи среднее время безопасности эксплуатации электроустановки

5.

$$T_{cp} = \sum_{k=0}^{n-1} t_{ij} \cdot \quad (8)$$

Для иллюстрации метода моделирования рисков рассмотрим возникновение пожара в электроустановке 380/220 В. Будем считать, что пожар происходит в результате совпадения во времени следующих случайных событий: пробоя изоляции участка электрической сети, замыкания на землю и появления утечки тока, возникновению порогового значения тока ( $I_{ут.пор}$ ) вызывающего воспламенение, и отказа защиты.

Дерево событий строится здесь дедуктивно: от возникновения пожара (головного события (А)) к вероятным причинам 1, 2-го и исходного уровня.

При моделировании события возникновения пожара необходимым и достаточным условием является две причины первого уровня: возникновение порогового значения  $I_{ут.пор}$  (событие  $S_1$ ) и отказ средства электрозащиты (событие  $S_2$ ) (здесь под отказом условимся понимать неисправность или отсутствие защитного средства). В свою очередь каждая из перечисленных причин (событий) вызваны: пробоем изоляции в сети (событие  $S_3$ ), возникновением замыкания на землю (событие  $S_4$ ), возникновением тока утечки (событие  $S_5$ ). Событие  $S_2$  может быть вызвано неисправностью защиты (событие  $S_6$ ) или её отсутствием (событие  $S_7$ ).

На рисунке 2 представлено дерево событий, объясняющее процесс возникновения пожара в электроустановке.

Цепь перехода системы в состояние  $S_0$  (головное событие) условно представим:  $S_3 - S_4 - S_5 \rightarrow S_1$ ;  $S_6 \rightarrow S_2$ ;  $S_7 \rightarrow S_2$ ;  $S_1 - S_2 = S_0$ . В соответствии с [4, 5] примем следующие вероятности переходов  $P_{31} = 0,00005$ ;  $P_{41} = 0,0003$ ;  $P_{51} = 0,001$ ;  $P_{62} = 0,001$ ;  $P_{72} = 0,001$ ;  $P_{(1-2)0} = 0,0002$ .

Тогда расчетное время работы электроустановки до первого профилактического ремонта, если она рассчитана на непрерывную работу в течение пяти лет после ввода её в эксплуатацию (при условии, что уровень пожарной опасности электроустановки  $1 \times 10^{-3}$  для времени эксплуатации в течение 1 года) составляет не более 1,5 лет. Таким образом, для поддержания заданного уровня пожарной опасности необходимо через полтора года после ввода электроустановки в эксплуатацию проводить профилактический ремонт электроустановки.

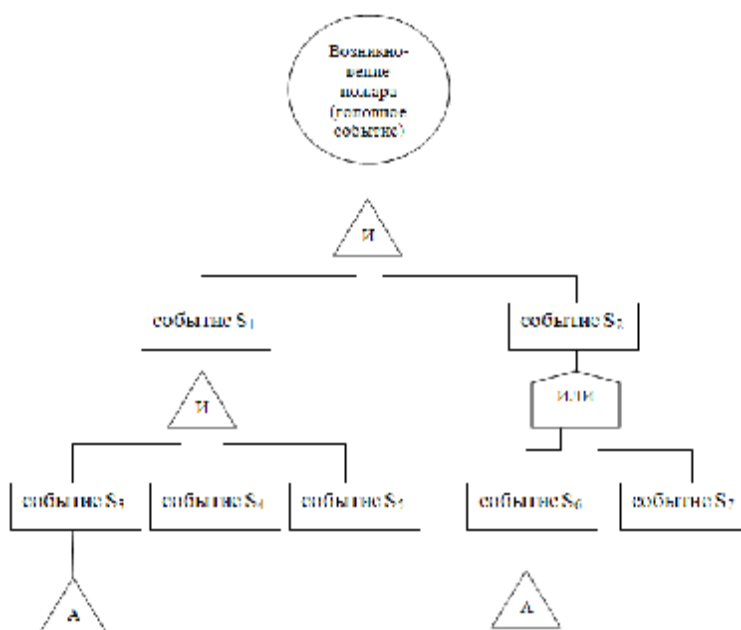


Рисунок 2 – Дерево событий



Отметим, что из-за отсутствия достоверных статистических данных о вероятностях переходов рассматриваемый пример не отражает реальные условия и служит иллюстрацией предлагаемой методики моделирования рисков электроустановки.

#### Список литературы

1. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания // Л.А. Овчаров – М.: Машиностроение, 1969, - 324 с.
2. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ // Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев – М.: Наука, 1965, - 524 с.
3. Измалков В.И., Измалков А.В. Безопасность и риск при техногенных воздействиях // В.И. Измалков, А.В. Измалков – М.: 1994, - 269 с.
4. Коструба С.И. Математическое моделирование систем обеспечения электробезопасности / Электричество, 1970, № 9, С. 87-89.
5. Еремина Т.В. Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок // Т.В. Еремина. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. – 215 с.

**Черкасова Нина Ильинична** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовского индустриального института Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. 8(38557) 59-860.  
**Карнаухова Любовь Николаевна** – ведущий инж. ГУ «ОрёлРЦЭ», г. Орёл, тел. 8(4862) 41 98 30.

УДК 537.8:631.17

#### **О КОНЦЕПЦИИ СТОИМОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ПРИНЦИПАХ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА**

**Никольский О.К., Гончаренко Г.А.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Черкасова Н.И.**

*Россия, г. Рубцовск, РИИ АлтГТУ*

**Семичевский П.И.**

*Россия, г. Москва, МГАУ*

**Качанов А.Н.**

*Россия, Орёл, «Госуниверситет-УНПК»*

*Рассмотрена концепция стоимости среднестатистической жизни человека (ССЖЧ), в основе которой лежит экономический подход к определению ущерба в результате гибели работника. Дан краткий анализ существующих методов оценки ССЖЧ. Показано, что в основе оптимизации риска лежит экономический анализ только хозяйственной компоненты человеческой жизни.*

*Average cost dealt with the concept of human life (SSŽČ), which is based on the economic approach to the definition of damage as a result of the death of the employee. A brief analysis of existing methods of evaluation of SSŽČ. Shows that risk optimization is only an economic analysis the economic components of human life.*

Постановка задачи. Вопрос об экономическом подходе к оценке риска жизни и здоровья человека впервые был поставлен В.А. Легасовым [1] при анализе проблемы безопасности ядерной энергетики. Позднее в [2] были сформулированы основные подходы к управлению техногенными рисками, в основе которых был положен принцип равновесия между качеством жизни и безопасностью человека [3]. Признавая

этот принцип достаточно субъективным, нельзя не сбрасывать со счетов, что в обществе всегда существовала, и очевидно будет существовать дилемма между стремлением улучшить качество жизни и снижением уровня безопасности, т.е. увеличение качества жизни в ряде случаев приводит к росту рисков преждевременной смерти, сокращению продолжительности жизни, болезни и т.д. Примерами этому могут быть занятия экстремальными видами спорта, трудовая деятельность на опасных производствах с компенсационными выплатами и др. Отметим, что понятие «качество жизни» является комплексным показателем, составной частью которого, по нашему мнению, входит и безопасность. Поэтому здесь уместно сравнивать безопасность не с качеством жизни, а с ее продолжительностью. Эти два понятия положительно коррелируют между собой и могут быть количественно оценены. Они не содержат субъективной оценки и могут быть положены в основу целевой функции при проведении оптимизационных мероприятий. Такая целевая функция должна отражать объективные ценности человеческой жизни, которые можно выразить в количественных показателях – продолжительность жизни и безопасность (в терминах теории риска).

Признавая приоритет жизни и здоровья отдельного человека, нельзя игнорировать тот факт, что многочисленные случаи электротравм, гибель людей в ДТП приносят огромные материальные потери обществу, выражающиеся недокладом среднедушевого дохода в ВВП. Возникшее противоречие между абсурдной оценкой жизни индивидуума в денежном выражении и потерями при гибели людей, выраженными монетарно, устраняются, если разграничить два понятия: жизнь индивидуума (конкретного человека) и среднестатистическая жизнь человека (ССЖЧ). Если конкретному человеку грозит реальная опасность погибнуть, то ценность его жизни не должна определяться некой денежной суммой, ибо не существует таких финансовых средств, которыми можно было бы оценить его жизнь. В то же время следует понимать, что далеко не все затраты, направленные на снижение риска, возможны или экономически оправданы. Нельзя требовать снижения риска любыми средствами, поскольку это нереально, как и невозможно добиться абсолютной безопасности с нулевым риском. Очевидно, должен существовать некоторый предел финансовых средств и материальных ресурсов, выше которых их расходование становится нецелесообразным и в ряде случаев невозможным при определенном уровне развития общества. Вместе с тем общество должно стремиться к установлению высокой ССЖЧ. Необходимость ее оценки в денежном эквиваленте вызвана тем, что повышение безопасности во всех сферах жизнедеятельности человека требует выделение адекватных средств на нейтрализацию опасных факторов и минимизацию рисков.

Методические подходы к оценке ССЖЧ. Впервые стоимостной подход к оценке жизни человека был сформулирован в Великобритании в середине XX века, и строился на том, что стоимость жизни приравнивалась к стоимости продукции и услуг, недополученных из-за гибели или потери трудоспособности граждан в результате ДТП. Такой подход является утилитарным, поскольку стоимость жизни становится эквивалентной величине «человеческого капитала», определяемого добавленной стоимостью, которую человек производит за всю свою жизнь. Признаем, что профессиональная деятельность, являясь неглавной составляющей жизни человека, не может служить мерилем ССЖЧ.

В настоящее время используются объективный и субъективный подходы к оценке ССЖЧ. В основе первого лежит экономическая оценка рисков жизни и здоровья людей. Субъективный подход базируется на том факте, что ценность сохраненной жизни позволяет определить в стоимостном выражении количество средств, которые люди были бы готовы заплатить за уменьшение риска потери жизни

или трудоспособности, например, при электротравме. При этом величину ущерба соотносят с реальными экономическими показателями страны.

Согласно социологическим исследованиям компании РОСГОССТРАХ по мнению респондентов стоимость желаемой компенсации в связи с гибелью человека в ДТП колеблется в диапазоне 3,4 – 4,3 млн. руб., в то время как в США условная оценка стоимости жизни человека составляет 3 млн. долл. Следствием низкой величины стоимости жизни российского гражданина является существенное занижение бюджетных средств, направляемых на реализацию мер по снижению аварийности на дорогах.

Отметим, что при субъективном подходе к оценке ССЖЧ доминирующим фактором является восприятие человеком риска его гибели. Согласно работе [4], в которой была предпринята попытка экспериментальным путем провести ранжирование риска смертельного исхода опасных технологий, было установлено, что испытуемые полагаются (в отличие от экспертов) не на статистические данные, а на свой жизненный опыт и интуицию. Результаты экспериментов показали переоценку опасности технологий с низкой смертностью и недооценку технологий с высокой смертностью.

Ниже приведена таблица основных факторов, влияющих на субъективные представления людей о снижении риска смерти и ССЖЧ.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что суждение людей о вероятностях опасных событий и потенциальном ущербе основаны на личном восприятии риска и существенно отличаются от объективных данных.

Люди достаточно субъективно подходят к оценке степени опасности, игнорируя при этом частоту смертельных исходов. Так, при оценке сравнительной опасности ядерной энергетики и бытовых электроприборов, подавляющее большинство считает самым опасным ядерную энергетику, хотя показатель смертности от нее значительно ниже, чем от бытовых электроприборов.

Таблица 1 – Основные факторы, влияющие на представления людей о снижении риска смерти и ССЖЧ

Факторы опасности	Субъективные представления людей об опасностях	Лингвистические оценки опасности
Значимость последствий (исходов)	Наиболее значимые последствия, ставящие под угрозу жизнь человека	Очень высокая
Неконтролируемость опасной техногенной ситуации	Отсутствие контроля над развитием события резко снижает готовность людей идти на риск	Высокая
Частота угроз	Люди терпимее к частым и незначительным опасностям, чем к редким чрезвычайным ситуациям с большим числом жертв, даже если суммарные потери в первом случае гораздо выше, чем во втором	Менее высокая
Новизна технологий и оборудования	Общество проявляет большее доверие к старым, хорошо известным технологиям, чем к новым, где отсутствует опыт их использования	Средняя
Добровольность	Возможность свободного выбора при выполнении опасных работ резко снижает уровень техногенных рисков	Низкая

Отсюда можно сделать вывод, что при ранжировании используемых опасных технологий по степени связанного с ними риска общество, как правило, руководствуется не объективными показателями смертности, а каким-то другим субъективным критерием. Подтверждением этому выводу является выборочная таблица [5], представляющая коллективную результирующую ранжировку по степени уменьшения опасности и сравнительную оценку согласованности при вынесении суждений о риске.

Таблица 2 – Сравнительная оценка согласованности при вынесении суждений о риске

Вид риска	Субъективная оценка риска людьми	Объективная оценка риска (по статистическим данным)
Стихийные бедствия	1	11
Атомные электростанции	2	10
Загрязнение среды	3	2
Потребление алкоголя	4	3
Автотранспорт	6	4
Курение	8	1
Полеты на самолетах	10	13
Активный отдых	13	5

Таким образом, субъективный подход к оценке риска смертельного исхода и стоимости статистической жизни человека определяются на основании социологических опросов населения. Здесь под «стоимостью жизни» понимается размер денежного возмещения семье погибшего, который общество считает справедливым.

В таблице 3 приведена характеристика объективных подходов (методов) оценки стоимости среднестатистической жизни человека.

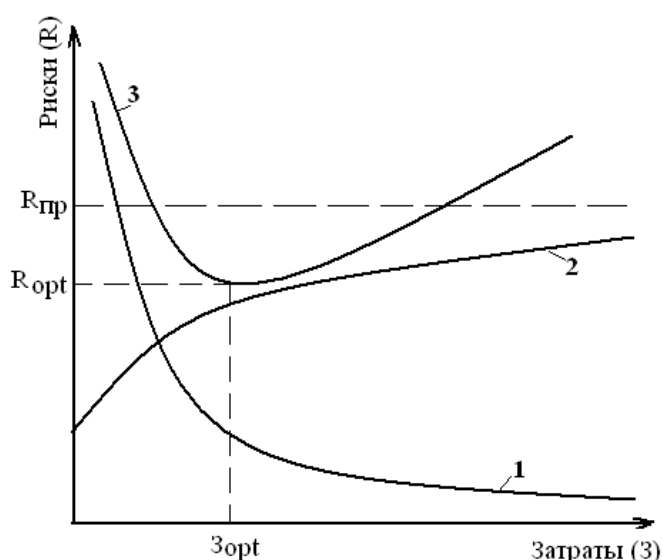
Таблица 3 – Характеристика методов оценки ССЖЧ

Метод оценки ССЖЧ на основе определения:	Характеристика метода
совокупного пожизненного дохода	Стоимость жизни человека определяется на основании его доходов. Экономический эквивалент ССЖЧ равен отношению среднего душевого денежного годового дохода к средней вероятности смерти в течение года
среднего ВВП на душу населения	Считается, что преждевременная смерть работающего означает потерю общественной полезности – валового внутреннего продукта на душу населения. Поэтому недополученный ВВП в результате преждевременной смерти человека – есть стоимость его жизни
актуарных расчетов	Оценка производится на основании среднедушевых доходов и ВВП, исходя из случайного времени наступления смерти. Актуарные расчеты применяются в долгосрочном страховании, т.е. в страховании жизни. Тарифные ставки страхования определяют ССЖЧ
общественных издержек	ССЖЧ определяется как сумма затрат на образование, здравоохранения, подготовку трудовых ресурсов и иных расходов, необходимых для воспроизводства человека
демографического баланса	ССЖЧ определяется на основе баланса материальных благ, производственных и потребляемых человеком к некоторому возрасту, т.е. определяется рентабельность возрастной группы населения, ее способность накопить средств для воспроизводства будущих поколений

### *К вопросу об оптимизации риска электротравмы*

Определение материального ущерба и стоимости среднестатистической жизни человека является составной частью процедуры оптимизации техногенного риска. Суммарные экономические затраты, связанные с обеспечением безопасности, состоят из затрат на создание комплекса организационных мероприятий и технических средств электрозащиты (СБ) и экономического эквивалента, представляющего сумму всех материальных потерь (ущербов). Каждый из видов экономических затрат зависит от уровня ожидаемого техногенного воздействия. Чем больше ущерб от электротравматизма, тем больше потребуется материальных затрат на их предотвращение и обеспечение приемлемого риска. Чем больше техногенное воздействие, которому подвергается население и территории, тем выше экономические издержки на компенсацию нанесенного ущерба.

Для нахождения оптимального уровня риска необходимо провести экономический анализ (рис. 1). Будем считать, что оптимизация уровня риска безопасности сводится к минимизации всех экономических затрат, связанных с созданием системы безопасности, направленной на снижение риска, и ущербов, вызванных электротравматизмом с летальным и тяжелым исходами. Очевидно, чем эффективней СБ, тем меньше ущерб. Поэтому имеется связь (кривая 1) между затратами  $Z_{СБ}$  и материальным ущербом от электротравматизма  $U_{ЭТ}$  (при росте затрат уменьшается ущерб).



**Рисунок 1 – К обоснованию оптимального уровня техногенного риска**

Кривая 2 – функция, отражающая изменения экономических расходов на снижение риска R (здесь отмечено предельное значение риска, при котором дальнейшее его снижение нецелесообразно по экономическим соображениям). На рисунке (кривая 3) приведена зависимость  $R=f(Z+U)$ , где U – материальный ущерб от электротравматизма. Анализ этой зависимости показывает, что имеется четко выраженный минимум, определяющий экономическую целесообразность материальных затрат на СБ. Точка экстремума функции  $R(Z+U)$  определяет равенство

экономических расходов на обеспечение безопасности и материальных ущербов, которые следует ожидать при данном уровне риска. Таким образом, установление оптимального риска позволяет определить необходимые затраты на поддержание его уровня.

В настоящее время в обществе существует две точки зрения, касающиеся оценки стоимости жизни человека. Первая, провозглашает постулат бесценности человеческой жизни, предполагает создание системы безопасности с нулевым риском, что в принципе является недостижимыми. Вторая, основанная на концептуальном подходе к экономической оценки жизни, рассматривает человека как орудие труда. Принятие такого подхода приводит к выводу, что безвременная смерть неработающего человека (пенсионера) приносит обществу экономический эффект.

За рубежом, существующая практика социального страхования, представляет человеческую жизнь, отделяя хозяйственную и духовную составляющую (люди живут

не для того, чтобы производить материальные блага). В соответствии с таким делением экономический эффект от предотвращения преждевременной смерти человека, рассчитываемый с помощью специальной методики, отражает только хозяйственную компоненту человеческой жизни. Духовная составляющая оценивается на порядок выше хозяйственной.

#### Список литературы

1. Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелев Я.В. Дисконтирование и компромисс между поколениями. Проблемы анализа риска. 2005, том 2, № 2.
2. Кузьмин И.И. Принципы управления риском. Проблемы анализа риска. 2006, том 2, №1.
3. Качанов А.Н. Никольский О.К., Сошников А.А., Ларионов В.Н. Концептуальные основы программы обеспечения электропожаробезопасности на объектах промышленного и гражданского назначения./ Научный журнал. Ученые записки Павлодарского государственного университета/ Павлодарский гос. ун-т. им. С.Торайгырова. - Павлодар: Изд-во ПГУ, N 2, 1998, с. 51 – 58
4. Slovic P., Fischhoff B., Liechtenstein S. Rating the risks. Environment. 1979, v. 21, № 3.
5. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Ребрик С.Б. Анализ риска и проблемы безопасности. Препринт, М.: 1990 (ВНИИСИ)

**Никольский Олег Константинович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

**Черкасова Нина Ильинична** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (838557) 5-98-75, e-mail: [4ercas@bk.ru](mailto:4ercas@bk.ru).

**Гончаренко Георгий Александрович** – аспирант кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

**Семичевский Петр Иванович** – канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина, тел. (499) 976 36 40.

**Качанов Александр Николаевич** – академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Государственный университет УНПК», тел. 8(4862) 41 98 53.

УДК537.8:631.1

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА, ОЦЕНКИ, АНАЛИЗА, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

**Черкасова Н.И.**

*Россия, г. Рубцовск, РИИ АлтГТУ*

**Никольский О.К.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Семичевский П.И.**

*Россия, г. Москва, МГАУ*

*Определено понятие техногенного интегрального риска при взаимодействии системы: человек – электроустановка - среда, включающее социальный, материальный и экономический ущербы. На основе структуры интегрального риска, рассмотрены способы анализа риска, в сочетании трех*

компонентов: вероятности возникновения опасности, её длительности и последствий. В системе управления рисками предложен единый методологический подход к оценке рисков. Рассмотрена структура интегрального ущерба, предложена методика прогнозирования интегрального риска.

*The concept of technogenic integrated risk is defined at system interaction: the person – electroinstallation - the Wednesday, including social, material and economic damages. On the basis of structure of integrated risk, ways of the analysis of risk, in a combination of three components are considered: probabilities of emergence of danger, its duration and consequences. In a control system of risks uniform methodological approach to an assessment of risks is offered. The structure of integrated damage is considered, the technique of forecasting of integrated risk is offered.*

Понятие интегрального риска и его структура. Техногенный риск обычно отождествляется с ожиданием потерь и характеризуется как ущерб, понесенный из-за возникновения опасной ситуации. Для понимания природы риска существенным является изучение связей его с ущербом. Совершенно очевидно, что чем выше риск, тем больше потери. С другой стороны, для снижения риска нужны определенные затраты, которые не должны быть неограниченными. Поэтому должен существовать некий оптимум значения риска, определяемый по критерию «затраты – выгоды» [1]. В этом смысле риск можно отнести к категории экономической.

Существующая характеристика риска как опасности не раскрывает всей его сущности, поскольку риск характеризуется не только опасностью, но и случайностью. Случайное событие – это неизвестное событие, неопределенность которого может быть исследована методами теории вероятностей. Проведенный анализ существующих определений риска [2] позволяет считать, что техногенный риск представляет собой вероятность наступления опасного случайного события, результатом которого является ущерб, наносимый человеку, имуществу и среде его обитания. При этом следует различать, когда вероятность наступления опасного техногенного события может быть рассчитана, и ситуацию неопределенности, когда вероятность этого события не может быть определена. Необходимость разграничения понятий неопределенности и риска вызвано тем, что при выполнении профилактических мероприятий, направленных на повышение безопасности, в ситуации вероятного риска следует руководствоваться принципом приемлемого количественного значения уровня, а в ситуации неопределенности – качественными его оценками.

Введем понятие интегральный риск электроустановки, под которым условимся понимать показатель потенциальной техногенной опасности, учитывающий социальный, материальный и экономический ущерб, выраженный в едином денежном эквиваленте. Тогда математическая модель интегрального риска может быть представлена как

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

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

Интегральный риск должен учитывать все виды опасности электроустановки, включая электрическую, пожарную, электромагнитную и экологическую, обусловленные неконтролируемым высвобождением электрической энергии, ее распространением и негативным воздействием на людей и животных, материальные и природные ресурсы, электромагнитную обстановку (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема интегрального риска**

Исходя из энергоэнтропийной концепции электротравматизма и пожаров [3] будем рассматривать интегральный риск  $R_{\Sigma}$  как результат взаимодействия системы «человек – электроустановка – среда». Здесь компонент человек (Ч) является потенциальной жертвой, компонент электроустановка (ЭУ) – источник техногенной опасности. Вместе с тем все три компонента являются источниками причин возникновения опасных техногенных ситуаций (ОТС) и их исходов, т.е. отказов и аварий электроустановок, ошибок и неправильных действий человека (в частном случае, обслуживающего персонала) и негативных (неконтролируемых) воздействий среды.

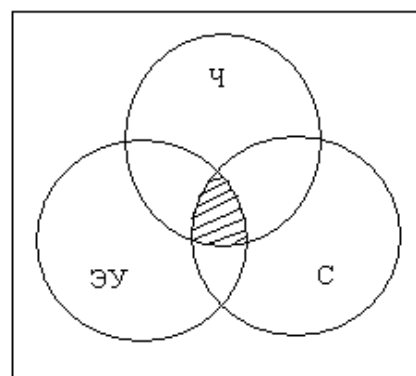
В этом случае интегрированный риск условно можно изобразить в виде заштрихованного сегмента, образованного при пересечении трех окружностей (рисунок 2). Возникающее неравновесие системы (Ч – ЭУ – С), вызванное накопленной энергией, приводит к техногенному риску вследствие скачкообразного или постепенного прироста энтропии в результате аварии электроустановки или по причине старения и износа электрооборудования.

Оценка и анализ риска. Рассмотрим риск как сочетания двух компонентов – вероятности опасного события и его последствия. Выделим следующие идеализированные ситуации объекта (или субъекта) безопасности:

1. Вероятность возникновения опасного события близка к нулю (бесконечно мала), но ущерб от возможного события конечен. Тогда риск равен нулю.

2. Вероятность возникновения опасности существует, но ущерб субъекту, связанный с этим событием бесконечно мал. В этой ситуации опасность также отсутствует, т.е. риск равен нулю.

3. Вероятность события и ущерб от него равны нулю. Ситуация характеризуется как достоверное отсутствие опасности (абсолютная безопасность).



**Рисунок 2 – Иллюстрация техногенного риска электроустановки**



Во всех других случаях, когда вероятность и ущерб принимают значения отличные от нуля, ситуация оценивается как опасная, характеризуемая определенным значением риска.

Обеспечение необходимой статистической информацией является важным условием проведения анализа риска и его количественной оценки. Однако из-за недостатка исходных данных единственно возможным являются методы качественного анализа, основанные на использовании экспертных оценок и ранжировании степени риска.

В таблице 1 приведена шкала базовых оценок компонентов риска в электроустановках, выраженных в лингвистическом и численном виде.

Таблица 1 – Наименование компонента и его лингвистические оценки

Вероятность события	Длительность ОТС	Последствие ОТС (ущерб)	Численное значение	Балл
Допустимо, но маловероятно	Очень быстро	Очень низкий	0,1	5
Неопределенно возможно	Быстро	Низкий	0,3	4
Практически возможно	Умеренно длительно	Средний	0,5	3
Вполне возможно	Длительно	Высокий	0,7	2
Наиболее возможно	Очень длительно	Очень высокий	0,9	1

Здесь опасное событие и его составляющие разбиты по величине вероятности и тяжести последствий риска на пять рангов с недопустимо высоким, высоким, промежуточным, низким и ничтожным уровнем риска. Соответствующим рангам присвоены числовые и балльные значения.

Рассмотренный подход качественного анализа позволяет высокий уровень риска (баллы 1 и 2) считать неприемлемыми, требующим выведения объекта из эксплуатации и его остановки; промежуточный уровень риска (балл 3) требует выполнения организационно-технических мероприятий по уменьшению его уровня; низкий ранг (балл 4) квалифицировать как приемлемый, а ничтожным риском (балл 5) – пренебречь.

В электроустановках в качестве фактора опасности выступает электрический ток, который, воздействуя на человека, может привести к негативным последствиям

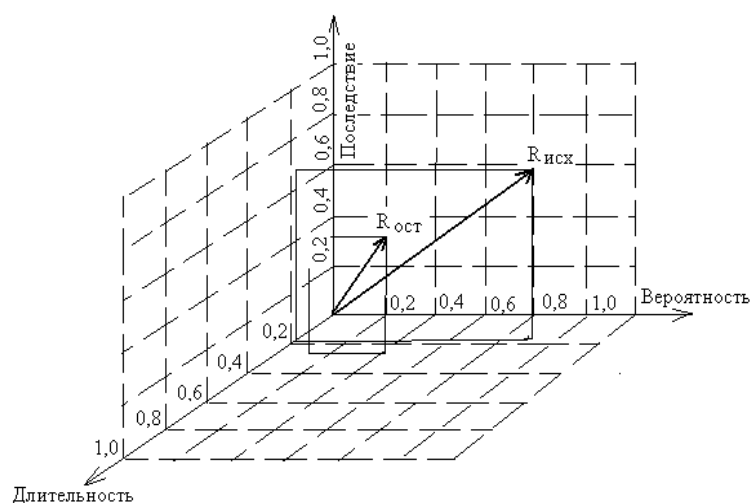


Рисунок 3 – Графическая интерпретация исходного и остаточного интегрального риска

(болезнь, инвалидность, летальный исход). При определенных условиях электрический ток является причиной возникновения пожара. Опасные последствия неконтролируемого появления тока в электрических цепях зависят, как известно, не только от его величины, но и длительности воздействия на объект (субъект) защиты, т.е. в конечном случае от величины выделившейся электроэнергии. Учитывая последнее, интегральный риск будем рассматривать (рис. 3) как вектор связи трех компонентов (вероятности

возникновения опасности, длительности существования опасности и последствия опасности). Каждый конкретный компонент отражает одну из сторон потенциальной опасности объекта, совокупность которых может быть выражена как качественно, так и количественно.

Как следует из рисунка значение исходного риска  $R_{исх}$  в координатах (0,7; 0,6; 0,2) относится к промежуточному уровню и требует необходимого его снижения до величины  $R_{ост}$  (0,4; 0,2; 0,2), оцениваемой как приемлемый риск. Изложенное является иллюстрацией эмпирического подхода к оценке риска и не является примером расчета риска реальной электроустановки.

Одним из основных элементов в системе управления рисками является выбор научно обоснованного метода их оценки. Можно выделить различные группы методов оценки рисков (статистические, экспертные, модельные и др.), для каждой из которых разработаны разнообразные приемы и методики их применения [4]. Имеются компьютерные системы в области моделирования экологических загрязнений, рисков аварий и катастроф. Вместе с тем, необходим единый методологический подход, предполагающий комплексный учет возможных способов оценки техногенных рисков в электроустановках. Такая методология для получения комплексной оценки риска в настоящее время отсутствует. В значительной степени это объясняется различными трактовками понятия риска: одна – определяет риск как вероятность появления опасного события; вторая – трактует риск как ущерб, который может нанести возможное опасное событие; в третьей – риск рассматривается как двухпараметрическая величина, включающая в себя вероятность наступления опасного случайного события и величину, связанных с ним потерь. Эти параметры описываются как числовыми оценками (математическим ожиданием, дисперсией), так и законами распределения вероятностей. Двухпараметрический подход может применяться для оценки и формирования адекватных прогнозов при известных статистических данных, например, относящихся к количеству электротравм или пожаров и величинам их ущербов. В этом случае, используя статистический материал, строятся гистограммы, функции распределения и плотности распределения случайной величины ущерба. Тогда результат обработки статистических данных можно представить в виде случайной величины

$$M(t) = M_0(t / N), \quad (2)$$

где  $\tau$  – некоторое элементарное событие в соответствующем вероятностном пространстве,  $N$  – заданный статистический ряд.

Величина ожидаемого ущерба за конкретный срок от электротравматизма и пожаров определяется как

$$M_t[Y] = P(t) \sum_{j=1}^n Y_j / n. \quad (3)$$

При отсутствии статистических данных (в условиях неопределенности) для оценки рисков могут быть использованы экспертный метод и лингвистические оценки.

Алгоритм экспертного метода достаточно широко применяется [5] и состоит в том, что результаты экспертных оценок рассматриваются в виде случайных величин. Допустим, что каждый эксперт задает значение возможного ущерба с указанием вероятности реализации этого значения. С учетом  $N$  экспертов в конечном итоге получаем распределение дискретной случайной величины. Таким образом, в результате проведения этой процедуры имеем совокупность случайных величин, значения которых отражают точку зрения группы экспертов относительно прогноза рассматриваемой величины

$$M_j(t) = \sum_{j=1}^N M_j(t / S_j), j = 1, \dots, N, \quad (4)$$

где  $S_j$  – информация, которую получил эксперт с соответствующим номером  $j$ .

Метод экспертных оценок при отсутствии достоверных статистических данных удобно сочетается с использованием так называемых базовых лингвистических оценок, которые позволяют в трехмерном векторном пространстве получить интегральную оценку техногенного риска электроустановок (см. рис.3). Использование в данной работе трехпараметрического метода анализа позволяет учитывать специфику электроустановки, в которой фактор времени воздействия электрического тока на человека или объект, является решающим при электротравме или возникновении пожара.

В общем случае анализ рисков, в основе которого лежит последовательная декомпозиция системы (Ч – ЭУ – С) на отдельные структурно-функциональные компоненты, позволяет идентифицировать и учесть все основные рискообразующие факторы, систематизируя при этом «отказы электроустановки», «ошибки и неправильные действия персонала» и «нерасчетное воздействие среды». Для выявления техногенных предпосылок с помощью модели «дерево событий» следует учитывать не только критические отказы (аварии электроустановки), которые, как уже отмечалось, приводят к неконтролируемому высвобождению энергии, но и повреждения из-за старения и дефектов изоляции и токоведущих элементов электрооборудования.

Оценка ущерба ОТС. При оценке интегрального риска электроустановки необходимо определить не только вероятности появления ОТС, но и учет всех видов потерь и издержек и оценка полного интегрального ущерба. Отметим, что компоненту издержек от опасных событий следует рассматривать как неизбежную согласно законам термодинамики [3].

В соответствии с принятой классификацией [6] полный ущерб складывается из прямого и косвенного, каждый из которых, в свою очередь, содержит социальную, материальную и экологическую составляющую ущерба. Считаем, что полный ущерб в достаточной степени отражает все издержки, являющиеся компонентом интегрального риска. Поэтому полный ущерб будем называть интегральным ущербом.

Рассмотрим структуру интегрального ущерба в рамках системы (Ч – ЭУ – С), представленной на рисунке 4.

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

Рассмотрим составляющие интегрального ущерба.

Социальный ущерб ( $Y_C$ ). Этот вид ущерба проявляется в виде гибели людей, вызванной электрическим поражением или при пожаре из-за повреждения электроустановки, а также потери трудоспособности, обеспечения услугами здравоохранения, социальными льготами и другими компенсационными затратами. Согласно статистическим данным [7] доля аварий и пожаров в зданиях и на коммунальных системах жизнеобеспечения составляет почти 50 % всех ЧС, произошедших на локальных объектах. Отмеченный социальный ущерб не ограничивается только немедленным воздействием рискообразующего фактора. Необходимо также учитывать и отдаленные последствия негативного проявления электромагнитного поля электроустановки, выражающиеся ухудшением здоровья населения из-за экологического загрязнения среды обитания.

Материальный ущерб ( $Y_M$ ). Объектами материального ущерба, вызванного отказами (авариями) электроустановки, являются производственные, общественные и жилые здания, готовая продукция или недоотпуск ее, убытки, вызванные перерывами электроснабжения, снижение качества электроэнергии, подаваемой потребителю, а также потери, вызванные снижением продуктивности животных (молокоотдачи коров и привесов животных, находящихся на откорме) [1].

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

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

Несмотря на имеющуюся условность и нечеткость отдельных компонентов структуры интегрального ущерба, приведенного на рис. 4, классификация позволяет изучить многогранность проявления техногенного ущерба и его зависимость от большого числа перечисленных выше факторов. Все это свидетельствует о необходимости одновременного учета как вероятности возникновения аварий и несчастных случаев в электроустановках, так и издержек и потерь, являющихся следствием проявления опасных событий.

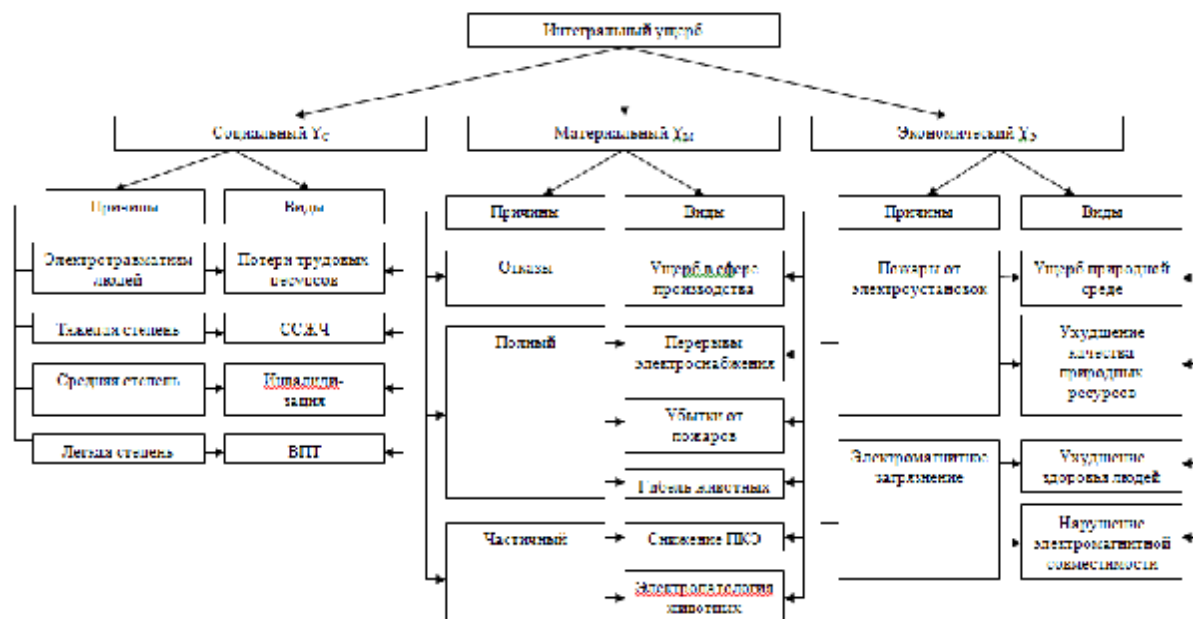


Рисунок 4 – Структура интегрального ущерба от электроустановок

Прогнозирование интегрального ущерба и его составляющих связано с оценкой в денежном эквиваленте гибели и травмирования людей, уничтожение флоры и фауны, учета издержек от опасных электромагнитных излучений и т.д. Перечисленное относится к классу сложных системных задач, решение которых требует не только применения классических методов математического моделирования, в частности, статистического, основанного на использовании случайных распределений параметров и учете непрерывно изменяющихся факторов. Здесь необходимо также отдавать предпочтение экспертным оценкам, в основе которых лежат эмпирические знания, полученные в процессе изучения и наблюдения без объяснения причин и механизмов наблюдаемых явлений. Представляется перспективным, как уже отмечалось, использование семантического (смыслового) моделирования, базирующегося на некоторой совокупности исходных положений (гипотез), и нечеткой логике [8]. Отметим, что в основе применения тех или иных методов моделирования должен лежать учет того ущерба, который обусловлен случайным неконтролируемым высвобождением энергии электроустановки. Причем величина этой энергии будет определяться мощностью и временем воздействия на объект.

Рассмотрим сущность методики прогнозирования интегрального риска электроустановки, выделяя следующие этапы:

1.Определение цели и области применения. Целью оценки интегрального риска на первом этапе является качественная сравнительная степень опасности однотипных объектов (электроустановок), относящихся к сложным техническим системам (СТС). Такие системы, подпадающие под действие Федерального закона от 27 декабря 2002 г.

№ 184-ФЗ «О техническом регулировании», в соответствии с [4] носят название объекты технического регулирования (ОТР). Эти объекты широко распространены и относительно просты в сравнении с особо опасными и критическими производствами (атомная энергетика, химическая промышленность и т.д.) сравнительно несложно поддаются декомпозиции на конкретные структурные составляющие или отдельные технологические операции.

2. Формирование интегрального риска электроустановки. Этому должно предшествовать моделирование сценариев возникновения и распространения высвободившейся энергии электроустановки в результате возникновения аварии или ее отказа. В этом случае следует учитывать интенсивность отказов электрооборудования или технологической аппаратуры, включая электротехнические средства, ошибки эксплуатационного персонала, а также метеорологические и другие условия среды (рис. 1).

Необходимо составить функционально-морфологическое описание системы (Ч – ЭУ – С), установить их связи между компонентами, дать описание условий окружающей среды. Непосредственными источниками опасностей являются генераторы, трансформаторы, электродвигатели, электротехнологические установки, сети освещения и электропроводка, устройства релейной защиты и автоматики.

3. При идентификации опасности следует руководствоваться статистическими данными о случаях электропоражений людей, травматизма животных, характеристиками надежности электроустановок и т.п. Представляется необходимым располагать данными о возможных зонах и рискообразующих факторах, приводящих к опасным последствиям. Для определения и описания этих опасностей следует использовать достаточно простые семантические схемы и эмпирические данные для построения диаграмм «дерево событий» и «дерево исходов».

4. При оценке величины риска, согласно [9], используются методы качественного и количественного анализа. В начале приводится анализ возможных причин электропоражения, пожара, отказов и т.п. с целью определения вероятности (частоты), продолжительности воздействия на субъект (человека) или объект (электроустановку). Оценку частоты или вероятности причиненного ущерба, например, вызванного электротравмой, следует проводить, используя при этом первичные критерии электробезопасности [10], в случае пожара – с учетом объема выделившейся энергии электроустановки [11].

Что касается прогнозирования интегрального ущерба от аварий электроустановки, электропоражений людей, пожаров и т.д., то он может быть определен путем расчета среднего ущерба в предположении, что за время  $T$  (принимаемое за один год) на  $k$ -ой электроустановке, принадлежащей однородному множеству  $n$  электроустановок, могут произойти какие-либо перечисленные выше события. Тогда средний интегральный ущерб определяется как математическое ожидание социального, материального и экологического ущерба

$$M(Y_{\Sigma}) = M(Y_C) + M(Y_C) + M(Y_C) = \sum_{k=1}^n P_k \cdot Y_k, \quad (5)$$

где  $k=1 \dots n$  – число однотипных электроустановок, в которых произошли опасные события (аварии, электропоражение, пожар);  $P_k$  и  $Y_k$  – вероятности случайных опасных событий в  $k$ -ой электроустановке за время  $T$  и соответствующий средний ущерб.

Остановимся более подробно на прогнозировании социального ущерба, вызванного гибелью человека. Вполне логично предположить, что этот ущерб будет эквивалентен той недополученной доле прибавочной стоимости, которая при этом теряется как отдельным производством, так обществом в целом. Согласно [6] издержки от гибели людей на производстве колеблются в весьма широких пределах. Так, стоимость статистической жизни человека (ССЖЧ), в основе которой лежит теория человеческого капитала [12] совпадает с размерами страховых компенсаций за гибель людей, инвестициями общества на снижение риска преждевременной смерти человека.

Однако ССЖЧ в США равна 4,8 млн. долл., для нашей страны – 0,4 – 0,5 млн. долл. Можно предположить, что низкая ССЖЧ является основной причиной традиционно высокого производственного травматизма в России. Экономический ущерб, вызванный

инвалидизацией или временной потерей трудоспособности персонала из-за несчастных случаев следует оценивать числом человека-дней, необходимых для лечения, реабилитации пострадавших, компенсационных выплат. Согласно рекомендациям МОТ, ущерб от гибели одного работника оценивается 7500 – 6000 потерянных обществом человека-дней, а ущерб от увечий различной степени тяжести колеблется в пределах от 2600 до 1100 человека-дней.

Таким образом, используемые в настоящее время методики оценки ущерба от производственного травматизма, в основе которых лежит монитарный подход к стоимости среднестатистической жизни человека или натуральный – выраженный в потери человека-дней, позволяют априорно определить затраты на предупреждение травматизма и ущерб от них. Последнее позволяет преодолеть проблему обоснования приемлемого риска, используя соответствующие оптимизационные приемы.

#### Список литературы

1. Основы электромагнитной совместимости: учебник для вузов / под ред. Р.Н. Карякина: Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграф.комб.». 2007. – 480 с.
2. Мартынюк В.Ф., Лисанов М.В., Кловач Е.В., Сидоров В.И. Анализ риска и его нормативное обеспечение // Безопасность труда в промышленности. 1997, №10. – С.39-42.
3. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерной безопасности. – М.: ГПНТБ «Безопасность», 1996. – 426 с.
4. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин / Отв. ред. Н.А. Махутов. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – 576 с.
5. Хенли Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. – М.: Машиностроение. 1984. – 528 с.
6. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка: учебное пособие для вузов. – М.: НКЦ «Академкнига», 2005. – 118 с.
7. Еремина Т.В. Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. – 215 с.
8. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей // Приложения к представлению знаний в информатике: пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
9. ГОСТ Р 51901.1.2002. Управление надежностью. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
10. Киселев А.П., Власов С.П. К вопросу о критериях электробезопасности // Промышленная энергетика, 1997, №5. – С. 39-43.
11. Смелков Г.И., Пехотиков В.А. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: Энергосервис, 2012. – 288 с.
12. Белов П.Г. Социально-экономические аспекты нормирования техногенного риска / Стандарты и качество, 2007, №1. – С. 24-29.

**Черкасова Нина Ильинична** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (838557) 5-98-75, e-mail: [4ercas@bk.ru](mailto:4ercas@bk.ru).

**Никольский Олег Константинович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

**Семичевский Петр Иванович** – канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина, тел. (499) 976 36 40.

## **ВЫБОР ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Шумарин В.Ф.**

*Россия, г. Орёл, ОРО АЭН РФ*

*Рассмотрена разработка метода, позволяющего минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты для получения информации об остаточном ресурсе электропроводки в зданиях и сооружениях.*

*Working out of the method is considered, allowing to minimise capital and operational expenses for reception of the information on a residual resource of electroconducting in buildings and constructions.*

Электропроводка в зданиях и сооружениях характеризуется такими параметрами, как марка провода, сечение провода, условия в которых она эксплуатируется (влажность, температура, загрязненность окружающей среды), состояние электрооборудования, контактные (скрытых и открытых) соединения.

При этом используют измерительные приборы, например: 3102H EurotestXE 2.5кВ, MI 3121H, MIC-3, MPI-525, MZC-200, ЭКО-200, MI 3100 EurotestEASI, MI 3123, MIC-1000, MRU-105, MZC-300, ЦКО-220, MRP-200 и другие. Каждый из этих приборов в отдельности не обеспечивает получение адекватной информации о действительном состоянии электропроводки, поскольку, например, прибор MPI-525 может контролировать сопротивление изоляции, но не в состоянии контролировать коэффициенты абсорбции и поляризации. Кроме того, упомянутые приборы выдают разнородную информацию о состоянии остаточного ресурса электропроводки, которую трудно интерпретировать и обрабатывать.

Для обоснования выбора параметров для инструментального контроля остаточного ресурса электропроводки в зданиях и сооружениях нами исследованы контролируемые параметры, которые необходимо учитывать и не учитывать для контроля остаточного ресурса электропроводки. В результате чего получены сравнительные характеристики приборов для контроля остаточного ресурса электропроводки, часть которых приведена в таблице 1, где знаком «+» помечены функции, которые имеются у соответствующих приборов.

Решение упомянутой проблемы видится в использовании пакета FuzzyLogic программы Matlab [1]. В частности, нами разработана система нечеткой логики для оптимального выбора приборов, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

Алгоритм выбора приборов заключается в первоначальном выборе прибора, имеющего наиболее высокий рейтинг (прибор MZC-200), (таблица 1). Далее анализируют следующий прибор с меньшим рейтингом и сравнивают его с уже выбранным прибором MZC-200. При выборе второго прибора учитывают те его функции, которых нет у уже выбранного прибора MZC-200. По аналогии выбирают остальные приборы, пока не будут выявлены все функции (таблица 1), которые необходимо учитывать при контроле остаточного ресурса электропроводки.

На основе полученных рейтингов приборов (таблица 1) с использованием пакета FuzzyLogic программы Matlab с учетом предложенного нами алгоритма выбора приборов выявлено три прибора, наиболее полно отвечающих задаче исследования. Ими являются приборы MZC-200, MPI-525, MIC-1000. Суммарная стоимость выбранных приборов составляет 136 430 руб.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика приборов для контроля остаточного ресурса электропроводки

Функции приборов	Приборы для контроля остаточного ресурса электропроводки					
	3102H EurotestXE 2.5кВ	MI 3121 H	MIC-3	MPI-525	MZC-200	ЭКО-200
Измерение целостности цепей испытательным током 7 мА или 200 мА		+	+	+	+	
Автоматическое распознавание и выбор фазного или междуфазного напряжения при вычислении ожидаемого тока короткого замыкания					+	
Проверка параметров УЗО	+			+		
Измерение полного сопротивления линии и контура	+			+		
Измерение сопротивления заземляющих устройств				+	+	
Вычисление коэффициента абсорбции (увлажненности изоляции)	+					
Вычисление коэффициента поляризации (степени старения изоляции)	+					
Измерение сопротивления цепей "фаза-нуль" и "фаза-фаза" (полное, активное и реактивное)				+		+
Измерение сопротивления контактных соединений			+	+	+	
Измерение сопротивления цепи "фаза-защитный проводник РЕ", не приводящее к срабатыванию УЗО				+		+
Цена, руб.	58 000	25 300	18 980	96 280	12 450	17 000
Отношение цены/кол-во имеющихся параметров, руб./шт. (значение на выходе нормализатора)	19333,333(16,1475)	12650(29,5799)	6326,66(42,2889)	12035(30,8160)	2490(50)	8500(37,9208)
Рейтинг прибора, полученный с помощью системы нечеткой логики	32	51	64	65	84	39

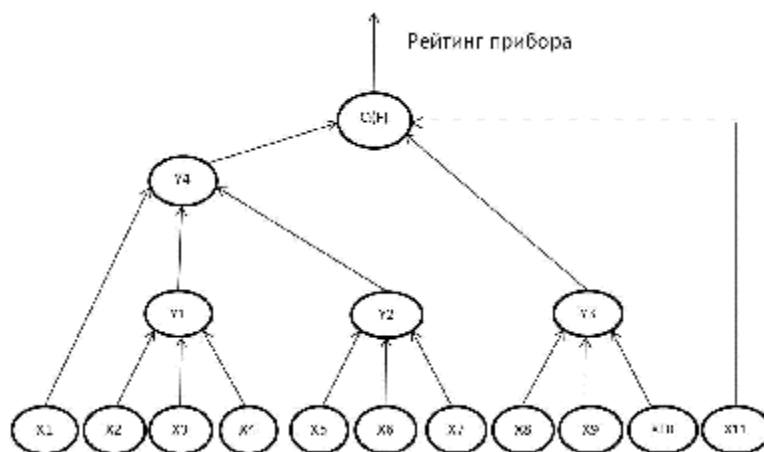


Рисунок 1 – Структурная схема нечеткой логики для оптимального выбора приборов, используемых при контроле остаточного ресурса электропроводки



В таблице 2 приведены влияющие факторы к рисунку 1.

Таблица 2 – Совокупность влияющих факторов к рисунку 1

Обозначение фактора	Описание фактора
X1	Измерение целостности цепей испытательным током 7 мА
X2	Измерение целостности цепей испытательным током 200 мА
X3	Автоматическое распознавание и выбор фазного или междуфазного напряжения при вычислении ожидаемого тока короткого замыкания
X4	Проверка параметров УЗО
X5	Измерение полного сопротивления линии и контура
X6	Измерение сопротивления заземляющих устройств
X7	Вычисление коэффициента абсорбции (увлажненности изоляции) и коэффициента поляризации (степени старения изоляции)
X8	Измерение сопротивления цепей "фаза-нуль" и "фаза-фаза" (полное, активное и реактивное)
X9	Измерение сопротивления контактных соединений
X10	Измерение сопротивления цепи "фаза- защитный проводник РЕ", не приводящее к срабатыванию УЗО
X11	Цена, руб
Y1, Y2, Y3, Y4	Укрупненные влияющие факторы (логические свертки)
Q	Корень дерева - конкурентоспособность прибора

Выводы:

- Предложена методика для выявления оптимальных средств измерения остаточного ресурса электропроводки на основе пакета Fuzzy Logic программы Matlab.
- Реализация предложенного технического решения позволит минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты для получения информации об остаточном ресурсе электропроводки в зданиях и сооружениях.

#### Список литературы

1. Штовба С.Д., Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/15.pdf> - Загл. с экрана.

**Воробьев Николай Павлович**, д-р техн. наук, доцент, кафедра «Электрификация производства и быта», профессор Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Тел. служ. (385-2) 36-71-29, тел. моб. 8-961-999-93-04, [vnprol51p@ya.ru](mailto:vnprol51p@ya.ru).

**Гончаренко Георгий Александрович**, аспирант каф. электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. (83852) 36-71-29.

**Шумарин Валерий Федорович**, доктор электротехники, директор ОРО АЭН Российской Федерации.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ЗДАНИЙ

**Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Рыжикова Е.Ю.**

*Россия, г. Орёл, ГУ «ОрёлРЦЭ»*

*Рассмотрена разработка метода оценки риска от аварий в электропроводах зданий и сооружений на основе экспертного заключения и технического (инструментального) обследования каждого здания.*

*Working out of a method of an estimation of risk from failures in electroconductings of buildings and constructions on the basis of the expert judgement and technical (tool) inspection of each building is considered.*

Надежность функционирования электропроводки в зданиях и сооружениях в значительной степени зависит от ее технического состояния. В процессе эксплуатации в результате воздействия различных факторов, режимов и условий работы исходное техническое состояние электропроводки непрерывно ухудшается, возрастает вероятность возникновения замыканий и пожаров. Статистические данные по пожарам свидетельствуют о том, что одной из основных причин их возникновения являются неисправности электропроводки. При этом возникает необходимость оценки рисков опасности от состояния электропроводки зданий. Работ, посвященных методам оценки рисков опасности от состояния электропроводки зданий, нами не обнаружено. Известен алгоритм оценки рисков в системах электроснабжения городов по работе [1], который является чрезвычайно трудоемким, занимает много времени и сил и для реальных систем электроснабжения зданий и сооружений практически не реализуем. Таким образом, необходимо разработка менее трудоемкой методики.

Нами предлагается следующая последовательность действий при оценке рисков опасности от состояния электропроводки зданий.

Например, в 2002 году в России из-за неправильной эксплуатации электротехнических изделий:

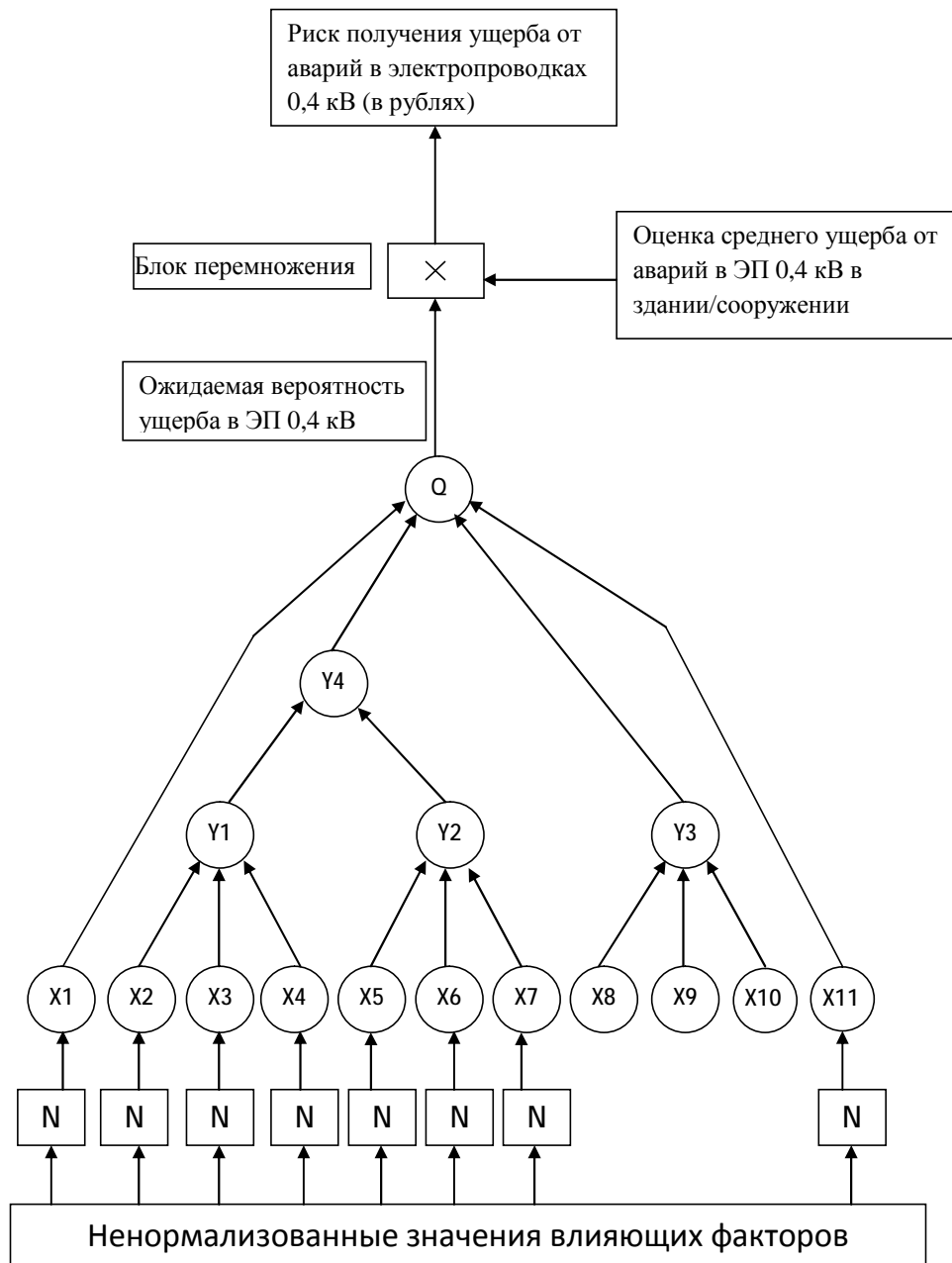
- было 50220 пожаров (19,3% от общего количества пожаров), из них, 30911 пожаров из-за электропроводных изделий (кабель-провод);
- материальный ущерб из-за нарушений ПУЭ электрооборудования составил свыше 1 миллиарда 23 миллионов рублей, в том числе из-за электротехнических изделий 982 миллиона рублей (28,3% от общего ущерба при пожарах);
- погибло 2795 человек (14% от числа всех погибших при пожарах);
- травмировано 2018 человек (13,9% от общего числа людей, получивших травмы при пожарах). [2]

Необходимо отметить, что приведенный материальный ущерб является прямым, то есть учитывает только стоимость сгоревших кабелей, помещений, имущества и не учитывает косвенный ущерб от недовыпущенной продукции, перерывы электроснабжения, недоотпуск электроэнергии, выплаты семьям погибших и расходы на лечение травмированных людей. Эти потери очень часто существенно (в 5–8 раз) превышают прямой ущерб. [3]

Взяв за основу данные 2002 года, можно вычислить средний ущерб от одного пожара, разделив причиненный от пожаров ущерб на количество пожаров:  $1023000000 \text{ руб.} / 50220 = 20370 \text{ руб.}$

На рисунке 1 представлена, предложенная нами структурная схема оценки риска в электропроводке 0,4 кВ в зданиях и сооружениях. Функционально она состоит из системы нечеткой логики для определения ожидаемой вероятности ущерба

в электропроводке 0,4 кВ, реализованной в FuzzyLogic пакета Matlab, в которую входят блоки N; X1-X11; Y1; Y2; Q.



**Рисунок 1 – Структурная схема оценки риска в электропроводке 0,4 кВ в зданиях и сооружениях**

N – нормализатор; X1 - вычисление ожидаемого тока короткого замыкания (при автоматическом распознавании и выборе фазного или междуфазного напряжения); X2 - измерение целостности цепей, используя испытательный ток 7 или 200 мА; X3 - измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза"; X4 - измерение сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ"; X5 - коэффициент значимости суммарного сопротивления контактов в общем суммарном сопротивлении линии;

X6 - измерение сопротивления соединений заземлителей с заземляемыми элементами и устройствами выравнивания потенциалов; X7 - измерение сопротивления контактных соединений; X8 - проверка параметров устройства защитного отключения; X9 - качество изоляции по показателю коэффициента поляризации; X10 - качество изоляции по коэффициенту абсорбции; X11 - интегральное функциональное состояние электропроводки; Y1, Y2, Y3 - промежуточные корни дерева; Q - корень дерева –

ожидаемая вероятность ущерба в электропроводке 0,4 кВ; X11 - интегральное функциональное состояние электропроводки основано на функционально-конструкционной декомпозиции и агрегировании состояния элементов электрической проводки [4], то есть на результатах ее визуального осмотра.

Нами предложено вычислять коэффициент значимости (X5 по рисунку 1) суммарного сопротивления контактов в общем суммарном сопротивлении линии по формуле:

$$k_{\text{знач}} = \frac{\sum R_{\text{кон}}}{\sum R_{\text{лин}} + \sum R_{\text{кон}}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{кон}}$  – сопротивление отдельного контактного соединения в линии,  
 $R_{\text{лин}}$  – сопротивление одного участка линии.

В блоке Q формируется ожидаемая вероятность ущерба в электропроводке 0,4 кВ в интервале от 0 до 2 (стандартный интервал от 0 до 1 приводится нами к интервалу от 0 до 2 с целью оценки рисков опасности от состояния электропроводки зданий в диапазоне +/- 100% от среднего ущерба от аварий в электропроводке 0,4 кВ, а при вероятности, равной единице, обеспечивается получение среднего ущерба от аварий в электропроводке 0,4 кВ).

В структурную схему оценки риска по рисунку 1 также входит блок оценки среднего ущерба от аварий в электропроводке 0,4 кВ, блок перемножения, на выходе блока перемножения получается риск получения ущерба от аварий в электропроводках 0,4 кВ (в рублях).

Таким образом, предложен концептуально новый метод оценки риска от аварий в электропроводках 0,4 кВ, позволяющий определить риски в конкретном здании и сооружении на основе экспертного заключения и технического (инструментального) обследования каждого здания.

#### Список литературы

1. Мусин А.Х. Количественная оценка риска электроснабжения городов / А.Х. Мусин, С.А. Худорожко - Проблемы энергетики 2012, № 1-2. – С. 95-101.
2. Грамотная эксплуатация электропроводки на объектах и предотвращение ущербов. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: [http://neoncomp.ru/text\\_view.php?id=1](http://neoncomp.ru/text_view.php?id=1) - Загл. с экрана.
3. Проблемы обеспечения пожарной безопасности кабельных потоков. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: [http://www.kp-info.ru/images/File/2005\\_2\\_08-14.pdf](http://www.kp-info.ru/images/File/2005_2_08-14.pdf) - Загл. с экрана.
4. Черкасова Н.И. Способ диагностики электропроводок зданий / Н.И. Черкасова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2012. – Вып. 11. - С. 171-176.

**Воробьев Николай Павлович**, д-р техн. наук, доцент, кафедра «Электрификация производства и быта», профессор Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Тел. служ. (385-2) 36-71-29, тел. моб. 8-961-999-93-04, [vnprol51p@ya.ru](mailto:vnprol51p@ya.ru).

**Гончаренко Георгий Александрович**, аспирант каф. электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. (83852) 36-71-29.

**Рыжикова Елена Юрьевна**, специалист ГУ «ОрёлРЦЭ», тел. 8 (4862) 419830.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ -  
СПОСОБ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.  
ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ  
В ОАО «ОРЁЛОБЛЭНЕРГО»**

**Тимохин В. А.**

*Россия, Орёл, ОАО «Орёлблэнерго»*

*Продление срока эксплуатации электроэнергетического оборудования со 100% износом, в соответствии со стандартом организации: «Методические указания по проведению периодического технического освидетельствования объектов электросетевого хозяйства ОАО «Орёлблэнерго».*

*Extending the life of the electric power equipment with 100% depreciation in accordance with the organization «Guidelines for the conduct of periodic technical inspection of the transmission facilities of «Oreoblenergo».*

В соответствии с требованиями пункта 1.5.2 «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (ПТЭ) все технологические системы, оборудование, здания и сооружения, в том числе гидросооружения, входящие в состав энергообъекта, должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию. Техническое освидетельствование технологических схем и электрооборудования проводится по истечении установленного нормативно-технической документацией срока службы, причем при проведении каждого освидетельствования в зависимости от состояния оборудования намечается срок проведения последующего освидетельствования.

Техническое освидетельствование проводится также в соответствии со стандартом организации СТО 03512522- 002- 2012 «Методические указания по проведению периодического технического освидетельствования объектов электросетевого хозяйства ОАО «Орёлблэнерго», разработанного специалистами общества.

1. Цели и задачи освидетельствования и периодичность его проведения.

1.1. Задачами освидетельствования являются оценка состояния основного электрооборудования линий электропередач (ЛЭП), распределительных пунктов (РП), трансформаторных подстанций (ТП) и определение мер, необходимых для обеспечения установленного ресурса, сохранения работоспособного состояния объекта, требуемой эксплуатационной надежности каждой технологической схемы в целом.

1.2. Освидетельствование технологической схемы проводится для осуществления независимой всесторонней экспертной оценки текущего состояния её элементов (объектов): линий электропередач, распределительных пунктов, трансформаторных подстанций, уточнения сроков и условий эксплуатации, а также определения необходимых мер (дополнительного диагностического контроля, ремонта, модернизации, реконструкции или замены оборудования, участков сети) для обеспечения безаварийного и безопасного выполнения технологических функций, возлагаемых на сетевую организацию.

1.3. Освидетельствование проводится по истечении установленного заводской (или другой нормативно-технической) документацией срока службы для основного электрооборудования и ЛЭП, но не позднее 25 лет с момента ввода объекта в эксплуатацию, если нет данных завода-изготовителя о сроке службы.

1.4. Последующие освидетельствования должны проводиться с периодичностью не реже чем через 5 лет. Конкретный срок освидетельствования технологической схемы (или объекта технологической схемы) устанавливается руководством энергообъекта и может быть обусловлен также выходом из строя отдельных видов оборудования или ухудшением его технического состояния.

2. Техническому освидетельствованию подлежат.

2.1. При освидетельствовании технологических схем рассматриваются следующие функционально-технологические группы объектов электросетей:

- распределительные устройства 6, 10 кВ (РУ 6 кВ, РУ 10 кВ) распределительных пунктов;

- распределительные устройства 6, 10 кВ (РУ 6 кВ, РУ 10 кВ) трансформаторных подстанций;

- силовые трансформаторы трансформаторных подстанций 6, 10/0,4 кВ (мощностью до 630 кВА);

- распределительные устройства 0,4 кВ (РУ 0,4 кВ) трансформаторных подстанций;

- кабельные ЛЭП 6, 10 кВ;

- воздушные ЛЭП 6, 10 кВ;

- кабельные ЛЭП 0,4 кВ;

- воздушные ЛЭП 0,

3. Организация проведения технического освидетельствования.

3.1. Принятие решения о проведении освидетельствования возлагается на главного инженера.

3.2. Освидетельствование должно проводиться экспертной комиссией, возглавляемой главным инженером, который утверждает сроки и перечень подлежащего освидетельствованию оборудования, состав комиссии.

3.3. Приказом по ОАО «Орёлоблэнерго» устанавливаются состав комиссии о проведении освидетельствования, период проведения освидетельствования, а также перечень служб и организаций, которым направляются результаты технического освидетельствования.

3.4. В состав действующей на основании приказа комиссии включаются:

- руководитель структурного подразделения, главный инженер филиала, за которым закреплен рассматриваемый объект;

- представитель ПТО;

- начальник производственной лаборатории по испытаниям и измерениям;

- специалисты (эксперты) специализированных организаций;

- представитель Ростехнадзора;

3.5. Участие в работе комиссии по освидетельствованию лиц, ответственных за эксплуатационное состояние и безопасную работу оборудования, подлежащего освидетельствованию, обязательно.

3.6. Эксперты, включаемые в комиссию по освидетельствованию, должны быть сотрудниками организаций, специализирующихся по диагностике, оценке технического состояния, ресурса оборудования, которое подлежит освидетельствованию.

3.7. По регламенту методических указаний процедура освидетельствования объектов не предусматривает в период работы комиссии обязательного проведения испытаний, внутренних осмотров оборудования и регламентных работ, влекущих за собой вывод оборудования, ослабление схем и ограничение в электроснабжении потребителей. Для подготовки Заключения комиссии должно быть достаточным анализа материалов, предусмотренных нормативными документами при эксплуатации объектов электросетей, специально подготовленных к заседанию комиссии. При недостаточности сведений, отражающих техническое состояние электрооборудования, сетей, комиссия может назначить проведение испытаний, осмотров и др.

3.8. Материалы, необходимые для комиссии по освидетельствованию объектов, готовятся в соответствующих службах, филиалах и передаются в производственно-технический отдел (ПТО).

3.9. Конкретные действия комиссии по освидетельствованию осуществляются по составленной программе технического освидетельствования, которая определяет

методику освидетельствования, более подробный порядок взаимодействия исполнителей и последовательность проведения предусмотренных ПТЭ следующих работ:

- подготовка материалов предварительного освидетельствования технического состояния объекта;
- анализ экспертами комиссии полноты и достоверности подготовленной информации;
- рассмотрение материалов, проанализированных экспертами, на заседании комиссии;
- проверка комиссией выполнения предписаний надзорных органов и мероприятий, намеченных по результатам расследования нарушений работы оборудования за весь период;
- эксплуатации, имевших место несчастных случаев, а также указаний, предыдущего технического освидетельствования объекта;
- утверждение комиссией технических заключений;
- составление и утверждение протокола-заключения технического освидетельствования объекта.

3.10. После подписания членами комиссии протокола-заключения один экземпляр направляется в территориальный орган Ростехнадзора на рассмотрение. По результатам рассмотрения Ростехнадзор письмом направляет согласование или замечания, после устранения которых согласовывает данный протокол.

3.11. Согласованный территориальным органом Ростехнадзора протокол-заключение утверждается главным инженером и является основанием для продления срока эксплуатации объектов технологической схемы.

3.12. Все документы по результатам технического освидетельствования хранятся в ПТО. Допускается хранение электронной версии документов за исключением первых экземпляров технических заключений и протокола-заключения.

4. Оформлению заключения и актов по результатам технического освидетельствования.

4.1. Заключение по результатам технического освидетельствования подготавливается сотрудниками привлечённой организации, специализирующихся по диагностике, оценке технического состояния электросетевых объектов, ресурса оборудования и ЛЭП. Заключение должно быть оформлено в виде сброшюрованного пакета документов с соответствующими подписями исполнителей и руководителя специализированной организации, и печатями.

4.2. В Заключении должно быть указаны и приложены:

- технические данные и место расположения объекта;
- содержание (объём) технического освидетельствования;
- сведения о документах, результаты визуального обследования;
- перечень средств измерений и результаты инструментального обследования;
- ведомость дефектов и условия дальнейшей эксплуатации;
- заключение по результатам технического освидетельствования объекта;
- протоколы испытаний, измерений;
- корректирующие мероприятия.

4.3. В Акте технического освидетельствования должны быть указаны:

- диспетчерское наименование (обозначение) и место расположения объекта;
- состав комиссии;
- перечень электрооборудования и других составных частей объекта;
- дата проведения освидетельствования;
- перечень представленной к рассмотрению документации (включая технический отчёт специализированной организации по обследованию здания);
- заключение по дальнейшей эксплуатации объекта (электроустановки);

- подписи всех членов комиссии.

В ОАО «Орёлоблэнерго» в соответствии с графиком проведения технического освидетельствования за период 2012 г. - 1 полугодие 2013 г. проведено техническое освидетельствование и продлен срок эксплуатации 186 объектам электросетевого хозяйства на 5 лет.

#### Список литературы

1. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.

2. СТО 03512522-002-2012. Методические указания по проведению периодического технического освидетельствования объектов электросетевого хозяйства ОАО «Орёлоблэнерго».

3. РДПр 34-38-030-92. Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей.

4. Методические рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и линейных сооружений коммунальных распределительных электрических сетей. Выпуск 1. Техническое обслуживание и ремонт трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ.

5. СО 34.20.662-98 (РД 153-34.3-20.662-98). Типовая инструкция по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи напряжением 0,38-20 кВ с неизолированными проводами.

6. РД 34.20.583-91 (М.: СПО ОРГРЭС, 1993) "Методическим указаниям по комплексной качественной оценке технического состояния распределительных сетей напряжением 0,38-20 кВ с воздушными линиями электропередачи".

7. СТО 56947007-29.200.10.011-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Общие технические требования. УДК 621.315.1

**Тимохин Вячеслав Александрович**, Главный инженер ОАО «Орёлоблэнерго», доктор электротехники, заслуженный энергетик Российской Федерации, [timohin-va@oreloblenergo.ru](mailto:timohin-va@oreloblenergo.ru); тел.8(4862) 55-08-04.

УДК УДК 696.6.001.5:004.42

### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ г. ОРЛА

**Комаристый А.С.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»*

**Шумарин В.Ф.**

*Россия, г. Орёл, Орловское региональное отделение АЭН РФ*

*В статье дан сравнительный анализ существующих систем теплоснабжения г. Орла, показаны преимущества и недостатки, а также рассмотрены оптимальные технические решения их развития.*

*In the article the comparative analysis of existing heating systems, eagle, show the advantages and disadvantages, as well as the best technical solutions for their development.*

В настоящее время реализуются следующие направления развития теплоснабжения г. Орла: централизованное; локально-централизованное; децентрализованное от автономных котельных (крышных) и поквартирное отопление.

Кратко рассмотрим каждое из указанных направлений.

Централизованное теплоснабжение от Орловской ТЭЦ обеспечивает ООО «Орловская теплосетевая компания» в следующих пропорциях:



- предприятия – 7%;
- население – 63%;
- объекты социального назначения – 25%;
- прочие потребители – 5%.

Основным потребителем является ООО «Орёлтеплогаз», которое распределяет, преобразует тепловую энергию и обеспечивает ее подачу по распределительным сетям до конечных потребителей.

Объем потребления ООО «Орёлтеплогаз» от общего объема отпускаемой ООО «Орловская теплосетевая компания» тепловой энергии составляет в среднем 94%.

Основным преимуществом централизованного теплоснабжения от ООО «Орловская теплосетевая компания» является самая низкая себестоимость 1 Гкал. вырабатываемой тепловой энергии в городе Орле. В качестве недостатка следует отметить, что ранее ООО «Орловская теплосетевая компания» работала по температурному графику  $130^{\circ}\div 70^{\circ}\text{C}$ , сейчас по графику  $110^{\circ}\div 70^{\circ}\text{C}$ , а по факту в тепловых сетях –  $95^{\circ}\div 70^{\circ}\text{C}$ , т.е. температурные режимы в отапливаемых зданиях и в тепловых сетях совпадают, что снижает эффективность работы элеваторных узлов, которые в этом случае выполняют лишь функцию дросселирования потока теплоносителя.

Поскольку элеваторными узлами оборудованы практически все здания и сооружения, как объекты теплопотребления, то сопла, установленные еще в период действия температурного графика  $130^{\circ}\div 70^{\circ}\text{C}$ , существенно меняют картину гидравлического режима и делают ее хаотичной. Это обстоятельство является одной из причин неудовлетворительного теплоснабжения ряда потребителей, получающих тепловую энергию от Орловской ТЭЦ. Кроме этого разрегулированность гидравлического режима в магистральных тепловых сетях является основной причиной дефицита тепловой энергии в Советском районе г. Орла подаваемой по тепловой магистрали 2 (ТМ 2). Причиной растущего дефицита тепловой энергии является также внеплановое присоединение к тепловым магистралям вновь возводимых жилых домов, точечной застройки.

Существует ряд проблем централизованного теплоснабжения потребителей от ООО «Орловская теплосетевая компания», которые можно сформулировать следующим образом:

1. Большие организационно-технические сложности наладки температурно-гидравлического режима и в ее проведение.
2. Дефицит тепловой энергии в магистрали ТМ 2.
3. Необходимость высоких затрат на устранение дефицита тепловой энергии.
4. Высокие потери тепловой энергии в магистральных сетях, вызванные установкой циркуляционных насосов у потребителей, а также дополнительное присоединение новых потребителей к существующим магистральным сетям.

Локальные системы централизованного теплоснабжения. На долю центральных котельных ООО «Орёлтеплогаз» приходится 37% вырабатываемой тепловой энергии.

Преимуществами теплоснабжения от центральных котельных являются:

1. Относительно низкие потери тепла при его транспортировке по тепловым сетям.
2. Сравнительно малый цикл транспортировки, что позволяет более эффективно управлять температурными режимами подачи тепловой энергии и выдерживать температурный график.
3. Широкий диапазон регулирования тепловой мощности и возможность работать с наивысшим КПД котлов максимально возможное время.
4. Потенциально более высокая надежность теплоснабжения из-за меньшего числа потребителей и протяженности тепловых сетей, со значительно меньшей материальной характеристикой.

5. Возможность применения оборудования, позволяющего поддерживать оптимальные значения нормативных энергетических характеристик.

6. Приближение энергоисточника к потребителю, позволяющее оперативно решать возникающие проблемы в теплоснабжении.

7. Потенциальная возможность осуществлять выработку тепловой энергии по «безлюдной» технологии, тем самым снижать её себестоимость (автоматизация и диспетчеризация котельных)

8. Оперативная локализация и ликвидация аварийных ситуаций на тепловых сетях.

9. Значительное снижение капитальных затрат при прокладке новых тепловых сетей.

10. Меньшие трудозатраты при проведении на тепловых сетях наладочных и регулировочных мероприятий.

К недостаткам локальных систем централизованного теплоснабжения относится более высокая, в сравнении с ООО «Орловская теплосетевая компания», себестоимость вырабатываемой 1 Гкал тепловой энергии.

К децентрализованным (автономным) системам относятся системы теплоснабжения от автономных источников, в т. ч. от крышных котельных и систем поквартирного теплоснабжения.

Преимущества автономных котельных являются: отсутствие внешних тепловых сетей и потерь в них, а также низкие эксплуатационные расходы.

К недостаткам можно отнести:

1. Потенциальная угроза жизни и здоровью граждан, за счет размещения промышленно-опасного объекта в жилом доме.

2. Необходимость периодической замены выработавшего свой ресурс основного оборудования котельных за счет средств жильцов.

3. Увеличение числа точек выброса продуктов сгорания, в сравнении с системой централизованного теплоснабжения.

4. Снижение эффективности использования топлива при несении сопоставимой с централизованным теплоснабжением нагрузкой.

Все перечисленные выше системы теплоснабжения должны соответствовать следующим критериям: безопасность; надежность и эффективность.

С учетом такой приоритетности, на наш взгляд, наиболее оптимальной и перспективной для г. Орла является локальная система центрального теплоснабжения.

**Комаристый Александр Семенович** - канд. эк. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК, тел. 8 (4862) 41 98 30

**Шумарин Валерий Федорович** - доктор электротехники, директор Орловского регионального отделения АЭН РФ, тел. 8 910 748 13 75.

## **СЕКЦИЯ № 2. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ**

Руководитель:

**Гамазин Станислав Иванович**, доктор технических наук, профессор  
кафедры ЭПП, НИУ «МЭИ».

---

УДК: 621.3

### **АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩАЮЩИХ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Шпиганович А.Н., Пушница К.А.**  
Россия, г. Липецк, ФГБОУ ВПО ЛГТУ

*В статье рассмотрено электрооборудование, вызывающее гармонические возмущения в системах электроснабжения. Проведена оценка таких возмущений.*

*The article describes the electrical equipment, causing harmonic disturbances in the power supply systems. The assessment of such disturbances is carried out.*

Любая система электроснабжения состоит из множества элементов. Общепринятым подходом к анализу таких систем является их отображение математическими моделями, построенными на основе схем замещения. Для этого каждая единица электрооборудования системы представляется в виде отдельных элементов таких, как источники тока, напряжения, индуктивностей и емкостей, которые вызывают генерацию возмущающих факторов. Электрические печи, установки дуговой и контактной сварки, термическое оборудование, ртутно-кварцевые лампы, как правило представляются в виде источников тока; силовые трансформаторы и электрические двигатели – соответствующими комбинациями активных и реактивных сопротивлений и т.д. При таком подходе элементы электрических систем, в зависимости от их схем замещения, можно подразделить на группы. К первой группе относится электрическое оборудование, схемы замещения которого в номинальных режимах функционирования состоят из пассивных элементов. Это нагревательные установки, лампы накаливания, пусковые реостаты синхронных и асинхронных двигателей, двигатели постоянного тока. Данная группа оборудования не вызывает возмущающих факторов в электрической системе. Оборудование этой группы уменьшает величину амплитуды возмущающих факторов. Переменная нагрузка рабочих машин, токи короткого замыкания, протекающие в аварийных режимах через обмотки реакторов, трансформаторов, асинхронных и синхронных двигателей изменяют вид схем замещения. В результате, наряду с пассивными элементами, в состав схем замещения следует вводить и активные элементы. В отличие от электрического оборудования первой группы, схемы замещения электрического оборудования второй группы независимо от режима работы всегда содержат активные элементы. Ко второй группе можно отнести такое оборудование, как электродуговые печи, сварочные трансформаторы, термическое и электролизное оборудование. Отличительная особенность данной группы состоит в способности оказывать влияние на характер взаимосвязей, возникающих между оборудованием систем. В электрических системах от возмущающих факторов ухудшается качество электрической энергии. Увеличиваются коэффициент несинусоидальности напряжения,

отклонение (колебание) напряжения и частоты. Величина добавочных потерь становится больше, происходит перераспределение реактивной мощности в системе, уровень надежности электрического оборудования снижается.

Оборудование систем взаимосвязано друг с другом. В процессе его функционирования осуществляется суммирование, вычитание, деление возмущающих факторов. Характер преобразований возмущающих факторов зависит от места расположения электрического оборудования в системе и от структуры системы. Поэтому качество электроэнергии в различных точках системы электроснабжения неодинаково. Усугубляет сложность решения таких задач не только иерархичность расположения элементов в системе, но и тот факт, что в зависимости от режима работы электрооборудования его схемы замещения изменяются. В то же время, если проанализировать вид схем замещения, то совсем не однотипное по назначению оборудование может представляться одинаковыми по виду схемами замещения. Так, силовые трансформаторы могут быть представлены в виде последовательного и параллельного соединений активных и индуктивных сопротивлений. Аналогичный вид схем замещения имеют реакторы. Линии электропередачи отображаются в виде смешанного соединения элементов. Асинхронные электродвигатели представляются Т и П схемами замещения. В отношении вида соединения элементов в схемах замещения их можно подразделить на комбинации последовательного, параллельного и смешанного соединения элементов.

Величиной взаимодействия электрического оборудования друг с другом можно управлять. Для этой цели применимы любые элементы. Даже резисторы, в зависимости от места их включения в системе, могут вызывать перераспределение возмущающих факторов. Введение в систему индуктивностей и емкостей вызывает изменение характера возмущающих воздействий. От их использования в системе возникают переходные процессы. Происходит это из-за того, что магнитное поле индуктивности не может измениться скачком, а для емкости не может измениться скачком электрическое поле. Наличие в системе таких элементов вызывает резонансные явления и изменяет фазу напряжения и тока. В результате видоизменяется характер и величина возмущающих факторов. Осложняют процессы взаимодействия элементов систем индуктивности с ферромагнитными сердечниками. С одной стороны, они уменьшают возмущающее воздействие, а с другой стороны – способствуют их появлению. Иногда индуктивности с ферромагнитными сердечниками усиливают возмущающие факторы вследствие дополнительной нелинейности, вызванной магнитопроводами.

Значительное воздействие на элементы системы электроснабжения оказывают тиристорные преобразователи. Они являются основными элементами, способствующими возникновению в системе высших гармонических составляющих. В то же время их применение позволило существенно увеличить экономическую и технологическую эффективность производства. Высокая надежность и производительность тиристорных преобразователей сделали возможным их использование на предприятиях различных отраслей промышленности как основного элемента регулируемого электропривода. Принцип функционирования тиристорного преобразователя основан на существенной нелинейности между его входными и выходными параметрами. Объясняется это тем, что регулирование величины выходного напряжения преобразователя осуществляется за счет изменения моментов времени открытия тиристорov. Даже при работе преобразователя на активную нагрузку возникает разность фаз между кривыми напряжения и тока. Если разложить кривую напряжения на зажимах преобразователя в ряд Фурье, то она отобразится в виде совокупности синусовид различной частоты. Преобразователь служит возмущителем реактивной мощности. Мощность является функцией угла управления тиристорами, что увеличивает величину несинусоидальности напряжения сети. Значительные воздействия на кривые напряжения и тока в установках

электросварки, газоразрядных источниках света, электролизом электрооборудовании способствуют возникновению возмущающих факторов. Силовые трансформаторы, асинхронные и синхронные электрические двигатели в силу конструктивных особенностей магнитной цепи создают относительно низкий уровень высших гармонических составляющих.

До широкого использования в промышленных условиях тиристорных приводов вопросы взаимосвязи между электрическим оборудованием в системах электроснабжения не стояли так актуально. Значительный уровень высших гармонических составляющих сказался на физико-химических процессах изоляции, вызывая ее старение. Это привело к увеличению числа отказов электрического оборудования, возрастанию затрат на его восстановление.

Чтобы провести компенсацию возмущающих факторов, оценить воздействия, возникающие между электрическим оборудованием, определить эффективные методы борьбы, связанные с уменьшением влияния оборудования различных систем друг на друга, необходимо знать, какие возмущения соответствуют каждому элементу электрической системы в зависимости от места его установки и характера работы.

Вопросы возмущающих факторов для систем и технологических комплексов в последнее время приобретают все большее значение. В технической литературе они остались без должного внимания. В то же время, используя результаты литературных источников, оценку будем проводить, начиная с оборудования, вносящего в систему наибольшие возмущения. Основным таким оборудованием, по нашему представлению, служат для электрических систем тиристорные преобразователи. Известно большое количество всевозможных схем преобразователей. Однако для электроустановок большой и средней мощности наибольшее распространение получила трехфазная мостовая схема Ларионова и шестифазная нулевая схема с уравнительным реактором. Несмотря на то, что число вариантов схем управления велико, схемы замещения, характеризующие процесс генерации возмущающих воздействий в сеть, сходны. Разложение кривой первичного тока тиристорного преобразователя на гармонические составляющие показывает, что помимо основной гармоники ток содержит ряд других гармоник, номера которых определяются согласно выражению

$$\gamma = kp \pm 1, \quad (1)$$

где  $k=1, 2, 3 \dots$  - последовательный ряд чисел;  $p$  – число фаз выпрямления.

В соответствии с выражением (1) при 6-и фазной схеме в кривых тока содержатся следующие гармоники: 1; 5; 11; 13, а при 12-и фазной схеме – 1; 11; 13; 15.... Кроме перечисленных гармоник при 12-и фазной схеме имеются также и аномальные гармоники порядков 4; 6; 8;... Причиной их появления является асимметрия углов управления тиристорами, свойственная всем широко распространенным схемам управления. Величины аномальных гармоник по сравнению с гармониками канонических порядков относительно невелики.

Амплитуду  $\gamma$ -ой гармоники можно определить исходя из выражения

$$I_{\gamma m} = \sqrt{I_{\gamma a}^2 + I_{\gamma p}^2}. \quad (2)$$

Здесь соответственно  $I_{\gamma a}$  и  $I_{\gamma p}$  - активная и реактивная составляющие тока.

На второе место относительно возмущений, вносимых электрооборудованием в сеть, следует отнести электродуговые печи. Форма кривой тока электрических печей зависит от режима горения дуги в различные периоды плавки. В начальный период расплавления ток печи колеблется между режимами холостого хода и короткого замыкания. С появлением жидкого металла плавку ведут при короткой дуге, колебание тока становится меньше. Форма кривой тока улучшается и приближается к синусоидальной. Спектр высших гармонических составляющих, возникающих в процессе функционирования печей, можно определить исходя из выражения

$$\gamma = 6k \pm 1, \quad (3)$$

Амплитудные значения тока устанавливаются согласно формуле

$$I_{\gamma} = K_q (\gamma^2)^{-1}. \quad (4)$$

Коэффициент  $K_q$  зависит от отношений амплитуды противоэДС дуги к электродвижущей силе, питающей электродуговую печь, а также от соотношения между индуктивным и активным сопротивлением цепи дуги. Амплитуды 5, 7, 11, 13 гармоник тока, генерируемые электродуговыми печами, относительно невелики. Их эквивалентные действующие значения не превышают 10% относительно тока 1-ой гармоники. Наиболее ощутима в амплитудном спектре 3-я гармоника. В токах электродуговых печей наряду с 5; 7; 11 и 13-ой гармониками содержатся 4-я и 6-я гармоники. Основной причиной их возникновения является непрерывное изменение условий горения дуги печи. Значения аномальных гармоник тока близки к значениям 5-ой и 7-ой гармоник. Эквивалентные значения токов высших гармоник в токе печи за счет аномальных гармоник возрастают в 1,8-2,0 раза.

Следующим элементом, вносящим значительный вклад в образование возмущающих воздействий в системе, являются сварочные трансформаторы с выпрямителями. Токи высших гармоник, генерируемые такими установками, зависят от режимов работы. Выпрямитель может работать в одном из трех режимов: прерывистого тока при малых нагрузках; смешанной двух-трехвентильной коммутации в случае больших токов. Первый режим практического применения не имеет. При функционировании выпрямителя во втором режиме кривые тока содержат нечетные гармоники. Однако из-за наличия разброса в углах зажигания вентилей, которые обусловлены нестабильностью их характеристик, кривые тока кроме нечетных гармоник содержат также и четные гармоники. Для практических расчетов учитывают только 5-ю и 7-ю гармоники как гармоники, вносящие наибольший вклад в образование амплитудного спектра. Амплитудное значение  $v$ -ой гармоники сварочного трансформатора определяется как

$$I_{\gamma} = \frac{S_n K_3 \sqrt{2 \cdot ПВ}}{\gamma U_n}, \quad (5)$$

где  $S_n$  - номинальная мощность трансформатора;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора; ПВ – средняя продолжительность работы сварочного трансформатора за одно включение.

Для совместного независимого режима работы установок дуговой сварки.

$$I_{\text{трг}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2}, \quad (6)$$

где  $n$ - общее число работающих установок;  $I_{vi}$  - амплитудное значение тока  $v$ -ой гармоники  $i$ -й установки.

Элементами, вносящими несущественные возмущения в сеть, являются люминесцентные лампы. Нелинейность вольт-амперной характеристики дугового разряда ламп служит причиной искажения формы кривой тока, потребляемого лампами из сети. В кривой тока содержатся гармоники следующих порядков: 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15... Относительное изменение тока за счет высших гармоник в кривой тока люминесцентных ламп составляет 10%.

В зависимости от режима работы технологических машин возмущателями могут оказаться асинхронные двигатели. Непостоянство нагрузки вызывает изменение их коэффициентов мощности. Происходит это из-за перераспределения активных и реактивных составляющих мощности, потребляемой из сети двигателями. Обычно оценку таких явлений для асинхронных двигателей осуществляют по отклонению (колебанию) напряжения. Чтобы перейти от зависимостей напряжения асинхронных двигателей к токовым характеристикам, поступим следующим образом. Мощность  $P_1$ , развиваемую двигателями, распределим между механической работой и потерями.

Потери состоят из электромагнитных потерь  $\Delta P_{эл1}$ , потерь статорной и роторной обмоток  $\Delta P_{эл2}$  двигателя и магнитных потерь  $\Delta P_{мг}$  сердечника. В результате будем иметь

$$P_{мех} = M\omega = P_1 - \Delta P_{эл1} - \Delta P_{эл2} = mI_2^2 R_2 (1-S)/S \quad (7)$$

где  $M$  – момент, развиваемый двигателем;  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора двигателя;  $I_2$  – ток ротора, приведенный к обмотке статора;  $m$  – число фаз двигателя;  $S$  – скольжение вращающегося ротора относительно вращающегося магнитного поля статора.

Если это так, то в зависимости от нагрузки на валу двигателя потребляемый им ток определится как

$$I = I_{00} + MS\omega[mR(1-S)]^{-1}. \quad (8)$$

Здесь  $I_{00}$  – величина намагничивающего тока, которая устанавливается по каталожным данным; лежит в пределах от 0,50 до 0,65 значения номинального тока  $I_{н}$ .

Элементом, получившим наибольшее распространение в системах электроснабжения промышленных предприятий, является трансформатор. В силу своих конструктивных особенностей он не вызывает существенного изменения тока и напряжения электрической сети.

Данный подход позволяет рассчитать возмущающие факторы, исходя из токовых зависимостей. Чтобы определить результирующее значение возмущающих факторов, вызванных оборудованием, следует использовать метод наложения, широко применяемый в электротехнике. Следует отметить, что всегда можно перейти от высших гармонических составляющих к параметрам качества электрической энергии. Обратный переход от параметров качества электрической энергии к токовым характеристикам ни практически, ни теоретически невозможен. Определяется это тем, что параметры качества электрической энергии являются средними значениями.

**Шпиганович Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Липецкий государственный технический университет, заведующий кафедрой электрооборудования, почтовый адрес: 398600 г. Липецк, ул. Московская, 30, email: [kaf-ee@stu.lipetsk.ru](mailto:kaf-ee@stu.lipetsk.ru), тел.: (4742) 32-80-49.

**Пушница Константин Александрович**, ФГБОУ ВПО Липецкий государственный технический университет, ассистент кафедры электрооборудования, почтовый адрес: 398600 г. Липецк, ул. Московская, 30, email: [kostpa@mail.ru](mailto:kostpa@mail.ru), тел.: (4742) 32-80-49.

УДК: 621.3

## АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Куратто П.В.**  
Россия, г. Липецк, ФГБОУ ВПО ЛГТУ

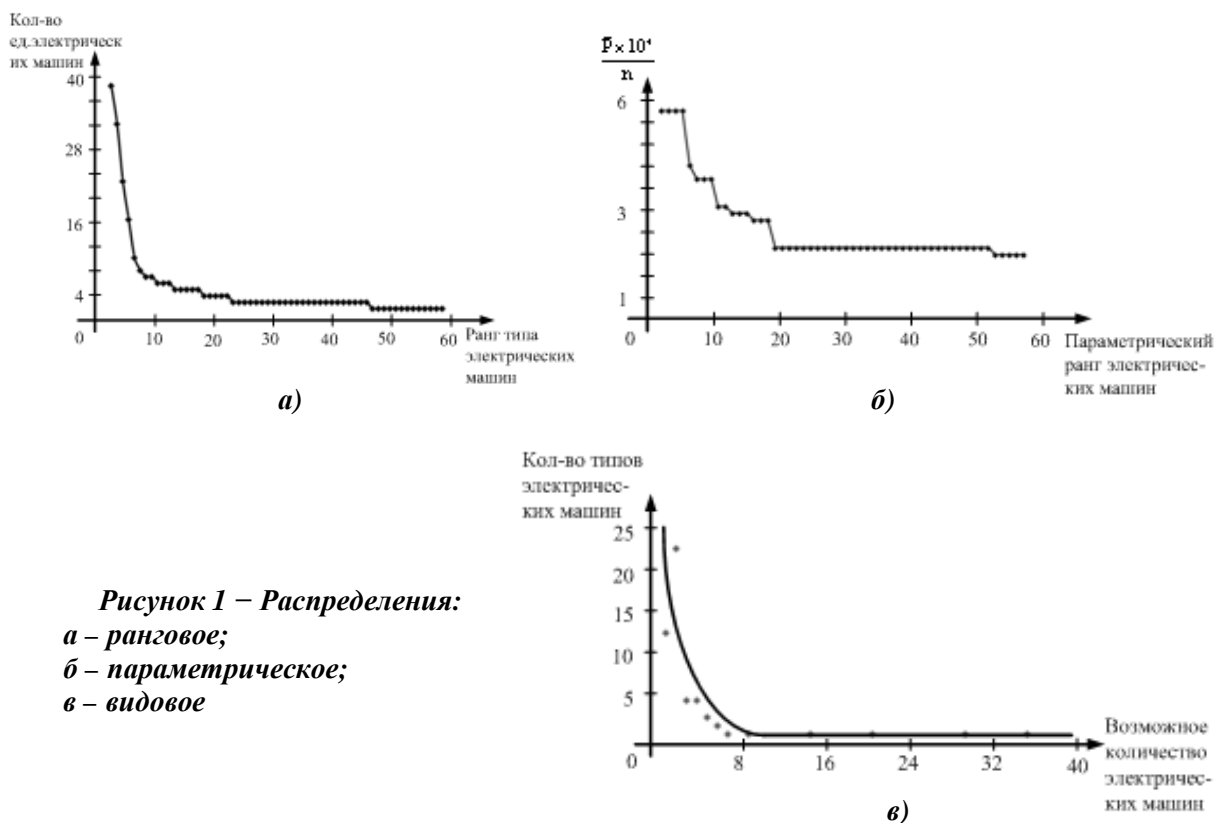
*В статье рассмотрен метод анализа электрических систем промышленных предприятий на основе электроценоза.*

*The paper presents a method of analysis of electrical systems for industrial enterprises based electrocencosis.*

Систему электроснабжения любого промышленного предприятия можно разделить на уровни. В зависимости от технологического процесса число уровней варьируется, чем сложнее производство, тем больше уровней в нем выделяется. Системы электроснабжения промышленных предприятий во многом состоят из схожего в функциональном плане оборудования, но особенности различных

производств требуют индивидуального подхода к каждому конкретному случаю в вопросах повышения эффективности функционирования рассматриваемых систем. Эта проблема является глобальной, и для ее решения целесообразно применять ранговый анализ [1] с использованием теории случайных импульсных потоков. Оценка осуществляется для электрических систем по аналогии с биоценозом и техноценозом, в нашем случае он будет называться электроценоз. Для анализа будет использоваться однотипное оборудование, которое не оказывает взаимного влияния друг на друга, обычно это приемники, расположенные на первом уровне электроснабжения, к которым относятся электрические двигатели, нагревательные устройства, сварочные аппараты и т.д. От правильности функционирования приемников, расположенных на первом уровне во многом зависит выпуск продукции производства. Оборудование второго, третьего и других уровней предназначено для преобразования, распределения электрической энергии внутри системы, а также управления технологическим процессом. Отказ электрооборудования приводит к перебоям электроснабжения и вынужденным остановкам двигателей.

В качестве примера выбрано сталеплавильное производство ОАО «НЛМК». Используя подход ценоза, выявим на какие из двигателей, приходится наибольшее число вынужденных остановок. Состояние системы электроснабжения покажем в графической форме. К основным графикам относятся ранговое видовое распределение, ранговое параметрическое распределение и видовое распределение. Для рассматриваемого случая они представлены на рисунке 1. График (рисунок 1.а) отображает ранговое распределение. Ранг - это номер оборудования по порядку. Ось абсциссы графика соответствует рангу типа электрических машин электроценоза, а ординаты – количеству единиц электрических машин, приходящихся на рассматриваемый тип оборудования. На рисунке 1.б представлен график рангового распределения длительностей вынужденных остановок электрических машин на единицу оборудования от отказов электрооборудования системы, то есть по оценочному параметру ( $n$  – количество электрических машин).



**Рисунок 1 – Распределения:**  
*а – ранговое;*  
*б – параметрическое;*  
*в – видовое*

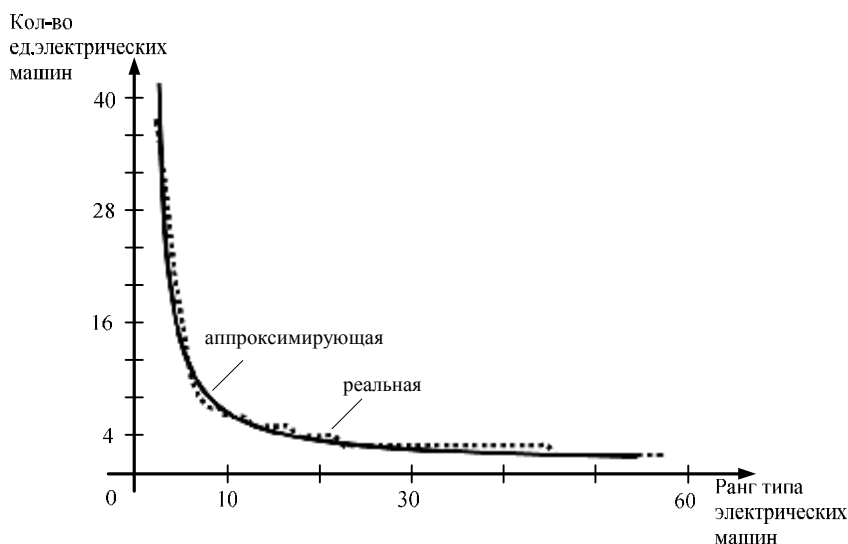


Аналогичные графики могут быть построены и относительно других оценочных вероятностных параметров, например, частоты вынужденных остановок или длительности времени восстановления отказов.

Также можно построить распределение типов электрических машин от их численности (рисунок 1.в), то есть по оси ординат отображается тип машины, а по оси абсцисс возможная их численность. Посредством операций над распределениями оказывается возможным осуществлять анализ функционирования электрических машин системы электроснабжения и влияния их вынужденных остановок на выпуск продукции производством.

Практические функции распределения для решения задач повышения функционирования систем должны быть аппроксимированы теоретическими зависимостями. Например, определено, что для рангового видового распределения (рисунок 1.а) аппроксимирующая кривая (рисунок 2) задается следующим выражением:

$$n(x) = 50 \cdot x^{-1}. \quad (1)$$



**Рисунок 2 – Аппроксимация рангового распределения**

В работе [2] для аппроксимации используются показательные зависимости, хотя могут быть применены и другие теоретические зависимости, например, кусочно-линейная аппроксимация. Покажем, в чем заключается физический смысл анализа теоретических распределений. Начнем с рангового распределения (рисунок 1). Если взять интеграл от правой части зависимости (2) то есть определить значение  $n(x)$  при пределах  $(0, \infty)$ , то будем иметь общее количество, используемых электродвигателей.

$$n(x) = \int_0^{\infty} v(x^{\xi})^{-1} dx \quad (2)$$

В случае ограничения разброса пределов интеграла, которые  $\int_{x_1}^{x_2} v(x^{\xi})^{-1} dx$  соответственно равны  $(x_1, x_2)$ , получим количество единиц, приходящихся на рассматриваемый тип электродвигателей. Из данной зависимости можно найти и общее число типов электрических двигателей в рассматриваемом

электроценозе. Используя подобный подход, можно осуществлять также и анализ рангового параметрического распределения  $v(r^\xi)^{-1}$ . Оно позволяет, если применить аппроксимирующую зависимость

$$\chi(r) = \int_0^{\infty} v(r^\xi)^{-1} dr \quad (3)$$

при пределах  $(0, \infty)$ , определить совокупную величину электроценоза по параметру  $v$ . Когда необходимо установить значение  $v$ , которое приходится на соответствующий тип электрооборудования, то зависимость  $\chi(r)$  рассчитывается через

интеграл  $\int_{r_2}^{r_1} v(r^\xi)^{-1} dr$  с пределами  $(r_1, r_2)$ . Следует отметить, что аппроксимирующие

функции могут иметь и не показательный вид, но подход по использованию теоретических распределения для оценки функционирования электрических двигателей и влияния их вынужденных остановок на технологический процесс останется неизменным.

Все зависимости, представленные в виде графиков на рисунок 1, позволяют решать глобальные задачи, связанные с большими иерархическими системами. К ним можно отнести не только электрические системы производств металлургических заводов, но и системы электроснабжения машиностроительных предприятий, угольных шахт, рудников, и т.д. Основным преимуществом анализа на основе электроценоза является возможность определения явлений в системе, которые носят случайный характер и появляются крайне редко и независимо друг от друга, что делает невозможным их прогнозирование.

#### Список литературы

1. Кудрин Б.И. Математика ценозов: видовое, ранговое, ранговое по параметру, гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Парето, Мандельброта. Философские основания технетики. М.: Центр системных исследований. 2002. 357-412 с.

2. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. М.: Центр системных исследований, 2005. 383 с.

**Шпиганович Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Липецкий государственный технический университет, заведующий кафедрой электрооборудования, email: [kaf-eo@stu.lipetsk.ru](mailto:kaf-eo@stu.lipetsk.ru), тел.: (4742) 32-80-49.

**Шпиганович Алла Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования, ФГБОУ ВПО Липецкий государственный технический университет, email: [kaf-eo@stu.lipetsk.ru](mailto:kaf-eo@stu.lipetsk.ru), тел.: (4742) 32-80-49.

**Курапто Павел Валерьевич**, магистрант кафедры электрооборудования ФГБОУ ВПО ЛГТУ, e-mail: [38pervoemayay@mail.ru](mailto:38pervoemayay@mail.ru), тел.: (4742) 32-80-49.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВЫХ СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ В СФЕРЕ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Зайцев А.И., Крысанов В.Н.**

*Россия, г. Воронеж, ФГБОУ ВПО ВГТУ*

*В докладе рассмотрены вопросы целесообразности применения статических регулирующих устройств нового поколения в сфере малой распределенной энергетики*

*In the report questions of feasibility of use of static control devices of new generation in the sphere of the small-scale power distributed generation are considered*

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года определила развитие малой распределенной энергетики в качестве важнейшего направления развития энергетического сектора и формируется в самостоятельный сегмент отрасли, основанный на многообразии форм энергообеспечения с использованием современных интеллектуальных технологий на базе полностью управляемых силовых электронных устройств.

Малая распределенная энергетика становится уже сейчас реальной альтернативой централизованному энергоснабжению (здесь и далее мы будем говорить об автономном энергоснабжении со связью с сетью) [1].

При условии постоянного роста потребности в электроэнергии и невозможности концентрации крупных инвестиций для строительства крупных электростанций, строительство малых оказывается более реальным и выгодным, так как позволяет существенно сократить объём первоначальных капиталовложений и срок их возврата, снизить инвестиционный риск, уменьшить сроки возведения и ввода станций в эксплуатацию.

Широкое внедрение распределённой энергетики требует разработки соответствующих правовых, финансовых механизмов и научно-технических инноваций. В связи с чем, по инициативе ЗАО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике», НП «Российское торфяное и биоэнергетическое общество», ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС» в ноябре 2010 года была создана специальная Технологическая платформа «Малая распределенная энергетика». Одной из наиболее важных задач этого направления была поставлена задача широкого применения технологии гибких (управляемых) линий электропередачи переменного тока (FACTS), содержащих современные активно – адаптивные устройства, в том числе и многофункциональные статические регулирующие устройства [2,3]. Это обстоятельство особенно относится к устройствам типа компенсационного выпрямителя.

Дело в том, что во всех современных технологиях для электроэнергетики (Smart Grid, FACTS), большое внимание уделяется решению вопросов энергосбережения. Сейчас, только при передаче электрической энергии, теряется ее огромное количество (Япония – 5%, Европа – 4%, США – 7-8%, Россия - 14 %). Успешно решить эту проблему в значительной степени позволит применение выше упомянутых устройств.

Действительно, наибольший эффект снижения потерь активной энергии может быть достигнут при совмещении генерации реактивной мощности и решении таких технологических задач, как связь с сетью автономных источников энергоснабжения.

Такая задача присутствует у подавляющего числа объектов малой распределенной энергетики. Как правило, в комплектации источника автономного энергоснабжения присутствует инвертор напряжения со звеном постоянного тока для согласования энергетических параметров (автономного источника) с соответствующими параметрами сети. Если данное устройство при этом будет

параллельно решать еще и задачи разгрузки распределительных сетей (что дает возможность увеличения их пропускной способности) от перетока реактивной мощности, то это значительно увеличит экономию активной электроэнергии системы электроснабжения в целом.

Выше сказанное позволяет позиционировать статические силовые преобразователи на базе компенсационных выпрямителей как один из основных элементов энергологистических систем. В таких системах оптимизация энергетических потоков разных видов проводится совместно. Также имеется возможность преобразования вида энергии и перевода её в другую энергетическую подсистему. При этом повышается эффективность и надёжность систем в связи с возможностью переброса энергии при авариях или перегрузке участка сети через соединяющие эти системы статические преобразователи, которые являются кросс-элементами этих систем.

Таким образом, складывается и новое направление экономического анализа в энергетике - комплексного анализа ранее абсолютно независимо рассматриваемых систем. В контексте такого анализа можно уже сейчас оценить, в первом приближении, эффективность применения упомянутых статических преобразователей, в целом для энергосистемы России. По данным РАО «ЕЭС России» снижение потерь в сетях на 1% (округленно на максимум потребления) высвободит для потребителей 1500 МВт активной мощности [4].

Для достижения указанного эффекта имеется два пути: строительство электростанций для покрытия потерь активной энергии или установка необходимых компенсирующих устройств. В ценах 2010г, (стоимость одного киловатта установленной генерируемой мощности составила 96000 руб/кВт), затраты на строительство электростанции мощностью 1500 МВт составят 144 млрд. руб.

Установленная мощность компенсирующих устройств на 1 % энергосбережения

$$Q_{ку}(1\%) = P(1\%) / K_{эп} = 15000 \text{ мВАр},$$

где  $K_{эп} = 0,1 \text{ кВт/кВАр}$  - усредненное значение коэффициента эквивалентных потерь  $K_{эп}$ , который характеризуется отношением затрат активной энергии на передачу одного кВАр реактивной энергии.

При ориентировочной стоимости одного кВАр 1000 руб., капитальные затраты на установку предлагаемых компенсационных выпрямителей составят 15 млрд. руб.

Из данных расчетов следует, что эквивалентный прирост объемов генерации электроэнергии можно реализовать почти в 10 раз дешевле установкой соответствующих статических преобразователей нового поколения.

#### Список литературы

1. Грачев И. Д., Некрасов С. А., О подходах к развитию распределенной энергетики в Российской Федерации // Журнал «Промышленная Энергетика», 2012 - № 12, стр. 02-08
2. А.И.Зайцев, А.С.Плехов Применение компенсационных преобразователей в целях энергосбережения // «Электротехнические комплексы и системы управления» НТЖ №4/2010, ВГТУ, Воронеж.
3. В.Н. Крысанов, О возможности применения тиристорного регулятора напряжения в электрических сетях класса 6-1150 кВ. // « Электротехнические комплексы и системы управления», НТЖ №2/ 2008, ВГТУ, Воронеж.
4. В.К. Пауле, Качество управления – залог процветания любой компании // «Энергия России» №07 (250), Апрель 2007, Издание РАО «РАО ЕЭС РОССИИ».

**Зайцев Александр Иванович**, д-р техн. наук, проф. кафедры АИТС, Россия, г. Воронеж, ФГБОУ ВПО ВГТУ, [ai\\_zaicv@mail.ru](mailto:ai_zaicv@mail.ru).

**Крысанов Валерий Николаевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник доцент кафедры АИТС, г. Воронеж, ФГБОУ ВПО ВГТУ, [sovteh2000@mail.ru](mailto:sovteh2000@mail.ru).

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДАВЛЕНИЯ ФЛИКЕРА С ПОМОЩЬЮ СТК

Гамазин С.И., Кулага М.А., Ненахов А.И.  
Россия, г. Москва НИУ «МЭИ»

*В докладе рассматриваются возможности математического моделирования объектов электроснабжения с целью разработки верных алгоритмов управления статическими тиристорными компенсаторами и проверки их эффективности.*

*The report examines the possibility of mathematical modeling of electric power facilities in order to develop the correct control algorithms of static VAR compensators and test their effectiveness.*

Снижение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий приводит к возникновению ряда негативных факторов: изменениям режимов работы электроприёмников, уменьшению производительности рабочих механизмов, ухудшению качества продукции, сокращению срока службы электрооборудования, снижению эффективности системы в целом.

Для обеспечения требуемых ГОСТ Р 54149-2010 значений показателей качества электроэнергии все более часто используются различные типы компенсаторов реактивной мощности. В настоящее время самыми распространёнными в России являются статические тиристорные компенсаторы (СТК). Они имеют более высокое быстродействие, чем синхронные компенсаторы или конденсаторно-реакторные установки с выключателями, и следовательно большую эффективность при резких изменениях нагрузки.

При разработке и производстве СТК всегда ставится вопрос о правильном выборе мощности элементов СТК, его параметров и алгоритмов управления. Для каждого объекта все расчёты проводятся индивидуально в зависимости от внешней схемы и параметров системы, в которой будет производиться установка. Во время проведения этих расчётов также ставится проблема оценки эффективности работы компенсатора в целом.

Универсальным показателем допустимости колебаний напряжения (помех) является доза фликера напряжения. При измерениях длительной дозы фликера фиксируются колебания напряжения в течении 2-х часов. Эти значения представляют собой общую оценку колебаний напряжения различной формы и частоты в диапазоне от 0,5 до 25 Гц. При их расчёте учитывается средняя восприимчивость человеческого глаза к колебаниям той или иной частоты. Поэтому, именно этот показатель является наиболее подходящим для оценки подавления колебаний напряжения на шинах резкопеременной нагрузки, такой как ДСП. С помощью измерений фликера эффективность работы СТК можно оценить одним числом – степенью подавления фликера, которая будет равна среднему отношению доз фликера при работе с СТК и без него. Этот показатель, как правило, лежит в диапазоне 1,2-1,8 ед.

Если рассматривать работу СТК для промышленности, как быстродействующий компенсатор на шинах ДСП, получение точного показателя становится затруднительным. Это связано с тем, что каждый процесс плавки в ДСП даёт случайные величины колебаний, и графики токов, и напряжений непредсказуемы. А измерить дозы фликера при работающем и отключённом СТК одновременно невозможно, поэтому измерения производят в различные плавки, и точность отношения снижается.

Также, определение эффективности и других параметров работы СТК обычно требуется на стадии разработки до изготовления установки. Доступным решением здесь является моделирование - единственный систематизированный способ определить потенциальные последствия альтернативных решений. Сейчас на смену

физического моделирования объекта в уменьшенных масштабах приходит математическое моделирование.

Для анализа электрических процессов в реальной сети компанией «НИДЕК АСИ ВЭИ», производящей высоковольтные тиристорные устройства в г. Москва, используется настроенная с высокой точностью модель электрической системы. Такая модель выполняется в программе MATLAB-Simulink в электротехнической среде вычислений SimPowerSystems. Эта среда обеспечивает расчет всех необходимых электротехнических блоков, что упрощает описание системы, исключая непосредственные расчеты параметров через уравнения.

В среде моделирования воссоздаются необходимые элементы системы: модель энергосистемы, при необходимости с трансформатором, фильтрокомпенсирующие цепи и тиристорно-реакторные группы, относящиеся к СТК, и нагрузка с меняющимися по необходимым законам параметрами.

Инженерами компании была разработана математическая модель фликерметра, превосходящая по точности обычные измерительные приборы. Эта модель была реализована в системе моделирования Simulink, на основании принципиального устройства аналогового фликерметра, описанного в государственном стандарте. Она показала соответствие всем требованиям по точности измерений, и в связи с этим, открыла широкие возможности анализа результатов моделирования электромагнитных процессов в сетях.

Дополнительно приблизить модель к реальности позволяет использование современного цифрового осциллографа. Он обеспечивает запись и перенос в модель реальных графиков токов или напряжений, не поддающихся моделированию: например, токов ДСП. Это решает одну из вышеописанных проблем, так как процесс плавки в ДСП фиксируется, и теперь может быть просчитан с подключением модели СТК или без него.

Совокупность этих методик позволяет:

- Предсказать поведение параметров сети в нескольких интересующих точках, опираясь на данные только одного замера. Так, при записи токов ДСП, были смоделированы и рассчитаны графики напряжений в точке присоединения завода к энергосистеме, а также в начале и в конце питающей воздушной линии.
- Точно рассчитать все необходимые показатели качества, основываясь как на данных, полученных с помощью замеров, так и при моделировании различных условий.
- Смоделировать аварийные или реально невыполнимые условия работы системы.

Такой подход к расчетам используется для отработки алгоритмов работы высоковольтного оборудования СТК и для анализа новых технических решений в компенсации РМ (например, СТАТКОМ). Таким образом, удастся рассчитать наиболее подходящий алгоритм управления СТК и проверить все зависимости параметров работы установок для каждого конкретного случая без каких-либо материальных затрат.

Кроме того, программный комплекс MATLAB предусматривает возможность обмена данными с моделью и преобразование этих данных в аналоговые сигналы. С помощью системы реального времени xPC-target, возможно совместить физическое и математическое моделирование. Этот метод широко используется для объединения уже изготовленного контроллера установки с ее силовой частью в модели. При этом проверяется действие системы управления в разнообразных условиях работы и ситуациях. Для системы управления работа с моделью не отличается от работы с полноценным объектом управления.

Основным недостатком математического моделирования остается дискретность расчетов, ведь чем более сложна модель и чем выше частота дискретизации, тем

большая производительность компьютера требуется. Особенно эта проблема актуальна при работе в режиме реального времени, когда время в модели не должно отставать. На данный момент доступно рассчитывать полную модель системы «сеть-СТК-нагрузка» с периодом дискретизации не менее 80 мкс.

#### Список литературы

1. «Техническое описание математической модели Статического Тиристорного Компенсатора» // Панова О.С., Москва, 2010 год.
2. «Измерения фликера и гармонических составляющих тока» // В.А. Тухас, С.В. Пожидаев, С.А. Эйнтроп. 2004 г.

**Гамазин Станислав Иванович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВП "Национального исследовательского университета "МЭИ", [GamazinSI@mpei.ru](mailto:GamazinSI@mpei.ru).

**Кулага Марина Александровна**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО "Национального исследовательского университета "МЭИ"; [KulagaMA@mpei.ru](mailto:KulagaMA@mpei.ru).

**Ненахов Александр Игоревич**, магистрант кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО "Национального исследовательского университета "МЭИ"; [navei909@gmail.com](mailto:navei909@gmail.com), тел.: 8(916) 055-06-58.

УДК 621.313

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВОДОПОГРУЖОЙ СВОБОДОПОТОЧНОЙ МИКРОГЭС

**Загрядцкий В.И.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»*

*Обсуждаются требования, предъявляемые к электрическим генераторам микрогидроэлектростанций. Делается вывод о перспективности разработки погружных водонаполненных генераторов.*

*We discuss the requirements for generators of micro hydroelectric power plant concludes the prospects of development of submersible water-filled generators.*

Использование возобновляемых энергоресурсов малых рек для электроснабжения потребителей электроэнергией в труднодоступных и отдаленных районах является перспективным направлением развития малой гидроэнергетики в нашей стране, учитывая ее протяженные размеры и разнообразный природный ландшафт.

Одной из возможных альтернатив решения этой задачи, могут служить автономные низконапорные свободнопоточные микрогидроэлектростанции (МкГЭС), в которых используются погружные, т.е. размещенные под водой гидроагрегаты, состоящие из гидротурбины и непосредственно с ней соединенного электрического генератора. МкГЭС этого типа способны производить электроэнергию без возведения плотины, используя кинетическую энергию водного потока в его естественном состоянии. Их единая модульная конструкция позволяет осуществлять перемещение в другое место без нарушения основных узлов. Преимуществом также является их легкая установка.

В России МкГЭС выпускаются на предприятиях: «МНТО ИНСЭТ» и АО НПО ЦКТИ (г. Санкт-Петербург), НПО «Компактэнерго» (г. Калининград, фирма «Болтэн»

(г. Москва) и др.; за рубежом – МкГЭС производятся в Америке, Китае, на Украине и других странах.

Важной частью МкГЭС является электрический генератор. В настоящее время в России специальные генераторы для МкГЭС не выпускаются. Поэтому производители применяют выпускаемые промышленностью серийные генераторы, либо нестандартное оборудование, что не всегда оправдано, т.к. не вполне учитываются специфичные условия работы генератора в «проточной» МкГЭС. В связи со сказанным, разработке генераторов для МкГЭС следует уделить серьезное внимание.

В существующих МкГЭС электрические генераторы выполняются как сухого, так и мокрого типов. В первом случае генератор конструктивно выполняется в герметизированном исполнении, либо заключенным в капсулу, т.е. водонепроницаемым, и вода внутрь машины не проникает. На наш взгляд, такие решения являются неудовлетворительными из-за относительной сложности устройства, плохой теплоотдачи генератора; кроме того, в нем имеет место такой серьезный недостаток, как полная зависимость работоспособности от надежности уплотняющего устройства, так как при попадании внутрь машины малого количества влаги возможен выход генератора из строя.

Во втором случае генераторы - это полумокрые машины. Конструктивно их магнитопровод якоря и сухая обмотка статора заключены в оболочку (гильзу) из немагнитного материала. Вода не воздействует на обмотку статора. Применение гильзы ухудшает показатели машины, так как в гильзе возникают потери от токов, индуцируемых вращающимся магнитным полем, при этом КПД генератора снижается. Такая конструкция является более приемлемой для химических и взрывоопасных производств и является излишне дорогой для МкГЭС.

Существуют погружные электрические машины, внутренняя полость которых заполнена жидким диэлектриком, например маслом, керосином и т.д. Использование их является несовместимым с требованиями экологии, поэтому для МкГЭС они неперспективны.

Требованию надежности работы электрических генераторов для МкГЭС в большей степени удовлетворяют машины переменного тока без скользящего контакта кольца-щеткой: асинхронные с короткозамкнутым ротором и синхронные машины с постоянными магнитами, выполненные на постоянную частоту вращения. Рассмотрим кратко особенности применения этих машин к условиям их работы.

Автономный асинхронный генератор для своего возбуждения и работы требует конденсаторную батарею. Ее емкость при коэффициенте мощности нагрузки  $\cos\varphi = 0.8$  (двигатели, насосы и т.д.) примерно в два раза превышает  $\cos\varphi = 1$  (осветительная нагрузка). Размещение конденсаторной батареи на берегу приводит к дополнительному удорожанию МкГЭС за счет стоимости кабеля между генератором и батареей конденсаторов. Размещение конденсаторной батареи в воде вызывает определенные затруднения, как в ее герметизации, так и в отношении экологической безопасности водной среды. Асинхронные генераторы обладают пониженной надежностью из-за большого числа элементов, недостаточно хорошо переносят перегрузку, обладают большими значениями токов короткого замыкания и относительно низким КПД, связанным с потерями в обмотке ротора. Ввиду сказанного, применение асинхронных генераторов для МкГЭС, на наш взгляд, не является оправданным.

Автономный синхронный генератор с расположенными для возбуждения на роторе постоянными магнитами, имеет простую электрическую схему, обладает высоким КПД, не требует энергию на возбуждение и может успешно работать на активно-индуктивную нагрузку (двигатели, насосы, вентиляторы, электроинструмент и т.д.). Генератор легче переносит перегрузку, обладает меньшей массой и габаритами. Поэтому его использование является предпочтительным.



При разработке синхронного генератора для МкГЭС необходимо принять во внимание следующие обстоятельства. Для того, чтобы микрогидроэлектростанция имела более высокие энергетические показатели и отличалась эксплуатационной надежностью, она не должна иметь мультипликаторы и сложную кинематику, служащих связующим звеном между генератором с высокой частотой вращения и гидравлической турбиной с низкой частотой вращения. При отсутствии мультипликатора генератор должен иметь такую же частоту вращения, что и гидравлическая турбина, его вал неподвижно соединяется с валом гидротурбины. При течении реки 1.5...4 м/с и более, для получения электрической энергии с частотой 50 Гц, генератор должен иметь частоту вращения 60...150 мин<sup>-1</sup> и число пар полюсов 20...60. Выполнить маломощный генератор с такими числами пар полюсов возможно как для цилиндрической, так и для торцевой конструкции. В этом случае для маломощного генератора можно взять полюсное деление менее 5 мм и ширину зубца статора (ротора) равную 0,8...1 мм.

Нам представляется, что генераторы для МкГЭС необходимо выполнять полностью заполненными водой. Если задача создания водопогружных и водонаполненных двигателей переменного тока успешно решена, то для водонаполненных генераторов еще предстоит поиск новых конструктивных форм. В водонаполненных двигателях механические потери, включающие потери от трения о воду, составляют 3...12 % полезной мощности. При заданных диаметре и длине машины потери о воду пропорциональны частоте вращения в кубе. Так как частота вращения МкГЭС приблизительно в двадцать раз меньше частоты вращения погружного двигателя, то следует ожидать снижения потерь на трение в генераторе. Тоже можно предположить относительно потерь в подшипниках скольжения.

Отправной точкой при разработке серий водонаполненных генераторов должны стать темпы развития энергопотребления в отдаленных и труднодоступных районах страны на базе огромного потенциала гидроресурсов малых рек.

На кафедре «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского госуниверситета-УНПК разработаны конструкции водонаполненных синхронных генераторов для малых рек. Одна из них выполнена в торцевом исполнении с вертикальным валом и с постоянными магнитами на роторе. Генератор имеет низкую частоту вращения. Его основная конструктивная особенность – уплощенная блинообразная форма, которая характеризуется малым аксиальным размером по сравнению с диаметром машины. Генератор имеет один диск статора и один диск ротора, подшипниковые щиты, пяту, подпятник, подшипники скольжения. В пазах магнитопровода статора расположена якорная обмотка из водостойкого провода. На диске ротора размещены постоянные магниты. Внутренняя полость генератора заполнена чистой водой. Уплотнения машины по валу осуществляется с помощью уплотнительных колец и манжет. Вал генератора связан с валом гидротурбины посредством шлицевого соединения. Пята и подпятник воспринимают вес гидрокосеса. Охлаждение генератора осуществляется за счет речного потока, что позволяет увеличить электромагнитные нагрузки в нем по сравнению с генератором сухого типа.

Конструкция торцевого генератора обладает рядом преимуществ. Она позволяет получить МкГЭС с минимальными вертикальными размерами, что позволяют уменьшить общую длину (высоту) агрегата и снизить массу устройства. Поэтому генератор более удобен для встраивания в гидротурбину. Мощность генератора при небольшом аксиальном размере может быть увеличена за счет выбора внутреннего и наружного диаметров машины. В торцевых генераторах возможно использование кольцевых обмоток, что позволяет в малых габаритах получить многополюсную систему статора.

Другой тип разработанного на кафедре генератора имеет горизонтальную ось вращения. Исполнение машины обращенное, при этом статор с трехфазной обмоткой неподвижен, а ротор, с размещенными на нем постоянными магнитами, расположен снаружи статора, т.е. является внешним. Конструкция генератора позволяет осуществить непосредственное конструктивное совмещение ротора с гидравлическим колесом турбины, чем резко сокращает осевые размеры гидроагрегата. Она может

быть перспективной для переносных энергетических установок, предназначенных для туристов, поисковиков и т.д.

Достоинством обоих типов генераторов является то, что МкГЭС могут работать на мелководье. МкГЭС не опираются на дно реки, а поддерживаются в плавучем состоянии при помощи троса, натянутого между берегами, либо крепится к заякоренному плоту (понтону).

Непосредственное охлаждение проточной водой улучшает условия теплоотдачи генераторов. При ударе мусора о станцию, она отклоняется, смягчая тем самым действующие на нее нагрузки.

Обе конструкции генераторов для МкГЭС являются надежными и долговечными, а конструкции гидроагрегатов компактными и технологичными с минимальным числом деталей.

**Загрядцкий Владимир Иванович** - проф., д-р техн. наук, кафедра «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орёл, [zagriadckiy@yandex.ru](mailto:zagriadckiy@yandex.ru), тел 55-09-61.

УДК 621.316.1

## ОПТИМИЗАЦИЯ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ

**Буре И.Г., Киселев М. Н.**  
Россия, Москва, НИУ МЭИ

*Эффективность использования гибридных фильтров для подавления высших гармоник существенно зависит от мощности активной части. Разработки гибридного фильтра для различных потребителей индивидуальна, поэтому часто необходимо проводить оптимизацию параметров как пассивной, так и активной части для увеличения добротности фильтра и уменьшения мощности активной части.*

*The efficiency of use of the hybrid filter for the high harmonics suppression is depend on the power of active part. The working of the hybrid filter for the different kind of consumers has an individual pattern, therefore it's often necessary to make an optimization of the characteristics of active and passive parts of the hybrid filter for the increasing Q-factor and for the reducing power of active part of filter.*

Гибридные фильтры в своем составе имеют один или несколько пассивных LC-контуров и канал активной фильтрации, включенный последовательно или параллельно пассивной части и предназначенный для улучшения добротности фильтра. Особенностью работы резонансного LC-контра является снижение сопротивления контра на резонансной частоте, когда  $\omega_v \cdot L = 1/\omega_v \cdot C$  ( $v$  – порядковый номер гармоники,  $\omega_v = 2 \cdot \pi \cdot v \cdot f_0$ ,  $f_0$  – частота основной гармоники). Однако, результирующее сопротивление не равно нулю из-за наличия активного сопротивления ректора и конденсатора LC-контра. Поэтому ток соответствующей высшей гармоники  $I_v$  стремится к максимальному значению при  $r \rightarrow 0$ . От величины тока  $I_v$  зависит мощность канала активной фильтрации  $S_{аф}$ . Кроме тока  $I_v$  на мощность  $S_{аф}$  оказывает влияние ток основной гармоники  $I_0$ , ответвляющийся в цепь LC-контра. Сопротивление настроенного на  $v$ -ую гармонику контра на основной частоте 50 Гц составляет:

$$Z_{50} = r + j(2pf_0L_n - \frac{1}{2pf_0C_n})$$

Чем выше будет значение этого сопротивления, тем меньше будет ток  $I_0$ .

Мощность канала активной фильтрации будет пропорциональна сумме токов  $n$ -ий гармоники и тока  $I_0$ :

$$S_{af} \equiv (I_n + I_0)$$

Для уменьшения мощности  $S_{af}$  желательно ток  $I_0$  снизить или вообще исключить из цепи активной части фильтра, которая содержит усилитель и источник питания.

Проведенные исследования разделились на два направления: оптимизация параметров пассивной части, т. е. параметров LC-контура и фильтрация тока основной гармоники  $I_0$ .

Для разных мощностей нелинейной нагрузки (неуправляемый выпрямитель) были получены номограммы, по которым можно выбрать оптимальные значения индуктивности и емкости LC-контура гибридного фильтра. Расчеты показали, что такая оптимизация позволяет снизить величину тока  $I_0$  через фильтр на 15-20% и, соответственно, уменьшить мощность активной части.

Для уменьшения  $I_0$  было предложено поставить фильтр 50 Гц на входе усилителя активной части, при этом если ток  $I_0$  составляет примерно 50% от общего тока усилителя, то снижение его на эту величину позволит снизить мощность усилителя. Для проверки этого положения была разработана компьютерная модель с использованием программы LabView, которая адекватно отражает процессы, происходящие в системе «электрическая сеть – фильтр – нелинейная нагрузка».

Результаты исследования показали, что при установке фильтра, настроенного на частоту 50 Гц в выходном токе усилителя эта гармоника исчезает и выходной ток содержит только гармоники высших порядков. Получены осциллограммы работы фильтра, в настоящее время проводится оценка эффективности работы активной части.

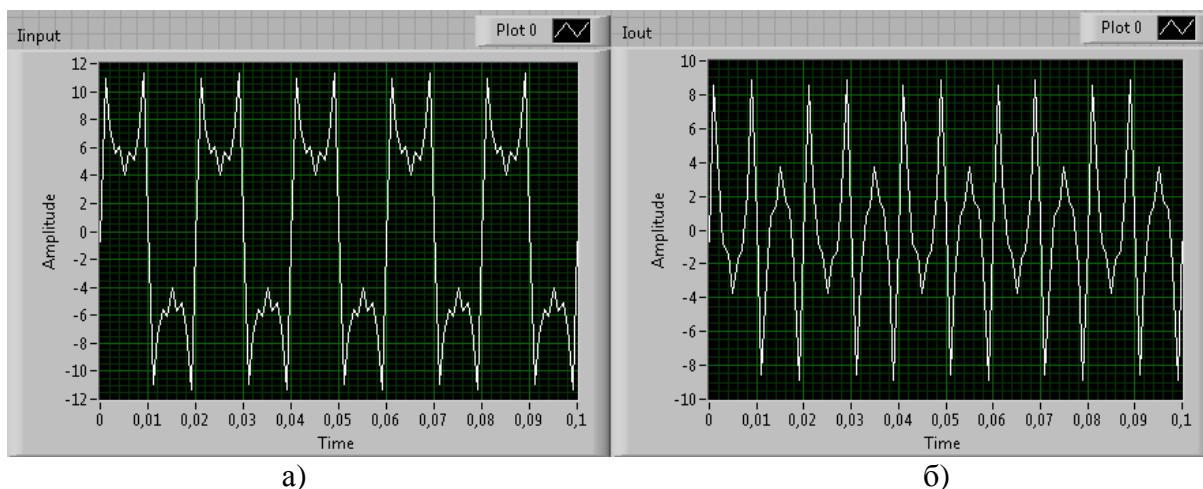


Рисунок 1, а – входной ток усилителя активной части, б – выходной ток усилителя активной части

#### Список литературы

1. Жежеленко И. В. – Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий, издательство «Энергия», 1974.

**Киселев Максим Николаевич**, НИУ МЭИ, гр. Эл-06-09, студент, тел.: 8-916-534-57-32, эл. почта: [iknow07@mail.ru](mailto:iknow07@mail.ru).

**Буре Ирина Георгиевна**, НИУ МЭИ, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭПП, тел.: 8-(495)-372-54-91, эл. почта: [BureIG@mpei.ru](mailto:BureIG@mpei.ru).

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Грозных В.А., Бурунбаев А.И.

Россия, г. Москва, ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ»

*Для внедрения альтернативных способов электроснабжения конечного потребителя является необходимым решение вопросов связанных с надёжностью электроснабжения, качеством электрической энергии, экономическими и экологическими аспектами.*

*For the introduction of alternative power supply end-user is a necessary issues related to the reliability of power supply, the quality of electric energy, economic and environmental aspects.*

*FürEinführung der alternativen EnergieversorgungsweisedeinesEndverbrauchersbrauchtes die Entscheidung der Fragen, die mit der Zuverlässigkeit der Stromversorgung, der Qualität der Elektroenergie, den ökonomischen und ökologischenAspektenverbundensind.*

Для промышленно развитых стран, зависящих от импорта топливно-энергетических ресурсов, ветроэнергетика является источником энергетической безопасности. Для промышленно развитых стран с огромными запасами топливно-энергетических ресурсов, ветроэнергетика является источником безопасности, а так же возможностью завоевания дополнительных рынков сбыта. Для развивающихся стран ветроэнергетика является путём к улучшению социально-бытовых условий населения, развития промышленности по экологически приемлемому пути. Для всего мира ветроэнергетика является возможностью уменьшения эмиссионных парниковых газов и возможность миновать глобальное изменение климата [1].

Преимуществами наземной ветроэнергетики являются [2]: автономное энергопроизводство без каких-либо затрат в процессе эксплуатации; возможность быстрого развёртывания ВЭС в местах с высоким ветроэнергетическим потенциалом; развитие ресурсосберегающих технологий в энергетике; конкурентоспособность производимой на ВЭС электроэнергии по отношению к традиционным тепловым электростанциям, не принимая во внимание экологического аспекта; ускорение конверсии оборонной промышленности и создание новых рабочих мест в машиностроении [3]; увеличение экспортного потенциала машиностроительных предприятий; возможность применения ВЭУ, когда качество получаемой электроэнергии от централизованной электросети не соответствует ГОСТ 13109-97, что характерно для удалённых поселений; снижение затрат на возмещение наносимого тепловыми электростанциями экологического ущерба; снижение затрат на сетевое строительство, определяемое близостью сетевых объектов и потреблением энергии в месте её производства, как следствие снижение потерь энергии при транспортировке; исключение затрат на увеличение пропускной способности существующих ЛЭП; возможность производства электрической, тепловой, механической энергии; возможность дальнейшего наращивания мощности ВЭС за счёт её модульной структуры; рентабельность, неисчерпаемость, высокая надёжность, безопасность, низкая зависимость от закупок энергоносителей; каждый 1 млн. кВт·ч вырабатываемый посредством ВЭУ относительно угольных ТЭС предотвращает выброс углекислого газа на 600-700 т, двуокиси серы на 5-8 т, оксида азота на 3-6 т, золы на 40-70 т, пыли на 270-470 т.; стимулирование хозяйственного развития и повышения качества жизни глубинки; сохранение запасов ископаемого органического топлива; использование сельских земель для хозяйственных и энергетических целей; более простая технологическая "цепочка", исключая многие технологические процессы (добычи, транспорта, хранения, подготовки, переработки ископаемых видов топлив), что приводит к снижению затрат капитала и труда на их сооружение и эксплуатацию, снижению социально-экономических рисков для общества в целом.

Преимуществами оффшорной ветроэнергетики являются: более стабильная нагрузка на ротор, что увеличивает срок службы ВЭУ; меньший уровень шума, чем при размещении на земле; возможность установки мощных ветропарков без ограничений высоты мачты и диаметра ротора; цена электроэнергии от ВЭУ в оффшорных зонах соизмерима со стоимостью электроэнергии от традиционных источников.

Основными недостатками наземных ВЭУ являются: высокая материало- и капиталоемкость; низкие плотность и стабильность энергетического потока (менее 100 Вт/м<sup>2</sup>); необходимость аккумуляирования и резервирования; на начальном этапе необходима значительная поддержка государства; проблема вибраций и инфразвука у ВЭУ средней и большой мощности (свыше 100 кВт); изменение природного ландшафта; акустический шум; нарушение распространения радиосигналов.

Недостатками оффшорных ВЭУ являются: необходимо учитывать ураганы, волнения моря, напор льдов, что ведёт к удорожанию фундамента; высокая стоимость подводных кабельных линий; атмосфера над морем является более агрессивной средой, чем над сушей, что требует дополнительной защиты техники; чтобы обслуживать механизмы станций необходимо большое количество автоматики.

Использование новых технологий в ветроэнергетике позволяет ликвидировать основные технические недостатки. Огромный территориальный ресурс России даёт возможность располагать ВЭС на расстоянии до 1000 м от жилых построек, что значительно снижает уровень шума и вибраций. Современные разработки концерна *NASA* и фирмы *Boeing* в области профиля лопастей ветроколеса и выбора оптимальной скорости вращения так же способствовали решению данной проблемы. Трудности в приёме телепередач могут быть решены благодаря возведению около ВЭС ретрансляторов. Расчёты экологического ущерба от электростанций, использующих ВИЭ, показывают, что заметное влияние на окружающую среду могут оказывать лишь объекты большой мощности. Установки малой и средней мощности можно считать практически безвредными в отношении окружающей среды, экологический эффект от их эксплуатации будет неизмеримо выше их возможного ущерба [4,5].

Важным недостатком энергии ветрявляется его непостоянство во времени и пространстве. Вопреки расхожему мнению, объединение нескольких десятков ветроагрегатов равной мощности не позволяет получить постоянную среднюю мощность. Для стабильного получения электрической энергии возможно использование аккумуляторных батарей или, в качестве дополнительного источника, может быть использована солнечная батарея. В качестве резервного - бензо- или дизель-генератор малой мощности. В зависимости от степени автоматизации электроагрегата его запуск может производиться автоматически при разряде аккумуляторной батареи до определённого уровня. При работе электроагрегата питание нагрузки переменного тока и заряд аккумуляторной батареи могут производиться одновременно, либо последовательно. Мощность нагрузки в такой система может быть больше мощности ВЭУ и будет определять мощность инвертора. Длительность питания нагрузки той или иной мощности зависит от мощности ВЭУ, ёмкости и степени заряда аккумуляторной батареи.

Наиболее эффективным использованием ВЭУ является объединение их в ВЭС для работы на объединённые электрические сети большой мощности, а так же на сети соизмеримой мощности или в сочетании с резервирующими или аккумуляирующими объектами. Поскольку электроэнергия, получаемая от сетевых ВЭС, имеет импульсный характер, то при относительно большой мощности ВЭС возникает необходимость решать проблемы связанные с устойчивой работой энергосистемы в целом. Исследования, проведённые английским университетом *ETSU (East Tennessee State University)* и опыт Дании, показывают, что общая установленная мощность ВЭУ не должна превышать 10-20% общей мощности энергосистемы, поскольку в противном случае возникают проблемы сохранения устойчивой работы и обеспечения необходимого качества электроэнергии [6].

При эксплуатации и сооружении ВЭС уделяется большое внимание: качеству вырабатываемой электроэнергии; снижению потерь в сетях, содержащих ВЭС; проблемам компенсации реактивной мощности, если в состав ВЭУ входит асинхронный генератор; исследованию гармоник, генерируемых инверторами, если ВЭУ содержит преобразователь частоты; радиопомехам; влиянию ВЭС на средства связи в энергосистемах; работе релейной защиты.

От правильного выбора компенсирующих устройств для ВЭУ на базе асинхронного генератора зависят потери в сети и возможность поддержания величины напряжения на необходимом уровне. Батареи силовых конденсаторов устанавливаются как на каждом генераторе, так и на питающем фидере сети.

Преимуществом регулируемых по частоте вращения ВЭУ является повышение отдачи мощности при работе с изменяющейся скоростью ветра. Повышение мощностей в зависимости от характера изменений ветра может достигать 20%. Другим преимуществом является поглощение толчков вращающего момента при порывах ветра, что повышает срок службы узлов установки и снижает усталостные явления.

Наиболее перспективными являются ВЭУ единичной мощностью 5-10 кВт для электроснабжения частных домов при скоростях ветра 3-4 м/с. При скорости ветра 5 м/с возможен обогрев дома площадью 50-200 м<sup>2</sup>. Чем меньше лопастей у ВЭУ, тем выше её КПД и скорость вращения ветроколеса и меньше момент вращения (КПД 25-лопастной ВЭУ достигает 30%, трёх-, двух- и однолопастных ВЭУ - 45-50%). При более высоких скоростях вращения ветроколеса генератор уменьшается по габаритам, легче по весу и дешевле [7].

Цена электроэнергии, получаемой от ВЭУ по оценкам института *EPPI* (США) уже сегодня составляет 5-7 центов за 1 кВтч и сравнима с показателями традиционных электростанций: АЭС - 3-9; ТЭС на угле и газе - 4-5; ГЭС различной мощности - 5-20 центов. По суммарным затратам (обслуживание, ремонт, топливо и пр.) ВЭС (1,4 цент/кВтч) оказываются предпочтительнее угольных, газовых и мазутных ТЭС (2,0, 2,9, 3,2 цент/кВтч соответственно). Данные представлены для регионов со среднегодовой скоростью ветра 5-6 м/с. При более высокой скорости эффективность ВЭС возрастает.

#### Список литературы

1. Безруких П.П. Концепция использования ветровой энергии в России. – М.: Книга-Пента, 2005. – 128с.
2. Хаскин Л. Башня из ветроэнергетических модулей // Науки и жизнь, 2003. – №9.- С.70-72.
3. Бежан А.В. Перспективы развития мировой ветроэнергетики: прогноз до 2030г. // Промышленная энергетика, 2007. – №11. С.40-44.
4. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187с.
5. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231с.
6. Григорьев А.А. Ветер – хорошо, а ледокол – лучше // Мировая энергетика, 2006. – №12(36). – С.56-57.
7. Мельников Р.А. «Домашняя» ветроэнергетика // Электрика, 2006. – №5. – С.43.

**Грозных Вадим Алексеевич**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ», ведущий инженер, [gewalt\(Klammeraffe\)mail.ru](mailto:gewalt(Klammeraffe)mail.ru), +7-916-871-79-76.

**Бурунбаев Альмир Илдусович**, ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ», аспирант, [a.burunbaev@gmail.com](mailto:a.burunbaev@gmail.com), +7-964-783-61-52.

УДК: 621.311.1

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В СЕТЯХ 6-35 КВ С РЕЗИСТИВНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

**Рыжкова Е.Н., Фомин М.А.**

*Россия, г. Москва, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»*

*В работе показаны расхождения нормативных документов ГОСТ и ПУЭ в отношении мер электробезопасности сетей с малыми токами замыкания на землю, даны рекомендации по обеспечению электробезопасности электроустановок сетей с резистивным заземлением нейтрали.*

*In this article are shown the differences in national standard and rules of electrical installations concern to electrical safety in networks with low earth fault current and provided the recommendations protection for electrical safety in the networks with resistive neutral earthing.*

При проектировании любых сетей, в том числе сетей 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали, одним из вопросов, который приходится решать проектировщикам - это обеспечение электробезопасности электроустановок в данных сетях.

В настоящее время в России Правилами устройства электроустановок 7-ого издания [1] электроустановки выше 1 кВ в отношении мер электробезопасности разделяются на:

-электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;

-электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью.

В то же время в данном документе отсутствуют технические требования к заземляющим устройствам электроустановок напряжением выше 1 кВ для сети с заземлением нейтрали через резистор, как это сделано для электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор. Это создает определенные трудности при проектировании и зачастую ограничивает практическое применение данного режима заземления. В связи с этим проблема обеспечения электробезопасности в сетях 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали является особенно актуальной. Для ее решения необходимо посмотреть каким образом решаются данные вопросы применительно к сети с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью.

Так, для сети с изолированной, либо заземленной через дугогасящий реактор (сеть с компенсацией емкостных токов) нейтралью требуется, чтобы значение сопротивления растеканию заземляющего устройства (ЗУ)  $R_{3У}$  рассчитывалось по формуле:

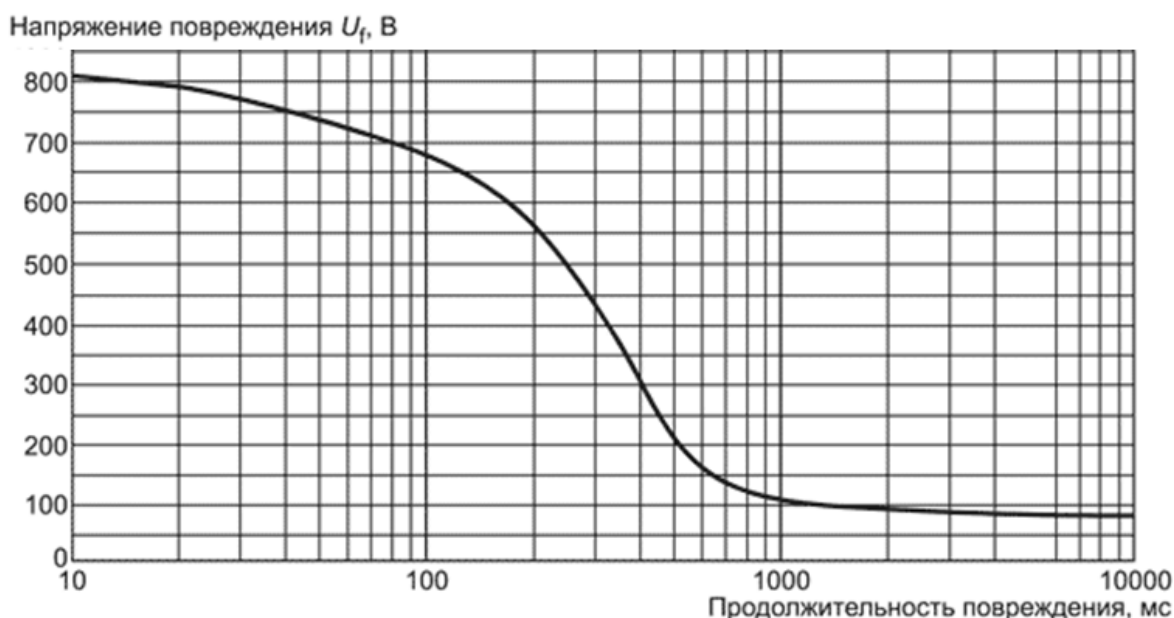
$$R_{3У} \leq \frac{250}{I_3}, \text{ но не более } 10 \text{ Ом [1]}, \quad (1)$$

где  $I_3$  – расчетный ток замыкания на землю, А.

Для определения расчетного тока даны рекомендации как для сети с компенсацией емкостного тока, так и без нее. В частности для сетей без компенсации емкостных токов в качестве расчетного тока принимается - ток замыкания на землю. Необходимо отметить, что согласно ПУЭ 6-ого издания [2], формула (1) справедлива для ЗУ, которые предназначены только для электроустановок выше 1кВ. Также [2] устанавливает требования к сопротивлению растекания заземляющего устройства  $R_{3У}$ , в случае, когда ЗУ используется одновременно для электроустановок до 1 кВ:

$$R_{3У} \leq \frac{125}{I_3}, \text{ но не более } 10 \text{ Ом} \quad (2)$$

На наш взгляд [2] наиболее правильно трактует технические требования к ЗУ данных сетей, хотя имеются также расхождения между данными требованиями и требованиями ГОСТ Р 50571-4-44-2011 [3]. Государственный стандарт [3] ограничивает величину напряжения на общем ЗУ ( $U_{3У}$ ) предназначенном, для электроустановок напряжением до и выше 1 кВ в зависимости от максимальной длительности замыкания на землю в сети выше 1кВ. Согласно [3] (рис.1) напряжение замыкания на землю равно 125 В (как принято по [2]) должно отключаться за время не более 0,8 сек. противном случае требуется, чтобы ЗУ системы до 1 кВ было выполнено отдельно от ЗУ системы выше 1кВ. Данное требование технически достаточно сложно выполнить, поскольку электроустановки до и выше 1 кВ могут находиться в непосредственной близости друг от друга, (в одном помещении), а иногда даже не возможно (для комплектных трансформаторных подстанций промышленного типа, представляющих собой единую конструкцию трансформатора 6(10) кВ и РУ 0,4 кВ).



**Рисунок 1 – Зависимость допустимого напряжения замыкания от максимальной длительности замыкания на землю в сети выше 1 кВ**

Таким образом, приходится констатировать, что нормативные требования вышеперечисленных документов отличаются.

Как известно, электроустановки напряжением выше 1 кВ, в которых нейтрали не заземлены или заземлены через значительные сопротивления (например, через дугогасящие реактора) относятся к электроустановкам с малыми токами замыкания на землю и ток однофазного замыкания на землю в них менее 500 А. Релейная защита таких электроустановок в большинстве случаев не действует на отключение, той части установки, в которой произошло однофазное замыкание на землю, вследствие чего последнее может быть длительным. Длительно будет существовать и напряжение  $U_{3У}$  на заземляющем устройстве, благодаря чему увеличивается вероятность прикосновения людей к частям установки, оказавшимся под напряжением, равным  $U_{3У}$  [4, стр. 307]. Учитывая это, ПУЭ нормирует допустимую величину этого напряжения (в формулах (1), (2), это напряжение составляет 250 и 125 В соответственно) на заземляющем устройстве при возникновении ОЗЗ в зависимости от напряжения электроустановок, для которых проектируется данное ЗУ.



Поскольку диапазон токов замыкания на землю и принцип действия РЗА для сети с заземлением нейтрали через высокоомный резистор и сети с изолированной нейтралью аналогичны, то условия электробезопасности данных установок также схожи. Что касается сети с заземлением нейтрали через низкоомный резистор, то электробезопасность в этих сетях выше, чем в сетях с изолированной и заземленной через дугогасящий реактор при возникновении ОЗЗ. Это связано с тем, что релейная защита электроустановок в такой сети действует всегда на отключение той части установки, в которой произошло однофазное замыкание на землю. Поэтому эти электроустановки характеризуются кратковременным появлением потенциала на заземляющих устройствах при замыкании на землю, благодаря чему уменьшается вероятность прикосновения людей к частям установки, кратковременно оказавшимся под напряжением, равным  $U_{3у}$ .

Резюмируя выше сказанное, можно сделать вывод о том, что для сетей с заземлением нейтрали через высокоомный и низкоомный резистор возможно применение формул (1), (2) для определения сопротивления растекания заземляющего устройства  $R_{3у}$  и обеспечения электробезопасности электроустановок. В качестве расчетного тока необходимо принимать полный ток замыкания на землю (поскольку данные сети, относятся к сетям без компенсации емкостных токов). Необходимо также отметить, что требования упомянутых в статье нормативных документов, касающихся режима заземления нейтрали сетей с малыми токами замыкания на землю, нуждаются во взаимоувязке.

Если выполнить ЗУ по норме на допустимое сопротивление заземляющего устройства невозможно, то защитные мероприятия при низкоомном заземлении нейтрали можно осуществить на основе системы нормирования условий электробезопасности по допустимому напряжению прикосновения. В этом случае электробезопасность обеспечивается за счет быстрого отключения поврежденной линии, что позволяет в соответствии с ГОСТ 12.1.038 [5] принимать для человека повышенные значения напряжения прикосновения по сравнению с длительным его воздействием.

#### Список литературы

1. Правила устройства электроустановок, 7-е изд. -М.: Кнорус, 2009;
2. Правила устройства электроустановок, 6-е изд. -М.: Госэнергонадзор, 2000;
3. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех.
4. Баптиданов Л.Н., Тарасов В.И. Электрооборудование электрических станций и подстанций, том.2 – Л.: Москва, 1960
5. ГОСТ 12.1.038 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

**Рыжкова Елена Николаевна**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ» Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, кафедра ЭПП, почтовый адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14, e-mail: [RyzhkovaYN@mpei.ru](mailto:RyzhkovaYN@mpei.ru), тел. 8 (495) 362-73-86  
**Фомин Максим Александрович**, аспирант 2-ого года обучения, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ» Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, кафедра ЭПП, почтовый адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14, e-mail: [fominma@list.ru](mailto:fominma@list.ru)

**ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ СЭС****Хевсуриани И.М., Ридзель А.Н.***Россия, г. Москва, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»*

*До недавнего времени кислотным аккумуляторным батареям и дизель-генераторам (устройствам, гарантирующим постоянную подачу электроэнергии при сбоях и отказах питания) не было альтернатив в области источников бесперебойного питания (ИБП). Но сейчас в этот сегмент проникает технология топливных элементов (ТЭ).*

*Until recently, the acid batteries and diesel generators (devices, ensuring a constant supply of electricity in case of failures and power failures) had no alternatives in the uninterruptible power supply (UPS). But now in this segment penetrates fuel cells technology (FC).*

В случае внезапного прекращения подачи электроэнергии ИБП в течение некоторого времени обеспечивают питанием электрооборудование на предприятии. Чтобы гарантировать высокую готовность в 99,999% («пять девяток»), такие системы должны быть избыточными и независимыми. До сих пор эту задачу выполняли в основном дизель-генераторы. Однако мало того, что они занимают много места, их применению нередко препятствуют ограничения, вытекающие существующих нормативов.

Альтернативой применению дизель-генератора является технология топливных элементов. Однако не всякая из имеющихся шести разновидностей ТЭ подходит для этого: высокотемпературным элементам, к примеру, для запуска требуется несколько часов времени и дополнительный источник энергии, поэтому они абсолютно непригодны для работы в режиме ожидания, свойственном потребителям первой категории.

Иначе ситуация выглядит при использовании ТЭ с полимерно-электролитной мембраной (ПЭМ) — они способны поддерживать полную нагрузку уже через 10—20 с. Такой ТЭ построен в соответствии с мембранной технологией. Это означает, что на катод через перфорированную мембрану попадают только положительно заряженные протоны водорода. Электроны атомов водорода остаются на аноде. Из-за перехода протонов создается разность потенциалов и выделяется теплота. В качестве топлива применяется исключительно водород, который получается путем электролиза под воздействием солнечного света.

Полимерно-электролитная мембрана, будучи низкотемпературным топливным элементом, генерирует электрическую энергию из водорода и кислорода, содержащихся в окружающем воздухе. Обычно достаточно простой вентиляции помещения, в котором находится ТЭ. В полностью закрытых помещениях дополнительный приток свежего воздуха, который необходим и для работающих в помещении людей, обеспечивается системой управления климатом. ТЭ, оснащенный полимерно-электролитной мембраной, практически не нуждается в обслуживании. Лишь раз в год нужно поменять фильтр для очистки воздуха, что может сделать любой пользователь.

Наиболее важный компонент системы — мембрана в блоке топливных элементов («пакете»), чей срок службы ограничен примерно десятью годами. Поскольку один топливный элемент способен выдержать 5000 включений или обеспечить подачу электропитания в течение 5000 ч непрерывной работы, для исчерпания этого лимита общее время отключения питания за десять лет должно превысить восемь месяцев, однако подобный сценарий развития событий едва ли возможен. В регионах с перебоями в электроснабжении топливные элементы включаются при коротких (лишь на несколько секунд) прерываниях подачи питания и таким образом быстро вырабатывают указанный ресурс в 5000 включений. Для предотвращения подобных ситуаций предлагается эксплуатация ТЭ с ИБП.

До сих пор ТЭ использовались преимущественно в области информационных технологий, однако мало что может помешать их применению в промышленном производстве. Системы ИБП поддерживают рабочую нагрузку при нарушении энергоснабжения с помощью батареи. Однако батареи обладают двумя значительными недостатками: с одной стороны, они сравнительно ненадежны, с другой — трудно предсказать, когда они выйдут из строя. Для подачи напряжения приблизительно в 400 В (постоянного тока), в цепь обычно последовательно включается набор батарей, обеспечивающих напряжение 12 В. Стоит только одной из этих батарей выйти из строя, как вся система оказывается неработоспособной. Поэтому многие предприятия работают с двумя наборами батарей: при отказе одного подачу питания берет на себя второй, хотя бы на половину длительности переходного периода, в течение которого устраняются проблемы. Средний срок службы батареи в ИБП в зависимости от её качества составляет от трех до восьми лет.

В современных системах ТЭ надежность на условие «пять девяток» достигается благодаря модульному избыточному построению: при отказе одного модуля вся система не затрагивается. Каждый блок питания ТЭ подключается к преобразователю постоянного тока, который переводит выходное напряжение топливного элемента в напряжение электрической шины батареи ИБП.

Против использования дизель-генераторов говорят, в первую очередь, выбросы отработанных газов и шумов, причем в будущем нормативы могут стать еще более жесткими. ТЭ в отличие от дизель-генераторов не обладают подвижными частями. Благодаря этому они работают практически бесшумно, без вибрации. Для эксплуатации могут использоваться обычные промышленные водородные баллоны, в отношении которых не выдвигается никаких особых правил соблюдения безопасности. Водородные баллоны систем ТЭ вырабатывают в пять раз больше энергии, чем система батарей, которая занимала бы то же пространство.

Единственными «отходами» ТЭ являются вода и тепло. Однако при его работе тепловой энергии выделяется больше, чем электрической: на 10 кВт вырабатываемой электрической мощности приходится 15 кВт тепла. Концепция охлаждения для системы топливных элементов, тем не менее, проста: климатическая система не нужна, достаточно циркуляции воды. Внутри помещений на топливный элемент устанавливается охлаждающий кожух, а за пределами зданий используется холодильник с вентилятором. При рабочей температуре примерно 90° вода по трубопроводу выводится за пределы здания.

#### Список литературы

1. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. – М.: Энергоиздат, 1981.
2. Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. – М.: Мир, 1964.

**Хевсуриани Иван Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра ЭПП, почтовый адрес: e-mail: [KhevsurianiIM@mpei.ru](mailto:KhevsurianiIM@mpei.ru), тел. 8-916-622-73-89;

**Ридзель Андрей Николаевич**, аспирант 1-ого года обучения, ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра ЭПП, почтовый адрес: e-mail: [ridzelan@gmail.com](mailto:ridzelan@gmail.com), тел. 8-926-823-86-42.

## **ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ ПРИ РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА**

**Широкоступова М.С.**

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

*Предложен метод пропорционального распределения дефицита при расчетах надежности электроснабжения с использованием метода Форда-Фалкерсона.*

*We propose a method of proportional distribution of the deficit in the calculation of power supply using the Ford-Fulkerson.*

Эффективная и надежная работа электроэнергетических систем определяется, в том числе, величиной оперативного резерва активной мощности. Для выбора оптимальных величин оперативных резервов активной мощности в узлах объединения электроэнергетических систем и пропускных способностей межсистемных связей по условиям взаиморезервирования при планировании развития электроэнергетических систем имеется два типа моделей [1,2]:

- модели, основанные на минимизации затрат целевой функции, в состав которой наряду с затратами на резерв мощности в узлах и усиление пропускных способностей межсистемных связей входит и ущерб потребителей от перерывов электроснабжения;
- модели, минимизирующие целевую функцию, в состав которой входят лишь затраты на резервные мощности в узлах и затраты на усиление пропускных способностей связей при задании для каждого узла нормируемого уровня надежности, ниже которого уровень надежности электроснабжения потребителей опускаться не может.

При оптимизации надежности по модели первого типа для схем сетей любой сложности необходимо определение частных производных по каждой переменной целевой функции. В программно-вычислительном комплексе «РЕЗЕРВ-ЭНИН», разработанном в Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского (ЭНИН), применяется специальный способ повышения быстродействия оптимизационной модели, позволяющий определить все частные производные за один расчет математического ожидания ущерба статистическим моделированием [3]. Уточнить возможность каждого энергоузла влиять на изменение системного дефицита мощности можно распределяя дефицит мощности между энергоузлами, способными принять этот дефицит, не уменьшая при этом быстродействия. В частности можно использовать распределение дефицита мощности пропорционально нагрузкам энергоузлов.

В модели второго типа вероятность дефицитов мощности в каждом из узлов зависит от принципа распределения мощности. При распределении дефицита мощности между энергоузлами, которые могут принять на себя дефицит, при достижении нормативных уровней надежности наблюдается наименьший недоотпуск электроэнергии в целом по объединению. В случае распределения дефицита мощности пропорционально нагрузкам энергоузлов математическое ожидание дефицита мощности в энергоузлах соизмеримо с их нагрузкой, поэтому является одним из предпочтительных вариантов распределения дефицита.

Для распределения дефицита мощности пропорционально нагрузке узлов, которые могут принять на себя дефицит, вся схема делится на локальные области, внутри которых возможно распределение дефицита мощности пропорционально нагрузке соответствующего узла. Внутри этих областей не возникает препятствий для пропорционального распределения дефицита мощности из-за ограничений по пропускной способности связей. Границы таких областей, а также величины дефицитов мощности, которые распределяются между узлами в каждой области, определяются при помощи расчетов по методу Форда-Фалкерсона (Ф-Ф) о максимальном потоке [4].

Задача пропорционального распределения мощности решается в два этапа. На первом этапе по методу Ф-Ф определяется минимальное значение суммарного дефицита мощности  $D_{\min}^{\Sigma}$ ,  $D_{\min(1)}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (N_i^{mpe\delta} - N_i)$ , где  $N_i^{mpe\delta(0)}$  - требуемая нагрузка потребителей  $i$ -го узла;  $N_i$  - покрываемая нагрузка потребителей  $i$ -го узла.

Если  $D_{\min(1)}^{\Sigma} > 0$ , то решают задачу второго этапа, пропорциональное распределение  $D_{\min(1)}^{\Sigma}$  между узлами, которые могут принять на себя дефицит, пропорционально нагрузке соответствующего узла с учетом ограничений по пропускной способности связей между узлами  $L_j^{\min} \leq L_j \leq L_j^{\max}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , где  $m$  - число связей;  $L_j^{\min}, L_j^{\max}$  - минимально и максимально допустимые значения пропускной способности  $j$ -ой связи.

Ниже приводится алгоритм распределения дефицитов мощности пропорционально нагрузкам потребителей узлов при помощи метода Ф-Ф (модель «ДФ-ЭНИН»).

Принимаем следующие обозначения:

$\Pi_k^*$  - множество узлов, которые находятся между источником и минимальным разрезом после  $k$ -го расчета по модели Ф-Ф, при котором суммарный дефицит мощности больше нуля;

$\Pi_k^*$  - множество узлов, которые находятся между стоком и минимальным разрезом после  $k$ -го расчета по модели Ф-Ф, при котором суммарный дефицит мощности больше нуля;

Для пропорционального распределения дефицита мощности  $D_{\min(k)}^{\Sigma}$  между  $p$  узлами в области  $M^*$  использована формула

$$D_i^k = \frac{D_{\min(k)}^{\Sigma} \cdot N_i^{mpe\delta}}{\sum_{i=1}^p N_i^{mpe\delta}}, i \in M^*, \quad (1)$$

где  $D_{\min(k)}^{\Sigma}$  - распределяемый суммарный дефицит мощности;  $D_i^k$  - пропорционально распределенный дефицит в  $i$  узле.

1. В результате расчетов на первом этапе определяется область  $\Pi_1^*$ , среди узлов которой возможно пропорциональное распределение дефицитов мощности.

2. Если в  $\Pi_1^*$  входит один узел  $i$ , то пропорционально распределенный дефицит мощности  $D_i^{npon} = D_{\min(1)}^{\Sigma}$  и расчет закончен.

3. Если в  $\Pi_1^*$  входит более одного узла, то по  $D_{\min(1)}^{\Sigma}$  определяется пропорционально распределенный дефицит  $D_i^1$  в каждом узле  $i \in \Pi_1^*$  по формуле (1). Пропорционально распределенный дефицит мощности на данном этапе расчета  $D_i^{npon}$  равен  $D_i^{npon} = D_i^1, i \in \Pi_1^*$ . Формируется схема из  $p$  узлов, принадлежащих области  $\Pi_1^*$ , подготавливается информация (см. ниже подготовка информация для области  $\Pi_k^*$ ) и проводится расчет по методу Ф-Ф. Определяется величина дополнительного суммарного дефицита мощности  $D_{\min(2)}^{\Sigma}$  для данной области  $\Pi_1^*$ , появившегося при пропорциональном распределении  $D_{\min(1)}^{\Sigma}$  в области из-за ограничений в пропускных способностях связей.

4. Если  $\Delta D_{\min(2)}^{\Sigma} = 0$ , то пропускные способности связей позволяют распределить дефицит в области  $\Pi_1^*$  пропорционально требуемой нагрузке потребителей, при этом величины дефицитов мощности в узлах равны  $D_i^{npon} = D_i^1, i \in \Pi_1^*$  и расчет закончен.

5. Если  $\Delta D_{\min(2)}^{\Sigma} > 0$ , то пропускные способности связей, входящих в минимальный разрез, не позволяют распределить дефицит в области  $\Pi_1^*$  пропорционально требуемой нагрузке потребителей, поэтому необходимо из области  $\Pi_2^*$  изъять дефицит  $D_{\min(2)}^{\Sigma}$ , а в область  $\Pi_2^*$  добавить дефицит  $D_{\min(2)}^{\Sigma}$ , ( $s$  - код для начала цикла в п.8 алгоритма),  $s=1, k=2$ .

6. Определяется пропорционально распределенный дополнительный дефицит  $D_i^k$  в каждом узле  $i \in \Pi_k^*$  по формуле (1). Формируется схема из  $p$  узлов, принадлежащих области  $\Pi_k^*$ , подготавливается информация для расчета по методу Ф-Ф для этих узлов. Эта информация запоминается в матрице MF.

7. Определяется пропорционально распределенный дополнительный дефицит  $D_i^k$  в каждом узле  $i \in \Pi_k^*$  по формуле (1). Формируется схема из  $p$  узлов, принадлежащих области  $\Pi_k^*$ , подготавливается информация для расчета по методу Ф-Ф для этих узлов. Эта информация запоминается в матрице MF.

8. Начало просмотра матрицы MF (при  $s=1$ ) или продолжение просмотра матрицы MF (при  $s=2$ )

9. Если в расчетной схеме один узел, то  $s=2$  и перейти к п.8

10. Если в расчетной схеме более одного узла, то расчет по методу Ф-Ф.

11. Если полученный в результате суммарный дефицит мощности  $D_{\min(k)}^{\Sigma} = 0$ , то  $s=2$  и перейти к п.8.

12. Если  $D_{\min(k)}^{\Sigma} > 0$ , то  $s=2, k=k+1$ , находятся области  $\Pi_k^*$  и  $\Pi_k^*$ , и перейти к п.6.

13. Если просмотрена вся матрица MF, то расчет закончен.

Подготовка информации для расчета по методу Ф-Ф для узлов, принадлежащих области  $\Pi_k^*$ .

1. Пересчитывается нагрузка  $N_i^{mpe\bar{o}(k)}, i \in \Pi_k^*$  узлов по формуле  $N_i^{mpe\bar{o}(k)} = N_i^{mpe\bar{o}(k-1)} - D_i^k, i \in \Pi_k^*$ ,

2. Определение  $D_i^{npon(k)}, i \in \Pi_k^*$ , при  $k > 1$ , по формуле  $D_i^{npon(k)} = D_i^{npon(k-1)} + D_i^k, i \in \Pi_k^*$

3. Пересчитывается нагрузка тех узлов, к которым подходят связи, входящие в минимальный разрез для  $k$ -го расчета по методу Ф-Ф, по формуле

$$N_l^{mpe\bar{o}(k)} = N_l^{mpe\bar{o}(k)} + \sum_{d=1}^z L_{dl}^{\max}, d=1, \dots, z; l \in Q_k^*; Q_k^* \subset \Pi_k^*,$$

где  $L_{di}^{\max}$  - пропускная способность каждой  $d$ -связи, подходящей к узлу  $l$  и входящей в минимальный разрез,  $z$  - количество связей, подходящих к узлу  $l$  и входящих в минимальный разрез,  $Q_k^*$  - множество узлов, являющихся завершением связей, входящих в минимальный разрез и принадлежащих области  $\Pi_k^*$ .

Подготовка информации для расчета по методу Ф-Ф для узлов, принадлежащих области  $\Pi_k^*$ .

1. Пересчитывается нагрузка  $N_i^{mpe\bar{o}(k)}, i \in \Pi_k^*$  узлов по формуле

$$N_i^{mpe\bar{o}(k)} = N_i^{mpe\bar{o}(k-1)} + D_i^k, i \in \Pi_k^*, \text{ при } k > 1$$

2. Определение  $D_i^{npon(k)}, i \in \Pi_k^*$ , при  $k > 1$ , по формуле  $D_i^{npon(k)} = D_i^{npon(k-1)} - D_i^k, i \in \Pi_k^*$

3. Пересчитывается нагрузка тех узлов, к которым подходят связи, входящие в минимальный разрез для  $k$ -го расчета по методу Ф-Ф, по формуле

$$N_l^{проб(k)} = N_l^{проб(k)} + \sum_{d=1}^z L_{ld}^{\max}, d = 1, \dots, z; l \in Q_k^*; Q_k^* \subset L_k^*,$$

где  $L_{ld}^{\max}$  - пропускная способность каждой  $d$ -связи, отходящей от узла  $l$  и входящей в минимальный разрез,  $z$  - количество связей, отходящих от узла  $l$  и входящих в минимальный разрез,  $Q_k^*$  - множество узлов, являющихся началом связей, входящих в минимальный разрез и принадлежащих области  $L_k^*$ .

Время расчета по второму этапу, как правило, не превышает времени расчета по первому этапу. Результаты расчетов по предложенному методу распределения дефицитов мощности могут использоваться также для проверки расчетов по другим методам.

Для иллюстрации результатов, полученных по приведенному выше методу распределения дефицитов мощности, приняты исходные данные, приведенные в [5]. Основные характеристики узлов и связей, необходимые для расчета, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики расчетного режима тестовой схемы

Узлы расчетной схемы	Генерирующая мощность, МВт	Мощность нагрузки, МВт	Небаланс, МВт	Номер связи	Номера узлов, примыкающих к соответств. связи, i-j	Пропускные способности связей в направлениях, МВт:	
						i - j	j - i
1	2333	2842	-509	I	1 - 2	360	360
2	1775	1726	49	II	2 - 3	150	100
3	333	562	-229	III	2 - 4	200	200
4	1350	170	1180	IV	2 - 5	800	1000
5	509	1549	-1040	V	4 - 5	1200	1200
6	921	524	397	VI	5 - 6	300	300
7	0	196	-196	VII	5 - 7	150	150
Система	7221	7569	-348				

Области, внутри которых не возникает препятствий для пропорционального распределения дефицита мощности (Области\*), а также величины дефицита (МВт), распределенные в каждой области, показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Области беспрепятственного пропорционального распределения дефицита мощности

Области*	Узлы, входящие в область*	Величина дефицита, распределенного в каждой области*, МВт
I	1	149
II	2, 4 и 5	171
III	3	79
IV	7	46
Сумма		445

Узел 6 не приведен в табл. 2, так как он не может принять дефицит из-за недостаточной пропускной способности связи между узлами 5 и 6. Избыток мощности в узле 6 равен 97 МВт.

Результаты расчетов, полученных по предложенному выше методу, приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов тестовой схемы по модели «ДФ-ЭНИН» с распределением дефицита мощности пропорционально нагрузкам (в области  $P_1^*$ )

Узлы, между которыми пропорционально распределяется суммарный дефицит мощности	Пропорционально распределенный дефицит без учета ограничений по связям, МВт	Пропорционально распределенный дефицит с учетом ограничений по связям, МВт
1	180	149
2	110	85,7
3	36	79
4	10	8,5
5	97	76,8
7	12	46
Система	445	445

#### Список литературы

1. Волков Г.А., Широкоступова М.С. Модели анализа и оптимизации надежности ОЭЭС для использования при формировании стратегии развития ЕЭЭС России // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2000. – Вып. 51. – С. 192-199.

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

3. Волков Г.А., Оптимизация надежности электроэнергетических систем. - М.:Наука, 1986. - 117с.

4. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. - М.: Мир, 1966. - 276с.

5. Зоркальцев В.И., Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Модели оценки дефицита мощности для исследования проблем надежности электроснабжения. - Современные методы оптимизации и их приложения к моделям энергетики: сб.науч.тр. - Новосибирск: Наука, 2003. - С.142-161.

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

УДК 681.335

### ПРОЕКТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ «МОСКОВСКОЕ КОЛЬЦО 500 кВ»

**Калинин В.Ф., Глинкин Е.И.**

*Россия г. Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

**Чичёв С.И.**

*Россия г. Москва, филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра*

*Рассмотрен проект волоконно-оптическая линия связи «Московское Кольцо 500кВ» Московского предприятия магистральных электрических сетей.*

*Reviewed a draft of fiber-optic communication line "Moscow Ring 500kV" Moscow backbone electric grids.*



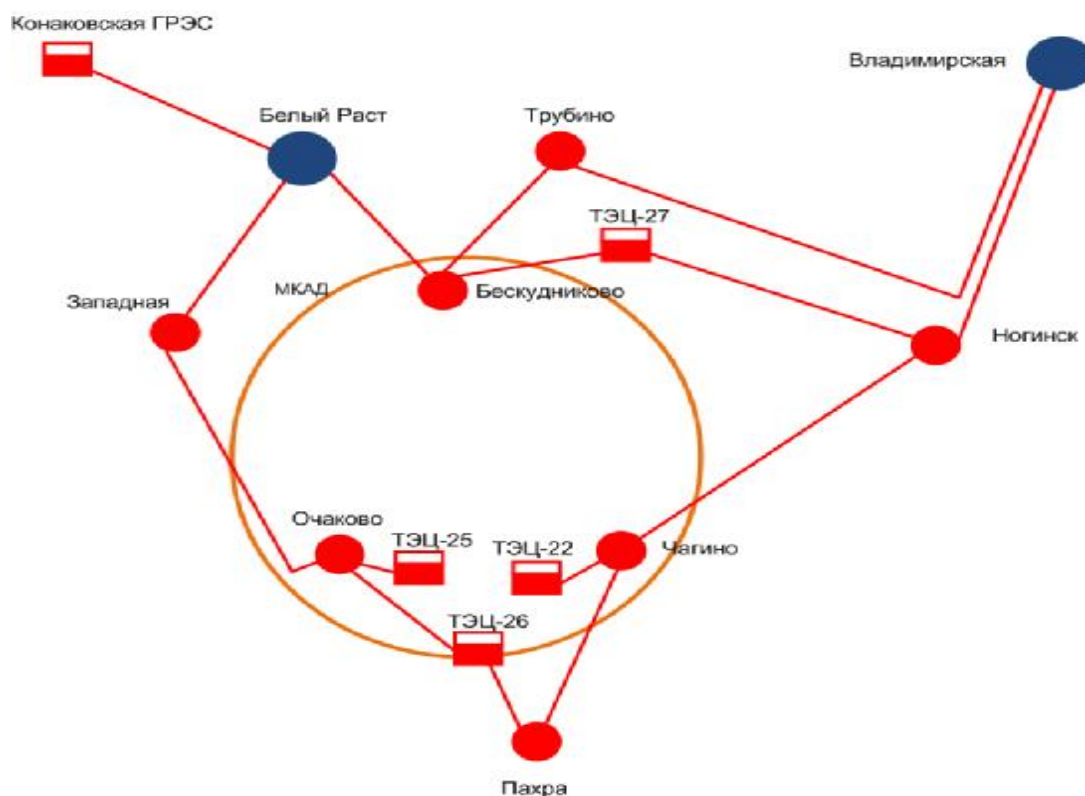
Первый крупный проект интеграции волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) в электроэнергетике был реализован в 2003 году, когда была построена волоконно-оптическая магистраль Москва – Санкт-Петербург – Финляндия. Она была оснащена современным оборудованием мультиплексирования (DWDM), что позволило обеспечить пропускную способность магистрали до 400 Гбит/с. Часть канала идущего в Финляндию была задействована для обмена трафиком с европейскими операторами связи. С 2007 по 2011 год велись работы по строительству ВОЛС «Московское Кольцо» по системообразующей сети 500 кВ г. Москвы и Московской области – это одноцепное кольцо, включающее 7 подстанций (ПС) ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра (рис.1) [1]:

- внутригородские – Бескудниково, Очаково, Чагино;
- областные – Ногинск, Пахра, Трубино и Западная.

А также ПС 750/500 кВ Белый Раст, ТЭЦ-26 и ТЭЦ-27.

В настоящее время работы по организации волоконно-оптической системы передачи ВОСП и ВОЛС окончены объединением четырёх подстанций напряжением 500 кВ - «Западная», «Бескудниково», «Очаково» и «Чагино» и прилегающей сети 220 и 110 кВ по следующей схеме (см. рис. 2) [3].

Таким образом, энергетические компании и МЭС Центра, в частности, рассматривают сотрудничество с операторами связи по строительству ВОЛС на ВЛ, как в общем успешно зарекомендовавшую себя практику. Это сотрудничество позволяет энергетикам активно развивать собственную технологическую связь, рационально используя средства.



**Рисунок 1 – Системообразующая сеть 500кВ г. Москвы и Московской области**

Следует отметить, что в энергетике немаловажной является возможность применения волоконно-оптических линий связи ЛЭП в релейной защите, а именно в продольных дифференциальных защитах линий [3]. Принцип действия продольной дифференциальной защиты кабельной или воздушной линий электропередачи основан на сравнении фазы и величины токов по концам защищаемой линии. При реализации такой защиты в традиционном исполнении обмен выполнялся при помощи аналоговых сигналов малой мощности (50 Гц или тональной частоты) При использовании

современных терминалов релейной защиты обычно реализуется обмен данными представленными в двоичном коде. При реализации дифференциальной защиты на традиционной элементной базе средой передачи данных являются металлические контрольные провода.

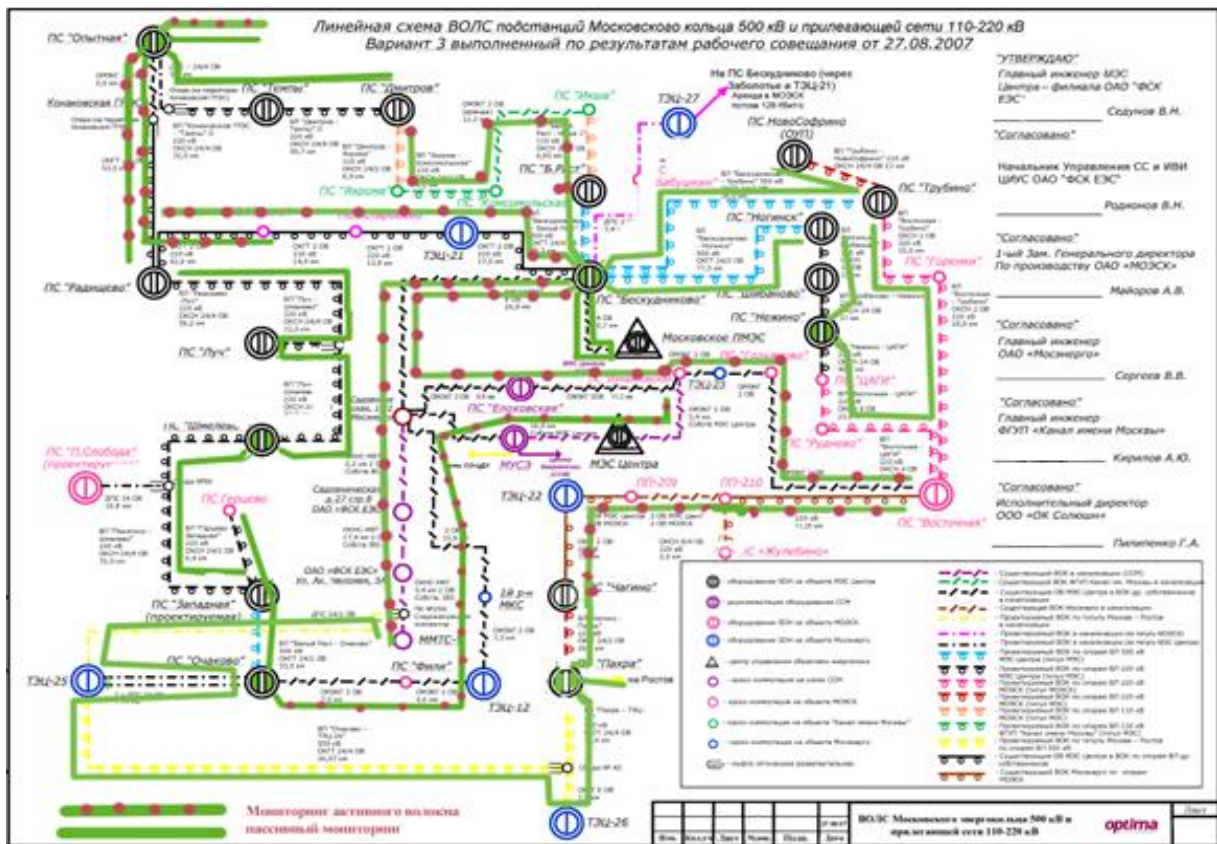


Рисунок 2 – Линейная схема ВОЛС подстанций 500кВ «Московское Кольцо» и прилегающей сети 220 и 110кВ



Рисунок 3 – Применение ВОЛС в продольных дифференциальных защитах линий

Волоконно-оптические кабели стали активно применяться только в течение последних нескольких лет, в таких проектах, однако, при коротких замыканиях на землю, а также импульсные помехи при коммутациях силового оборудования и при ударах молнии. Применение ВОЛС, встроенной в грозотрос, позволяет избежать всех этих проблем. Упрощенная структурная схема применения волоконно-оптической

линии связи в продольных дифференциальных защитах линий показана на рисунке 3.

Чаще всего волоконно-оптические кабели связи используются в мультиплексном режиме, обеспечивая передачу данных различного назначения. Поэтому терминалы защит на подстанциях по обоим концам линии подключаются к волоконно-оптической линии связи через мультиплексоры. Подключение к мультиплексорам, как правило, осуществляется по стандарту G.703 (рассматриваемому электрические характеристики стыков цифровых интерфейсов передачи голоса или данных через цифровые каналы типа E1). В некоторых случаях для целей защиты выделяются отдельные волокна, и в использовании мультиплексоров нет необходимости, в таком случае устройство защит должно иметь свои собственные оптические приемопередатчики. Отметим ряд преимуществ использования волоконно-оптических линий связи в продольных дифференциальных защитах линий [3]:

- налаженный канал связи между двумя терминалами защит можно использовать для нужд телемеханики, а также для мониторинга электрических параметров и состояний коммутационных аппаратов подстанции на другом конце линии. Появляется возможность организовать оперативную блокировку линейных разъединителей с заземляющими ножами на подстанции с противоположенного конца линии;

- возможность использования такого типа защит на любых по длине линиях электропередачи; возможность организации работы защит по двум взаиморезервирующим друг друга волоконно-оптическим линиям связи.

Таким образом, на примере проекта «Московское Кольцо 500кВ» и исходя из практики эксплуатации, можно сделать вывод об определенном удобстве и надежности применения ВОЛС, построенной с использованием инфраструктуры электроэнергетики, не только для решения коммерческих «телекоммуникационных» задач, но и для успешного применения в области технологической связи, телемеханики, релейной защиты и автоматики.

#### Список литературы

1. Седунов, В.Н. Развитие электрических сетей ОАО «ФСК ЕЭС» на территории Московского региона. Доклад генерального директора филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра министру энергетики РФ С.И. Шматко/ В.Н. Седунов: Москва, 2011г. – 58с.
2. Годовой отчёт филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра: Москва, 2011. – 228с.
3. Ли, В.А. Информационно-технологические системы МЭС Центра. Доклад начальника службы ИТС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра на совещании в ОАО «СО ЕЭС» [Текст] / В.А. Ли: Москва, 2009г. – 35с.
4. Типовой альбом «Технические требования на создание ВОЛС по титулу «Москва – Ростов-на-Дону в зоне филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра и МЭС Юга»: ОАО «Институт Энергосетьпроект». – Москва, 2008г. – 120с.

**Глинкин Евгений Иванович** – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; [bmt@nnn.tstu.ru](mailto:bmt@nnn.tstu.ru)

**Калинин Вячеслав Федорович** – д-р техн. наук, профессор, зав кафедрой: «Электрооборудование и автоматизация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;

**Чичёв Сергей Иванович** – канд. техн. наук, ведущий инженер Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра, г. Москва.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАССИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ

Глинкин Е.И., Глинкин М.Е.

Россия г. Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

*Проведена оценка эффективности характеристик пассивного делителя напряжения по эквивалентам для синтеза инноваций по закономерностям.*

*The assessment of efficiency of characteristics of a passive divider of tension on equivalents for synthesis of innovations on regularities is carried out.*

Оценка эффективности технических решений [1 - 4] итерационными методами анализа – сложная задача из-за неопределенности эквивалента и мер оценок, отсутствия закономерностей и регламентируемых критериев. Поставленную задачу рационально решают оптимизационные методы идеального конечного результата (ИКР): качественного анализа исследуемых характеристик по тождественности эквивалентов и количественного синтеза закономерностей по производным. Сущность методов ИКР заключается в отождествлении исследуемой функции желаемому эквиваленту линейного преобразования с нормированной мерой без параметрического дрейфа и выявлению оптимальных условий – необходимых закономерностей ИКР.

Линейные физические процессы (обмен энергии и преобразование сигнала, управление структурами и программирование связей и т. д. [3]) моделируют пассивными и активными амплитудными преобразователями на резисторах с линейными вольтамперными характеристиками. В зависимости от последовательного, параллельного и смешанного соединения резисторов пассивные делители классифицируют [3, 4] на делители напряжения, тока и мощности, характеристики которых регламентированы тождественными преобразованиями. Синтез характеристик приводится на примере элементарной схемы пассивного делителя напряжения (ДН) на последовательном соединении резисторов сопротивлением  $R_1$ ,  $R_2$  и электрической проводимостью  $Y_i = 1/R_i$  для  $i=1, 2$  (см. рис. 1), подключенного параллельно к источнику напряжения  $E$  для получения амплитуды  $U$ .

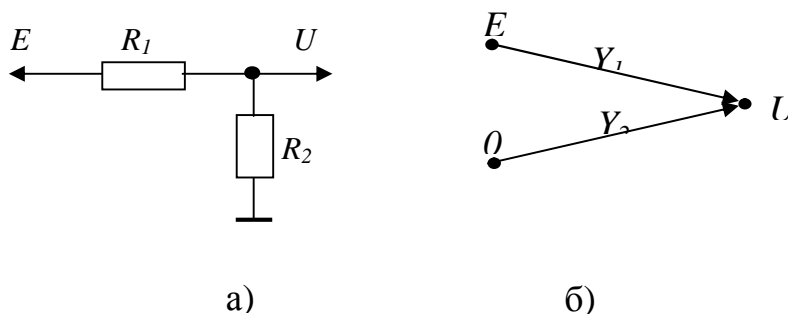


Рисунок 1 – Электрические схемы делителя напряжения:  
а) принципиальная, б) на сигнальных графах

Расчет характеристик ДН проведен методом узловых потенциалов по схеме замещения (рис. 1, б) на сигнальных графах по первому правилу Кирхгофа для исследуемого узла потенциалом  $U$  и графами с весом проводимостей  $Y_i$ . Величина вытекающего из узла  $U$  тока  $i = U(Y_1 + Y_2)$  равна сумме входящих по сигнальным графам токов от узлов потенциалами  $E$  и  $0$ , соответственно амплитудой  $i_1 = EY_1$  и  $i_2 = 0Y_2$ . Уравнение по закону Кирхгофа о непрерывности токов реализует математическую модель

$$U(Y_1 + Y_2) = EY_1 + 0Y_2, \quad (1)$$

откуда следуют переходные статические характеристики  $U(E)$  через проводимости

$$U = E \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} \quad (2a)$$

или сопротивления

$$U = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2б)$$

Переходные характеристики (2) применяют для сопоставительного анализа абсолютных значений амплитуд напряжения (тока, мощности и т. д.), а для относительной оценки амплитуд различных преобразований на интервале  $\{0,1\}$  или  $\{0,100\}\%$  рациональны характеристики преобразования по усилению для  $k = U/E > 1$  или ослаблению (делению) для  $k < 1$ :

$$k = \frac{U}{E} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (3a)$$

а с учетом нормированного эквивалента

$$k_0 = \frac{R_2}{R_1}, \quad (3б)$$

характеристики коэффициента преобразования

$$k = \frac{k_0}{1 + k_0}. \quad (3в)$$

Уникальность характеристики (3в) обусловлена зависимостью коэффициента  $k$  исследуемого преобразования с ИКР коэффициента  $k_0$  (3б) нормированного линейного преобразования, желаемой характеристикой - принимаемой за нормированный эквивалент. Характеристика (3в) позволяет оценить эффективность исследуемого ДН с нелинейным преобразованием (дрейфом или ненормированной оценкой, т. е. «гадкого утенка») относительно желаемого ИКР с линейным преобразованием (без дрейфа, с гальванической развязкой, т. е. «белого лебедя»). При этом эффективность, как неопределённая дефиниция итерационного анализа, представляется в информационной технологии [2 - 4] проектирования как нормированная мера оценки результата действия (эффекта) согласно [1, с. 1569], т. е. уровня научно-технического решения. Эффективность служит количественной оценкой качества инноваций (уровня новизны и творчества, производительности и рентабельности, линейности и дрейфа, точности и диапазона и т. д.) для иерархии по метрологии (точность, надёжность и оперативность) и производным от нее: технологичности и экономичности [см. 2, §2.4, рис. 2.5, с. 74 - 79].

Следовательно, приведен расчет статических характеристик пассивного делителя, связывающих исследуемый коэффициент преобразования с нормируемым эквивалентом ИКР, как мерой оценки метрологической эффективности для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

Приведен сопоставительный анализ оценок метрологической эффективности для систематизации закономерностей анализа и синтеза в информационную технологию проектирования. Оценка эффективности технических решений итерационными методами анализа – трудоемкая задача из-за неопределенности эквивалентов и мер оценок, отсутствия закономерностей и регламентируемых критериев. Оценку метрологической эффективности рационально решают методы ИКР: качественного анализа исследуемых характеристик по тождественности эквивалентам и количественного синтеза закономерностей по производным. Методы ИКР отождествляют исследуемую функцию «гадкого утенка» желаемому идеальному образу «белого лебедя» - эквиваленту линейного преобразования с нормированной мерой без параметрического дрейфа для выявления оптимальных условий – необходимых закономерностей ИКР. Расчет исследуемых характеристик приведен на примере пассивного делителя амплитуды методом узловых потенциалов по схеме

замещения на сигнальных графах по правилам Кирхгофа. Выявлена уникальность характеристики делителя, обусловленная зависимостью нелинейного коэффициента исследуемого преобразователя (гадкого утенка) с ИКР коэффициента (белым лебедем) нормированного линейного преобразования, желаемой характеристики, принимаемой за нормированный эквивалент, что позволяет оценить эффективность линейного преобразования (без дрейфа, с гальванической развязкой) с нелинейностью делителя (дрейфом и ненормированной мерой).

Эффективность, как неопределенная дефиниция итерационного анализа, представляется в информационной технологии проектирования как «нормированная мера оценки» результата действия (эффекта), т.е. уровня творчества инновации. Расчет статических характеристик связывает исследуемый коэффициент преобразования с нормируемым эквивалентом ИКР как меры оценки метрологической эффективности для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности. Приведены оценки эффективности по нелинейности и линейности, абсолютной и относительной погрешности преобразования методом тождественности эквивалентов пассивного делителя, доказывающие невозможность на нем линейного преобразования из-за коэффициента деления  $k < 1$  и неравной константе нелинейности  $h \neq 1$ . Методы оптимизации показывают тождественность исследуемого коэффициента в пределе эквиваленту, когда характеристика нелинейности и ее инверсия линейность в пределе представлены константой единичной меры, при нормировании абсолютной и относительной погрешности эквивалентам нулевого уровня. Установлена взаимозависимость оценок метрологической эффективности, что позволяет по тождественным закономерностям организовать взаимозаменяемость эквивалентов нормируемых мер и оценок метрологической эффективности. Показана тождественность нелинейности преобразования относительной эффективности коэффициентов деления и тождественность их абсолютной эффективности – абсолютной погрешности преобразования энергии и сигнала. Абсолютная эффективность количественно оценивает качество в виде разницы исследуемой характеристики с нормированной мерой эквивалента ИКР, а их отношение на интервале  $\{0,1\}$  или в процентах является относительной эффективностью для количественной оценки качества нормируемых по эквиваленту различных исследуемых характеристик.

Сопоставительный анализ оценок эффективности и методов их оптимизации показывает, что эффективность служит количественной оценкой качества инновации по нормируемой мере эквивалента ИКР (анализа уровня) новизны и творчества, производительности и рентабельности, линейности и дрейфа, погрешности и диапазона и т.д.), рассчитываемой для мониторинга и прогноза вектора развития творчества по метрологическим критериям (точность, надежность и оперативность) и уровням иерархии эффективности: технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

### Выводы

1. Рассчитаны статические характеристики пассивного делителя, связывающие исследуемый коэффициент преобразования с нормируемым эквивалентом ИКР, как меры оценки метрологической эффективности для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

2. Выведены оценки эффективности по нелинейности и линейности, абсолютной и относительной погрешности преобразования, показывающие тождественность нелинейности преобразования по абсолютной погрешности соответственно относительной и абсолютной эффективности для количественной оценки качества нормируемых по эквиваленту ИКР исследуемых характеристик.

3. Выявлены закономерности оптимизации методами эквивалентов и производных, показывающие тождественность исследуемого коэффициента эквиваленту, когда нелинейность и линейность в пределе представлены константой

единичной меры, при нормированным абсолютной и относительной погрешности эквивалентам нулевого уровня, для повышения достоверности эффективности, как количественной оценки качества инноваций.

4. Проведен сопоставительный анализ оценок эффективности, отражающий их взаимозависимость для взаимозаменяемости эквивалентов нормируемых мер и оценок метрологической эффективности мониторинга и прогноза новизны и творчества, производительности и рентабельности инноваций.

#### Список литературы

1. Советский энциклопедический словарь/гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. Энциклопедия, 1987. – 1600с.
2. Глинкин Е.И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168с.
3. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология аналого-цифровых преобразователей. – Тамбов: ТГТУ, 2008.-140с.
4. Глинкин Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 152с.

**Глинкин Евгений Иванович**, д. т. н., профессор кафедры «Биомедицинская техника» ТамбовГТУ, Заслуженный изобретатель Российской Федерации; [glinkinei@rambler.ru](mailto:glinkinei@rambler.ru), тел. (8-4752) раб. 63-56-20, дом. 51-23-45.

**Глинкин Михаил Евгеньевич**, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Биомедицинская техника», ТамбовГТУ; [glinkinei@rambler.ru](mailto:glinkinei@rambler.ru), тел. (8-4752) 63-56-20, дом. 72-79-72.

УДК 519.1+621.3

### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ К КОНЕЧНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ВХОДОВ И ПАРАМЕТРОВ

**Блюмин С.Л., Погодаев А.К., Сараев П.В.**

*Россия, Липецк, ЛГТУ*

*Для заданной математической модели зависимости выхода энергосистемы от ее входов и параметров точная математическая модель чувствительности к конечным изменениям входов и параметров построена на основе теоремы Лагранжа о среднем значении. Приведен простейший пример отыскания вспомогательного параметра Лагранжа для промежуточной точки в случае линейно-нелинейной по параметрам модели.*

*For given mathematical model of dependence of energy system output from its inputs and parameters, exact mathematical model of sensitivity to finite variations of inputs and parameters is constructed on the basis of Lagrange's mean value theorem. Simplest example is considered of searching auxiliary Lagrange's parameter for intermediate point in the case of model which is linear-nonlinear with respect to parameters.*

Работа поддержана РФФИ, проект № 11-07-97504-р\_центр\_а

При всей известной сложности энергосистем [1] они, в конечном счёте и в большинстве случаев, могут быть описаны математической моделью

$$y = f(x, b),$$

где  $x \in R^m$  – векторный вход,  $y \in R$  – выход,  $b \in R^n$  – векторный параметр системы.

Если вход и параметр претерпевают изменения  $\Delta x$  и  $\Delta b$ , то выход претерпевает соответствующее изменение  $\Delta y$ , и чувствительность системы к этим изменениям описывается моделью

$$\Delta y = F(\Delta x, \Delta b). \quad (1)$$

Стандартный математический анализ [2], оперирующий малыми изменениями, подсказывает приближенную линейную структуру модели (1)

$$\Delta y \approx \nabla_x^T f(x, b) \cdot \Delta x + \nabla_b^T f(x, b) \cdot \Delta b = \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x, b)}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f(x, b)}{\partial b_j} \cdot \Delta b_j, \quad (2)$$

где  $\nabla_x^T f(x, b) = \left( \dots, \frac{\partial f(x, b)}{\partial x_i}, \dots \right)$ ,  $\nabla_b^T f(x, b) = \left( \dots, \frac{\partial f(x, b)}{\partial b_j}, \dots \right)$  – градиенты функции  $f$  по векторам  $x$  и  $b$ , составленные из соответствующих частных производных, вычисленных при начальных значениях  $x$ ,  $b$  входа и параметра.

В теории автоматического управления [3] производные  $\frac{\partial f(x, b)}{\partial b_j}$  известны как функции чувствительности модели к изменениям параметров; производные  $\frac{\partial f(x, b)}{\partial x_i}$  могут быть охарактеризованы как функции чувствительности выхода к изменениям входов. Функции чувствительности модели к изменениям параметров, помимо собственного значения, играют важную роль во многих проблемах автоматического управления; в частности, они используются в алгоритмах адаптивной идентификации нелинейных по параметрам моделей систем автоматизации и управления [4].

Наряду со связью (1) абсолютных изменений во многих задачах представляет интерес и связь относительных изменений

$$dy = \Phi(dx, db), \quad (1')$$

где относительное изменение  $dy = \Delta y / y$ , а векторы  $dx$ ,  $db$  составлены из соответствующих относительных изменений их координат  $dx_i = \Delta x_i / x_i$ ,  $db_j = \Delta b_j / b_j$ . Непосредственно из (2) следует приближенная линейная структура модели (1')

$$dy \approx \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f(x, b)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y} \right) \cdot dx_i + \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial f(x, b)}{\partial b_j} \cdot \frac{b_j}{y} \right) \cdot db_j, \quad (2')$$

где выражения  $\frac{\partial f(x, b)}{\partial b_j} \cdot \frac{b_j}{y}$  известны как относительные функции чувствительности модели к изменениям параметров; соответственно  $\frac{\partial f(x, b)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{y}$  – относительные функции чувствительности выхода к изменениям входов; они допускают представления в виде  $\frac{\partial \ln f(x, b)}{\partial \ln b_j}$ ,  $\frac{\partial \ln f(x, b)}{\partial \ln x_i}$  соответственно. Следует отметить, что в экономическом факторном анализе эти характеристики известны как эластичности [5].

Представление (2), будучи приближенным, представляет ценность для анализа чувствительности математической модели при малых изменениях входов и параметров системы. Если же эти изменения не малы, но конечны, то представляется целесообразным использовать представление, основанное на теореме Лагранжа из математического анализа, известной также как дифференциальная теорема о среднем, теорема о промежуточном значении или формула конечных приращений. Систематическое исследование возможностей использования такого представления в задачах экономического факторного анализа представлено в [5]. Основной при этом является заменяющая (2) уже не приближенная, а точная модель связи конечных изменений

$$\begin{aligned} \Delta y &= \nabla_x^T f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b) \cdot \Delta x + \nabla_b^T f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b) \cdot \Delta b = \\ &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b)}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b)}{\partial b_j} \cdot \Delta b_j, \end{aligned} \quad (3)$$



где значение вспомогательного параметра Лагранжа  $a \in [0,1]$  определяет промежуточное между начальным ( $a=0$ ) и конечным ( $a=1$ ) значениями величины, претерпевающей конечное изменение.

Теорема Лагранжа не конструктивна и не дает в общем случае способ вычисления значения  $\alpha$ . В [5] приведены примеры его вычисления для различных конкретных моделей экономических зависимостей. Ниже в качестве примера рассматривается простейшая модель линейно-нелинейной по параметрам структуры; именно такие структуры лежат в основе моделей искусственных нейронных сетей [6], которые, как указано в [7], могут служить перспективным математическим обеспечением автоматизированных систем управления энергосбережением.

Рассматриваемая модель и ее функции чувствительности к изменениям параметров имеют вид

$$y = a \cdot \exp(b \cdot x), \quad \frac{\partial y}{\partial a} = \exp(b \cdot x), \quad \frac{\partial y}{\partial b} = a \cdot x \cdot \exp(b \cdot x)$$

с заданными начальными значениями входа  $x$  и параметров  $a, b$ . Изменение модели при заданных изменениях параметров  $\Delta a, \Delta b$  непосредственно вычисляется по формуле

$$\Delta y = (a + \Delta a) \cdot \exp((b + \Delta b) \cdot x) - a \cdot \exp(b \cdot x) = \exp(b \cdot x) \cdot ((a + \Delta a) \cdot \exp(\Delta b \cdot x) - a).$$

С другой стороны, по формуле Лагранжа

$$\begin{aligned} \Delta y &= \exp((b + a \cdot \Delta b) \cdot x) \cdot \Delta a + (a + a \cdot \Delta a) \cdot x \cdot \exp((b + a \cdot \Delta b) \cdot x) \cdot \Delta b = \\ &= \exp(b \cdot x) \cdot \exp(a \cdot \Delta b \cdot x) \cdot (\Delta a + (a + a \cdot \Delta a) \cdot x \cdot \Delta b). \end{aligned}$$

Приравнивание этих выражений приводит к уравнению относительно вспомогательного параметра Лагранжа  $a$

$$\exp(\Delta b \cdot x \cdot a) \cdot (\Delta a \cdot \Delta b \cdot x \cdot a + \Delta a + a \cdot \Delta b \cdot x) = (a + \Delta a) \cdot \exp(\Delta b \cdot x) - a,$$

которое алгебраическими преобразованиями может быть приведено к виду

$$a = -\frac{\Delta a + a \cdot \Delta b \cdot x}{\Delta a \cdot \Delta b \cdot x} + \frac{(a + \Delta a) \cdot \exp(\Delta b \cdot x) - a}{\Delta a \cdot \Delta b \cdot x} \cdot \exp(-\Delta b \cdot x \cdot a),$$

то есть к стандартному виду  $a = j(a)$ , решаемому известными итерационными алгоритмами [2]. Необходимо отметить, что для данной структуры модели при заданных значениях величин  $x, a, b, \Delta a, \Delta b$  требуется исследование сходимости итерационных алгоритмов и выделение по крайней мере одного корня, принадлежащего промежутку  $[0,1]$  в соответствии с теоремой Лагранжа. В моделях искусственных нейронных сетей экспонента заменяется функцией активации; кроме того, эти модели имеют суперпозиционную структуру [6], что усложняет отыскание значения вспомогательного параметра Лагранжа  $a \in [0,1]$ ,

Исходя из изложенного, представляется целесообразным, наряду с традиционными функциями чувствительности  $\frac{\partial f(x,b)}{\partial b_j}, \frac{\partial f(x,b)}{\partial x_i}$ , использовать

и функции чувствительности  $\frac{\partial f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b)}{\partial b_j}, \frac{\partial f(x + a \cdot \Delta x, b + a \cdot \Delta b)}{\partial x_i}$ ,

которые могут быть названы «лагранжевыми».

#### Список литературы

1. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.
2. Ильин В.А., Садовничий В.А., Сендов Б.Х. Математический анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 662 с.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

4. Погодаев А.К., Блюмин С.Л. Адаптация и оптимизация в системах автоматизации и управления. – Липецк: ЛЭГИ, 2003. – 128 с.
5. Блюмин С.Л., Суханов В.Ф., Чеботарев С.В. Экономический факторный анализ. – Липецк: ЛЭГИ, 2004. – 148 с.
6. Сараев П.В. Идентификация нейросетевых моделей. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2011. – 94 с.
7. Блюмин С.Л., Погодаев А.К., Сараев П.В. Перспективное математическое обеспечение автоматизированных систем управления энергосбережением // Сб. тр. 9-ой Междунар. науч.-прак. Интернет-конф. «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век». – Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2011. – С. 262-265.

**Блюмин Семен Львович**, д-р. ф.-м. наук, проф., Липецкий государственный технический университет, профессор кафедры прикладной математики, [slb@stu.lipetsk.ru](mailto:slb@stu.lipetsk.ru), (4742)307934.

**Погодаев Анатолий Кириянович**, д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный, технический университет, ректор, заведующий кафедрой прикладной математики, [pak@stu.lipetsk.ru](mailto:pak@stu.lipetsk.ru), (4742)328000.

**Сараев Павел Викторович**, канд. техн. наук, доц., Липецкий государственный, технический университет, декан факультета автоматизации и информатики, доцент кафедры прикладной математики, [psaraev@yandex.ru](mailto:psaraev@yandex.ru), (4742)328002.

УДК 62-83::621.313.3

## **МИНИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

**Пугачев А.А., Космодамианский А.С., Бондаренко Д.А.**  
*Россия, г. Брянск, БГТУ*

*Приведена задача снижения мощности потерь энергии электропривода с асинхронным двигателем и векторной системой управления. Предложено в качестве критерия энергоэффективности использовать коэффициент мощности. Рассмотрена система векторного управления асинхронным двигателем, обеспечивающая заданное значение коэффициента мощности.*

*The problem of power losses of electric drive with vector-controlled induction motor is presented. It is proposed to use the power factor for power losses minimization control. The vector control system of induction motor to maintain the reference value of power factor is considered.*

Примерно половина всей электроэнергии, вырабатываемой в мире, потребляется электроприводами, большая часть из которых – электроприводы с асинхронными двигателями. За последние полтора-два десятка лет вышло достаточно большое количество разнообразных научных работ, посвященных проблеме минимизации мощности потерь энергии в электроприводе с асинхронным двигателем [1 – 3 и др.]. Несмотря на то, что в ряде из них получены приемлемые для практической реализации результаты, все еще нет единого общепризнанного подхода для решения проблемы.

Распространенным методом минимизации потерь является поиск такой рабочей точки, в которой входная электрическая мощность будет иметь минимальное значение для заданных параметров механического движения (частота вращения и момент) [3]. Требуемая рабочая точка может быть найдена регулированием соотношения напряжение / частота тока статора ( $U/f$ ), применением нечеткого регулятора или адаптивным регулятором. Режим работы электропривода, соответствующий минимальной мощности потерь энергии, обеспечивается пошаговым, дискретным изменением магнитного потока. Главное преимущество подобных систем – независимость качества управления от значения параметров схемы замещения

асинхронного двигателя. Недостаток данного подхода – необходимость сверхточного измерения электрической мощности в режиме реального времени для исключения появления колебательных процессов в режиме минимума мощности.

Другой вариант решения задачи минимизации потерь – использование аналитических методов. В этом случае мощность потерь энергии вычисляется по известным выражениям; замкнутая система управления регулирует управляющие воздействия таким образом, чтобы добиться выхода в точку минимальными потерями энергии. Аналитические системы проще в реализации по отношению к поисковым система, однако им свойственен серьезный недостаток – зависимость качества управления от точности определения параметров схемы замещения.

В данной работе в качестве критерия энергоэффективности используется коэффициент мощности цепи статора, который может быть вычислен следующим образом:

$$k_m = \frac{u_{su} i_{su} + u_{sn} i_{sn}}{\sqrt{(u_{su}^2 + u_{sn}^2)(i_{su}^2 + i_{sn}^2)}}$$

где  $u_{su}, u_{sv}, i_{su}, i_{sv}$  – проекции напряжения и токов статора на соответствующие оси.

Мощность потерь  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \frac{3}{2} \left[ R_s (i_{su}^2 + i_{sn}^2) + R_r (i_{ru}^2 + i_{rv}^2) + K_\sigma w_0 Y_m^2 + K_\tau w_0 Y_m^2 \right].$$

После математических преобразований получим:

$$\Delta P = \frac{3}{2} \left[ R_s (i_{su}^2 + i_{sn}^2) + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r i_{sv}^2 + (K_\sigma w_0 + K_\tau w_0^2) \left( \frac{L_m^2 (L_r - L_m)}{L_r^2} i_{sv}^2 + L_m^2 i_{su}^2 \right) \right]$$

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:  $R_s, R_r$  – сопротивления обмотки статора и ротора (приведенное к обмотке статора), соответственно;  $L_s, L_r, L_\mu$  – полные индуктивности рассеяния обмотки статора, ротора (приведенная к обмотке статора) и взаимоиндуктивность соответственно;  $\omega, \omega_0$  – частоты вращения вала ротора и магнитного поля статора соответственно;  $i_{ru}, i_{rv}$  – проекции тока ротора на соответствующие оси,  $\psi_\mu$  – главное потокосцепление,  $K_\sigma$  и  $K_\tau$  – коэффициенты, учитывающие потери на вихревые токи и гистерезис в магниопроводе статора соответственно.

На основании математической модели асинхронного двигателя в ортогональных осях  $u, v$ , вращающихся с частотой вращения вала ротора [3], выразим зависимость коэффициента мощности от мощности потерь:

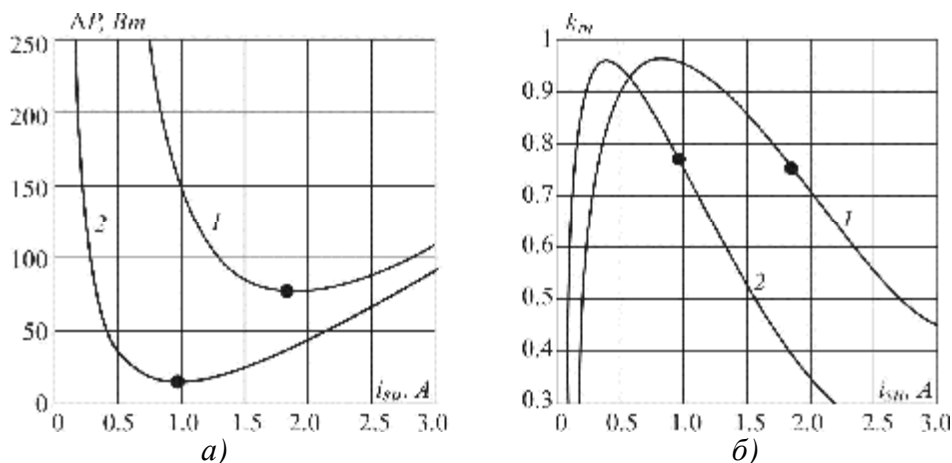
$$\frac{4w}{3\Delta P} + \frac{16}{9\Delta P^2} \left[ R_s \frac{L_m^2}{L_r^2} + R_r \right] \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} + \frac{R_s}{L_m^2} \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}$$

$$\text{где } a_0 = \frac{L_m}{L_r} + s \frac{L_s}{L_m}, \quad a_1 = \frac{4}{3\Delta P} \left[ R_r \left( \frac{L_m}{L_r} + s \frac{L_s}{L_m} \right) - \frac{L_s}{L_m} R_s \right], \quad a_2 = \frac{R_s}{L_m}, \quad a_3 = \frac{16s}{9\Delta P^2} \frac{L_s L_r R_r}{L_m},$$

$$a_4 = \frac{4s}{3\Delta P} \frac{L_s L_r}{L_m}, \quad a_5 = \frac{4}{3\Delta P} \frac{L_r}{L_m}, \quad a_6 = \frac{1}{L_m}, \quad K_1 = \frac{16}{3\Delta P^2} \left( R_r + R_r^2 K_\sigma + \frac{L_r^2}{L_m^2} R_s \right)$$

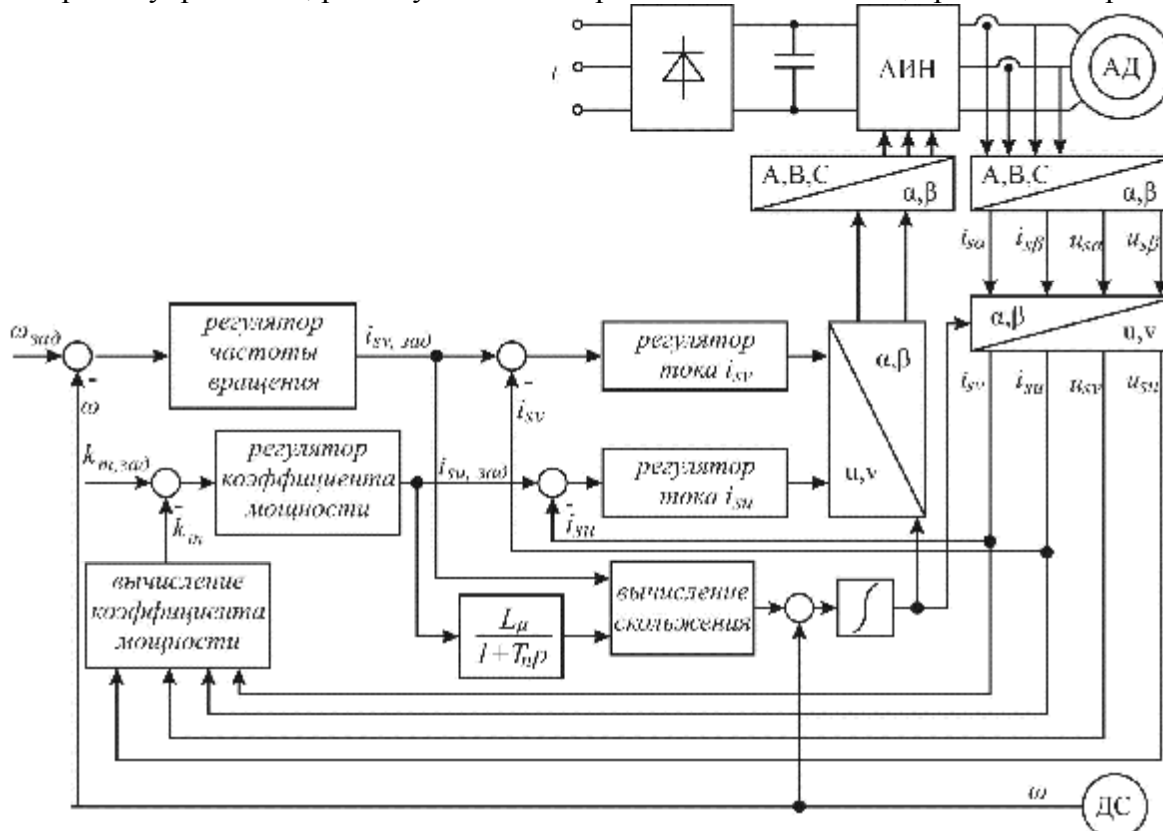
$$K_2 = 3 \left( \frac{R_s}{L_m^2} + K_\tau w + K_\tau w^2 \right)$$

Графически зависимость коэффициента мощности и мощности потерь от тока статора показана на рис. 1.



**Рисунок 1 – Зависимость мощности потерь  $\Delta P$  (а) и коэффициента мощности  $k_m$  (б) от тока статора  $i_{su}$  асинхронного двигателя мощностью 1,5 кВт (момент сопротивления  $M_{c1}=5M_{c2}=M_n$ , где  $M_n$  – номинальный  $M_c$ )**

Из графиков, приведенных на рис. 1 видно, что режим минимума мощности потерь и максимума коэффициента мощности не вполне соответствуют друг другу с точки зрения значения тока статора. Также следует отметить, что значение коэффициента мощности, соответствующее минимуму мощности потерь находится на наиболее крутом участке зависимости  $k_m=f(i_{su})$ . Приведенные кривые были получены для номинальной частоты вращения, с уменьшением частоты вращения режимы максимума  $k_m$  и минимума  $\Delta P$  приближаются друг к другу. Структурная схема системы векторного управления, реализующей поддержание постоянства  $k_m$  приведена на рис. 2.



**Рисунок 2 – Структурная схема системы векторного управления (ДС – датчик частоты вращения вала ротора, АИН – автономный инвертор напряжения, АД – асинхронный двигатель)**

Результаты моделирования предложенной системы управления в программе MatLab показали, что наибольший эффект достигается в области частичных нагрузок. Так при номинальном моменте сопротивления мощность потерь уменьшается на

2...3%, в то время как при нагрузках  $M_c=0,2 M_n$ , уменьшение мощности потерь составляет 15...18%. Также результаты моделирования продемонстрировали удовлетворительную динамику отработки задающих и возмущающих воздействий.

#### Список литературы

1. Поляков, В.Н. Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов / В.Н. Поляков // авторефер. дисс. ... докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2009. – 41 с.
2. An efficiency-optimization controller for induction motor drives / M.E.H. Benbouzid, N.S. Nait Said // IEEE Power Engineering Review, Vol. 18, Issue 5, pp. 63 –64, 1998.
3. Космодамианский, А.С. Моделирование электропривода с асинхронным двигателем в режиме минимума мощности потерь / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Электротехника. - 2012. - № 12. - С. 26 – 31.

**Пугачев Александр Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, Брянский государственный технический университет, [alexander-pugachev@rambler.ru](mailto:alexander-pugachev@rambler.ru), 8 919 192-88-70

**Космодамианский Андрей Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, Российская открытая академия транспорта Московского государственного университета путей сообщения, [askosm@mail.ru](mailto:askosm@mail.ru).

**Бондаренко Денис Андреевич**, Брянский государственный технический университет, [dilekter@gmail.com](mailto:dilekter@gmail.com), 8 853 274 88 25.

УДК 620.92

### ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УДАЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РАМКАХ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

**Отрощенко А.А.**

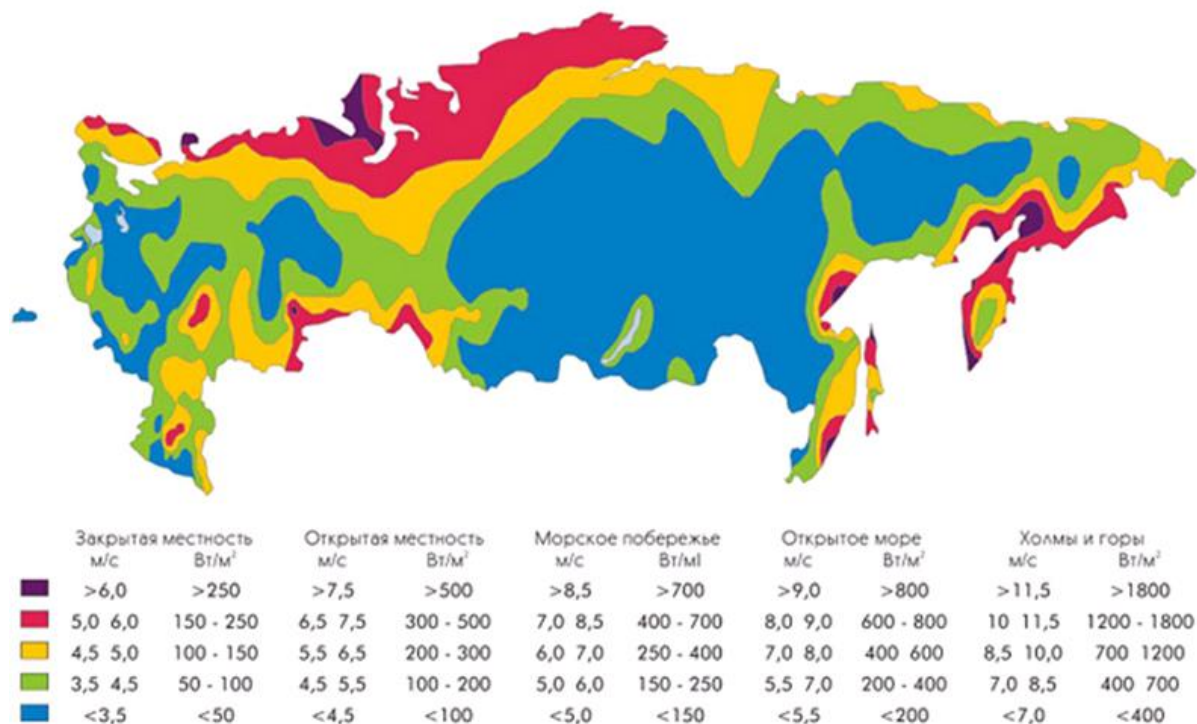
*Россия, г. Новосибирск, НГТУ*

*Проблемы энергоснабжения арктической зоны России могут быть эффективно решены с помощью возобновляемых источников энергии. Однако, наличие большого валового потенциала ветроресурсов не является стимулом для развития этого направления энергетики. Существующие российские примеры ВЭС доказывают необходимость более детального рассмотрения проектов ВИЭ.*

*The energy supply problems of Russian Arctic zone can be efficiently solved by using renewable energy sources. However, the presence of a large total wind potential is not an inducement for the development of this field of energy. The existing Russian examples of wind power stations demonstrate the necessity of more detailed examination of RES projects.*

Доля электроэнергии, вырабатываемой с помощью возобновляемых источников энергии, в России не превышает 1,5%. В то же время необходимо отметить, что использование возобновляемых источников энергии в децентрализованных зонах нашей страны позволит решить проблемы топливообеспечения, повысить уровень энергобезопасности отдаленных территорий и создать необходимые условия для развития социальной и экономической сфер.

Одним из самых перспективных направлений ВИЭ в условиях заполярья является использование энергии ветра. По исследованиям Безрукого П.П. [1], российское побережье Северного-Ледовитого и Тихого океанов обладают значительным валовым потенциалом ветроресурсов (Рисунок 1).



**Рисунок 1 – Ветровые ресурсы России**

Развитие современных технологий позволяет осуществлять установку ветрогенераторов в суровых климатических условиях. Подтверждением этому может служить Чукотская ВЭС, функционирующая на мысе Обсервация с 2002 года. Ветропарк был спроектирован для решения острой проблемы энергодефицита поселка Угольные копи, где поселковая ДЭС из-за отсутствия дизельного топлива снабжала население электроэнергией лишь 3-4 час в сутки.

С момента запуска агрегатов Чукотская ВЭС вырабатывала порядка 3 млн. кВт·ч в год, что позволило полностью покрыть спрос на электроэнергию поселка. Угольные Копи (порядка 250 домов). Планировалось дальнейшее строительство ветропарка и увеличение числа машин, однако, из-за нехватки финансирования проект был закрыт. Вследствие отсутствия с 2003 года ремонтно-профилактического обслуживания после 2005 года ВЭС снизило свою выработку до 1 млн. кВт·ч в год. Данный факт связан в первую очередь с использованием механической ориентации «на ветер» (виндзоры), что требует постоянного участия специалистов в верной ориентации установок. В ходе эксплуатации было отмечено, что суровые климатические условия региона – порывы ветра до 50 м/с и температуры ниже - 40 °С – не оказывают существенного влияния на работу ВЭС, случаев обледенения лопастей не наблюдалось [2].

Расчетная себестоимость электроэнергии Чукотской ВЭС – 4,9 руб. / кВт·ч. Проект можно было бы отнести к экономически эффективным, однако, вследствие нарушения режимов работы станции и значительного снижения годовой выработки, требуемые показатели эффективности достигнуты не были. Это доказывает необходимость более детального рассмотрения проектов строительства ветропарков в Российской Федерации.

Автором был рассчитан аналогичный проект в Ненецком автономном округе с учетом имеющегося опыта эксплуатации ВЭС Чукотки. Проект оказался экономически эффективным и по подсчетам мог бы оказать значительную поддержку региону как в части экономии бюджетных средств, так и в повышении энергобезопасности территории за счет сокращения зависимости от северного завоза топлива.

Таким образом, можно сказать, что использование возобновляемых источников энергии в децентрализованных зонах позволит частично или даже полностью решить проблемы, озвученные в Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечении национальной безопасности на период до 2020 года (далее – Стратегия) [3], а именно:

1. неразвитость энергетической системы, а также нерациональная структура генерирующих мощностей, высокая себестоимость генерации и транспортировки электроэнергии;

2. износ основных фондов, в особенности транспортной, промышленной и энергетической инфраструктуры;

3. дефицит технических средств и технологических возможностей по изучению, освоению и использованию арктических пространств и ресурсов, недостаточная готовность к переходу на инновационный путь развития Арктической зоны Российской Федерации;

4. возрастание техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду с увеличением вероятности достижения ее предельных значений в некоторых прилегающих к Российской Федерации акваториях Северного Ледовитого океана, а также на отдельных территориях Арктической зоны Российской Федерации, характеризующихся наличием особо неблагоприятных зон, потенциальных источников радиоактивного загрязнения, высоким уровнем накопленного экологического ущерба.

В Стратегии отмечена необходимость оптимизации экономических механизмов северного завоза, за счет использования возобновляемых и альтернативных, в том числе местных, источников энергии, реконструкции и модернизации выработавших ресурс энергетических установок, внедрения энергосберегающих материалов и технологий. К основным характеристикам социально-экономического развития отнесен также удельный вес возобновляемых источников воспроизводства ресурсной базы (включая электроэнергию) в общем объеме ресурсной базы (в том числе в энергодбалансе и энергопотреблении) Арктической зоны Российской Федерации.

Для действия данной Стратегии необходима разработка конкретных мер, создание подпрограммы по использованию ВИЭ с учетом уже имеющегося российского опыта. Несомненно, создание Стратегии является еще одним шагом развития возобновляемой энергетики страны, но он слишком мал для обеспечения необходимой поддержки. Стратегия утверждена Президентом Российской Федерации 20 февраля 2013 г., однако до сих пор не опубликована, что делает документ «недееспособным» и в очередной раз подтверждает существования организационного и законодательного барьеров развития ВИЭ в стране.

#### Список литературы

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие / П.П. Безруких, 2010. – 313 с.

2. Ветряные мельницы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.region87.ru/index.php?nm=7&pg=4>

3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/news/432>

**Отрошенко Алена Александровна**, аспирант Новосибирского государственного технического университета; [alena.otroshchenko@gmail.com](mailto:alena.otroshchenko@gmail.com).

**ПЕРСПЕКТИВЫ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
В ПУСТЫНЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ  
МАГИСТРАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Лепешкин А.Р.**

*Россия, г. Москва, Центральный институт авиационного моторостроения им.*

*Баранова П.И*

**Качанов А.Н.**

*Россия, г. Орёл, ФГОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК»*

*Рассмотрены перспективы и анализ развития солнечных электростанций в пустынях с использованием сверхпроводящих магистралей для повышения эффективности передачи электроэнергии и электроснабжения. Новые сверхпроводящие материалы и криогенные жидкости двойного применения расширяют возможности использования сверхпроводящих энергомагистралей в энергетике.*

*The perspectives and analysis of the development of solar power plants in deserts using superconducting lines for improving the efficiency of power transmission and power supply are considered. The new superconducting materials and cryogenic liquids of double application expand a opportunities of use of the hybrid superconducting power lines in power engineering.*

Создание и развитие солнечных электростанций, например в пустынях, обеспечит человечество огромным количеством энергии. Такой необычный план спасения планеты от нехватки энергии и экологического коллапса придуман в Японии. Поля солнечных батарей могли бы дать миру колоссальное количество электричества. Вопрос в том, как сделать такие сооружения экономически оправданными. Свой ответ на него пытается дать экзотический проект развития солнечной энергетики в Сахаре Sahara Solar Breeder Project. Вместо того чтобы везти тысячи тонн солнечных панелей через моря, предлагается производить такие батареи на месте, на краю пустыни.

Сырьё для изготовления солнечных элементов имеется в больших количествах, поскольку песок является богатейшим источником кремнезема. Из него можно было бы извлекать кремний для солнечных батарей, которые следует выпускать на месте в пустыне. После того, как мощность одного такого солнечного поля (с расположением солнечных электростанций) достигнет определенной величины, где-то неподалеку можно построить второй завод переработки песка, выпускающий солнечные панели. Ведь сам этот процесс требует немало энергии. Ее и дадут первые солнечные батареи. Второй завод, выпустив достаточно солнечных ячеек, позволит поставить поодаль третий завод переработки песка. Таким образом, управление развитием солнечной энергетики в пустынях начнет осуществляться по экспоненте. При этом на работу заводов будет уходить небольшая доля вырабатываемой солнечными электростанциями энергии.

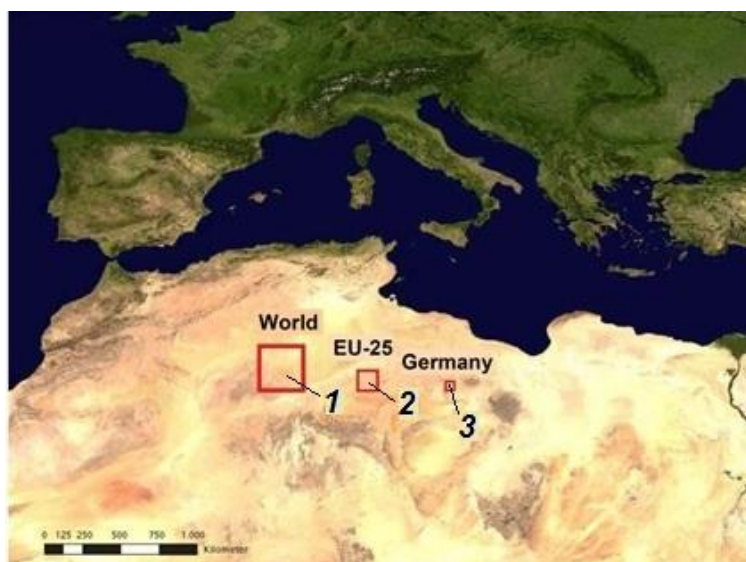
Полученную энергию нужно будет передавать крупным потребителям, в Европу, а может, и дальше. В этом случае не обойтись без кабелей из высокотемпературных сверхпроводников [1, 2]. Их следует охлаждать криогенными жидкостями и прокладывать под землей, для минимизации перепадов температуры.

Впервые лидер данного проекта профессор Токийского университета Хидеоми Коинума представил свой план в 2009 году. Тогда это была только мечта. Но теперь сделаны первые скромные шаги к ее воплощению. Дело сдвинулось с мертвой точки стараниями двух японских агентств, по наукам и технологиям и по международному сотрудничеству. Под их эгидой ныне усилия намерены объединить специалисты шести японских университетов и институтов, а также алжирского научно-технологического университета Орана. Проект, предусматривающий создание в Африке исследовательского центра по солнечной энергии Sahara Solar Energy Research Center,



весной 2010 года был отобран для дальнейшего продвижения. Рассчитан он на пять лет, и его целью является разработка и испытание технологий, необходимых для того, чтобы Solar Breeder стал реальностью. Прежде всего речь идёт об извлечении кремния из песка, причем с достаточно высокой чистотой продукта, чтобы из него можно было создавать солнечные панели. Такой технологии пока нет. Но авторы плана надеются соорудить опытную установку переработки песка, способную выдавать тонну чистого кремния в год. Кроме того, в ближайшее время ученые намерены построить в Сахаре одну солнечную установку мощностью всего 100 киловатт. Она сыграет роль закладного камня и полигона. Специалисты намерены узнать, как на этой батарее скажется работа в жестких условиях, как на нее повлияют песчаные бури. Не все ясно и со сверхпроводящими кабелями. Нужная промышленная технология. Следует выяснить, как наилучшим образом прокладывать такие кабели в пустыне, да еще на столь огромные расстояния, каковы окажутся затраты на работу охлаждающего оборудования. Пока это лишь исследовательский проект. Сегодня никто не может точно сказать, начнется ли когда-нибудь саморазмножение электростанций в Сахаре. Если план развития сработает к 2050 году, то солнечная энергетика в Сахаре достигнет суммарной мощности до 100 гигаватт. Это около 3 процентов установленной мощности электростанций всего мира. Экономике развития солнечной энергетике еще предстоит оценить в деталях. И тут ученым есть на кого ориентироваться. Похожий замысел вынашивают организация Desertec Foundation и целый конгломерат немецких компаний. Они собираются к 2020-2025 году выстроить в Сахаре комплекс солнечных электростанций суммарной мощностью опять-таки 100 гигаватт. Использование различных возможных методов и технологий по передаче потоков электрической энергии в масштабах десятков гигаватт обсуждается учеными во всем мире.

На рис. 1 показано, что в пустыне Сахара, в которой отмечается 360 солнечных дней в году, площадь солнечных батарей размером 300 км x 300 км может обеспечить все мировое потребление электроэнергии. Площади 150 км x 150 км и 50 км x 50 км – обеспечивают все потребление Европы и Германии соответственно. При этом из рис. 1 видно, что эти площади занимают весьма малую часть пустыни.



**Рисунок 1 – Различные площади размещения солнечных батарей в пустыне:**  
1 - 50 км x 50 км, 2 - 150 км x 150 км, 3 - 300 км x 300 км

На рис. 2 показаны возможные направления передачи электро и других видов энергии (водорода и др.) из пустынь в промышленные и населенные центры. Таким образом, пустынные площади на земле в будущем могут являться источниками надежной энергии.



*Рисунок 2 – Возможные направления передачи электроэнергии и других видов энергии*

Возникает проблема: как и каким способом, передать эту энергию, в том числе электрическую в промышленные и густозаселенные районы? Порядок величины расстояний передачи составляет 3000-5000 км, требуемая мощность порядка десятков ГВт.

Обсуждению именно этих проблем и возможных решений по передаче гигантских потоков энергии на дальние расстояния был посвящен симпозиум в Постдаме в 2011 г., на котором обсуждались возможные варианты решений передачи энергии. Основным выводом обсуждения является то, что электроэнергию передать на большие расстояния можно только с помощью линий постоянного тока, поскольку воздушные линии передач переменного тока имеют ограничения по длине в несколько сотен километров, а кабели переменного тока ограничены длиной до 30-50 км.

Однако основная направленность должна быть на сверхпроводящие кабели постоянного тока на основе низкотемпературных сверхпроводников, так и современных идей по кабелям постоянного тока на основе высокотемпературных сверхпроводников. В России и Японии были реализованы впервые проекты ВТСП кабелей постоянного тока длиной до 200 м на напряжение  $\pm 5-10$  кВ и ток в 1-2 кА, успешные испытания которых прошли в 2010-2012 г.

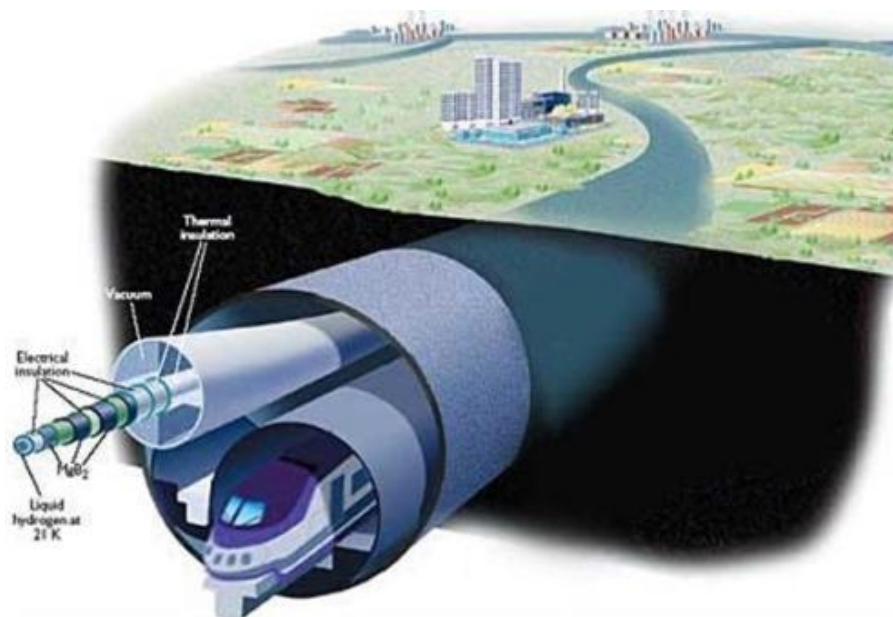
Необходимо рассмотреть весь круг вопросов связанных с передачей электроэнергии на дальние расстояния, в том числе и экономических, особенно в плане стоимости исходных сверхпроводников и криогенных систем.

Одним из вариантов повышения величины передаваемой энергии является перекачка жидкого водорода по сверхпроводящей магистрали от мест его приготовления (в тех же пустынных областях) к местам его использования (рис. 3). Жидкий водород является универсальным энергоносителем, а «бесплатный» холод может быть использован для охлаждения сверхпроводящих кабелей [1-4]. При этом возникает возможность использования дешевого сверхпроводника на основе соединения MgB<sub>2</sub> (диборид магния), открытого в 2001 году. Этот сверхпроводник может работать при температуре жидкого водорода, сохраняя сверхпроводящие свойства в полном объеме. Он относительно дешев и прост в производстве.

Производство сверхпроводников на основе диборида магния планируется компанией Коламбус Супрекондактор (Италия) Джианни Грассо. Был сделан теоретический расчет, показавший, что оптимальным решением является именно гибридная магистраль с жидким водородом и сверхпроводящим кабелем на основе MgB<sub>2</sub>. Однако такая первая экспериментальная работа по проверке работы сверхпроводящей магистрали на основе MgB<sub>2</sub> с жидким водородом была сделана в России.

В результате общим выводом о наиболее вероятном варианте передачи больших потоков энергии на большие расстояния является прокачка жидкого водорода с одновременным использованием сверхпроводящего кабеля постоянного тока на

основе диборида магния для передачи электрической энергии. Хотя этот вариант требует большой проработки, однако он представляется оптимальным.



**Рисунок 3 – Вариант выполнения комбинированной сверхпроводящей магистрали с использованием и передачей жидкого водорода**

Развивается прогресс в разработке ВТСП кабелей и энергомагистралей. Новые сверхпроводящие материалы и криогенные жидкости двойного применения расширяют также возможности использования гибридных сверхпроводящих энергомагистралей в различных отраслях энергетики, промышленности и физики. Сегодняшний уровень разработок в этой области уже продемонстрировал их существенные преимущества, позволяет реально оценить их характеристики и приступить к разработке и реализации экономически выгодных проектов в энергетике.

#### Список литературы

1. Черноплеков Н.А. Сверхпроводниковые технологии: современное состояние и перспективы практического применения // Вестник РАН, № 4, 2001 г.
2. Елагин П. Сверхпроводниковые кабели — реальные очертания будущей энергетики // Новости электротехники, № 4 (34), 2005 г.
3. Высоцкий В. С., Сытников В. Е., Илюшин К. В. и др. Сверхпроводимость в электромеханике и электроэнергетике // Электричество, № 7, 2005 г.
4. Лепешкин А.Р., Качанов А.Н. Совершенствование и применение сверхпроводящих кабелей и энергомагистралей для повышения эффективности электроснабжения // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: Сборник материалов X международной научно-практической Интернет-конференции / Под редакцией д-ра техн. наук проф. В.А. Голенкова, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2012. – С. 114-117.

**Лепешкин Александр Роальдович**, член-корреспондент АЭН РФ, д-р техн. наук, начальник сектора, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», e-mail: [lepeshkin.ar@gmail.com](mailto:lepeshkin.ar@gmail.com).  
**Качанов Александр Николаевич**, академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение», ФГОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», тел. 41-98-53, e-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru).

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ 35-110 кВ****Балабин А.А.***Россия, г. Орёл, филиал ОАО «МРСК Центра» - «Орёлэнерго»**Приведены особенности эксплуатации блочных конструкций распределительных устройств подстанций 35-110 кВ и подходы к их реконструкции.**Features of maintenance of block constructions of switching centres of substations 35-110 kV and approaches to their reconstruction are considered.*

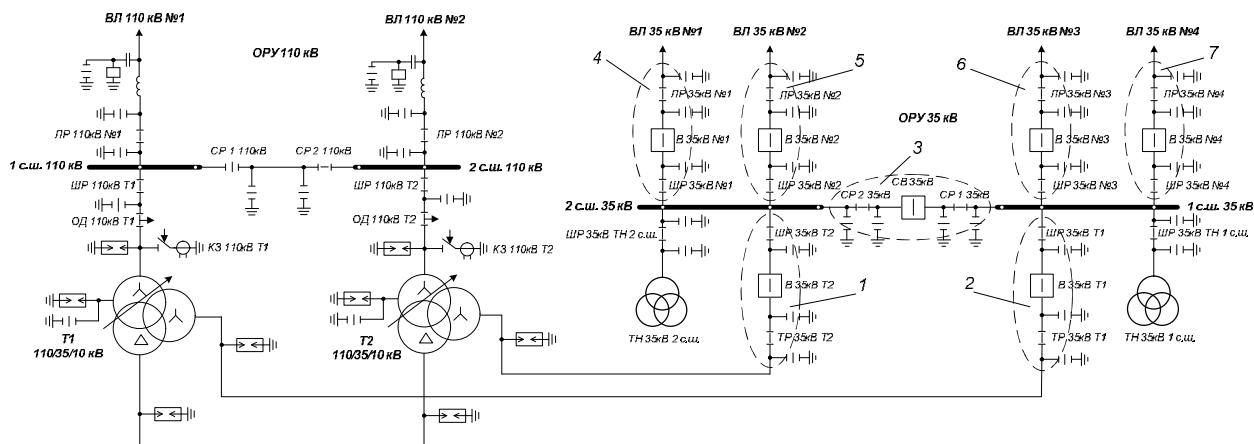
В распределительных электрических сетях эксплуатируются подстанции (ПС) 35-110 кВ с блочными конструкциями распределительных устройств (РУ). Блочные конструкции представляют собой «разъединители – выключатель» (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 на рис.1), смонтированные на общей металлоконструкции. Конструкции такого типа нашли широкое применение в электрических сетях за счет возможности монтажа целых блоков, что позволяет сократить сроки строительства энергообъектов, снизить затраты на монтаж оборудования и отвести меньшую территорию по сравнению с другими конструкциями.

Целью настоящей публикации является рассмотрение вопросов, связанных с эксплуатацией конструкций РУ блочного типа на ПС 35-110 кВ. При подготовке рабочего места для производства работ на выключателе блочной конструкции «разъединители – выключатель» ранее производилось отключение выключателя с разборкой его схемы разъединителями и заземление выключателя с обеих сторон. Однако произошедший в одной из энергосистем, несчастный случай при выполнении работ на блочной конструкции РУ 35 кВ заставил пересмотреть технические мероприятия, выполняемые для безопасности работ на таких конструкциях.

Для предотвращения несчастных случаев на блочных конструкциях РУ 35-110 кВ вышел приказ [1], который однозначно определил меры, необходимые для безопасного производства работ. Данные меры заключаются в том, что работы на блочных конструкциях необходимо выполнять только с выводом в ремонт всего оборудования блока целиком. Таким образом, согласно рис.1, при выполнении работ на любом из выключателей блочных конструкций (4, 5, 6, 7) «линейный разъединитель 35 кВ (ЛР 35кВ) – выключатель 35 кВ (В 35кВ) – шинный разъединитель 35 кВ (ШР 35кВ)» требуется отключать воздушную линию (ВЛ) присоединения и соответствующую секцию шин 35 кВ с заземлением ВЛ и секции шин или использовать расшивку и снятие шлейфов. В свою очередь, при выводе в ремонт блочных конструкций (1, 2) «трансформаторный разъединитель 35 кВ (ТР 35кВ) – В 35кВ – ШР 35кВ» следует производить отключение соответствующей секции шин 35 кВ и трансформатора с заземлением секции шин и трансформатора или использовать расшивку и снятие шлейфов.

Вывод в ремонт всего оборудования блока целиком, как показано выше, является трудоемкой задачей, так как для этого необходимо вывести в ремонт смежное с блоком оборудование. Переключения особенно осложняются при выводе в ремонт блочных конструкций секционных автоматических переключателей (3) «секционный разъединитель 35 кВ №1 (СР 1 35кВ) – секционный выключатель (СВ 35кВ) – секционный разъединитель 35 кВ №2 (СР 2 35кВ)» на ПС 110/35/10 кВ. При этом, сначала необходимо перевести питание ПС 35/10 кВ, запитанных от рассматриваемой ПС 110/35/10 кВ, на другие питающие центры, а затем приступить к выводу в ремонт обеих секций шин 35 кВ (1 с.ш. 35 кВ, 2 с.ш. 35 кВ) и СВ 35кВ.

В соответствии с [1], блочные конструкции РУ 35-110 кВ «разъединители – выключатель», смонтированные на общей металлоконструкции, включены в перечень особо опасных мест. Кроме того, для обеспечения безопасности, все работы на блочных конструкциях 35-110 кВ требуется выполнять под постоянным надзором и руководством ответственного руководителя работ. При этом весь обслуживающий персонал должен использовать комплекты спецодежды, устойчивой к термическому воздействию электрической дуги.



**Рисунок 1 – Схема электрических соединений подстанции 110/35/10 кВ с блочными конструкциями РУ 35 кВ:**

- 1, 2 – блочная конструкция «ТР 35кВ – В 35кВ – ШР 35кВ»;
- 3 – блочная конструкция «СР 1 35кВ – СВ 35кВ – СР 2 35кВ»;
- 4, 5, 6, 7 – блочная конструкция «ЛР 35кВ – В 35кВ – ШР 35кВ»

В [1] также определены подходы к реконструкции с изменением первичных схем и новому строительству ПС 35-110 кВ:

- блочные конструкции «линия - трансформатор» и компактные модули РУ 35-110 кВ следует использовать только для тупиковых подстанций со схемами 3Н и 4Н, не имеющих отпайек на питающих линиях;
- при реконструкции с изменением первичных схем и новом строительстве ПС 35-110 кВ для транзитных ПС со схемами 5Н и 5АН, тупиковых или ответвительных ПС со схемами 3Н и 4Н с отпайками от питающих ВЛ (в том числе с учетом возможного строительства в перспективе отпайек от питающих ВЛ) допускается использовать блочные конструкции распределительных устройств 35-110 кВ без линейного разъединителя, который должен быть выполнен отдельностоящим;
- для схем ПС 35-110 кВ, отличных от схем и условий их применения, перечисленных выше, запрещено применение блочных конструкций РУ 35-110 кВ «линия - трансформатор»;
- использование блоков секционных автоматических переключателей в РУ 35-110 кВ запрещено.

С учетом вышеизложенного, можно заключить, что блочные конструкции РУ 35-110 кВ «разъединители – выключатель», смонтированные на общей металлоконструкции, требуют внесения конструктивных изменений для повышения эффективности оперативного обслуживания электрических сетей. Причем в качестве первоочередных мер на ПС 110/35/10 кВ следует рассматривать внесение конструктивных изменений в блочные конструкции секционных автоматических переключателей РУ 35 кВ с выносом секционных разъединителей.

#### Список литературы

1. Приказ ОАО «МРСК Центра» №267-ЦА от 31.08.2012 «О несчастном случае».
2. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. СТО 56947007-29.240.30.010-2008.

**Балабин Александр Алексеевич**, канд. техн. наук, начальник Южного участка ОТС ЦУС филиала ОАО «МРСК Центра» - «Орёлэнерго», e-mail: [balabin79@mail.ru](mailto:balabin79@mail.ru).

**Королева Т.Г.***Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»*

*В статье рассмотрены вопросы контроля и анализа показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения. Проведена оценка дополнительных потерь мощности, обусловленных нарушением норм качества электроэнергии.*

*The article considers the questions of control and analysis of Unified Power Quality Index in lectrical generation systems. I valuation of powerful incidental loss caused by quality standard deviation is conducted.*

Поставка конечным потребителям электрической энергии (ЭЭ), объем и качество которой соответствует договорным отношениям, является основной задачей организаций, осуществляющих производство, передачу и распределение электрической энергии.

Изначально качество электроэнергии зависит от производителя, однако в процессе транспортировки к потребителю её качественные показатели изменяются. Основное отличие между понятиями «качество ЭЭ» и «непрерывность поставок ЭЭ» состоит в том, что потребитель до определенного момента не воспринимает плохого качества электроэнергии, в то время как прерывания в поставках электрической энергии ощущается практически мгновенно. Поэтому потребитель электроэнергии не уделяет особого внимания вопросам улучшения качества потребляемой ЭЭ, пока это качество не снижается до предельного уровня. В то же время потребитель стремится избежать любых прерываний в энергоснабжении. Этим объясняется более широкое внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии по сравнению с системой контроля и анализа показателей качества электрической энергии (ПКЭ). При этом проблемы КЭ ведут к значительным потерям в большинстве отраслей промышленности.

В Российской Федерации действует ряд нормативных документов, направленных на обеспечение существующих правовых норм в области КЭ [1, 2]. В соответствии с требованиями, установленными в стандарте и нормативных документах, были разработаны средства измерения ПКЭ нового поколения, а также начато внедрение в организациях – поставщиках ЭЭ и у потребителей системы контроля качества этой продукции. Однако анализ оснащенности средствами измерений КЭ, степени внедрения РД по контролю и анализу КЭ, развитости организационной структуры управления КЭ показывает, что у большинства этих организаций системы контроля КЭ отсутствуют. В большинстве случаев на практике область применения этих РД ограничивается лишь одним - двумя ПКЭ – отклонением напряжения и частоты. Существующая система измерений частоты и напряжений не может рассматриваться в качестве достаточной системы контроля качества электроэнергии. Тем более что эти измерения выполняются не в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 к погрешностям измерений и интервалам усреднения. Не предусматривается в этой системе и статистическая обработка ПКЭ за определенный период времени, что не позволяет сопоставить результаты измерений с требованиями стандарта.

Осуществление периодического контроля несинусоидальности, несимметрии и колебаний напряжения в точках поставки электроэнергии потребителям, располагающим нагрузками, ухудшающими КЭ, осуществляется исключительно редко. Причиной этого является отсутствие достаточного количества средств измерений КЭ, отсутствие у поставщиков ЭЭ организационной структуры и внутренних документов, регламентирующих порядок проведения контроля и анализа КЭ. В настоящее время и у поставщиков, и у потребителей электроэнергии практически отсутствуют

стационарные средства измерений КЭ, обеспечивающие непрерывный мониторинг ПКЭ и статистическую обработку полученных результатов в соответствии с ГОСТ 13109-97. Во многом это объясняется высокой стоимостью необходимых средств измерений и систем контроля КЭ. Кроме того, недооценивается степень экономического ущерба при несоответствии ПКЭ требованиям ГОСТа.

Последствием неравномерности нагрузки фаз в сетях с трансформаторами Y/Un является резкое искажение системы фазных напряжений (на практике это называют смещением нулевой точки). Искажение фазных напряжений в реальных условиях эксплуатации нередко вызывает их отклонение уже на низковольтных вводах трансформатора значительно превышающее нормы ГОСТ. В конце линий отклонение напряжений приблизительно в два раза больше. При указанном качестве питания потребителей повышение в них уровня потерь электроэнергии и отказов в работе вполне естественно. Как показывает практика, экономический урон от искажения напряжений у потребителей в этом случае огромен.

Величины дополнительных потерь в трансформаторе, вызываемых несимметрией тока и напряжения можно определить по следующим формулам:

- Дополнительные потери в обмотках:

$$\Delta P_{12доп} = 2k_{2i}^2 \frac{S^2}{S_{ном}^2} \Delta P_k,$$

где  $S, S_{ном}$  - фактическая полная мощность, передаваемая через трансформатор и номинальная мощность трансформатора,

$\Delta P_k$  - потери режима короткого замыкания,

$k_{2i}$  - коэффициент тока обратной последовательности.

- Дополнительные потери в магнитопроводе трансформатора:

$$\Delta P_{cm} = 2k_{2u}^2 \Delta P_{xx},$$

где  $k_{2u}$  - коэффициент напряжения обратной последовательности,

$\Delta P_{xx}$  - потери холостого хода трансформатора.

Несимметрия напряжений и токов в трехфазных системах вызывает также повышение нагрева обмоток машин и трансформаторов, приводящее к ускоренному износу изоляции обмоток этих элементов из-за перегрева, снижается КПД машин и рабочих механизмов, увеличивается вибрация и помехи в телеметрических системах

Величину потерь в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя при сниженном напряжении питания и постоянном моменте сопротивления в зависимости от коэффициента статизма моментной характеристики  $k_{cm}$ , степени загрузки  $m_c$ ,

коэффициента снижения напряжения  $k_u = \frac{U}{U_{ном}} \leq 1$  и суммарных номинальных потерь

$\Delta P_{\Sigma}$  можно определить

$$\Delta P_{\Sigma 12} = \frac{2k_{cm} m_c}{2k_u^2 - k_{cm} m_c} \cdot \frac{h_n}{1 - h_n} \cdot \Delta P_{\Sigma},$$

где  $h_n$  - номинальный КПД.

В случае, если зависимость момента сопротивления механизма от скорости носит квадратичный характер, то эти потери будут несколько меньше.

Дополнительные потери в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя в зависимости от суммарных номинальных потерь  $\Delta P_{\Sigma}$ , вызываемых несимметрией напряжения, рассчитываются по формуле

$$\Delta P_{\Sigma 12доп} = \frac{1,8m_n k_{2u}^2}{1 - s_{ном}} \left(1 + \frac{R'_{20}}{R'_{22}}\right) \cdot \frac{h_n}{1 - h_n} \Delta P_{\Sigma},$$

где  $k_{2u}$  - коэффициент напряжения обратной последовательности,  
 $m_n$  - кратность пускового момента,  
 $R'_{20}$  - приведённое сопротивление ротора к статору для малых скольжений ( $s \approx 0$ ),  
 $R'_{22}$  - то же, для скольжения  $s = 2.0$ ,  
 $s_{ном}$  - номинальное скольжение.

Вышеприведенные формулы позволяют наглядно оценить степень влияния отклонений ПКЭ (степени несимметрии, длительности несимметричного режима, особенностей параметров элемента электрической сети) от нормируемых ГОСТом на увеличение потерь электрической энергии в том или другом элементе электрической системы, старение и износ изоляции из-за перегрева.

Известно, что искажения возникают по вине электроснабжающего предприятия или предприятия – потребителя ЭЭ, имеющих электроустановки искажающие ПКЭ. Выявление уровней ПКЭ в системах электроснабжения и локализация источника искажений – является сложной и актуальной задачей в области энерго- и ресурсосбережения. Для решения такой задачи требуется проведение большого объема сопоставительных измерений ПКЭ в режиме мониторинга. Для этих целей должны применяться приборы, совмещающие в себе функции учета электроэнергии и измерения ее качества. Наличие в одном приборе функций учета электроэнергии и контроля ПКЭ позволит совместить оперативный контроль и коммерческий учет КЭ, при этом могут применяться общие каналы связи и средства обработки, отображения и документирования информации АСКУЭ и ПКЭ.

#### Список литературы

1. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
2. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. РД 153-34.0-15.502-2002. М., ОРГРЭС, 56 с., 2000.
3. Жежеленко И.В. Показатели качества электрической энергии и их контроль на промышленных предприятиях, М: Энергоатомиздат, 1986. 168с.

**Королева Татьяна Геннадьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК. Тел. (4862) 419830, факс (4862) 416684, e-mail: [tgkoroleva@mail.ru](mailto:tgkoroleva@mail.ru).

УДК 621.3:001.893

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВХОДНОГО ТОКА СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ.**

**Цырук С.А., Янченко С.А.**  
Россия, Москва, НИУ «МЭИ»

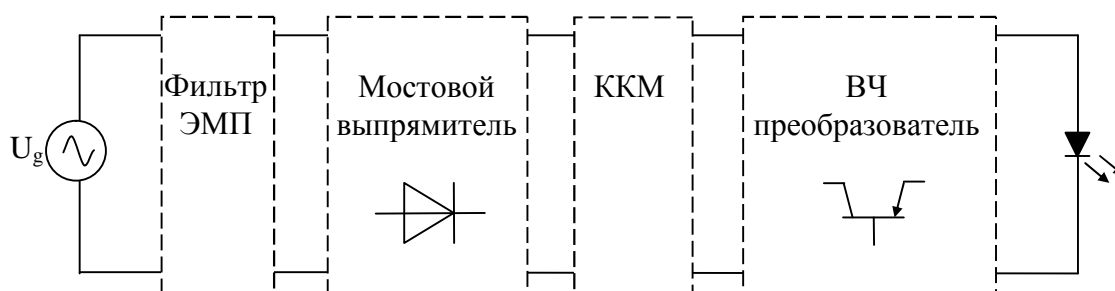
*Рассмотрены наиболее распространенные топологии бытовых светодиодных ламп, получены Simulink-модели, позволяющие рассчитывать гармонический спектр входного тока светодиодных светильников. Сравнение теоретических результатов с экспериментальными измерениями показывает адекватность полученных моделей.*



*Popular topologies of LED lamps are considered, Simulink-models are derived, that enable calculation of harmonic current spectrum of LEDs. Comparison of modeling results with the measurements shows good model's validity.*

Использование светодиодов в качестве источников освещения – относительно новая технология, однако единственной причиной, сдерживающей их широкое распространение на рынке, является более высокая цена в сравнении с компактными люминесцентными лампами. Повышенная энергоэффективность, улучшенные световые характеристики и долговечность делают светодиодные лампы логичным выбором для электроосвещения. Вместе с тем использование источников вторичного электропитания для работы светодиодных ламп вызывает нелинейность их вольт-амперной характеристики, и, как следствие, несинусоидальность входного тока. Среди последствий повышенного гармонического состава тока в бытовых распределительных сетях перегрев нейтрального проводника, разрушение конденсаторных батарей за счет резонанса на частотах высших гармоник, износ электрооборудования. Учитывая государственное стимулирование перехода на энергосберегающее освещение, а значит, дальнейший рост доли нелинейных нагрузок, возникает необходимость в исследовании гармонической эмиссии светодиодных светильников.

Обобщенная схема светодиодного светильника (рисунок 1) состоит из фильтра электромагнитных помех (ЭМП), мостового выпрямителя со сглаживающим конденсатором, некоей схемы коррекции коэффициента мощности (ККМ), высокочастотного (ВЧ) преобразователя, обеспечивающего стабилизацию тока питания светодиода. С точки зрения генерации высших гармоник интерес представляют мостовой выпрямитель и схема ККМ, в то время как ВЧ преобразователь и светодиод в установившемся режиме можно заменить активным сопротивлением или постоянной нагрузкой.



**Рисунок 1 – Обобщенная схема светодиодного светильника.**

Обзор различных топологий светодиодных ламп, доступных в настоящее время, выявил две основные группы, включающие светильники малой (~3 Вт) и средней (~10 Вт) мощности. Для светодиодных ламп из этих групп экспериментально были получены кривые входного тока при различных уровнях несинусоидальности напряжения питания, которые затем сравнивались с результатами моделирования.

На рисунке 2 показана схема светодиодной лампы мощностью 3.5 Вт, состоящая из мостового выпрямителя со сглаживающим конденсатором  $C_f$ , ВЧ преобразователя и нагрузки, которые замещаются активным сопротивлением  $R_L$ . Особенностью данной схемы является питание через конденсатор  $C_a$ , который улучшает гармонический состав кривой входного тока и одновременно ухудшает  $\cos\phi$  [1].

Сравнение результатов Simulink-моделирования и экспериментальных данных приведено на рисунке 3.

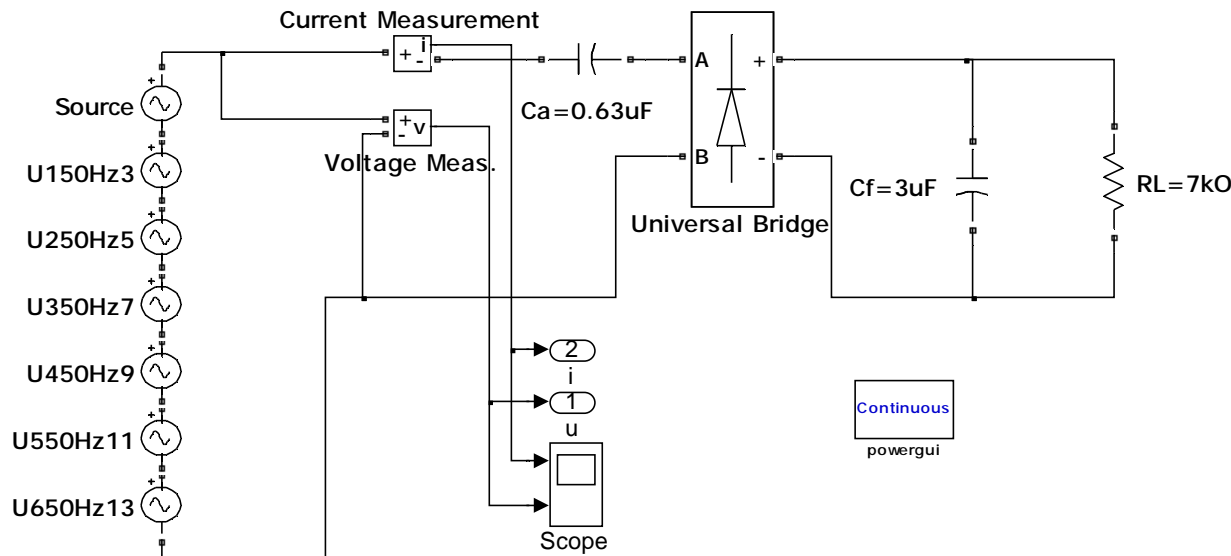


Рисунок 2 – Simulink-модель светодиодной лампы мощностью 3.5 Вт

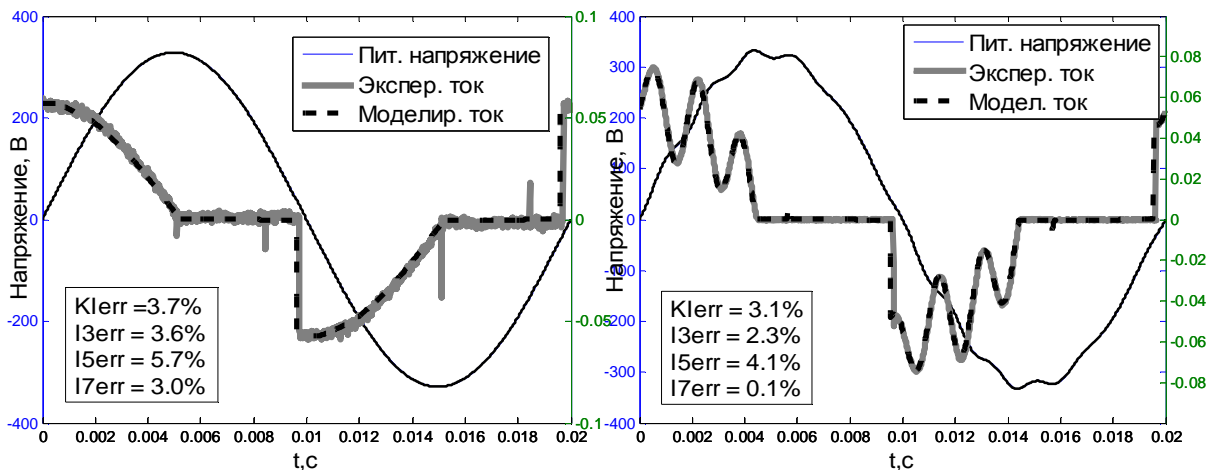


Рисунок 3 – Сравнение моделирования и экспериментальных результатов для светодиодной лампы 3.5 Вт при синусоидальном и несинусоидальном напряжении питания.

На рисунке 4 показана схема светодиодной лампы 9.5 Вт, состоящая из сглаживающей индуктивности  $L$ , токоограничивающего сопротивления  $R_1$ , мостового выпрямителя, схемы ККМ с заполнением впадины тока, включающей конденсаторы  $C_a$ ,  $C_{f1}$  и  $C_{f2}$ , а также защитное сопротивление  $R_2$ ; и ВЧ преобразователя с нагрузкой, которые замещаются управляемым источником тока  $I_L$ . Величина тока  $I_L$  определяется потребляемой мощностью светодиода ( $0.9P_{ном}$ ) и напряжением на выходе выпрямителя. Схема ККМ с заполнением впадины тока позволяет значительно снизить несинусоидальность кривой входного тока за счет более продолжительного интервала зарядки конденсаторов  $C_{f1}$  и  $C_{f2}$ . В то же время в кривой выходного напряжения присутствует значительная колебательная составляющая [2].

Сравнение результатов Simulink-моделирования и экспериментальных данных приведено на рисунке 5.

Полученные адекватные Simulink-модели наиболее распространенных светодиодных светильников позволяют рассчитывать спектры входного тока как отдельных электроприемников в квартире, так и крупных совокупностей в рамках осветительной сети офисного здания.

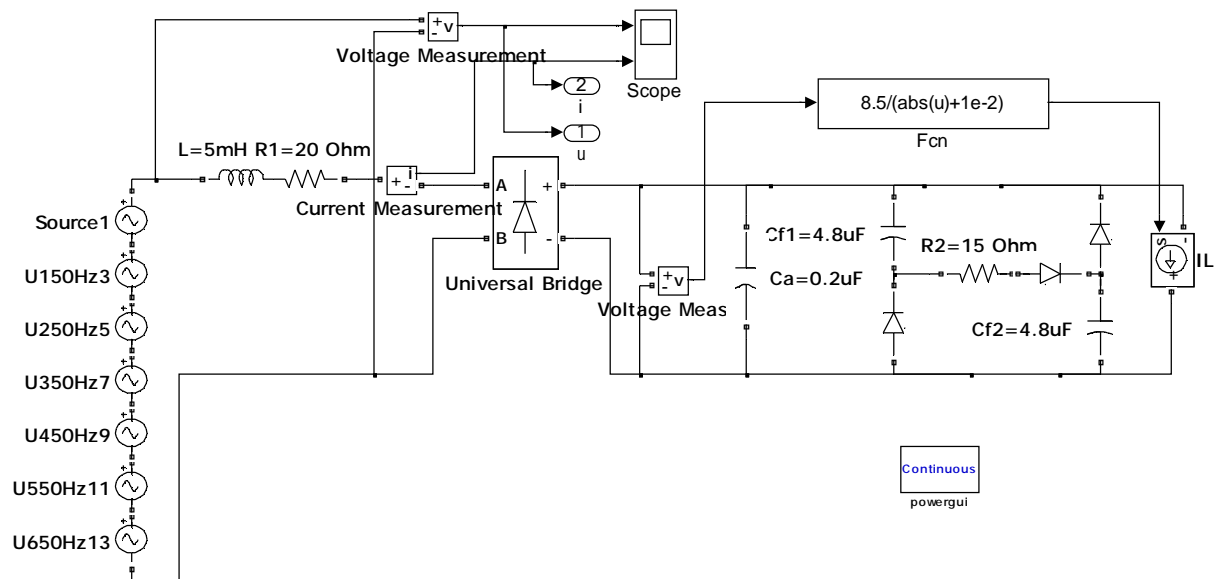


Рисунок 4 – Simulink-модель светодиодной лампы мощностью 9.5 Вт

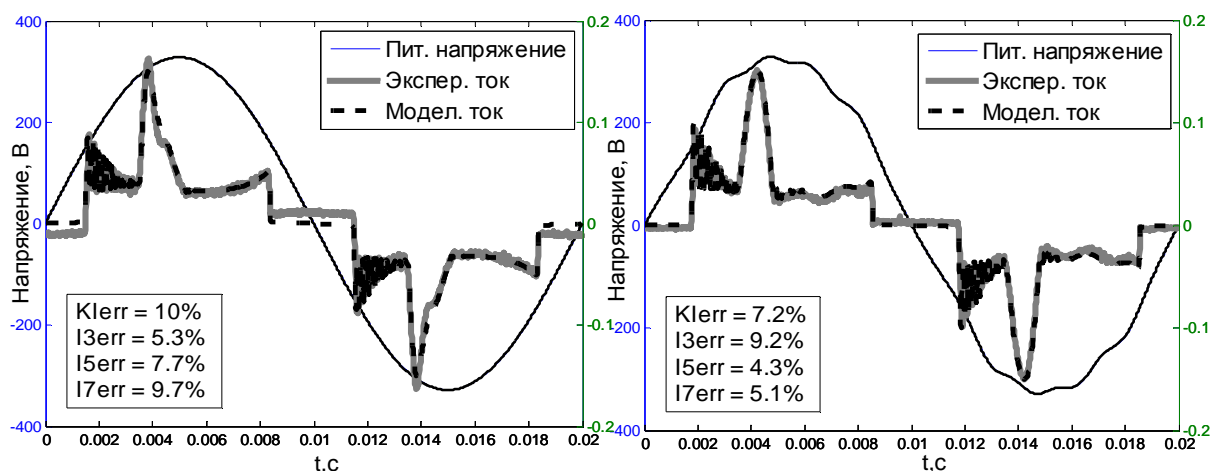


Рисунок 5 – Сравнение моделирования и экспериментальных результатов для светодиодной лампы 9.5 Вт при синусоидальном и несинусоидальном напряжении питания

#### Список литературы

1. Redl, R.; Balogh, L., "Power-factor correction in bridge and voltage-doubler rectifier circuits with inductors and capacitors," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1995. APEC '95. Conference Proceedings 1995., Tenth Annual, vol., no.0, pp.466,472 vol.1, 5-9 Mar 1995.
2. Spangler, J.; Behera, A.K., "Power factor correction techniques used for fluorescent lamp ballasts," Industry Applications Society Annual Meeting, 1991., Conference Record of the 1991 IEEE, vol., no., pp.1836,1841 vol.2, Sept. 28 1991-Oct. 4 1991.

**Цырук Сергей Александрович**, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедры «ЭПП» НИУ «МЭИ», [TsyrukSA@mpei.ru](mailto:TsyrukSA@mpei.ru), 8 495 362 73 86.

**Янченко Сергей Александрович**, канд. техн. наук, вед. инженер кафедры «ЭПП» НИУ «МЭИ», [Yanchenko\\_SA@mail.ru](mailto:Yanchenko_SA@mail.ru), т. 8 495 362 73 86.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

**Компанеев Б.С., Нефёдов С.Ф.**

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

*В статье предложен подход по определению вероятности возникновения короткого замыкания, выделены показатели, характеризующие состояние изоляции, предложен обобщенный показатель состояния изоляции для оценки вероятности возникновения короткого замыкания.*

*An approach to identification the probability of short circuit emergence was proposed in the article, the indexes what describes the insulation quality was distinguished, the generalized index of insulation condition was proposed to evaluate the probability of short circuit emergence.*

На сегодняшний день в Российской Федерации значительная доля электропроводки находится в эксплуатации в течение длительного срока без контроля состояния уровня ее безопасности. Электропроводка имеет высокую степень изношенности, так как монтируется на объекте в момент ввода его в эксплуатацию, и после этого диагностика ее состояния и ремонт не производятся вплоть до момента возникновения аварийной ситуации.

Своевременное проведение диагностики и выявление аварийно опасных участков позволит значительно сократить аварийные ситуации на объектах, а также избежать нецелесообразных затрат на замену еще работоспособных элементов сети.

Срок службы элементов сети определяется сроком службы изоляции, так как ее ресурс значительно меньше ресурса токопроводящих частей, и составляет менее 20 лет.

Существующие методики диагностики изоляции основаны на определении остаточного срока службы. При этом за основу берется некоторый показатель, или ряд показателей, определяющих возникновение аварийной ситуации. При достижении порогового значения соответствующего показателя, делается вывод о невозможности дальнейшей эксплуатации изоляции.

Данный подход не учитывает возможность выхода из строя изоляционного покрытия нового изделия при наличии в нем дефектов или при неблагоприятных внешних факторах за сравнительно небольшой промежуток времени. В действительности процесс развития пробоя изоляции может протекать за период времени меньший, чем остаточный срок службы по результатам измерений, вследствие развития единичного дефекта. Это обстоятельство является недостатком моделей такого типа.

Для учета возможности такого пути развития дефектов необходимо перейти к вероятностным показателям, определяющим возможность выхода из строя изоляционного покрытия за некоторый период времени  $T$ .

Построим соответствующую модель, в рамках которой будем рассматривать вероятность выхода из строя изоляции на объекте в целом как сумму возникновения вероятностей на его участках.

Рассмотрим сеть некоторого произвольного объекта. Вероятность возникновения замыкания на объекте будет складываться из вероятностей возникновения замыкания на каждом участке.

Вероятность возникновения замыкания для участка сети будет зависеть от большого количества факторов: состояния изоляции (сопротивления, степени увлажненности, степени старения), от условий эксплуатации сети (перегрузки, перенапряжение, повышенные токи утечки, механические воздействия), от условий окружающей среды (температура, влажность воздуха, наличие агрессивных сред) и т.д.

Условия эксплуатации сети, окружающей среды и прочие факторы влияют на формирование фактора состояния изоляции и определяют процесс его изменения. Так как точное определение большинства перечисленных факторов на настоящий момент невозможно, то целесообразно перейти от точного определения вероятности замыкания за определенный период времени к некоторому обобщенному показателю ( $\Omega_c$ ) состояния изоляции, характеризующему вероятность возникновения замыкания на объекте на момент измерения, и зависящему только от состояния изоляции.

Состояние изоляции оценивается с помощью следующих показателей: сопротивление изоляции  $R_{из}$ , коэффициент абсорбции  $K_{abc}$  и коэффициент поляризации  $K_{пол}$ .

В результате построения математической модели, изложенной в статье [1], была получена следующая зависимость показателя состояния изоляции, характеризующего вероятность замыкания на объекте, от состояния изоляции, характеризуемого сопротивлением изоляции  $R_{из}$ , коэффициентом абсорбции  $K_{abc}$  и коэффициентом поляризации  $K_{пол}$ , и постоянной А:

$$\Omega_c = 1 - \frac{I}{R_{из} \sqrt{e^{A \cdot K_{abc} \cdot K_{пол}}}}$$

Было определено значение показателя А равное 0,001028.

В том случае, когда за длительный период времени происходит изменение параметров изоляции, которыми нельзя пренебречь в рамках расчета, необходимо провести прогнозирование их изменения в течение рассматриваемого периода времени. Для получения соответствующих данных воспользуемся подходом, описанным в [2]. Это позволит определить, как будет меняться обобщенный показатель состояния изоляции объекта через некоторые контрольные промежутки времени, например через месяц. Чем выше частота установки контрольных точек, тем меньше погрешность расчетов.

Такой подход позволяет учесть возможность выхода из строя изоляционного покрытия нового изделия при наличии в нем дефектов или при неблагоприятных внешних факторах за сравнительно небольшой промежуток времени, а также проводить прогнозы об изменении вероятности возникновения замыкания на объекте на длительные промежутки времени.

#### Список литературы

1. Компанец Б.С. Сравнительная оценка пожарной опасности различных объектов электроснабжения / Б.С. Компанец, С.Ф. Нефёдов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4. – С. 27 – 32.
2. Упит А.Р. Определение остаточного ресурса внутренних электрических проводок в жилых, общественно-коммунальных и производственных помещениях 220/380В городов и сельских населенных пунктов / А.Р. Упит, Н.М. Гесенко, Е.О. Мартко // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2\2. – С. 123 – 127.

**Компанец Борис Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [kompbs@mail.ru](mailto:kompbs@mail.ru).

**Нефёдов Сергей Федорович** – заведующий лабораториями кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 45-75-71, e-mail: [nfdv@inbox.ru](mailto:nfdv@inbox.ru).

## **СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ**

Руководитель:

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

---

УДК 621.365.22

### **РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧЬЮ НА ОСНОВЕ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Елизаров В.А., Елизаров К.А.**  
Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

*Описывается функционал и составные элементы испытательного стенда, разработанного для исследования механизма перемещения электрода дуговой печи. Приведены основные результаты исследований на примере дуговой печи постоянного тока.*

*In the article are described the functionality and components of the test desk, that was specially developed for research of the electrodes movement gear of the arc furnace. In the article are given the results of research on the example of DC arc furnace.*

В настоящее время вследствие сильного морального и физического износа основного производственного оборудования промышленных предприятий энергоёмкость их продукции достигает небывалых величин. Так на ряде промышленных предприятий России и СНГ расход электроэнергии на выплавку рядовой стали достигает 1000-1500 кВтч/т, что превышает нормативные показатели в 1,5-2 раза. При этом данные предприятия не обладают достаточными средствами для масштабных реконструкций. В такой ситуации огромную роль играет модернизация подобных производств и внедрение с этой целью экономичных систем управления, характеризующихся малой стоимостью и позволяющих сократить энергоёмкость получаемой продукции.

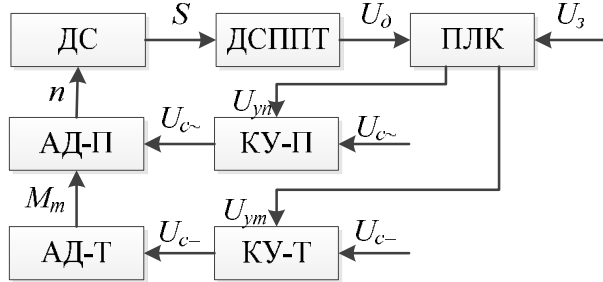
Системы управления дуговых сталеплавильных печей постоянного тока (ДСППТ) чаще всего разделяют на два независимых контура. Функции регулирования тока дуги возложены на выпрямительный агрегат, в составе которого присутствует автономный регулятор тока. Вторым контуром управления является перемещение электрода.

Традиционно для перемещения электродов ДСППТ малой и средней ёмкости применяются двигатели постоянного тока (ДПТ), частотно-регулируемые асинхронные двигатели (ЧАД) с короткозамкнутым ротором и электрогидравлические приводы (ЭГП). Каждый из этих приводов имеет свои преимущества и недостатки. Так, например, ДПТ, в силу наличия коллекторных узлов и сниженной за счет этого надежности и относительно большой стоимости, в современных дуговых печах практически не применяются. ЧАД широко распространены, но обладают повышенной стоимостью, большую часть которой составляет преобразователь частоты и более узким диапазоном регулирования, расширение которого требует дорогостоящих датчиков скорости (энкодеров) и преобразователей частоты с более сложными законами управления.

ЭГП находят ограниченное применение по причине нежелания небольших заводов-потребителей заводить масляное хозяйство, требующее наличия квалифицированного персонала. В качестве недорогой альтернативы в механизме перемещения электрода предлагается использовать нерегулируемый асинхронный

двигатель (НАД) [1].

Для исследования характеристик механизма перемещения электрода ДСППТ с НАД был создан специальный испытательный стенд, структурная схема которого приведена на рис. 1. На рис. 1 приняты следующие обозначения: ДСППТ –



**Рисунок 1 – Структурная схема испытательного стенда**

математическая модель ДСППТ, ПЛК – программируемый логический контроллер, КУ-П – коммутационный узел приводного двигателя, АД-П – приводной асинхронный двигатель, КУ-Т – коммутационный узел тормозного двигателя, АД-Т – тормозной асинхронный двигатель, ДС – датчик скорости (энкодер),  $U_d$  – напряжение дуги,  $U_3$  – напряжение задания,  $U_{ym}$  – сигнал управления КУ-П,  $U_{ym}$  – сигнал управления КУ-Т,  $U_{c\sim}$  – трехфазная сеть

переменного тока,  $U_{c=}$  – сеть постоянного тока,  $M_m$  – тормозной момент,  $n$  – число оборотов двигателя,  $S$  – перемещение электрода.

В основу математической модели ДСППТ положена вольт-амперная характеристика дуги постоянного тока для периода расплавления шихты в интервале токов от 0,1 до 100 кА, полученная на основе обобщения экспериментальных данных [2]:

$$U_d(l_d, I_d, \theta) = 10 + b \cdot I_d^\alpha + a \cdot l_d \cdot I_d^{\alpha - 0,5},$$

где  $U_d(l_d, I_d, \theta)$  – напряжение дуги;  $I_d$  – ток дуги;  $l_d$  – расстояние от торца электрода до уровня расплава (шихты),  $\theta$  – относительная температура расплава;  $a, b, \alpha$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от относительной температуры расплава.

Математическая модель ДСППТ реализована на персональном компьютере (ПК) в виде программы в среде *National Instruments LabVIEW*. Взаимодействие с соответствующими элементами испытательного стенда (ДС, ПЛК) реализовано при помощи плат аналогового и дискретного ввода/вывода *NI PCI-6023E* и *NI PCI-6713*, установленных в ПК. В программе предусмотрена возможность сохранения результатов измерения и расчетов на их основе: времени замера, перемещения электрода, напряжения дуги и тока дуги, в память ПК в формате структурированных \*.txt файлов.

Входным для ПЛК является сигнал, пропорциональный напряжению на дуге, вычисленный на модели, который сравнивается с заданным значением и выдает в виде управляющего воздействия на КУ-П и КУ-Т в соответствии с заложенной заранее программой. В качестве ПЛК используется ОВЕН ПЛК160-220.А-М. Для ввода основных исходных данных в ПЛК на стенде имеется графическая панель оператора ОВЕН СП270-Т. Управляющие сигналы с дискретных выходов ПЛК передаются в КУ-П, который осуществляет пуск, реверс и останов АД-П. Он состоит из двух промежуточных реле и двух силовых контакторов.

Коммутационный узел тормозного двигателя (КУ-Т) также состоит из промежуточного реле и силового контактора. Он осуществляет подключение и отключение АД-Т от сети постоянного тока в зависимости от управляющего сигнала ПЛК.

Приводной (АД-П) и тормозной (АД-Т) двигатели смонтированы на одной панели, а их валы соединены упругой муфтой. В качестве приводного двигателя выступает АД 5А80МА4У3 мощностью 1,1 кВт, а тормозного – АИР80А4У3 (1,1 кВт).

На валу АД-П закреплен ДС – инкрементальный энкодер ЛИР-276А

с разрешающей способностью 1000 дискрет на один оборот вала. Количество импульсов и направление вращения фиксируются описанной выше платой ввода сигналов, и пересчитываются в программе в перемещение электрода.

На данном стенде исследовались переходные характеристики системы перемещения электрода: зависимости скорости выхода на режим, установившиеся значения в зависимости от величины зоны нечувствительности, задаваемой в ПЛК, и скорости перемещения электрода при наличии тормоза и при его отсутствии в наиболее характерных режимах работы ДСППТ: при зажигании дуги, при ликвидации короткого замыкания и скачкообразном изменении длины дуги.

При проведении эксперимента считалось, что ток дуги и относительная температура расплава постоянны и равны  $I_D = 11$  кА и  $\theta = 0,196$ , что соответствует среднemasсовой температуре шихты  $t \approx 800^\circ\text{C}$ , напряжение дуги поддерживалось на уровне  $U_D = 150$  В. Данные параметры характерны для периода расплавления ДСППТ ёмкостью 12 тонн.

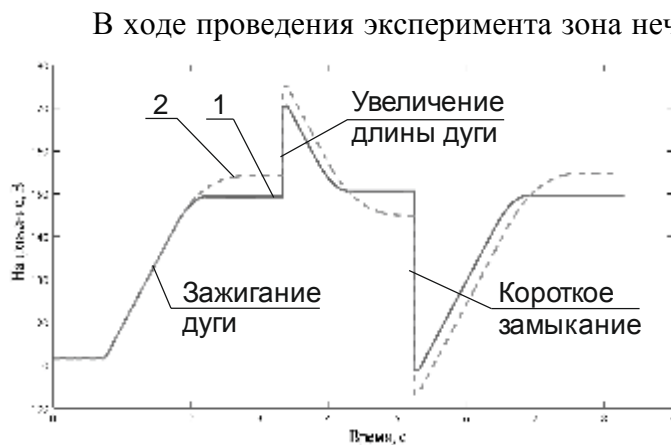


Рисунок 2 – Осциллограммы напряжения

работы с тормозом (кривая 1) и без него (кривая 2) на рис. 2.

Сопоставление этих зависимостей показывает, что в системах, работающих на больших скоростях с неуравновешенными массами, к которым можно отнести механизмы перемещения электродов ДСППТ, наличие тормоза является важнейшим и необходимым фактором для достижения приемлемых по качеству переходных процессов.

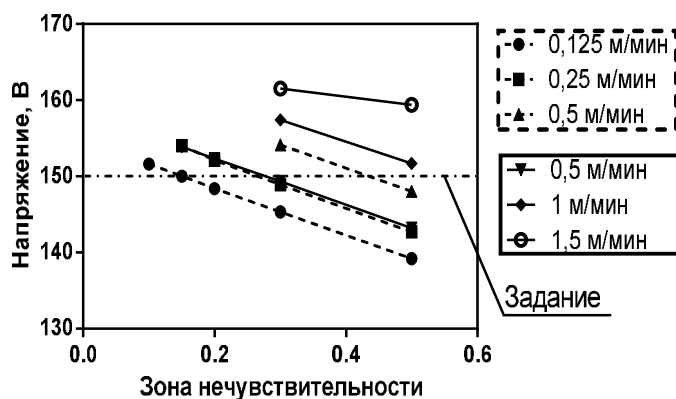


Рисунок 3 – Семейство характеристик

После обработки снятого в ходе эксперимента массива данных получены семейства кривых (рис. 3 штриховые линии – при отсутствии тормоза, сплошные – при его наличии), которые позволяют определить границы применимости НАД в регуляторах ДСППТ. Так, например, в отсутствие тормоза при скорости 0,5 м/мин минимально допустимой зоной нечувствительности можно считать значение 30 % от установившегося, а при наличии

тормоза – это значение снижается до 15%. Превышение критических значений ведет к переходу системы перемещения электрода в автоколебательный режим.

Проведенные исследования доказывают применимость НАД в механизмах перемещения электрода ДСППТ. В ближайшем будущем планируется провести



исследования характеристик механизма перемещения электрода ДСПТ с электромагнитным тормозом и дополнить их аналогичными исследованиями для дуговых печей переменного тока.

#### Список литературы

1. Патент РФ на полезную модель №94393, МПК H05P 7/00. Регулятор режима дуговой печи. / В.А. Елизаров, К.А. Елизаров, В.П. Рубцов. – 2009148749/22; Заявл. 29.12.2009; Опубл. 20.05.2010 Бюл. №12. – 1с.
2. Электродуговые печи постоянного тока. / А.Н. Попов, М.М. Крутянский, В.В. Долгов, А.К. Филиппов. // Электromеталлургия. – 1998. – №2. – С. 11-15.

**Елизаров Владислав Александрович**, канд. техн. наук, ведущий инженер кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [veliz@yandex.ru](mailto:veliz@yandex.ru).

**Елизаров Константин Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [YelizarovKA@mpei.ru](mailto:YelizarovKA@mpei.ru).

УДК 621.3

### К ВОПРОСУ О ГАРМОНИКАХ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДРОССЕЛЕМ НАСЫЩЕНИЯ

**Птицына Е.В., Птицын Д.В.**  
Россия, г. Омск, ОмГТУ  
**Кувалдин А.Б.**  
Россия, г. Москва МЭИ (НИУ)

*Приводятся результаты исследования состава и амплитуд гармоник, генерируемых дросселем насыщения.*

*The results of investigation of the composition and the amplitudes of the harmonics generated by the choke saturation.*

В источниках питания электролизных и газоразрядных электротехнологических установок (ЭТУ) с питанием током сложной формы (ТСФ) дроссели насыщения (ДН) используются для регулирования формы тока [1]. По утверждениям в [2], нелинейная индуктивность, какой является дроссель, может генерировать четные и нечетные гармоники. При этом постоянная составляющая функции напряженности магнитного поля зависит от постоянной и переменной величины индукции магнитного поля. Изменяя подмагничивание ДН, можно изменять амплитуды первой и высших гармоник в функциях напряженности и индукции магнитного поля. Поэтому для разработки оптимальной конструкции такого ДН целесообразно исследовать характер изменения состава генерируемых дросселем гармоник и их амплитуд, что в представленной работе выполнено при исследовании электромагнитных полей с использованием программного продукта Elcut 5,7.

Ниже показаны результаты исследований ДН для физической модели дуговой плавильной печи. Для достижения поставленной цели решали магнитосвязанную задачу. Первоначально решали нелинейную задачу магнитостатики, позволяющую получить картину поля при различных плотностях тока в обмотке управления (ОУ) ДН. Полученные решения картины поля задачи нелинейной магнитостатики позволяют выполнить анализ локальных и интегральных характеристик (магнитной индукции, напряженности магнитного поля, магнитной проницаемости и др., а также состава и амплитуд гармоник). Исследование картины поля также позволяет

определить целесообразные значения плотности тока в обмотке управления (ОУ) дросселя, используемые для изменения степени насыщения магнитопровода.

Решая нелинейную задачу магнитостатики изначально задают класс модели, систему координат, способ расчета, единицы измерения длины, а также используют ряд допущений: электропроводность сердечника в расчетах принята равной нулю, то есть значение плотности вихревых токов также полагается равным нулю, принимается плоская модель, что допустимо, если размеры сердечника по оси  $Z$  ( $L_z$ ) в принятой декартовой системе координат много больше, чем в рассматриваемой плоскости  $XY$ . Исходными данными для исследования являются - сечение магнитопровода  $Q = 120$  см<sup>2</sup>, число витков обмотки управления – 200, кривая намагничивания сердечника, описание геометрии ДН. Геометрия модели ДН предполагает размещение обмотки управления и рабочей обмотки (ОР) на разных стержнях сердечника. Источники поля в обмотке управления задаются значениями плотности тока, которая варьировалась в диапазоне 3000000 - 25000 А/м<sup>2</sup>. Источники поля рабочей обмотки ДН в нелинейной задаче магнитостатики принимаются равными нулю.

В табл. 1 представлены локальные значения индукции магнитного поля и магнитная проницаемость стали в исследуемом диапазоне плотности тока. В нелинейной задаче магнитостатики выполнено исследование изменения индукции магнитного поля вдоль средней линии сердечника ДН и ее гармонического состава для контура интегрирования вдоль средней магнитной линии сердечника при фиксированных значениях плотности тока в ОУ.

Таблица 1 – Значения магнитной индукции и магнитной проницаемости стали

Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Локальные значения индукции В, Тл	Магнитная проницаемость стали
3000000	1,7	19,8
1000000	1,620	111,9
500000	1,520	437
250000	1,406	552
100000	1,09	885
50000	0,79	1277
25000	0,5	1623

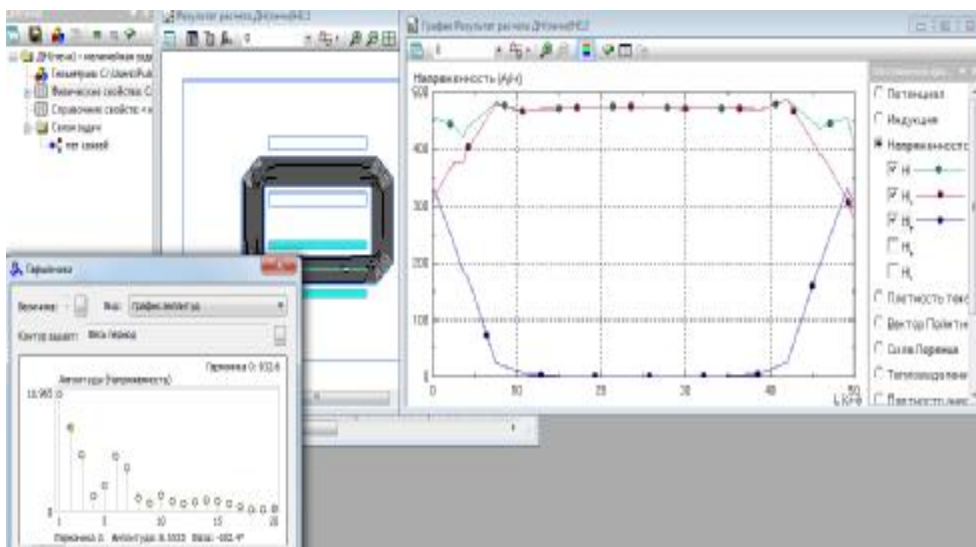
Отмечено, что при больших значениях плотности тока (например, 3000000 А/м<sup>2</sup> и 1000000 А/м<sup>2</sup>) значение индукции магнитного поля в стержне, где расположена ОУ больше, чем в других частях магнитопровода, также имеет место рассеяние магнитного поля. Спектр гармоник индукции магнитного поля по контуру интегрирования представлен четными и нечетными гармониками. При больших плотностях тока в спектре выделяется вторая гармоника, амплитуда которой меняется с изменением плотности тока в обмотке управления ДН (0,073 Тл, 0,056 Тл, 0,044 Тл). При более низких значениях плотности тока в ОУ возрастает амплитуда четвертой и шестой гармоники.

Исследованиями подтверждено, что при низких значениях плотности тока значения величин индукции и напряженности магнитного поля в стержне, где размещена ОУ, постоянны, а амплитуды гармоник в спектре изменяются и обусловлены степенью насыщения магнитопровода.

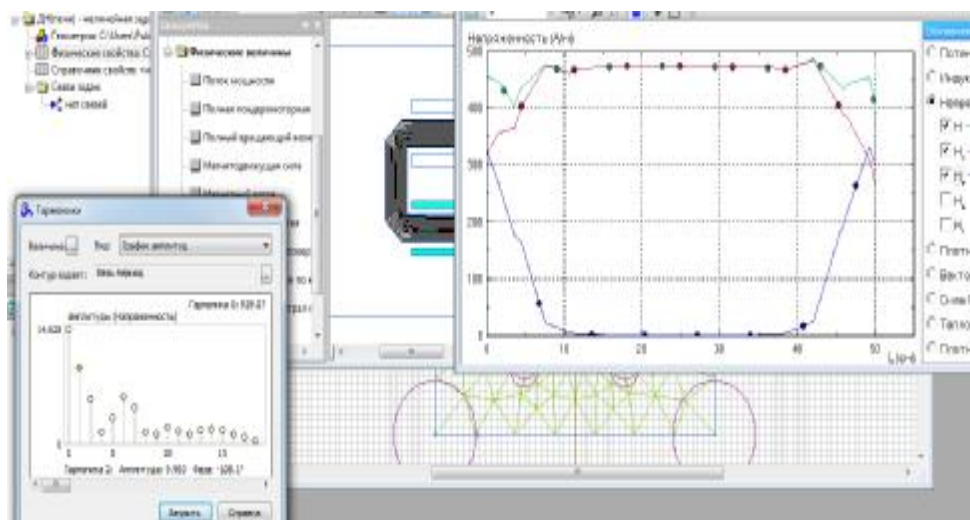
На втором этапе решения магнитосвязанной задачи исследовано магнитное поле переменного тока, создаваемого рабочей обмоткой. При этом в задачу переносится магнитное состояние сердечника, полученное при решении нелинейной задачи магнитостатики. В качестве примера представлены графики изменения напряженности магнитного поля в магнитопровode для плотности тока 250000 и 25000 А/м<sup>2</sup>.

Исследованиями подтверждено, что магнитное состояние сердечника определяет амплитуды гармоник в спектре напряженности и индукции магнитного поля. Так, при

идентичности спектров (см. рис. 1, рис. 2) третья гармоника напряженности магнитного поля имеет амплитуды 137,25 и 112,06. По результатам расчета построены также графики изменения индукции магнитного поля и соответствующий спектр гармоник. В полученных спектрах отмечено возрастание второй гармонической, однако амплитуда ее различна при различном подмагничивании сердечника (0,00595 и 0,00494 Тл).



**Рисунок 1 – График изменения напряженности магнитного поля в магнитопроводе ДН, где размещена ОР, при плотности тока в ОУ 250000 А/м<sup>2</sup>**



**Рисунок 2 – График изменения напряженности магнитного поля в магнитопроводе ДН, где размещена ОР, при плотности тока в ОУ 25000 А/м<sup>2</sup>**

Таким образом, при больших значениях индукции магнитного поля в сердечнике (порядка 1,7 - 1,5 Тл) наблюдается большее рассеяние, что соответствует значениям плотности тока в ОУ порядка 3000000 - 500000 А/м<sup>2</sup>. По результатам исследований наиболее приемлемыми значениями плотности тока в ОУ ДН с минимальным рассеянием является диапазон 100000 – 25000 А/м<sup>2</sup>.

#### Список литературы

1. Птицына Е.В. Электролизные и газоразрядные электротехнологические установки с питанием током сложной формы. Под ред. д-р техн. наук профессора А.Б. Кувалдина. – Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2007.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.

**Птицына Елена Витальевна** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского Государственного технического университета, тел. (3812) 65-36-35, e-mail: [evptitsyna@yandex.ru](mailto:evptitsyna@yandex.ru).

**Кувалдин Александр Борисович** – д-р техн. наук, профессор кафедры ФЭМАЭК МЭИ, заслуженный деятель науки РФ, тел. (495) 362–70–75, e-mail: [KuvaldinAB@mpei.ru](mailto:KuvaldinAB@mpei.ru)

**Птицын Дмитрий Вячеславович** – магистрант Омского Государственного технического университета. Адрес: Россия, 644050 г. Омск, пр. Мира 11.

УДК 621.365.4

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ С ВЫСОКИМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Митяков Ф.Е., Горячих Е.В.**  
Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

*Проводится сравнение регуляторов температуры печей сопротивления с нагревателями из тугоплавких металлов. Описываются особенности моделирования трансформатора с переключением ступеней напряжения. Показаны преимущества использования регулятора температуры с «токовой отсечкой».*

*Comparison of temperature controllers of the furnace resistance with heating elements from refractory metals is spent. Features of modeling of the transformer voltage stage switching are described. Preferences of use of temperature controller with setpoint current are shown.*

В высокотемпературных электрических печах сопротивления с нагревателями из дисилицида молибдена, а также в вакуумных печах сопротивления с нагревательными блоками из тугоплавких металлов необходима организация «плавного пуска» печи в процессе разогрева. Это связано с тем, что материалы нагревательных элементов обладают высоким значением коэффициента электрического сопротивления и в процессе разогрева печи до номинальной температуры сопротивление нагревателя изменяется примерно в 10 раз. Как следствие, изменяется и ток, а столь высокие броски тока негативно сказываются на сроке службы нагревательного блока.

Существует несколько способов организации «плавного пуска» печи. Классический способ питания печей сопротивления с такими нагревателями основан на использовании многоступенчатого понижающего трансформатора с регулированием напряжения в широком диапазоне. При разработке моделей систем управления такого типа необходимо уделить внимание вопросам моделирования переключения ступеней напряжения трансформатора.

Структурная схема модели трансформатора (рис.1) включает в себя: релейный элемент, интегратор, зону ограничения и элемент квантования.

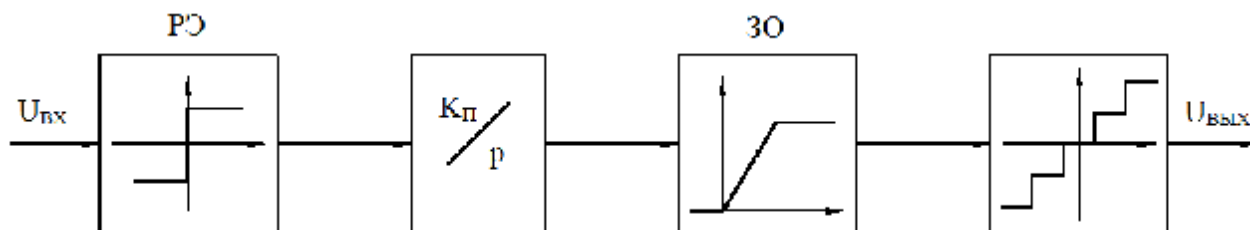
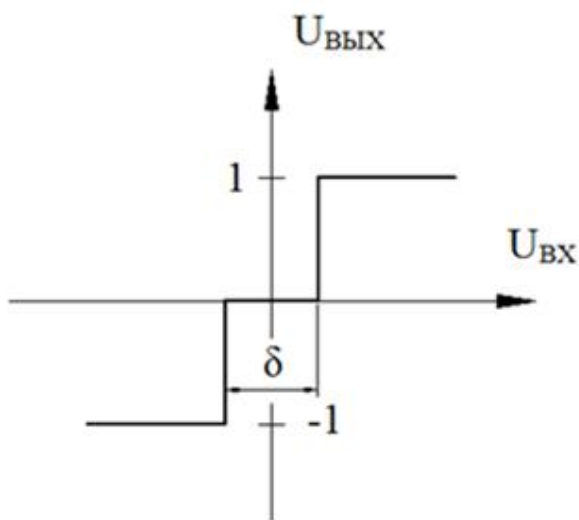


Рисунок 1 – Структурная схема трансформатора с переключением ступеней напряжения.

При построении модели регулируемого трансформатора в составе системы регулирования температуры следует иметь в виду, что выходное напряжение (действующее значение переменного напряжения) всегда положительно, т.е. на выходе трансформатора  $U_{\text{ВЫХ}} > 0$ . Кроме того, максимальное значение выходного напряжения также ограничено номинальным значением. Здесь минимальное и максимальное значения напряжения трансформатора вводятся в звене ограничения  $3O$ . Запоздыванием, обусловленным временем переключения реле, управляющего двигателем перемещения щетки трансформатора, составляющем приблизительно 0,02 с, пренебрегаем. Для исключения возможности возникновения автоколебаний в зоне малых рассогласований сигнала в схему модели введен 3-х позиционный релейный элемент с характеристикой, представленной на рис.2, где  $\delta$  – ширина зоны нечувствительности.



**Рисунок 2 – Характеристика трёхпозиционного релейного элемента**

При использовании 2-х позиционного релейного элемента частые переключения ступеней трансформатора (из-за возникновения автоколебаний) негативно сказываются на качестве динамических характеристик печи, а также сокращают срок службы применяемого трансформатора.

С учетом вышеуказанных особенностей была разработана модель системы управления в среде Simulink Matlab (рис. 3). В модели необходимо отметить ряд особенностей:

- 3-х позиционный релейный элемент выполняется последовательным соединением

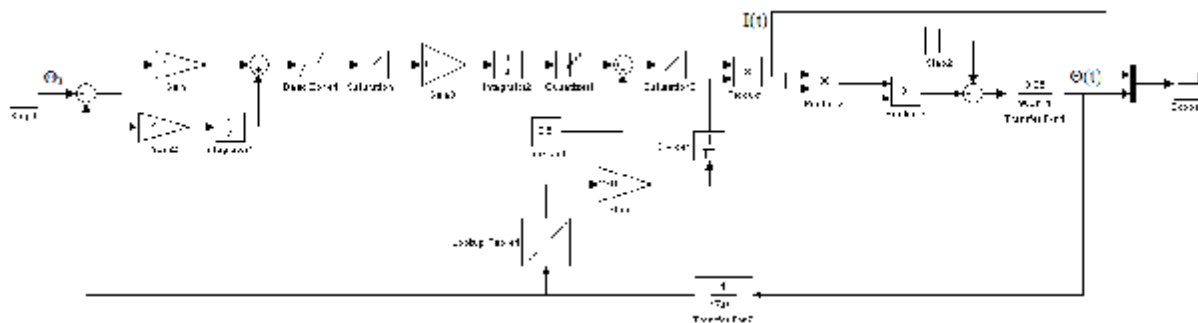
блоков Dead Zone (зона нечувствительности) и Saturation (блок ограничения) и для исключения возможностей автоколебаний необходима дополнительная настройка параметров зоны нечувствительности;

- переключение ступеней напряжения трансформатора реализуется как сумма выходных сигналов от блоков Constant (константа) и Quantizer (блок квантования), в первом блоке задается значение первой ступени напряжения, во втором – шаг переключения ступеней напряжения;

- для отлаженной работы системы необходима точная настройка интегральной составляющей трансформатора Gain3, в связи с тем, что при отклонении даже на один порядок, программа Simulink Matlab выдает ошибку.

Вторым способом снижения броска тока в системах управления нагревателями из тугоплавких металлов является применение токовой отсечки, ограничивающий ток на нагревателях в процессе разогрева печи.

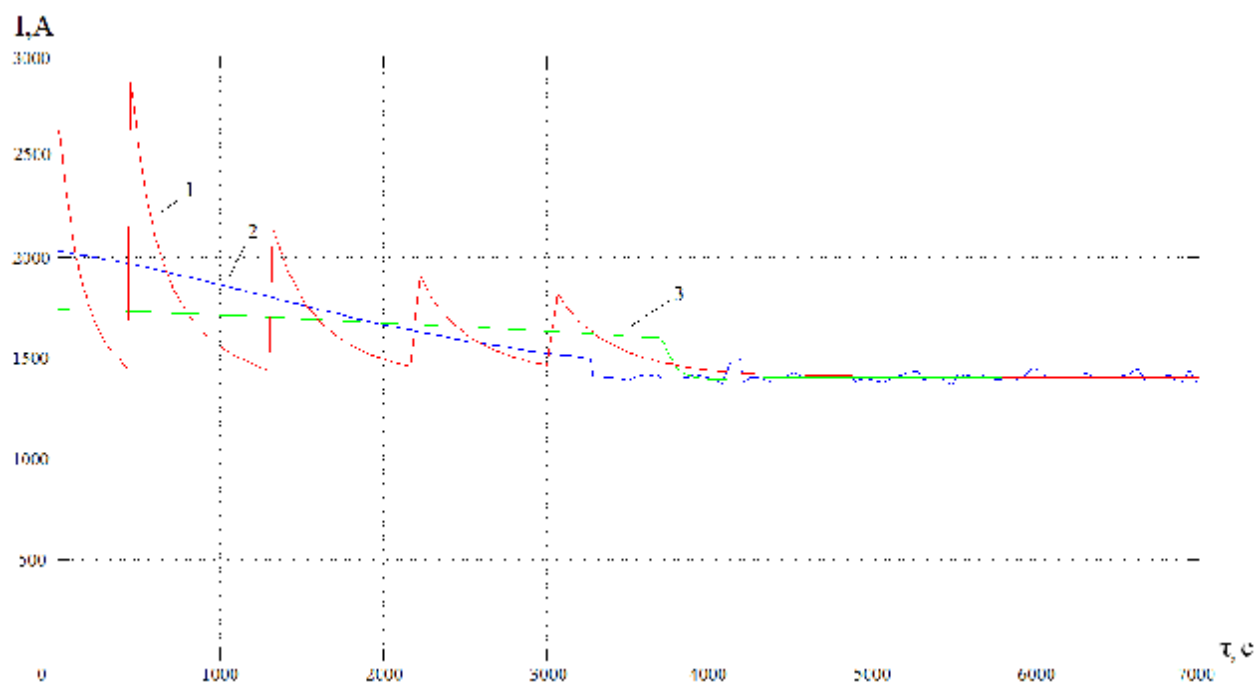
В ряде специализированных исполнительных элементов – тиристорных регуляторов переменного напряжения, вводят нелинейную отрицательную обратную связь по току (токовую отсечку), ограничивающую ток нагрузки допустимыми для тиристорных значениями. В большинстве исполнений тиристорных регуляторов мощности токовую отсечку не применяют. Отсутствие контроля тока в стандартном регуляторе температуры приводит к увеличению установленной мощности тиристорных и регулятора. Кроме того, ограничивает их применение для высокотемпературных печей, требующих контроля тока нагревателей, при включении «холодной» печи [1-3].



**Рисунок 3 – Модель системы управления с переключением ступеней напряжения в среде Simulink Matlab**

Для расширения возможностей стандартных программируемых регуляторов температуры предлагается вводить обратную связь по току в канал обратной связи температуры.

Разработка и исследование моделей с различными «токовыми отсечками» подробно описаны в [2, 3]. На рис.4 представлены характеристики тока в процессе разогрева вакуумной печи сопротивления с нагревателями из молибдена и номинальной температурой в печи 1300 °С с различными способами организации питания электроустановки.



**Рисунок 4 – Зависимости тока на нагревателях от времени**

1 – с переключением ступеней напряжения; 2 – с внутренним контуром тока;

3 – с дополнительной обратной связью.

Как показывает анализ рисунка 4:

- все способы организации питания нагревателей позволяют обеспечить плавный пуск печи;

- для ряда технологических процессов, когда не требуется ограничение скорости нагрева, использование регуляторов с «токовой отсечкой» позволяет регулировать (увеличивать) скорость нагрева в сравнении с системой управления с переключением ступеней напряжения трансформатора;

- применение регулятора с дополнительным каналом по току позволяет снизить бросок тока на нагревателях: на 30% в сравнении с «токовой отсечкой» во внутреннем контуре регулятора; на 70% – с переключением ступеней напряжения трансформатора;

- кроме того, система управления с дополнительным каналом по току более проста и удобна в настройке.

#### Список литературы

1. Патент РФ на полезную модель №98602, МПК G05D 23/19. Регулятор температуры электропечи сопротивления. / В.П. Рубцов., Ф.Е. Митяков, Е.В. Горячих – 2010124622/08; Заявл. 17.06.2010; Оpubл. 20.10.2010 Бюл. №29. – 1с.

2. Рубцов В.П., Митяков Ф.Е., Горячих Е.В., Кручинин А.М. – Влияние ограничения тока нагревателей на работу регуляторов температуры в высокотемпературных вакуумных печах сопротивления. Вестник МЭИ, 2012, №2, с.80-84.

3. Рубцов В.П., Митяков Ф.Е. Системы управления нагревателями из тугоплавких металлов с ограничением тока//Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Сборник материалов X международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2012. – с. 129-131.

**Митяков Филипп Евгеньевич**, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [filych@mail.ru](mailto:filych@mail.ru).

**Горячих Елена Владимировна**, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ».

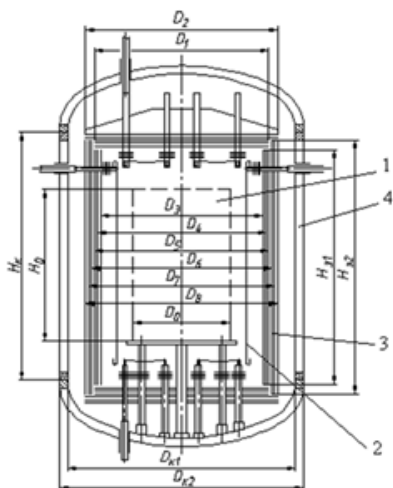
УДК 621.365.4

### КРИТЕРИЙ МИНИМУМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОМПЛЕКТА ЭКРАННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

**Митяков Ф.Е., Горячих Е.В.**

*Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»*

*Рассматривается методика выбора экранной теплоизоляции для вакуумных печей сопротивления с точки зрения экономического критерия. Анализируется влияние номинальной температуры в печи на выбор числа и материалов экранов теплоизоляции.*



**Рисунок 1 – Разрез ВПС с экранной теплоизоляцией**

*The methodology of a shield thermal insulation choice for high-temperature vacuum resistance furnaces from the point of view of economic criterion is considered. Influence of nominal temperature in the furnace on a number and material shields choice is analyzed.*

Вакуумные печи сопротивления (ВПС) с экранной теплоизоляцией нашли применение в таких областях техники, как атомная и ракетная, электроника, авиация, оборонная и т.д.

Экранная теплоизоляция состоит из набора металлических экранов. Тепловая изоляция нагревательной камеры ВПС, выполненная из металлических экранов, практически не вносит в рабочее пространство печи вредных примесей, которые могут повлиять на качество

обрабатываемого изделия. В связи с этим, для ряда технологических процессов, когда требуется повышенная чистота и однородность рабочего пространства печи, необходимо использовать ВПС с экранной теплоизоляцией.

ВПС с экранной теплоизоляцией (рис. 1) состоит из: обрабатываемого изделия 1, нагревательных элементов 2, комплекта экранной теплоизоляции 3 и водоохлаждаемого кожуха 4.

Методика выбора числа и материалов экранов в литературе отсутствует. В ВПС с рабочими температурами от 1600 до 2000 °С применялись от 3 до 11 экранов.

Материал экрана выбирается в зависимости от температуры на экране. Как правило, при температурах свыше 1100 °С на экране используются тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, тантал, ниобий) и сплавы на их основе, при температурах ниже 1100 °С применяется нихром, а также нержавеющая сталь.

Стоит отметить, что в качестве первого экрана целесообразно использовать такой же материал, как материал нагревателей печи, во избежание возможного взаимодействия самого горячего экрана с нагревателем. Кроме того, в качестве самого холодного экрана – «несущего» целесообразно использовать нержавеющую сталь 12Х18Н10Т, в связи с тем, что тугоплавкие металлы гораздо более трудоемки в обработке.

Постоянный рост стоимости электроэнергии в России делает целесообразным решение задачи выбора числа и материала экранов на основе экономических критериев.

В [1] был предложен критерий определения рационального числа экранов в ВПС с учетом минимума экономических затрат на производство экранной теплоизоляции  $C_{ЭТ}$ , а также затрат на электроэнергию  $C_{ЭЭ}$ , затраченной за время использования пакета теплоизоляции.

$$C_{\Sigma} = C_{ЭТ} + C_{ЭЭ},$$

Расписав удельные затраты [руб/м<sup>2</sup>] на производство комплекта теплоизоляции из разных материалов и электроэнергии получим:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k (C_{Mi} \cdot d \cdot g \cdot n_i) + C_{КВТч} \cdot t \cdot q,$$

где  $C_{Mi}$  – стоимость  $i$ -го материала экрана, руб/кг;

$d$  – толщина экрана (как правило, 0,3 мм);

$\gamma_i$  – плотность  $i$ -го материала, кг/м<sup>3</sup>;

$n_i$  – количество экранов  $i$ -го материала.

$C_{КВТч}$  – стоимость электроэнергии, руб/кВт×ч.

$q$  – тепловой поток, через экранную теплоизоляцию, кВт/м<sup>2</sup>;

$t$  – срок службы пакета теплоизоляции.

Для расчета стоимости электроэнергии, затраченной на работу электропечи за время использования пакета теплоизоляции необходимо определить срок службы  $t$  данного комплекта экранов, а также тепловой поток  $q$  через теплоизоляцию.

В связи с тем, что металлические экраны становятся хрупкими даже после однократного разогрева в печи до номинальной температуры, невозможна замена отдельного экрана, что приводит к необходимости замены полного комплекта экранов. Поэтому расчет срока службы комплекта экранной теплоизоляции по наименьшему сроку службы наиболее горячего экрана различного материала – считается оправданным. Согласно [1] срок службы в часах  $t$  металлического экрана толщиной  $d$ , м, плотностью  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>, и скоростью массоуноса  $Q$ , кг/(м<sup>2</sup>·с), может быть определен по формуле:

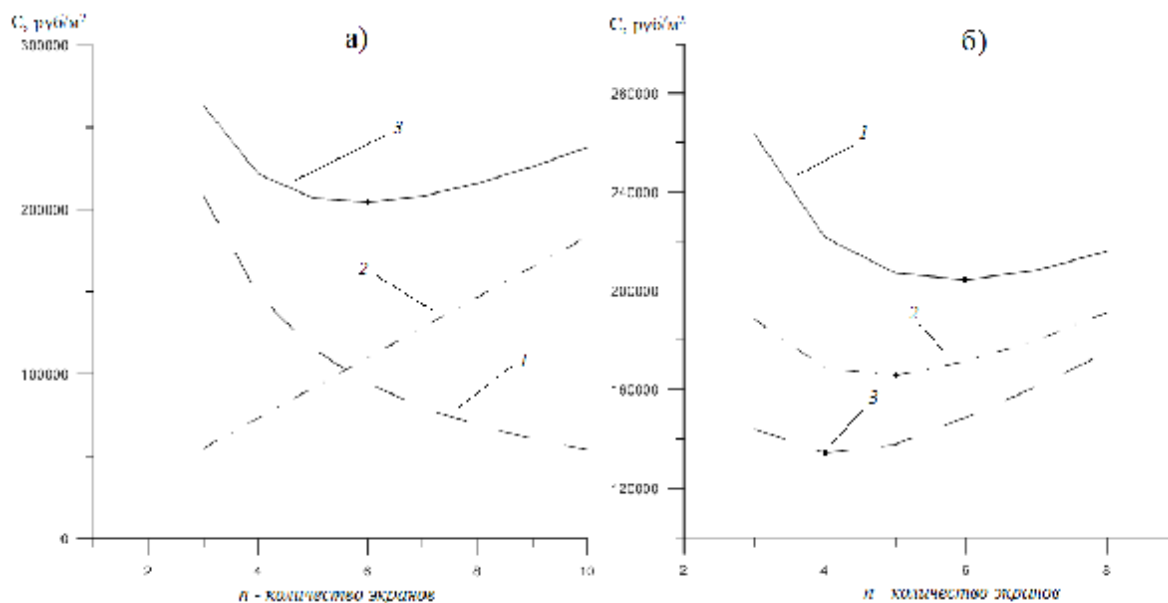
$$t = 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot K_K \cdot d \cdot g / Q,$$

где  $K_K$  – коэффициент конструктивных особенностей теплоизоляции (для печей с экранной теплоизоляцией находится в диапазоне 2÷3, для керамической теплоизоляции равен 3).

На рис. 2а представлены зависимости удельной стоимости экранов из молибдена (кривая 1), затрат на электроэнергию в зависимости от количества экранов, установленных в печи (кривая 2), а также суммарные удельные затраты (кривая 3), для установок с номинальной температурой равной 1600 °С и рабочем давлении 10<sup>-3</sup> Па.

На рис. 2б представлены зависимости суммарных удельных затрат для различных установок с номинальными температурами, °С: 1300, 1600 и 1800.





**Рисунок 2. а – зависимости удельных затрат при применении от 3 до 10 экранов в печи: 1 – затраты на экраны; 2 – затраты на электроэнергию; 3 – суммарные затраты. б – Зависимости удельных затрат от количества экранов при различных номинальных температурах в печи: 1 – 1600 °С, 2 – 1800 °С, 3 – 1300 °С.**

При расчете установок с номинальной температурой 1800 °С срок службы наиболее горячего экрана уменьшается в сравнении с установками на 1600 °С (из-за увеличения скорости массоуноса в 2,67 раз). С увеличением номинальной температуры в печи возрастают тепловые потери (при применении 6 экранов из молибдена в 1,74 раза). Однако из-за увеличения срока службы общие затраты на электроэнергию за весь срок использования пакета теплоизоляции уменьшаются. А, следовательно, возрастает влияние числа экранов на общие затраты. В связи с этим область, соответствующая минимальным затратам, при проектировании печей на температуру 1800 °С смещается влево (рис. 2б, кривая 2) к 5 экранам по отношению к установкам на 1600 °С.

При проектировании установок с номинальной температурой 1300 °С стоило бы ожидать смещения точки оптимума по отношению к установкам на 1600 °С вправо. Но этого не происходит в связи с тем, что срок службы наиболее горячего экрана (по сравнению с 1600 °С) не изменился, из-за значения скорости массоуноса молибдена [2]. Тепловые потери, из-за снижения номинальной температуры в печи, уменьшаются, и, как следствие, уменьшаются затраты на электроэнергию. Поэтому вновь возрастает роль числа экранов, установленных в печи, и точка оптимума рационального выбора количества экранов, при проектировании печей на 1300 °С, также смещается влево к 4 экранам (рис. 2б, кривая 3). Из смещения точки оптимума следует, что на выбор числа экранов в комплекте теплоизоляции, наибольшее значение оказывает скорость массоуноса материала.

При проектировании установок с номинальной температурой до 1000 °С, которые принято относить к классу низкотемпературных ВПС, применение экранов из нихрома определяет следующие преимущества:

- температура на нагревателях является допустимой для применения нагревателя из нихрома, следовательно, нет необходимости выполнять первый экран из тугоплавкого материала, во избежание взаимодействия материалов экрана и нагревателя;

- в связи с тем, что весь пакет теплоизоляции может быть выполнен из нихрома и нержавеющей стали, существенно возрастает срок службы комплекта экранов (из-за более низкой скорости массоуноса нихрома по сравнению с молибденом).

Существенное увеличение срока службы пакета комбинированной теплоизоляции нихром+сталь приводит к доминированию составляющей затрат на электроэнергию. Поэтому, несмотря на существующие рекомендации, основанные на зависимости тепловых потерь от количества экранов, с экономической точки зрения можно рекомендовать применение более 10 и даже 15÷20 экранов. Это также связано с незначительной стоимостью экранов из Х20Н80 и 12Х18Н10Т.

#### Список литературы

1. Митяков Ф.Е. – Экономический анализ применения экранной теплоизоляции в вакуумных печах сопротивления. Вестник МЭИ, 2011, №4, с.80-84.
2. Мармер Э.Н. Материалы для высокотемпературных вакуумных установок.- М.: ФИЗМАЛИТ, 2007. – 152 с.

**Митяков Филипп Евгеньевич**, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [filych@mail.ru](mailto:filych@mail.ru).

**Горячих Елена Владимировна**, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, кафедра АЭТУС.

УДК 621.365.4

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Горячих Е.В.**

*Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»*

*Предлагается методика определения постоянной времени электрической печи сопротивления. Разработана уточненная модель электрической печи сопротивления. Проводится сравнение характеристик действующей печи с результатами модели.*

*The methodology of a time constant determination of the electric resistance furnace is shown. The specified model of the electric resistance furnace is developed. Comparison of characteristics of the operating furnace with results of model is spent.*

Электрическая печь сопротивления (ЭПС) в тепловом отношении является сложным неоднородным объектом, характеризующимся нелинейными зависимостями теплотехнических параметров от температуры.

Традиционно ЭПС в регуляторах температуры представляют в виде линеаризованного звена с передаточной функцией:

$$W_{II}(p) = \frac{k_{II}}{T_{II}p + 1},$$

здесь  $K_{II}$  – коэффициент передачи печи;

$T_{II}$  – постоянная времени печи.

$$k_{II} = \frac{1}{a}$$

$$T_{II} = \frac{cm}{a} = cmk_{II}$$

здесь  $a$  – коэффициент теплоотдачи;

$c$  – коэффициент теплоемкости печи;

$m$  – условная масса изделия, футеровки и нагревателей.

Определение передаточной функции ЭПС  $W_{II}(p)$  записывается на основе ряда допущений. Предполагается, что ЭПС является однородным, сосредоточенным и бесконечно тонким в теплотехническом отношении телом, а коэффициенты теплопроводности и теплоемкости постоянны и не зависят от температуры.

Для проведения сравнительного анализа характеристик действующей установки с классической моделью ЭПС была смоделирована «кривая разогрева» «холостой» печи СНО-3.3,5.3,5/9 (рис.1). Номинальная температура в печи – 700 °С, время выхода на режим 38 минут.

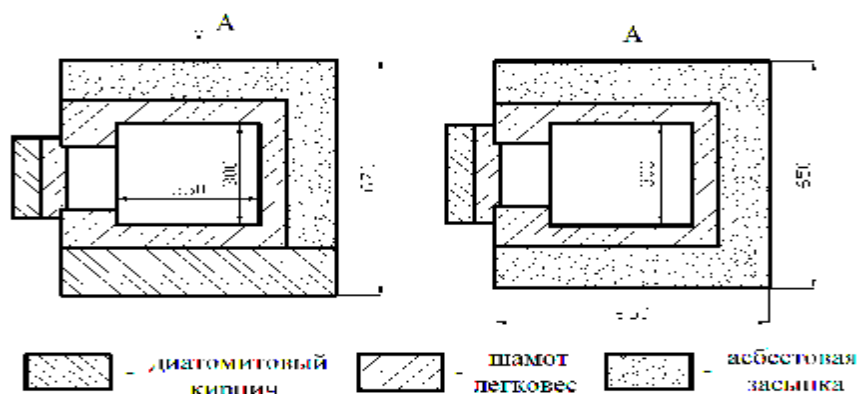


Рисунок 1 – Разрез печи СНО-3.3,5.3,5/9

Для этого в среде Matlab была разработана модель ЭПС (рис.2).

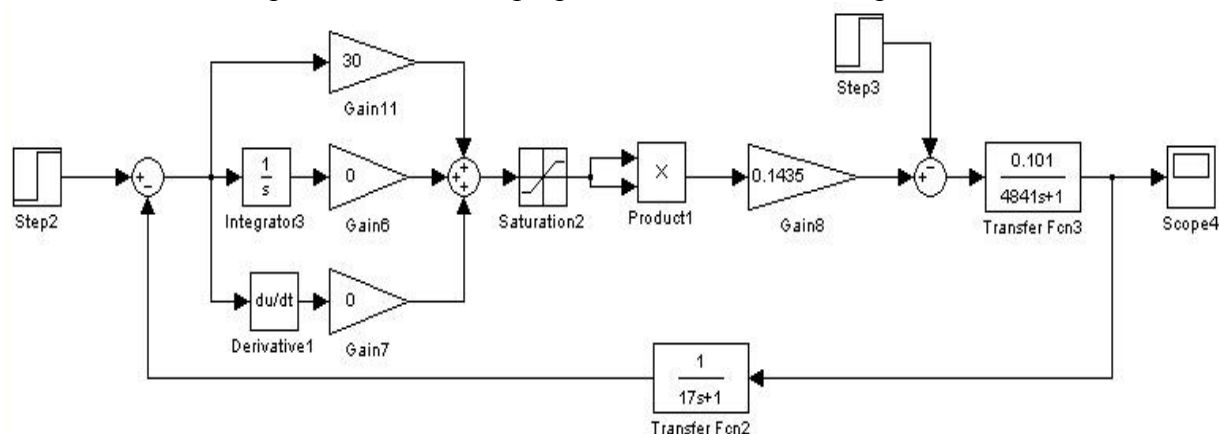


Рисунок 2 – Модель ЭПС в среде Simulink Matlab

Моделирование «кривой разогрева» сводится к определению значений коэффициента передачи и постоянной времени печи. Точное определение значения коэффициента теплоотдачи – очень сложная задача. Это связано с нелинейным изменением теплотехнических параметров печи. В связи с этим, предлагаем определить коэффициент передачи печи, исходя из уравнения энергетического баланса:

$$cm \frac{d\Theta}{dt} + a\Theta = P \pm \Delta P$$

где  $P$  – мощность, вводимая в печь;

$\Delta P$  – потери мощности, вызываемые внешними и внутренними возмущающими воздействиями.

В установившемся режиме  $\frac{d\Theta}{dt} = 0$ . Поэтому значение коэффициента передачи печи можно определить как отношение установившейся температуры к мощности, вводимой в печь:

$$a = \frac{P}{\Theta}; k_{II} = \frac{1}{a} = \frac{\Theta}{P}$$

Для печи СНО-3.3,5.3,5/9: масса печи – 170 кг; теплоемкость – 282 Дж/(кг·°С); коэффициент передачи – 0,101; постоянная времени 4841. «Кривая разогрева» печи с данными параметрами представлена на рис.3а (кривая 2). Как показывает анализ рис. 3а рассчитанная «кривая разогрева» с постоянной времени  $T_{II} = 4841$  (кривая 2) сильно отличается от экспериментальной (кривая 1).

Главным недостатком классического определения параметров является использование значения общей массы печи при установившейся температуре. В связи

с тем, что в печи разные элементы (садка, нагреватель, теплоизоляция) нагреваются до различной температуры, использование значений общей массы при определении постоянной времени печи приводит к значительным погрешностям.

Предлагаем разбить ЭПС на элементы с единой температурой. И массу печи записать, как сумму масс элементов с учетом отношения температуры элемента к установившейся температуре печи:

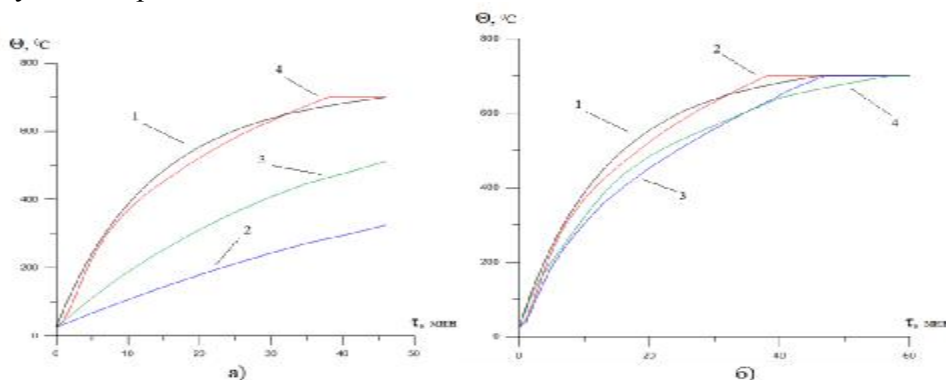
$$m = \sum m_i \cdot \left( \frac{\Theta_i}{\Theta} \right)$$

В рамках эксперимента проводился нагрев холостой печи, поэтому массой загрузки пренебрегаем. Масса нагревателя от общей массы печи составляет не более 2 %, поэтому в расчете данным параметром также можно пренебречь. В связи с этим вся мощность, подаваемая в печь, идет на прогрев футеровки ЭПС, и при разбиении массы печи на элементы необходимо решить только задачу теплопроводности через трехслойную стенку. Точность расчета приведенной массы печи зависит от количества элементов с единой средней температурой внутри элемента. Произведя расчеты, определили – приведенная масса печи равна 80 кг, постоянная времени 2280 (рис.3а, кривая 3). Эта характеристика также сильно отличается от экспериментальной.

В связи с тем, что рассчитанные на модели (рис.2) «кривые разогрева» с постоянными времени 4841 и 2280 значительно отличаются от экспериментальной характеристики печи, постоянную времени для разного класса печей необходимо определять экспериментально. После ряда экспериментов было определено, что наиболее схожая характеристика на модели получается при использовании постоянной времени равной 40% от времени выхода печи на режим.

Для проверки этого соотношения было принято решение провести дополнительные эксперименты по нагреву печи СНО-3.3,5.3,5/9 с загрузкой. В качестве загрузки были выбраны кирпичи общей массой 6 кг. Средняя теплоемкость установки не изменилась, так как теплоемкость загрузки соответствует теплоемкости теплоизоляции ЭПС. Экспериментальная «кривая разогрева» печи СНО с загрузкой представлена на рис.3б (кривая 1).

При моделировании печи с загрузкой изменилось значение приведенной массы. Она увеличилась ровно на массу загрузки (7 кг), так как загрузка прогревается до температуры в печи. Таким образом, общая приведенная масса печи СНО-3.3,5.3,5/9 увеличилась на 8%. Как показывает экспериментальная характеристика (рис.3б, кривая 3) время разогрева печи с загрузкой составляет 46 минут, т.е. увеличилось на 20%. Смоделированная по выше приведенной методике «кривая разогрева» печи с загрузкой (рис.3б, кривая 4) соответствует экспериментальной.



**Рисунок 3 – «Кривые разогрева» печи СНО-3.3,5.3,5/9:**

3а. 1 – экспериментальная «холостой печи»; 2 – рассчитанная с  $T_{II} = 4841$ ;

3 – рассчитанная с  $T_{II} = 2280$ ; 4 – рассчитанная с  $T_{II} = 2280$  и  $K_{ПВ} = 0,4$ .

3б. 1 – экспериментальная «холостой печи»; 2 – рассчитанная с  $T_{II} = 2280$  и  $K_{ПВ} = 0,4$ .

3 – экспериментальная с загрузкой 7 кг; 4 – рассчитанная с загрузкой и  $K_{ПВ} = 0,4$ .

В результате установлено, что при моделировании ЭПС для определения постоянной времени следует вводить поправочный коэффициент  $K_{ПВ}$ , численно равный 0,4.

$$T_{II} = cmk_{II}k_{IIВ}$$

Горячих Елена Владимировна, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: elena-goryachikh@mail.ru.

УДК 517.958: 536.2

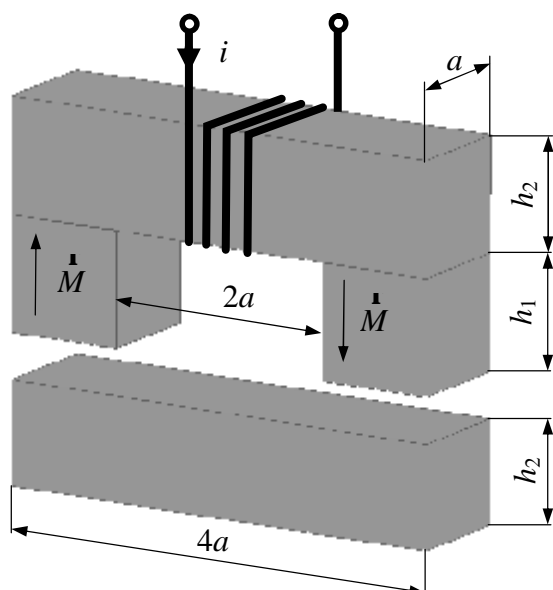
## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

**Бахвалов Ю.А., Горбатенко Н.И., Гречихин В.В., Грекова А.Н.**

*Россия, г. Новочеркасск, Южно-Российский ГТУ (Новочеркасский политехнический институт)*

*Предложена методика проектирования энергосберегающего электромеханического устройства, основанная на решении условно корректных обратных трехмерных задач магнитостатики и стационарных магнитных полей методом конечных элементов. Приводится пример реализации методики.*

*The technique of design of the energy saving electromechanical device, based on the solution of conditionally correct the inverse three-dimensional magnetostatic problem is offered. The technique example of implementation is given.*



**Рисунок 1 – Эскиз электромеханического устройства**

Рассмотрим применение условно корректных обратных задач при проектировании энергосберегающего электромеханического реле [1]. Устройство содержит два постоянных магнита (ПМ), обмотку управления, по которой протекают импульсы тока, ферромагнитный сердечник и якорь (рис. 1). На рис. 2 приведены возможные состояния устройства: а) ток в обмотке  $i = 0$ , зазор максимален ( $\delta_{\max}$ ), состояние «реле выключено»; б) по обмотке проходит импульс тока  $i > 0$ , направления магнитных полей обмотки и ПМ совпадают, якорь начинает притягиваться к сердечнику, состояние «включение реле»; в) ток  $i = 0$ , зазор минимален ( $\delta_{\min}$ ), состояние реле «включено»; г) по обмотке проходит импульс тока  $i < 0$ , направления магнитных полей обмотки и ПМ противоположны, якорь начинает движение вниз; состояние «отключение реле», переход устройства в состояние «а».

Энергоэффективность устройства зависит от времени нахождения его в состояниях «а» и «в», поскольку электроэнергия подводится к устройству только в малые промежутки времени: состояния «б» и «г» [2].

Пусть требуется спроектировать электромеханическое устройство (рис. 1), обеспечивающее при заданном зазоре  $\delta = \delta_{\min}$  электромагнитную силу взаимодействия между сердечником и якорем  $F_{пр}$  с относительной погрешностью  $\delta(F_{пр})$ , обусловленную полем ПМ, и ту же силу при  $\delta = \delta_{\max}$ , обусловленную суммарным магнитным полем ПМ и обмотки с током. Известными величинами являются  $F_{пр}$  и  $\delta(F_{пр})$ , размеры сечения

магнитов  $a \times a$ , направление намагниченности ПМ, марка стали ферромагнетиков *Steel 1010*, конструкция устройства. Искомыми величинами являются модули намагниченностей ПМ, ампервитки обмотки управления  $i_w$ , высоты ПМ  $h_1$ , сердечника и якоря  $h_2$ .

Применим подходы, показавшие свою эффективность при решении задач идентификации параметров систем теплообмена, в которых, как правило, до конечного результата доведены одномерные задачи и применяют метод конечных разностей [3–5]. В нашем случае, в отличие от [3–5], решаются трехмерные обратные задачи магнитостатики и стационарных магнитных полей методом конечных элементов.

Предполагается использование высококоэрцитивных ПМ. Поэтому можно считать  $\dot{M} = const$ ,  $\mu_{пм} = \mu_0$  и применить при расчете магнитных полей зарядовую модель ПМ.

Начальные значения искомых величин определим с помощью соотношений теории цепей и электрических аппаратов [1].

На первом этапе проектирования определим  $M$  и  $h_1$  при заданных величинах  $\delta_{\min}$ ,  $a$ ,  $h_2^0$ ,  $i = 0$  (состояние «а», рис. 2).

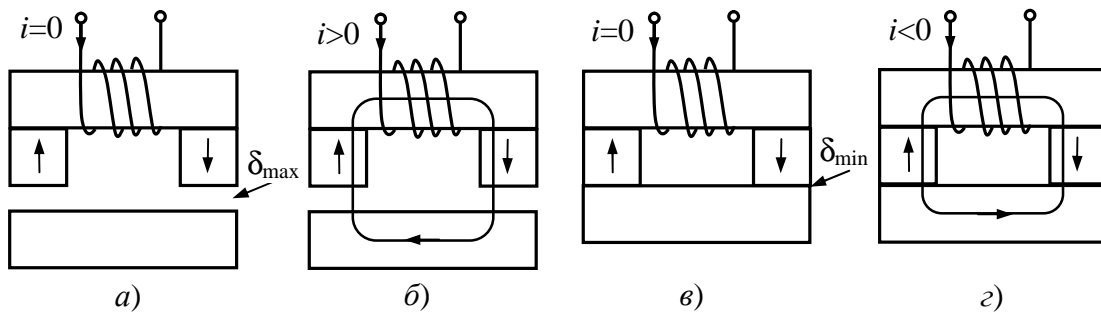


Рисунок 2 – Совокупность состояний устройства

Алгоритм решения обратной задачи магнитостатики для каждого  $n = 0, 1, 2, \dots$  состоит из следующих этапов:

1) Решаем прямую задачу расчета магнитостатического поля с  $M = M^n$ ,  $h_1 = h_1^n$  методом конечных элементов.

Определяем распределение  $\dot{B}^n$  и электромагнитную силу, действующую на якорь

$$F^n = \frac{1}{\mu_0} \iint_S \left[ \mathbf{B}^n (\mathbf{B}^n, \mathbf{n}) - \frac{1}{2} (B^n)^2 \cdot \mathbf{n} \right] dS,$$

где  $S$  – поверхность, охватывающая якорь и лежащая в среде с  $\mu = \mu_0$ .

2) Вычисляем значение функционала

$$J(M^n, h_1^n) = (F_{\text{пр}} - F^2)^2.$$

3) Проверяем выполнение условия

$$J(M^n, h_1^n) \leq \delta^2 (F_{\text{пр}})^2. \quad (1)$$

4) Если условие (1) выполняется, то задача решена: выбираем  $M = M^n$ ,  $h_1 = h_1^n$ . Если условие (1) не выполняется, то переходим к шагу (5).

5) Вычисляем следующие приближения  $M^{n+1}$  и  $h_1^{n+1}$  методом градиентного спуска [1].

6) Переходим к шагу 1.

На втором этапе проектирования определяем  $i_w$  и  $h_2$  при заданных величинах  $M$ ,  $\delta_{\max}$ ,  $a$ ,  $h_1$  (состояние «б»), используя описанный выше алгоритм. При этом выполняется расчет стационарного магнитного поля методом конечных элементов.

Приведем результаты решения сформулированной выше задачи при следующих параметрах:  $F_{\text{пр}} = 115,7$  Н;  $\delta(F_{\text{пр}}) = 5\%$ ;  $a = 10 \cdot 10^{-3}$  м;  $\delta_{\min} = 0,05 \cdot 10^{-3}$  м;  $h_2^0 = 7 \cdot 10^{-3}$  м.

На первом этапе имеем:  $M^0 = 885$  кА/м;  $h_1^0 = 9 \cdot 10^{-3}$  м. На четвертой итерации

получили  $M^4 = 995$  кА/м;  $h_1^4 = 9,9 \cdot 10^{-3}$  м. При этом  $J(M^4, h_1^{-4}) = 0,3$ ;  $\delta^2(F_{\text{пр}})F_{\text{пр}}^2 = 1,34$ .  
Условие (1) выполняется.

На втором этапе имеем:  $\delta_{\text{max}} = 2 \cdot 10^{-3}$  м, принимаем  $M = 1000$  кА/м;  $h_1 = 10 \cdot 10^{-3}$  м;  $h_2^0 = 7 \cdot 10^{-3}$  м;  $i^0_w = 26000$  А. На девятой итерации получили:  $h_2 = 10 \cdot 10^{-3}$  м;  $i^9_w = 27000$  А. При этом  $J(i^9_w, h_2^9) = 10^{-4}$ . Условие (1) выполняется.

Вывод. В докладе предложена методика двухэтапного проектирования энергосберегающего устройства, основанная на решении обратных трехмерных задач теории поля методом конечных элементов.

Результаты работы получены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на проведение НИОКР, шифры заявок № 7.2142.2011 и № 8.2935.2011.

#### Список литературы

1. Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Грекова А.Н. Проектирование магнитоэлектрической системы на основе решения обратной задачи. X международный семинар «Физико-математическое моделирование систем» (ФММС – 10), 28-29 июня 2013. Воронеж, ВГТУ.
2. Knaian A. Electopermanent Magnetic Connectors and Actuators: Devices and Their Application in Programmable Matter. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2010.
3. Структурные свойства динамических систем и обратные задачи математической физики / В.Т. Борухов [и др.] // ИФЖ. – 2005. – Т. 78, № 2. – С. 3 – 15.
4. Борухов, В.Т. Идентификация коэффициента теплопроводности в нелинейном параболическом уравнении с возмущенными входными данными / В.Т. Борухов, Г.М. Заяц, В.А. Цурко // Информатика. – 2008. – № 3. – С. 29 – 39.
5. Алифанов, О.М. Обратные задачи в исследованиях сложного теплообмена / О.М. Алифанов, Е.А. Артюхин, А.В. Ненарокомов. – М.: Янус-К. – 2009. – 300 с.

**Бахвалов Юрий Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика» ЮРГТУ (НПИ).

**Горбатенко Николай Иванович**, д-р техн. наук, профессор, первый проректор ЮРГТУ (НПИ).

**Гречихин Валерий Викторович**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» ЮРГТУ (НПИ).

**Грекова Анна Николаевна**, аспирантка кафедры «Прикладная математика» ЮРГТУ (НПИ), тел.: (8635)255326, e-mail: [vgrech@mail.ru](mailto:vgrech@mail.ru).

УДК 66.047.3-982:[674.074.047.3]-027.236

### ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

**Качанов А.Н., Коренков Д.А.**

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

*В статье приведены результаты сравнительного анализа трех способов сушки древесины: конвективного; вакуумно-диэлектрического и СВЧ. На примере сушки древесины породы сосна показано, что наиболее энергоэффективным способом сушки по параметрам эффективности сушки является вакуумно-диэлектрический способ сушки в высокочастотном электрическом поле.*

*In this article convective, dielectric/vacuum and microwave methods of wood drying are compared. On the example of breed of wood a pine it is shown, that most effective methods of wood drying is dielectric/vacuum wood drying in high-frequency electric field.*

Влажность древесины поступающей на обработку с лесозаготовительных предприятий достигает 80%. Для изготовления товарной продукции требуется проведение процесса сушки, обеспечивающего снижение влажности древесины до 8-13%. Механизм сушки достаточно сложен. При неравномерной концентрации влага способна перемещаться по всему объему древесины, причем, направление её движения зависит от следующих факторов: от перепада влажности – в более сухую часть; при перепаде температуры – из нагретых слоев в холодные; при перепаде давлений – в сторону пониженного давления. Максимальный эффект сушки древесины, а именно, непрерывное и интенсивное удаление влаги, может быть достигнут лишь в том случае, когда все вышеуказанные факторы будут действовать в одном направлении.

Сегодня на предприятиях деревообрабатывающей промышленности широко используются различные способы сушки древесины, которые обеспечивают требуемую категорию качества сушки древесины. При конвективном способе сушки тепло, необходимое для удаления влаги, передаётся высушиваемому материалу от воздуха, топочных газов или перегретого пара [1]. Данный способ характеризуется большой продолжительностью сушки (от нескольких суток до нескольких десятков суток) и относительно высоким процентом брака продукции.

Ранее проведенные исследования [2] показали, что к наиболее прогрессивным способам, обеспечивающим исполнение ФЗ № 261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23 ноября 2009 г., следует отнести высокочастотную вакуумно-диэлектрическую сушку. Данный способ обеспечивает нагрев капиллярно-пористых материалов за счет диэлектрических потерь энергии внутри древесины.

Для определения параметров энергоэффективности сушки были проведены теплотехнические расчеты показателей энергозатратности при реализации следующих способов сушки древесины: вакуумно-диэлектрического, конвективного и сушки в поле СВЧ.

Энергия, подводимая к высушиваемому материалу, расходуется на нагрев древесины и влаги, испарение удаляемой части влаги, разрыв связи гигроскопичной влаги с древесиной.

Количество теплоты, затрачиваемой на нагрев древесины, рассчитано по формуле:

$$Q_H = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $c$  – теплоёмкость вещества,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ;  $m$  – масса вещества, кг;  $t_1$  и  $t_2$  – соответственно начальная и конечная температуры нагрева,  $^{\circ}\text{C}$ .

Количество теплоты, затрачиваемой на испарение влаги, определяем по формуле:

$$Q_{\text{исп}} = r \cdot m, \quad (2)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования вещества,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

Количество теплоты, затрачиваемой на разрыв связи гигроскопичной влаги с древесиной, определяем по формуле:

$$Q_p = q_{\text{уд}} \cdot m, \quad (3)$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования вещества,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .



Таблица 1 – Результаты теплового расчёта

Параметр	Способ сушки			
	Конвективный (базовый способ)	Вакуумно- диэлектрический	Сушка в СВЧ поле	
Исходные данные				
Материал, начальная/конечная влажность, %	Сосна 80/12	Сосна 80/12	Сосна 80/12	
Теплоёмкость древесины, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	1,840	1,745	1,897	
Температура сушки, $^{\circ}\text{C}$	80	45	100	
Начальная температура, $^{\circ}\text{C}$	20	20	20	
Теплоёмкость воды, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	4,196	4,181	4,216	
Удельная теплота парообразования, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	2308	2400	4216	
Энергия связи гигроскопичной влаги с древесиной, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	35	50	25	
Материальный баланс процесса сушки				
Масса древесины, кг	470	470	470	
Масса влаги 376 кг, в том числе:				
Масса свободной влаги, кг	235	235	235	
Масса удаляемой гигроскопичной влаги, кг	84,6	84,6	84,6	
Масса остаточной влаги, кг	56,4	56,4	56,4	
Затраты энергии на 1 м <sup>3</sup>				
нагрев древесины, кДж	51888	20504	71327	
нагрев влаги, кДж	94662	39301	126817	
испарение свободной влаги, кДж	544380	561650	451435*	
испарение удаляемой гигроскопичной влаги, кДж	195253	202194	191196	
разрыв связи гигроскопичной влаги с древесиной, кДж	2961	4230	2115	
Итого	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	889144	827879	842890
	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	247	230	234

В таблице 1 представлены результаты теплотехнического расчета, выполненного для 1 м<sup>3</sup> высушиваемой древесины (сосна). Влажность сосны в свежесрубленном состоянии принята 80 %, в конце процесса сушки - 12 %, что соответствует II категории качества сушки. При проведении расчетов для варианта СВЧ сушки энергия, расходуемая на испарение свободной влаги, была уменьшена на

15 %, т.к. при небольшой длине пиломатериалов часть свободной влаги выдавливается в жидкой фазе, уменьшая энергию её испарения [3].

Анализ результатов, приведённых в таблице 1, подтверждает, что наиболее энергоэффективным способом сушки является вакуумно-диэлектрический способ. Температура в рабочей камере составляет 45-60<sup>0</sup>С, что 30-40<sup>0</sup>С ниже температуры сушки при использовании сушильных камер другого типа. Также применение ВДС позволяет снизить температуру кипения жидкости, а снижение давления в камере ускоряет процесс удаления влаги, т.к. внутри древесины создается избыточное давление за счет наличия внутренних источников тепла. Следовательно, два из трех вышеуказанных факторов, (перепад влажности, температура и давление) действуют согласованно, обеспечивая интенсивность удаления влаги из высушиваемой древесины. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления давлением, влажностью и скоростью сброса давления внутри камеры с использованием микропроцессорных устройств позволит не только регулировать динамику процесса сушки в ВДС, но и сократить время сушки капиллярно пористых материалов.

#### Список литературы

1. Лебедев П.Д. Расчёт и проектирование сушильных установок / М.–Л., Госэнергоиздат. 1962, с. 320.
2. Качанов А.Н., Чукумов М.Н. Повышение качества сушки на ПМО “Арай”/ Проблемы комплексного развития регионов Казахстана. //Материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. Алматы, КазгосИНТИ. 1996, с. 131 - 134
3. Гареев Ф.Х. Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины/ ЛесПромИнформ, №1 (14). 2004 г, с. 50-52.

**Качанов Александр Николаевич** – академик АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» «Госуниверситет-УНПК». E-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru).

**Коренков Дмитрий Андреевич** – студент гр. 51-ЭО, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», e-mail: [dimas.corenkov@yandex.ru](mailto:dimas.corenkov@yandex.ru).

УДК 621.365.63

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ

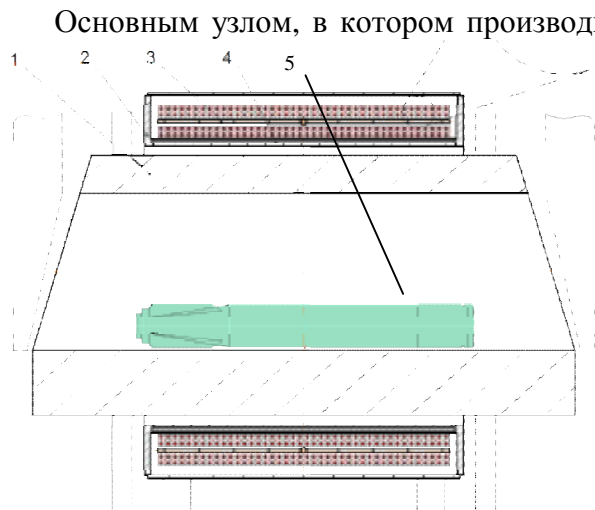
**Кувалдин А.Б., Баскаков П.А.**  
Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

*Рассмотрено моделирование электромагнитных и температурных полей в среде ELCUT при работе индукционно-резистивного нагревателя для утилизации боеприпасов.*

*The article discusses modeling of electromagnetic and thermal fields in the software ELCUT when working induction-resistive heater for the disposal of ammunition.*

В средствах массовой информации часто появляются сообщения об аварийных взрывах на полигонах и складах по уничтожению боеприпасов, связанных с нарушением правил утилизации боеприпасов. В настоящее время в России большинство боеприпасов уничтожается методом подрыва на открытой площадке. Этот метод прост в исполнении и не требует больших затрат, но недостатками его является высокая опасность и неконтролируемость процесса, загрязнение окружающей среды, а так же опасность не полного уничтожения боеприпасов.

Более безопасной технологией является термический подрыв боеприпаса в бронеканере. При этом все опасные факторы взрыва (ударная волна, высокоскоростные осколки, вредные продукты взрыва) локализируются внутри бронеканеры, способной выдержать многократные подрывы. Все операции по загрузке боеприпасов, их уничтожению и выгрузке осколков выполняются в автоматическом режиме. Тем самым такая технология отвечает высоким требованиям по безопасности и экологической чистоте.



**Рисунок 1 – Конструкция нагревателя:**  
 1- локализатор, 2- корпус, 3 – индуктор,  
 4 – теплоизоляция, 5 - боеприпас

Основным узлом, в котором производится уничтожение боеприпасов, является индукционно-резистивный нагреватель (рис. 1), главными элементами которого являются многослойный индуктор, выполненный из жаростойкого кабеля с минеральной изоляцией, и бронеканера - локализатор. Нагрев локализатора осуществляется как электромагнитным полем, создаваемым индуктором, так и за счет резистивного нагрева самого индуктора. Подлежащий уничтожению боеприпас нагревается в локализаторе, разогретом до рабочей температуры (400-450<sup>0</sup>С), и уничтожается подрывом, после чего осколки выгружаются и затем загружается следующий боеприпас. В данной

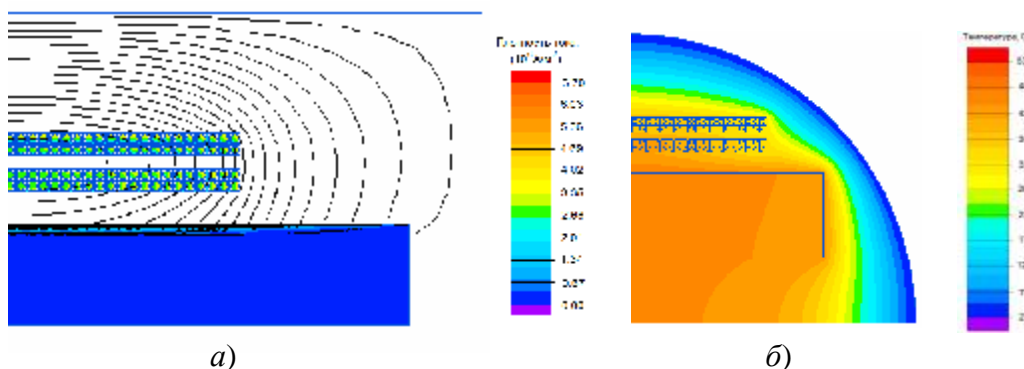
установке могут уничтожаться различные виды мелкокалиберных боеприпасов с содержанием взрывчатого вещества от 100 до 1000 г в тротиловом эквиваленте.

Установка работает в следующих режимах: режим разогрева (производится нагрев локализатора до рабочей температуры), квазистационарный режим (помимо электронагрева происходит дополнительный разогрев локализатора от энергии взрыва), установившийся режим (уничтожение боеприпасов с постоянной производительностью). В данной статье рассматривается режим разогрева, как наиболее длительный по времени и требующий значительных затрат энергии по сравнению с остальными режимами. Поэтому исследование и оптимизация этого режима позволяет повысить эффективность работы всей установки.

В конструкции нагревателя использован специальный кабель с оболочкой из нержавеющей стали, что создает определенные трудности при расчете характеристик установки. Так как проведение натуральных экспериментов является очень затратным и трудоемким, то для расчета основных характеристик нагревателя использовано компьютерное моделирование в программном комплексе *ELCUT*, что позволяет проводить виртуальный эксперимент за короткое время и с минимальными затратами. Программный комплекс *ELCUT* позволяет решать связанные задачи расчета электромагнитных и температурных полей и удобен для выполнения инженерных расчетов при решении двумерных полевых задач.

Были решены задачи по расчету распределения основных параметров электромагнитного поля внутри локализатора (рис. 2 а) и внутренних источников (рис. 2 б) в конце нагрева (6 часов). В работе произведено моделирование нескольких вариантов конструкций нагревателей и найден наиболее эффективный вариант, отвечающий заданным требованиям по скорости нагрева.

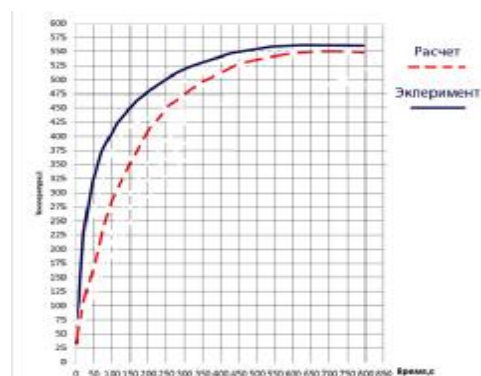
Для проверки адекватности полученной модели были проведены натурные эксперименты на опытном образце нагревателя и установлено, что расчетные данные достаточно точно коррелируются с экспериментальными (рис. 3).



**Рисунок 2 – Распределение плотности тока (а) и температуры (б) в расчетной модели**

Разработанная математическая модель индукционно-резистивного нагревателя позволяет производить расчет различных по геометрическим размерам и материалам вариантов нагревателей с определением основных электрических и тепловых параметров.

**Рисунок 3 – Изменение температуры локализатора с течением времени**



**Кувалдин Александр Борисович** – заслуженный деятель науки Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [KuvaldinAB@mpei.ru](mailto:KuvaldinAB@mpei.ru).

**Баскаков Павел Александрович** – аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [pawel\\_baskakow@mail.ru](mailto:pawel_baskakow@mail.ru).

УДК 539.4-621.365.5

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ПЛОСКОМ ДИСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ИНДУКТОРОВ

**Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А.**

*Россия, г. Москва, НИУ Московский энергетический институт*

**Лепешкин А.Р.**

*Россия, г. Москва, Центральный институт авиационного моторостроения им.*

*П.И. Баранова*

*Разработаны трехмерные модели для расчета электромагнитных и температурных полей и параметров индукторов при нагреве вращающихся дисков в программном комплексе ANSYS. Проанализировано влияние частоты вращения на выделение дополнительной мощности внутренних источников тепла в плоском диске за счет вращения с использованием разных индукторов для повышения эффективности нагрева. Приведены результаты исследований распределений температур во вращающемся плоском диске с использованием разных конструкций индукторов и получена оптимальная форма индуктора.*

*The finite-element three-dimensional model is developed for calculation of electromagnetic and temperature fields and inductor parameters at heating of rotating disks in program complex ANSYS. The influence of rotation frequency on additional allocation of power of internal sources of heat in a rotating disk with use different inductors for improve heating efficiency is analysed. The results of studies of the temperature distribution in a rotating flat disk with different designs inductors and the optimal form of the inductor is obtained.*

Для обеспечения заданных распределений температур деталей необходимо решить задачи моделирования режимов нагрева вращающихся дисков 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. Авторами разработаны математические модели в программном комплексе ANSYS для расчета электрических, энергетических характеристик системы индукционного нагрева и моделирования режимов нагрева дисков 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. На небольшой частоте вращения указанная составляющая мала. При увеличении частоты вращения увеличивается скорость изменения магнитного потока в диске и наведенная ЭДС (вторая составляющая) становится значимой в диапазоне больших частот вращения. В результате мощность дополнительных внутренних источников тепла увеличивается 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.

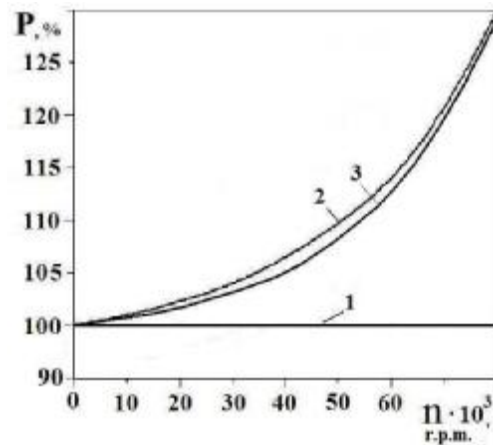
Использование двух способов нагрева расширяет возможности управления процессом нагрева вращающихся деталей в переменном электромагнитном поле.

При расчете параметров электромагнитного поля задаются свойства материалов диска и индуктора. Модель электромагнитного процесса решается с использованием системы уравнений Максвелла. Возможность использования уравнений связи для интеграции двух разных сеток диска и индуктора, несвязанных между собой для моделирования вращения является преимуществом программного комплекса ANSYS.

При увеличении частоты вращения  $n$  увеличивается скорость изменения магнитного потока в диске и наведенная ЭДС. В результате мощность внутренних источников тепла увеличивается и повышается интенсивность индукционного нагрева вращающегося диска (см. кривые 2, 3 на рис. 1). Результаты расчетов мощности, выделяющейся в стальном диске при индукционном нагреве с учетом вращения диска приведены на рис. 1. Параметры режима: ток – 500 А, частота – 2400 Гц, зазор – 10 мм. Также на рис. 1 представлена зависимость мощности  $P_1$ , выделяемой в диске без вращения.

Из рис. 1 следует, что влияние наведенных за счет вращения диска токов, т.е. увеличение мощности внутренних источников теплоты становится существенным при частотах вращения выше 300-400 оборотов в секунду. Это является дополнительным фактором энергосбережения при проведении термоциклических испытаний дисков с использованием индукционного нагрева.

Разработанные математические модели использованы в исследованиях по влиянию различной формы индукторов на распределения температур во вращающихся плоских дисках. 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 плоском диске при питании индукторов одинаковым током 500 А.

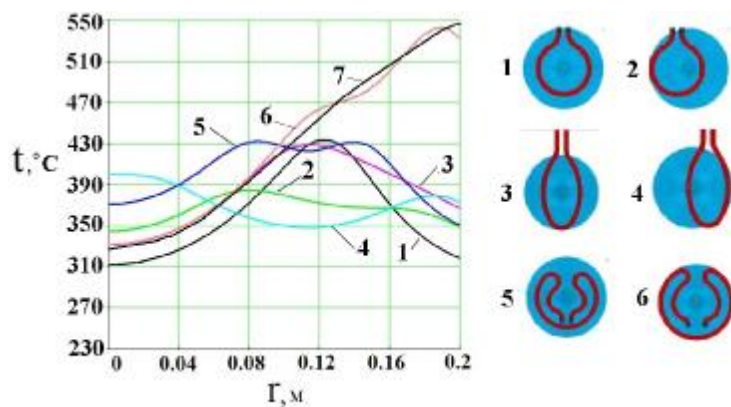


**Рисунок 1 – Зависимости мощности, выделяемой в диске, от частоты вращения при вращении с петлевым индуктором (2) и со стержневым индуктором (3);**  
 1 - мощность, выделяемая в диске, за счет частоты тока

Расчеты тепловых режимов с помощью стержневых индукторов показали, что распределения температур во вращающихся дисках не соответствуют заданному распределению температуры.

На рис. 2 приведены кривые распределений температур с использованием индукторов разной формы: 1 – кольцевой индуктор, 2 – кольцевой индуктор со смещением относительно центра диска, 3 – эллипсный индуктор, 4 – эллипсный со смещением относительно центра диска, 5 – петлевой индуктор (в середине диска), 6 – петлевой индуктор (в зоне обода диска), 7 – заданное распределение температуры по технологии.

Проведен анализ распределений температур во вращающемся плоском диске с использованием индукторов, показанных на рис. 2. Анализ показывает, что индукторы 1, 2, 3, 4, 5 можно применить для равномерного нагрева. Однако указанные индукторы с учетом их расположения относительно диска не позволяют создать заданное неравномерное распределение температуры 7 (рис. 2).



**Рисунок 2 – Распределения температур по радиусу в зависимости от формы индуктора для плоского диска**

Отклонения распределения 6 от заданного распределения 7 температуры по радиусу диска не превышают 10 °C. На основании проведенных расчетов выбрана оптимальная конструкция индуктора – петлевой индуктор 6 (рис. 2) с криволинейной конфигурацией, который обеспечивает наилучшее приближение расчетного распределения температуры плоского диска к заданному и повышение эффективности

нагрева (рис. 1). Поэтому индукторы такого типа были использованы при испытаниях дисков на разгонном стенде.

#### Список литературы

1. Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. – Новосибирск: Изд.-во НГТУ, 2006. – 286 с.
2. Патент № 2416869 РФ. Способ получения энергии и устройство для его реализации / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин, С.А. Лепешкин. 2011. Б.И. № 11.

**Кувалдин Александр Борисович**, академик АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор каф. АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [KuvaldinAB@mpei.ru](mailto:KuvaldinAB@mpei.ru).

**Лепешкин Александр Роальдович**, член-корреспондент АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, начальник сектора, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», e-mail: [lepeshkin.ar@gmail.com](mailto:lepeshkin.ar@gmail.com).

**Лепешкин Степан Александрович**, канд. техн. наук кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [Stepan111@gmail.com](mailto:Stepan111@gmail.com).

УДК 621.365.5

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКТОРОВ И МАГНИТОВ

**Лепешкин С.А.**

*Россия, г. Москва, НИУ Московский энергетический институт*

*Приведены результаты исследований нагрева вращающихся дисков с использованием индукторов и постоянных магнитов*

*The results of investigations of heating of a rotating disks using inductors and permanent magnets are presented.*

Индукционный нагрев позволяет обеспечить высокие скорости нагрева и получить заданное неравномерное распределение температур по радиусу диска, соответствующее эксплуатационным условиям при испытаниях на разгонных стендах. [1]. Исследования влияния частоты вращения на распределение внутренних источников тепла в диске за счет двух составляющих ЭДС проведены с использованием стержневого, эллипсного и петлевого индукторов (рис. 1). Отметим, что вторая составляющая ЭДС зависит от частоты вращения. При увеличении частоты вращения увеличивается скорость изменения (пульсации) магнитного потока в диске и наведенная ЭДС (вторая составляющая) становится значимой в диапазоне больших частот вращения. В результате мощность дополнительных внутренних источников тепла увеличивается и повышается интенсивность индукционного нагрева вращающегося диска [2, 3].

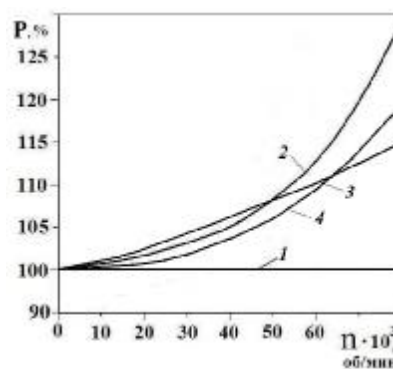
В математической модели системы диск-индуктор конечно-элементное решение электромагнитной задачи осуществляется с использованием магнитного векторного потенциала в программном комплексе ANSYS. Проведены расчеты индукционного нагрева диска с вращением и без вращения. Результаты расчетов мощности, выделяющейся в диске из никелевого сплава (диаметр 400 мм и толщина 30 мм) при индукционном нагреве (частота 2400 Гц) с учетом вращения диска с использованием стержневого, эллипсного и петлевого индукторов (рис. 1) приведены на рис. 2. Также на рис. 2 представлена зависимость мощности  $I$ , выделяемой в диске без вращения.

Значение  $P = 100\%$  соответствует мощности, выделяемой в неподвижном диске - 30 кВт.

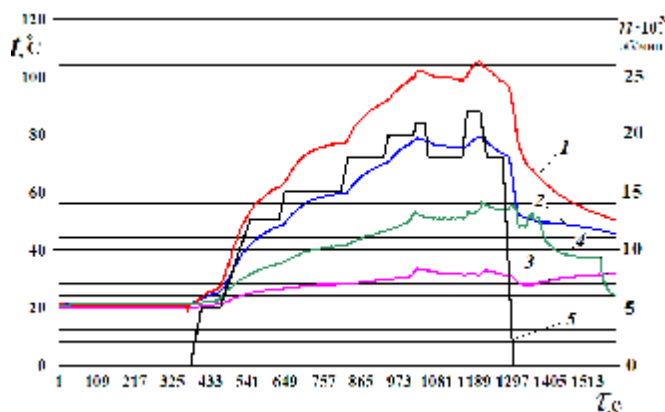
Из рис. 1 следует, что влияние наведенных за счет вращения диска токов, т.е. увеличение мощности внутренних источников теплоты становится существенным при частотах вращения выше 15-20 тысяч об/мин. Это является дополнительным фактором энергосбережения при проведении термоциклических испытаний дисков с использованием индукционного нагрева [2, 3]. До 50000 об/мин эллипсный индуктор более эффективен, чем стержневой и петлевой индукторы.

Аналогичный эффект нагрева (рис. 2) можно получить при вращении диска в постоянном магнитном поле, созданном постоянными магнитами из редкоземельных сплавов. Они намного сильнее обычных ферритовых магнитов и магнитов из других магнитных материалов. Исследования теплового состояния дисков, вращающихся в постоянном магнитном поле на начальном этапе целесообразно проводить с использованием магнитов из самарий-кобальтовых сплавов, т.к. они имеют не только значительную магнитную индукцию, но и работают при повышенных температурах до 250-330 °С. Исследование теплового состояния модельного диска (из нержавеющей стали), вращающегося в поле постоянных магнитов, имеющими индукцию 0,2 Тесла, проводилось в испытательной вакуумной камере разгонного стенда (рис. 2,а).

Иск был препарирован термопарами на трех радиусах. Измерения температур диска осуществлялись через ртутный токосъемник с помощью компьютерной системы. На рис. 2,б представлено тепловое состояние диска на разных радиусах в зависимости от частоты вращения в процессе эксперимента. На радиусе 95 мм наблюдалась максимальная температура, т.к. средняя линия наибольшего установленного магнита совпадала с указанным радиусом. В данных экспериментах тепловое состояние модельного диска исследовалось на частотах вращения до 22000 об/мин.



**Рисунок 1 – Зависимость выделяемой мощности в диске от частоты вращения**  
 1 – без вращения, 2 – с учетом вращения (стержневой индуктор), 3 – с учетом вращения (эллипсный индуктор), 4 – с учетом вращения (петлевой индуктор)



**Рисунок 2 – Магниты вблизи диска (а), температуры (б) диска на разных радиусах**  
 1 – 95 мм, 2 – 75 мм, 3 – 55 мм; 4 – температура воздуха в камере, 5 – частота вращения

Петлевые, эллипсные индукторы и постоянные магниты позволяют получить дополнительную мощность внутренних источников тепла в диске за счет вращения



и повысить эффективность нагрева и точность воспроизведения распределений температур в дисках.

#### Список литературы

1. Лепешкин А.Р., Кувалдин А.Б. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. – Новосибирск: Изд.-во НГТУ, 2006. – 286 с.
2. Патент № 2270534 РФ. Индуктор для нагрева вращающихся деталей / А.Р. Лепешкин, С.А. Лепешкин // 2006. Бюл. № 5.
3. Патент № 2416869 РФ. Способ получения энергии и устройство для его реализации / А.Б. Кувалдин, А.Р.Лепешкин, С.А. Лепешкин. 2011. Б.И. № 11.

**Лепешкин Степан Александрович**, канд. техн. наук кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [Stepan111@gmail.com](mailto:Stepan111@gmail.com).

УДК 621.365.22

### РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО ПОГРУЖНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

**Кувалдин А.Б., Федин М.А., Антонов Б.Б.**  
Россия, Москва, НИУ «МЭИ»

*Изложена методика расчета цилиндрического индуктора погружного индукционного водонагревателя промышленной частоты. Модель данной электромагнитной системы разработана в пакете ELCUT, проведены исследования, направленные на создание наиболее эффективной по энергетическим параметрам конструкции с учетом технологических требований.*

*The methodology of calculation of cylindrical induction coil immersion heater power frequency. The model of the electromagnetic system designed in the package ELCUT. Conducted research aimed at creating the most efficient on the energy parameters of the design with the technological requirements.*

В аккумуляционных (накопительных) водонагревателях нагрев может осуществляться как до, так и во время водопользования, что позволяет уменьшить энерговооруженность нагревательных устройств и мощность питающей сети. Также применение аккумуляционных электронагревателей позволяет использовать различие дневного и ночного тарифов стоимости электроэнергии, что существенно может сказаться на экономических затратах.

Существуют различные типы электрических водонагревателей [1]. Наибольшее распространение в промышленности и в быту получили трубчатые, электродные и индукционные электронагреватели. Типовые мощности данных систем сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Типовые мощности электрических водонагревателей

Вид электронагревателя	Диапазон мощностей, кВт	Наибольшее распространение
Трубчатые водонагреватели	0,1 - 40	В быту
Электродные водонагреватели	10 - 10000	В промышленности
Индукционные водонагреватели	0,1- 250	В промышленности и в быту



Рисунок 1 – Трёхмерная модель ПИВ

1 – индуктор, 2 - муфта

Отсутствие эффекта поверхностного кипения за счет значительной тепло-отводящей поверхности, надежность и долговечность в сравнении с трубчатыми электронагревателями делает использование индукционных водо-нагревателей перспективным как в быту, так и в промышленности.

Погружной индукционный водонагреватель [2] (ПИВ) (рис. 1) представляет собой электромагнитное устройство для нагрева индуцированными токами, которые наводятся в проводящем муфеле нагревателя переменным магнитным полем, возбуждаемым током индуктора.

Важным параметром для индукционного нагрева является значение глубины проникновения электромагнитной волны  $\Delta_3$  в проводящий муфель, которое находится из следующего выражения:

$$\Delta_3 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{m \cdot f}}$$

где,  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление, Ом·м;  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;  $f$  – частота сети, Гц.

Таблица 2 – Значения глубины проникновения электромагнитной волны для различных металлов

Материал	Сопротивление при 20 °С, Ом·м	Относительная магнитная проницаемость	Глубина проникновения, мм
Медь	$1,8 \cdot 10^{-8}$	1	9,5
Нержавеющая сталь	$1,8 \cdot 10^{-7}$	1	30
Сталь 10	$2 \cdot 10^{-7}$	$\gg 1$	<3

Из приведенных в табл. 2 значения  $\Delta_3$  для различных металлов видно, что использование ферромагнитной стали в качестве материала муфеля позволяет уменьшить значение  $\Delta_3$ . А поскольку в толщине слоя  $\Delta_3$  поглощается 86,4% всей энергии, прошедшей через поверхностный слой тела, уменьшение  $\Delta_3$  ведет к снижению массогабаритов всей установки.

Расчет ПИВ представляет сложную задачу в связи со следующими его особенностями:

1. осуществляется двухсторонний нагрев;
2. необходимо учитывать нелинейные свойства ферромагнитной стали (зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля);
3. необходимо учитывать мощность тепловыделения в ферромагнитном корпусе за счет эффекта гистерезиса.

Поставленная задача расчета электрических и энергетических характеристик индукционного погружного водонагревателя решается в программном пакете *ELCUT*. При расчете электрических характеристик решается осесимметричная задача магнитного поля переменных токов. Производится расчет магнитных полей, возбужденных токами, синусоидально изменяющимися во времени. Затем проводится расчет токов, индуцированных переменным магнитным полем в проводящей среде (индуцированных токов). На основе полученных данных, рассчитываются электрический КПД  $\eta_{эл}$  и коэффициент мощности системы  $\cos \varphi$  в результате чего строятся графики с целью дальнейшего расчета оптимальной конструкции электронагревателя.

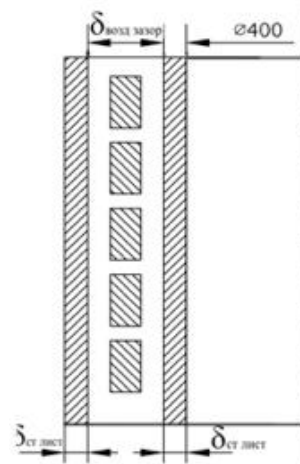


Рисунок 2 – Расчетная область в среде ELCUT

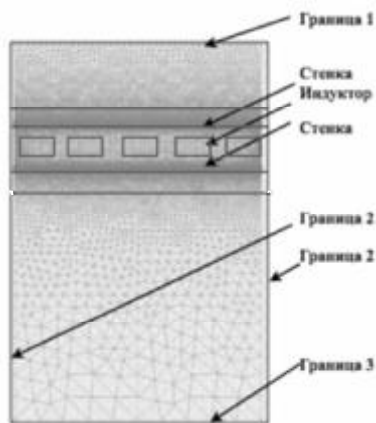


Рисунок 3 – Расчетная область в среде ELCUT

На рис. 2 показана расчетная область. Материал стенок – сталь 10, материал индуктора – медь; ток индуктора равен 300 А;  $f = 50$  Гц.

Допущения при работе с программным пакетом ELCUT:

- решаемая задача осесимметрична;
- торцевые участки отсутствуют;
- изменениями удельного электрического сопротивления индуктора и относительной магнитной проницаемости стали от температуры пренебрегаем;
- значение относительной магнитной проницаемости стали принимается равным значению, соответствующему напряженности магнитного поля на внутренней поверхности стенок муфеля, которое высчитывается заранее для каждого конкретного случая.

Для данной электромагнитной системы при  $H_{гран} = 10$  кА/м  $\mu_r = 130$ ;

- магнитная индукция В и напряженность магнитного поля Н изменяются во времени по синусоидальному закону.

При расчете на границах расчетной области (рис. 3) задаются следующие граничные условия: значение магнитного потенциала  $A=0$  (условие Дирихле) (для границ 1, 3), значения касательной составляющей напряженности магнитного поля  $H_t=0$  (условие Неймана) (для границ 2). Нулевое граничное условие Дирихле на оси вращения для осесимметричной задачи (граница 3) задается по умолчанию.

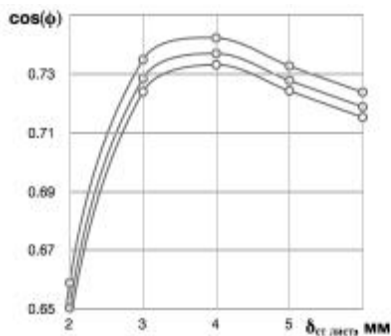


Рисунок 4.1 – Зависимость  $\cos \phi$  от толщины стального листа ( $\delta_{ст\ лист}$ ), при воздушном зазоре 20 мм (кривая 1), 25 мм (кривая 2), 30 мм (кривая 3).

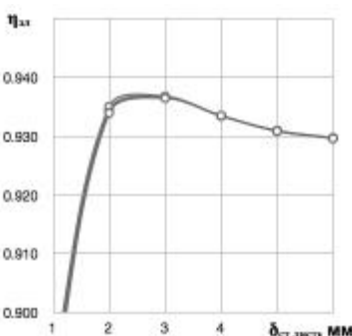


Рисунок 4.2 – Зависимость  $\eta_{эл}$  от толщины стального листа ( $\delta_{ст\ лист}$ ), при воздушном зазоре 20 мм (кривая 1), 25 мм (кривая 2), 30 мм (кривая 3).

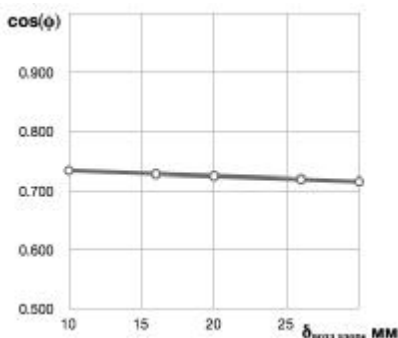


Рисунок 5.1 – Зависимость  $\cos \phi$  от толщины воздушного зазора ( $\delta_{возд\ зазор}$ ), при толщине стального листа 4 мм

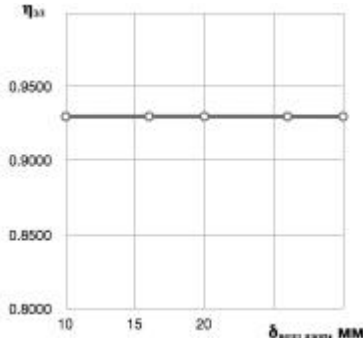


Рисунок 5.2 – Зависимость  $\eta_{эл}$  от толщины воздушного зазора ( $\delta_{возд\ зазор}$ ), при толщине стального листа 4 мм

больше  $\Delta_z$ . В данном случае  $\Delta_z$  составила 3,5 мм, а воздушный зазор в рассматриваемых пределах (10 - 30 мм) не оказывает существенного влияния на эффективность работы системы. На рис. 5.1 и рис. 5.2 показаны зависимости  $\cos \phi$  и  $\eta_{эл}$  от толщины воздушного зазора при толщине стального листа ( $\delta_{ст\ лист}$ ) равной 4 мм. Из полученных графиков видно, что при увеличении воздушного зазора снижается значение  $\cos \phi$ , соответственно возрастает реактивная мощность системы. Из этого следует, что воздушный зазор в системе должен быть минимальным. Аналогично обстоит ситуация с  $\eta_{эл}$ .

На рис. 4.1 и рис. 4.2 показаны сравнительные зависимости  $\cos \phi$  и  $\eta_{эл}$  от толщины стального листа при различном воздушном зазоре. Из полученных графиков видно, что толщина

листа ферромагнитной стали должна быть

равна 4 мм.

Эффект гистерезиса в данной электромагнитной системе не учитывается вследствие сильных электромагнитных полей, действующих в системе ( $H > 10$  кА/м) [3].

На основе полученных данных предложена модель ПИВ мощностью 40 кВт на ток 300 А, диаметром 400 мм, высотой 1200 мм, с толщиной стенок 4 мм, которая может эксплуатироваться в системе централизованного водоснабжения.

#### Список литературы

1. А.Б. Кувалдин, В. М. Абдрашитов. Разработки и опыт эксплуатации индукционных нагревателей жидкостей трансформаторного типа.

2. A.B. Kuvaldin, M.L. Strupinskiy, N.N. Khrenkov, M.A. Fedin. Calculation of electrical parameters of induction type immersion water heater. International Conference on Heating by Electromagnetic Sources, Padua, 2013.

3. А. Кувалдин, М. Струпинский, Н. Хренков, М. Федин. Моделирование электромагнитного поля в ферромагнитной стали при индукционном, электроконтактном и комбинированном нагреве.

**Кувалдин Александр Борисович**, д-р техн. наук, профессор кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [KuvaldinAB@mpei.ru](mailto:KuvaldinAB@mpei.ru)

**Федин Максим Андреевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [FedinMA@mail.ru](mailto:FedinMA@mail.ru)

**Антонов Борис Борисович**, студент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [AntonovBB@mpei.ru](mailto:AntonovBB@mpei.ru)

УДК 621.365

### РАСЧЁТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ МУФЕЛЬНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

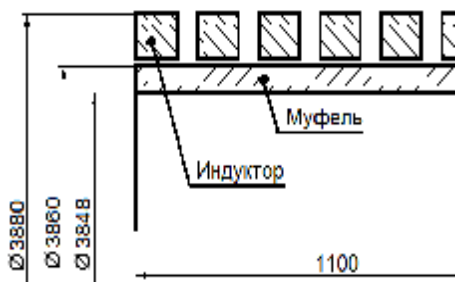
**Кувалдин А.Б., Федин М.А., Перов Р.И.**  
*Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»*

*В статье описывается методика расчёта сушильных индукционных установок косвенного действия. Расчёт проведён в программном пакете Elcut. Полученные зависимости можно использовать при проектировании энергоэффективных установок.*

*In the article method of calculating the induction dryers with indirect heating is described. Calculation is made with program Elcut. Obtained dependencies could be used in designing of energy-efficient systems.*

На стадии производства вращающихся электрических машин необходимо запекать электроизоляцию в них. Кроме того, изоляцию электрических машин нужно сушить, если она отсырела после транспортировки или долгого хранения на складе. Для этой цели долгое время использовались электрические печи сопротивления. Однако сейчас получили распространение такие электротехнологические установки (ЭТУ), как индукционные сушильные шкафы. Мощности подобных ЭТУ достигают 400 кВт в зависимости от объёмов подвергаемых сушке изделий. Принцип работы строится на индукционном нагреве муфеля из ферромагнитной стали, внутри которого расположены нагреваемые изделия.

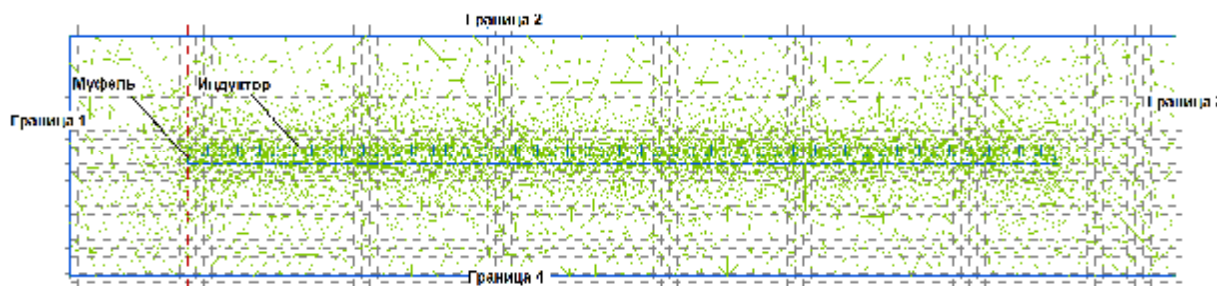
Подобный нагрев является низкотемпературным (до 200°C), когда сталь ещё не теряет своих ферромагнитных свойств. Соответственно, возможна работа на промышленной частоте, так как глубина проникновения в сталь остаётся в пределах нескольких миллиметров даже без повышения частоты питающего напряжения [1]. Величина относительной магнитной проницаемости стали зависит от величины напряжённости магнитного поля на воспринимающей поверхности [2], однако в данных ЭТУ достаточно удельных поверхностных мощностей тепловыделения до 4 кВт/м<sup>2</sup>, что



**Рисунок 1 – Размеры расчётной области**

представлены на рис. 1. Индуктор набирается из двух проводников сечениями 5x16 мм (суммарное сечение 160 мм<sup>2</sup>), зазор обусловлен электроизоляцией индуктора и составляет примерно 1 мм. Внешний диаметр загрузки 3860 мм. Длина загрузки 1100 мм. Толщина загрузки 6 мм. Материал индуктора медь, материал загрузки сталь 10, частота тока индуктора 50 Гц.

В *Elcut* решается задача магнитного поля переменных токов. На рис. 2 представлена расчётная область в среде *Elcut*. Для всех границ заданы граничные условия первого рода (условия Дирихле).



**Рисунок 2 – Расчётная область в среде Elcut**

Как было отмечено, величина относительной магнитной проницаемости  $\mu$  зависит от напряжённости магнитного поля, которая напрямую связана с величиной тока в индукторе. Так как известно сечение проводника, можно оперировать величиной плотности тока в индукторе  $j$ . Зависимость  $\mu$  от  $j$  приведена в табл. 1.

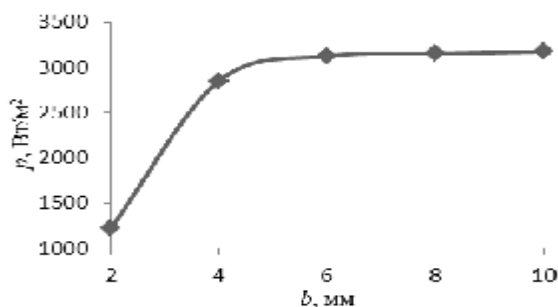
**Таблица 1 – Зависимость  $\mu$  от  $j$**

$j, \text{А/мм}^2$	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75
$\mu$	500	300	210	165	130	100

В работе приведены исследования при плотности тока, равной 2,5 А/мм<sup>2</sup>. В табл. 2 приводится зависимость выделяющейся в загрузке (муфеле) мощности на квадратный метр  $p$  от толщины загрузки  $b$  при  $j$ , равной 2,5 А/мм<sup>2</sup>. Эта зависимость представлена на рис. 3.

**Таблица 2 – Зависимость  $p$  от  $b$**

$b, \text{мм}$	2	4	6	8	10
$p, \text{Вт/м}^2$	1220	2850	3120	3150	3170



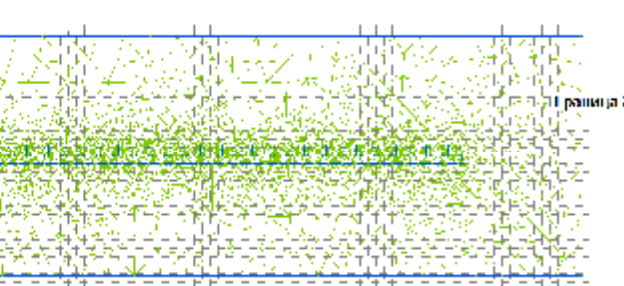
**Рисунок 3 – Зависимость  $p$  от  $b$**

достигается при уровнях напряжённости до 15 кА/м. При такой величине напряжённости магнитного поля можно считать, что относительная магнитная проницаемость конструкционных сталей принимает значения больше 100. В работе представлена методика расчёта подобных ЭТУ с помощью программного пакета *Elcut*.

Приводится исследование системы «индуктор — загрузка» подобной установки. Задача сводится к осесимметричной. Принимается, что удельные электрические сопротивления индуктора и загрузки постоянны. Размеры расчётной области

представлены на рис. 1. Индуктор набирается из двух проводников сечениями 5x16 мм (суммарное сечение 160 мм<sup>2</sup>), зазор обусловлен электроизоляцией индуктора и составляет примерно 1 мм. Внешний диаметр загрузки 3860 мм. Длина загрузки 1100 мм. Толщина загрузки 6 мм. Материал индуктора медь, материал загрузки сталь 10, частота тока индуктора 50 Гц.

В *Elcut* решается задача магнитного поля переменных токов. На рис. 2 представлена расчётная область в среде *Elcut*. Для всех границ заданы граничные условия первого рода (условия Дирихле).



**Рисунок 2 – Расчётная область в среде Elcut**

Как было отмечено, величина относительной магнитной проницаемости  $\mu$  зависит от напряжённости магнитного поля, которая напрямую связана с величиной тока в индукторе. Так как известно сечение проводника, можно оперировать величиной плотности тока в индукторе  $j$ . Зависимость  $\mu$  от  $j$  приведена в табл. 1.

**Таблица 1 – Зависимость  $\mu$  от  $j$**

$j, \text{А/мм}^2$	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75
$\mu$	500	300	210	165	130	100

В работе приведены исследования при плотности тока, равной 2,5 А/мм<sup>2</sup>. В табл. 2 приводится зависимость выделяющейся в загрузке (муфеле) мощности на квадратный метр  $p$  от толщины загрузки  $b$  при  $j$ , равной 2,5 А/мм<sup>2</sup>. Эта зависимость представлена на рис. 3.

**Таблица 2 – Зависимость  $p$  от  $b$**

$b, \text{мм}$	2	4	6	8	10
$p, \text{Вт/м}^2$	1220	2850	3120	3150	3170

Как видно из графика на рис. 3, целесообразным будет набрать муфель из листов стали толщиной 6 мм, так как дальнейшее увеличение толщины ведёт лишь к удорожанию установки и практически не даёт прироста выделяемой мощности. Это является следствием малой глубины проникновения при заданной величине относительной магнитной проницаемости, равной 165 (см. табл. 1).

Для исследуемой в работе системы «индуктор — загрузка» в табл. 3 и на рис. 4 и 5 приводятся зависимости коэффициента мощности  $\cos\varphi$  и  $p$  от  $j$ .

Таблица 3 – Зависимости  $\cos\varphi$  и  $p$  от  $j$

$j, \text{А/мм}^2$	0,625	1,25	1,875	2,5	3,125	3,75
$\cos\varphi$	0,226	0,262	0,294	0,319	0,338	0,363
$p, \text{Вт/мм}^2$	150	670	1650	3120	5100	7650

Из зависимостей видно, что с увеличением величины плотности тока через индуктор растут коэффициент мощности и удельная поверхностная мощность загрузки. Хорошо видно, что с ростом тока в индукторе установка становится в целом эффективнее, однако при  $j$ , близкой к  $5 \text{ А/мм}^2$  и большей, могут неоправданно возрасти потери в индукторе, что, в свою очередь, приводит к его перегреву и повреждению изоляции.

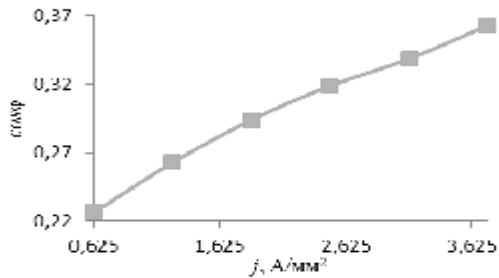


Рисунок 3 – Зависимость  $\cos\varphi$  от  $j$

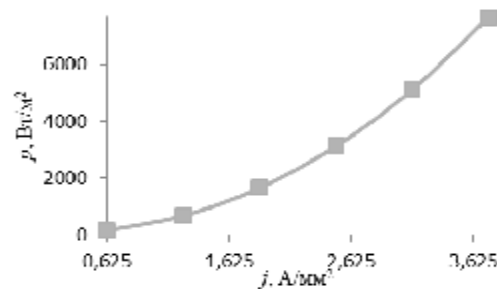


Рисунок 5 – Зависимость  $p$  от  $j$

На основе приведённой методики проведён расчёт ЭТУ для сушки изоляции номинальной мощностью 220 кВт и габаритами рабочего пространства ШхВхГ 2200х3300х3300 мм (рис. 6).

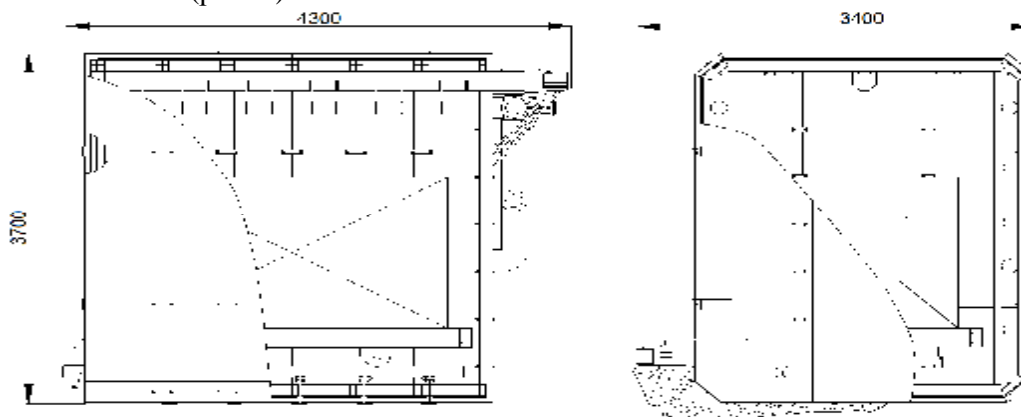


Рисунок 6 – Общий вид ЭТУ для сушки электроизоляции

Для нагрева в данной установке используются 3 индуктора, каждый состоит из 50 витков. Сила тока в индукторах равна 400 А. Установка используется на одной из стадий технологического процесса производства двигателей и осуществляет нагрев до  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  за время 40 — 60 минут.

#### Список литературы

1. Кувалдин А.Б. Теория индукционного и диэлектрического нагрева. — М.: Издательство МЭИ, 1999. — 80 с.
2. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 200 с.

**Кувалдин Александр Борисович**, д-р техн. наук, профессор каф. АЭТУС НИУ «МЭИ», заслуженный деятель науки РФ, тел. (495) 362–70–75, e-mail: [KuvaldinAB@mpei.ru](mailto:KuvaldinAB@mpei.ru).

**Федин Максим Андреевич**, канд. техн. наук, доцент каф. АЭТУС НИУ «МЭИ», тел. (495) 362–70–75, e-mail: [FedinMA@mail.ru](mailto:FedinMA@mail.ru).

**Перов Роман Игоревич**, магистрант каф. АЭТУС НИУ «МЭИ», e-mail: [PerovRI@gmail.com](mailto:PerovRI@gmail.com).

Руководитель:

**Барсуков Валерий Геннадьевич**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой ТМиКТИ» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

УДК 681.58:697.3

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР  
ДАВЛЕНИЯ ГАЗА**

**Петров С.П., Курзютин Д.М.**

*Россия, Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»*

*Предложена конструкция индивидуального автоматического регулятора давления газа, позволяющего повысить экономичность работы системы газоснабжения зданий промышленного и гражданского назначения.*

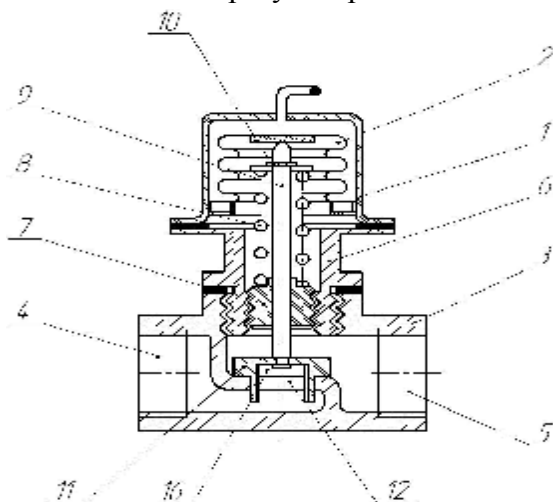
*Suggest taking design individual automatic gas pressure regulator, helps to raise the efficiency of the gas supply system of buildings for industrial and civil use.*

Одной из приоритетных задач государственной энергетической политики на период до 2020 года является разработка эффективных устройств и систем управления, обеспечивающих в зданиях промышленного и гражданского назначения заданное качество теплового режима и экономию топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [1].

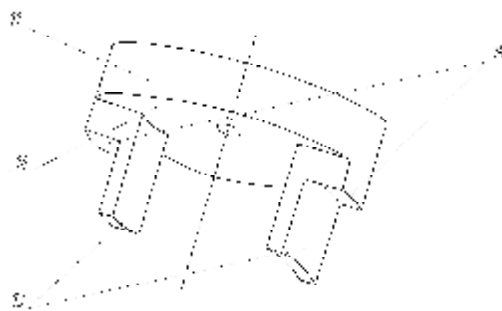
В развитых европейских странах для обеспечения комфортных температурных условий и экономии ТЭР на отопительных приборах устанавливаются индивидуальные автоматические регуляторы температуры (термостаты), поддерживающие заданную температуру воздуха в отапливаемых помещениях (принцип работы по отклонению регулируемого параметра).

Авторами предлагается конструкция индивидуального автоматического регулятора давления газа, работающего на принципе по возмущению, позволяющего повысить экономичность работы системы газоснабжения за счет регулирования подачи газа в зависимости от температуры наружного воздуха.

На рис.1 показана конструкция регулятора давления газа [2]. На рис. 2 показан внешний вид клапана регулятора давления газа.



**Рисунок 1 – Конструкция регулятора давления**



**Рисунок 2 – Внешний вид клапана регулятора**

Регулятор давления газа состоит из: манометрической системы 1 с упругим чувствительным элементом 2, корпуса 3, имеющего входную камеру 4 и выходную камеру 5, крышки 6, соединяющей манометрическую систему 1 с корпусом 3, резьбовой втулки 7, изменяющей начальное усилие регулировочной пружины 8, закрепленной одним концом на штоке 9 при помощи стопорной шайбы 10, клапана 11, кинематически связанного с упругим чувствительным элементом 2 через шток 9, и взаимодействующего с седлом 12 корпуса 3.

Регулятор давления газа работает следующим образом. При изменении температуры наружного воздуха выше значения, устанавливаемого при помощи резьбовой втулки 7, вращение которой изменяет начальное усилие регулировочной пружины 8, повышается давление наполнителя в манометрической системе 1, действующее на упругий чувствительный элемент 2. С противоположной стороны на упругий чувствительный элемент 2 действует давление рабочей среды (природного газа), которое составляет не более 2 кПа, что несоизмеримо меньше давления, развиваемого наполнителем манометрической системы 1. Перемещаясь под действием разности давлений, упругий чувствительный элемент 2 через шток 9 передает движение клапану 11. Клапан 11, перемещаясь в направлении седла 12, расположенного в корпусе 3, уменьшает расход и соответственно давление газа, поступающего в зону сгорания. Соосное перемещение клапана 11 относительно седла 12 обеспечивается при помощи направляющих элементов 13, расположенных на торцевой поверхности 14 клапана 11. При взаимодействии клапана 11, посредством упоров 15, выполненных на внешней боковой поверхности направляющих элементов 13, с седлом 12, между торцевыми поверхностями клапана 11 и седла 12 остается гарантированное проходное сечение 16, обеспечивающее минимально допустимое давление газа для поддержания режима работы котла, составляющее ориентировочно 40% от максимального давления. Наличие гарантированного проходного сечения 16 исключает возможность обмерзания клапана 11 при минусовой температуре наружного воздуха и обеспечивает бесперебойную подачу газа в зону сгорания.

При понижении температуры наружного воздуха давление наполнителя в манометрической системе 1 снижается и упругий чувствительный элемент 2 под действием усилия регулировочной пружины 8 перемещает клапан 11 в направлении от седла 12, увеличивая подачу газа в зону сгорания. Наличие резьбовой втулки 7 позволяет производить настройку регулятора в широком диапазоне температур наружного воздуха, что дает возможность использовать регулятор давления газа в различных климатических районах.

Заключение: для реализации и широкого внедрения предлагаемой конструкции регулятора необходимо решить ряд научных и технических задач, включающих: разработку математической модели, анализ конструкции регулятора и системы управления в целом, параметрический синтез, изготовление опытного образца и проведение экспериментальных исследований.

#### Список литературы

1. Петров, С.П. Автоматизация когенерационных систем теплоснабжения с распределенными пиковыми нагрузками [Текст]: монография / С.П. Петров; под общей редакцией д-ра техн. наук, проф. А.И. Суздальцева. – М.: Машиностроение –1, 2007. - 304 с.
2. Патент № 70719 МПК G05D 16/00. Регулятор давления газа.

**Петров Сергей Петрович**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» (4862) 419830.

**Курзютин Дмитрий Михайлович**, студент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» (4862) 419830.



## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

**Барчуков Д.А., Лаврентьев А.Ю., Зубков Н.С., Хохлов А.А.**

*Россия, г. Тверь, Тверской государственный технический университет*

*Предложена энергосберегающая технология упрочнения быстрорежущих сталей, обеспечивающая повышение механических и эксплуатационных свойств режущего инструмента за счет увеличения концентрации легирующих элементов в твердом растворе при уменьшении количества карбидной фазы и ограничении упрочняющей термической обработки однократным высокотемпературным отпуском.*

*Energy-saving technology of hardening high speed steels with improved mechanical properties and performance properties of cutting tools by increasing concentrations of alloying elements in solid solution in reducing the number of carbide phase and limitation of single high-temperature tempering is proposed.*

Упрочняющая термическая обработка быстрорежущих сталей закалкой с температур 1220...1280 °С и последующим многократным отпуском при 560-580 °С является энергоемким технологическим процессом с ограниченными возможностями дальнейшего повышения механических и эксплуатационных свойств режущего инструмента.

Перспективным способом энергосбережения и повышения эффективности упрочнения термической обработкой за счет увеличения концентрации легирующих элементов в твердом растворе и уменьшения их в карбидной фазе является наплавка быстрорежущих сталей при изготовлении составного инструмента [1]. Применение наплавки по заданному термическому циклу при ограничении тепловложения в наплавляемую заготовку позволяет получать закаленную с температур кристаллизации быстрорежущую сталь с повышенной концентрацией легирующих элементов в твердом растворе при меньшем количестве карбидной фазы [2]. В этом случае становится возможным отказаться от энергоемкой операции закалки и исключить затраты энергии на ее выполнение.

Другой, не менее энергоемкой технологической операцией упрочнения термической обработкой является многократный высокотемпературный отпуск закаленной быстрорежущей стали. Для эффективного упрочнения мартенсита высокодисперсными карбидами достаточно выполнения однократного отпуска. Двух- и трехкратный высокотемпературный отпуск выполняют для снижения устойчивости остаточного аустенита и его полного превращения в мартенсит отпуска. При выполнении многократного отпуска устойчивость остаточного аустенита понижается в результате уменьшения концентрации легирующих элементов в твердом растворе аустенит и, соответственно, в твердом растворе мартенсит, что снижает эффективность дисперсионного упрочнения мартенсита.

Формирование двухфазной структуры возможно за счет интенсификации процессов полиморфного превращения аустенита при наплавке на стадии охлаждения напавленного металла поверхностным пластическим деформированием в температурном интервале сверхпластичности стали [3]. При выборе соответствующего температурного интервала деформирования и параметров деформационной обработки становится возможным достижение двухфазной структуры закаленной с температур кристаллизации быстрорежущей стали, что позволяет ограничить упрочняющую термическую обработку однократным высокотемпературным отпуском.

Для оценки энергосбережения и эффективности упрочнения выполняли исследования по упрочнению быстрорежущей стали P2M8 при изготовлении экспериментальной партии составных токарных резьбовых резцов с применением

наплавки рабочей части, пластического деформирования наплавленного металла в температурном интервале полиморфного превращения аустенита и однократного высокотемпературного отпуска наплавленных резцов.

Заготовки выполняли из среднеуглеродистой низколегированной конструкционной стали 30ХГСА. Режим дуговой наплавки плавящимся электродом в защитной среде аргона предварительно рассчитывали и экспериментально проверяли исходя из условий минимального тепловложения при стабильном функционировании сварочной дуги и хорошем формировании наплавленного валика. Для снижения температуры капель электродного металла и металла сварочной ванны применяли импульсное управление переносом электродного металла в дуге. Использование в качестве электродного металла порошковой проволоки малого диаметра и импульсного управления позволило существенно повысить коэффициент наплавки и производительность процесса наплавки.

Для интенсификации процесса полиморфного превращения аустенита и достижения двухфазной структуры закаленной быстрорежущей стали применяли поверхностное пластическое деформирование наплавленного валика перфоратором в температурном интервале 300...60 °С с энергией удара 9 Дж.

Упрочняющую термическую обработку ограничивали однократным высокотемпературным отпуском на режиме, обеспечивающем достижение максимальной твердости поверхностного слоя.

Проведены производственные испытания изготовленной партии резцов, показавшие повышенную стойкость инструмента при хорошем качестве обработанной поверхности.

Выполненные исследования подтвердили большие возможности энергосбережения при совмещении процесса наплавки с закалкой и ограничении упрочняющей термической обработки однократным высокотемпературным отпуском.

#### Список литературы

1. Зубков Н.С., Тютяев В.А., Зубкова Е.Н. Изготовление наплавленного металлорежущего инструмента: Монография. Тверь: Изд-во Тверского государственного технического университета, 1998. 124 с.

2. Барчуков Д.А. Реализация способа упрочнения быстрорежущих сталей в ресурсосберегающих технологиях изготовления режущего инструмента. Машиностроение – основа технологического развития России ТМ-2013: сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: Е.И. Яцун [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2013. С. 99-103.

3. Решение от 04.02.2013 г. о выдаче патента на изобретение по заявке №2012121023 от 22.05.2012 г.

**Барчуков Дмитрий Анатольевич**, ФГБОУВПО «Тверской государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Технология металлов и материаловедение», [bda@mail.ru](mailto:bda@mail.ru), 89036959054.

**Лаврентьев Алексей Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУВПО «Тверской государственный технический университет», доцент кафедры «Технология металлов и материаловедение», [lavr\\_ay@mail.ru](mailto:lavr_ay@mail.ru), 89632222560.

**Зубков Николай Семенович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУВПО «Тверской государственный технический университет», заведующий кафедрой «Технология металлов и материаловедение», 89038061601.

**Хохлов Артем Александрович**, ООО «КБ 1520», начальник отдела, 89105327717.

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

**Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Журавлева Т.А.**  
Россия, г. Орёл, ФГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

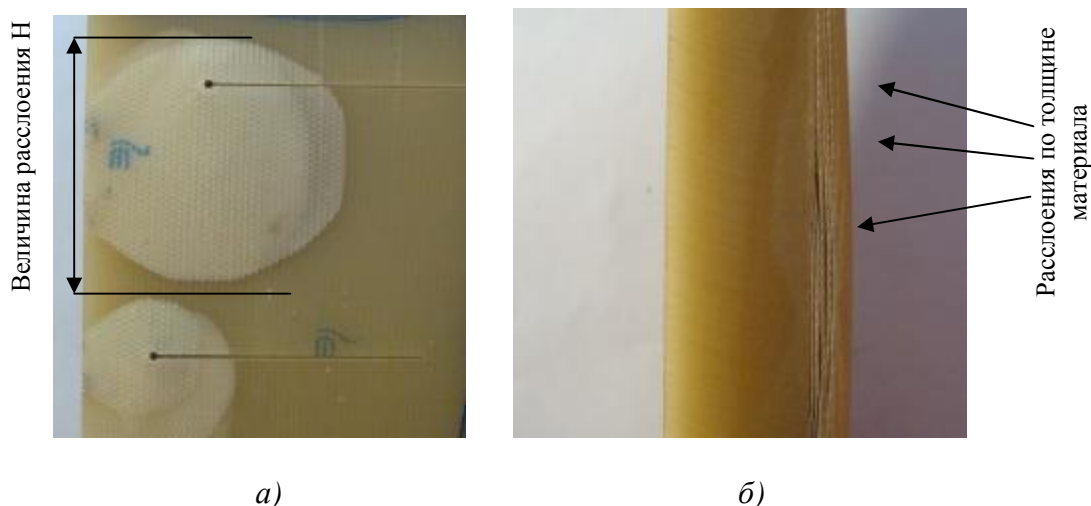
*Авторами статьи проведены экспериментальные исследования влияния технологических режимов гидроабразивного резания на расслоение поверхности деталей из стеклотекстолита, получены регрессионные модели, позволяющие прогнозировать качество поверхности после обработки.*

*The authors conducted a experimental study of the effect of technological modes of waterjet parts for surface cracking of the fiberglass, obtained regression model to predict the quality of the surface after treatment.*

В настоящее время в различных конструкциях, узлах механизмов машин, строительстве, машиностроении, и других областях широко применяются конструкции из металлов, пластмасс и наполненных пластиков, содержащих механические соединения. Но основной целью совершенствования применяемых конструкций аппаратов и машин и является снижение их массы и размеров с одновременным улучшением прочностных характеристик, повышением надёжности и долговечности. Для решения поставленной задачи производят замену традиционно применяемых металлов и их сплавов на современные, ничем не уступающие по своим физико-механическим характеристикам армированные пластики. К числу таких материалов относят стеклопластики различных марок.

Производственный опыт по резке заготовок из стеклотекстолита гидроабразивной струей выявил проблему образования в материале расслоений различной величины от 2...5 мм до 70...80 мм (рис. 1) в местах врезания в материал. Влияние на качество обработки небольших расслоений можно исключить технологическими приемами [1, 2]:

- производить врезание в месте предполагаемого отхода материала;
- врезаться в материал на расстоянии, удаленном от контура детали, в большем предполагаемой величины расслоения;- и др.



**Рисунок 1 – Экспериментальные образцы (давление врезания-150 МПа, диаметр сопла 0,8мм, зернистость абразива-80 mesh (средний диаметр абразивного зерна 0,178 мм):  
а - вид сверху, б - вид слева (торец заготовки)**

Для изучения зависимости величины расслоений при врезании от вышеперечисленных параметров был проведен ряд многофакторных экспериментов.

По результату регрессионного анализа проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы (рис. 2):

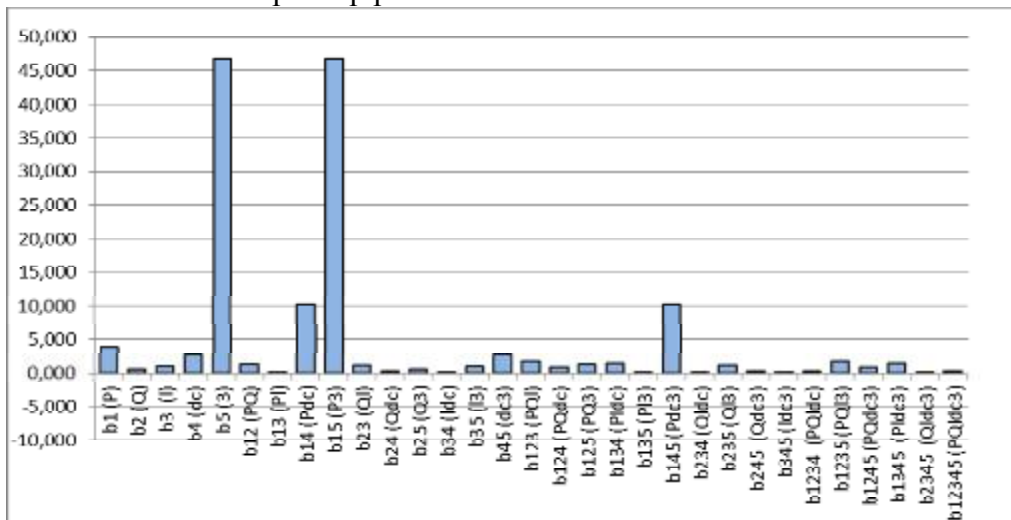
- на величину расслоения значительное влияние оказывают: зернистость абразива ( $X_5$ ), давление врезания ( $X_1$ ) и диаметр сопла ( $X_4$ );
- с увеличением зернистости абразива размер расслоений увеличивается.

Сила воздействия на материал при использовании абразива меньшей зернистости ниже, чем при использовании абразива большей зернистости [3]:

- при увеличении давления врезания, величина расслоения увеличивается;
- с увеличением диаметра сопла величина расслоений уменьшается;

При увеличении диаметра сопла сила воздействия на материал уменьшается. При большем диаметре сопла абразивно-жидкостная струя имеет большую однородность.

- расход абразива ( $X_2$ ) и расстояние от материала до сопла ( $X_3$ ) не оказывают значительного влияния на размер расслоений.



**Рисунок 2 – Результат ПФЭ 2<sup>5</sup> при врезании по спирали**

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что при подборе оптимальных режимов можно эффективно использовать технологию гидроабразивного резания для обработки деталей из стеклотекстолита.

#### Список литературы

1. Степанов, Ю.С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков // СТИН. -2003. - № 10. - С. 15 –17.
2. 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.
3. 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, проректор по НР ФГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орёл. Тел. (4862) 475071, e-mail: [stepanov@ostu.ru](mailto:stepanov@ostu.ru).

**Барсуков Геннадий Валерьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры ТМиКТИ ФГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК». Тел. (4862) 541503, e-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru), <http://www.ostu.ru/personal/barsukov/index.htm>.

**Журавлева Татьяна Александровна**, аспирант кафедры ТМиКТИ ФГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орёл, Тел. (4862) 541503, E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУЕЙ

**Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В.**  
Россия, г. Орёл, ФГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

*Авторами статьи, разрешая пошагово систему уравнений движения абразивной частицы с подвижными граничными условиями, получена зависимость подачи сопла при гидроабразивном резании многослойных материалов от давления истечения струи, толщины материала, природы самого материала, формы абразива, количества слоев, зазора между слоями, степени упрочнения в области резания и расхода абразива.*

*Authors of the paper, allowing the step by step system of equations of motion of a particle abrasion with moving boundary conditions, the dependence of flow nozzle With waterjet cutting laminates of the jet discharge pressure, the thickness of the material, the nature of the material itself, forms an abrasive, the number of layers, the gap between the layers, the degree of hardening in cutting and abrasive flow.*

Энергоемкость валового внутреннего продукта России в 2,5 раза выше среднемирового уровня. В государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» запланировано к 2020 г. снижение общей энергоемкости промышленного производства на 31,3%; снижение общей электроемкости промышленного производства на 31,8%.

Одной из ключевых экологически чистых технологий радикально решающей вопросы производства деталей из любых материалов является гидроабразивное резание. Явные преимущества этой технологии обеспечили ее внедрение на многих предприятиях страны. В ряде случаев она является единственно возможной. Однако, как правило, изготовителями гидрорежущего оборудования преследуется одна цель – выполнение машинной задачи по обеспечению показателя назначения. Доля затрат на электроэнергию и воду составляет 20 %, на абразив 60 % от общих затрат на гидроабразивное резание, что говорит о высокой энергоемкости процесса [1, 2].

А между тем оказался возможным другой подход, который отличается от известной технологии пакетной резки однотипных деталей гидроабразивной струей, когда снижают подачу сопла, а, следовательно, и производительность обработки для резания нижележащих слоев, что существенно повышает энергоемкость процесса.

Отличительной идеей предлагаемой разработки является использование остаточной энергии струи, являющейся отходом производства, которой недостаточно при традиционной технологии на резание нижележащих слоев материала, т.е. по сути, использование вторичного энергетического ресурса.

При моделировании проникания абразивного зерна в металлы в качестве модели преграды использована модель пластически сжимаемой среды, которая при нагружении изменяет свою плотность по определенному закону, а при разгрузке сохраняет плотность, полученную при нагружении [3].

Основные уравнения такой среды для случая одномерного движения:

$$\frac{1}{v+1} \frac{\partial}{\partial r} (r+u)^{v+1} = \frac{\rho_0}{\rho} r^v, \quad (1)$$

$$\rho_0 r^v \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (r+u)^v \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r + \sigma_\varphi) \frac{\partial}{\partial r} (r+u)^v, \quad (2)$$

где  $r$  - начальное расстояние частицы от центра симметрии;

$u$  - смещение частицы;  $t$  - время;

$\rho_0, \rho$  - начальная и текущая массовая плотность частиц металла;

$S_r$  - радиальное напряжения;

$S_j$  - тангенциальное напряжение;

$n = 2, 1, 0$  - соответственно для сферического, цилиндрического и плоского случая движения.

Авторами получено выражение для определения подачи сопла при резании пакетированного материала следующем в виде (рис. 1):

$$S_k = \frac{U_k n'_k}{2b_{mk} r_{cmpk}},$$

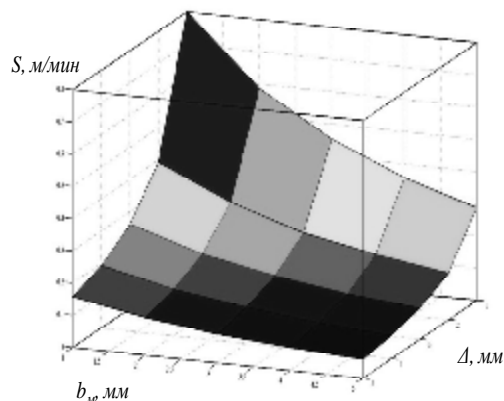
где  $b_{i_k}$  - толщина k-го слоя;

$n'_k$  - необходимое количество абразивных частиц для прорезания материала толщиной  $b_{i_k}$ .

Условие сквозного проникания для k-го слоя запишем в виде:

$$U_k = \frac{U_{k-1} n_{k-1} 2b_{mk} r_{cmpk}}{2b_{m_{k-1}} r_{cmp_{k-1}} n_k}. \quad (3)$$

Таким образом, разрешая пошагово систему уравнений движения абразивной частицы с подвижными граничными условиями, получена зависимость подачи сопла при гидроабразивном резании от давления истечения струи, толщины материала, природы самого материала, формы абразива, количества слоев, зазора между слоями, степени упрочнения в области резания и расхода абразива.



**Рисунок 1 - Зависимость максимальной подачи сопла от толщины листа и межслойного зазора**

#### 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. Степанов, Ю.С. Математическое моделирование процессов сверхзвукового удара и проникания тел в металлические преграды [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев – Орёл: «Издательский дом «Орлик», 2012. – 160 с.

**Степанов Юрий Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, директор НОЦ «Орёлнано» ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл, тел. (4862) 475071, e-mail: [stepanov@ostu.ru](mailto:stepanov@ostu.ru).

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

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВА И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ

Барсуков Г.В., Александров А.А.

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

*Авторами статьи проведены теоретические исследования влияния характеристик абразива и обрабатываемого материала на эффективность гидроабразивного резания*

*Authors of the article theoretical research influence the characteristics of the ab raziva and the material on the efficiency of waterjet cutting.*

Свойства и характеристики абразивного зерна при гидроабразивном резании значительно влияют на скорость подачи сопла относительно материала и определяют производительность обработки [1, 2].

Сверхзвуковой поток абразивного зерна вне зависимости от типа абразива, его формы и размера при взаимодействии с поверхностью обрабатываемого материала приводит к его повреждению. Производительность гидроабразивного резания отражает характер контактного взаимодействия поверхности материала и абразива, величину и схему внешнего силового воздействия, соотношение прочностных свойств металла и абразива. Высоким значением твердости и прочности абразива соответствует его высокая способность к внедрению в рабочую поверхность детали и разрушению материала. Если металл более твёрдый и прочный, чем абразив - разрушится абразив и, следовательно, резание затруднено.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что значительное повышение (в 10 раз) производительности резания высокопрочных материалов обеспечивает более твердый абразив корунд. Использование корунда для резания других материалов дает прирост производительности около 30 %. Однако, такая интенсификация процесса гидроабразивного резания приводит к быстрому износу сопла (до 10 - 30 ч.) и изменению его внутренней геометрии, что делает невозможным получение точных размеров детали.

В целом производителями гидрорежущего оборудования рекомендуется при выборе абразива учитывать следующее:

1) абразив должен быть двойного просеивания, что обеспечивает удаление мелкой и крупной фракции, в противном случае сопло может забиться или снизится производительность резания;

2) чем грубее абразивное зерно, тем лучше режущая способность гидроабразивной струи и выше производительность;

3) чем выше твердость абразивного зерна, тем лучше режущая способность и выше производительность;

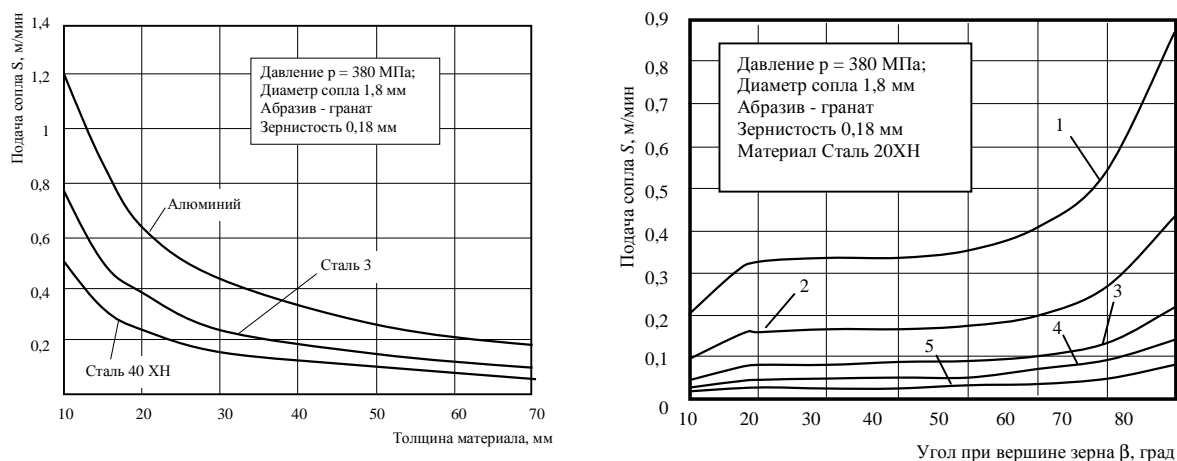
4) себестоимость резания зависит от стоимости применяемого абразива. Однако, следует учитывать, что абразив по высокой цене может снизить затраты на стоимость операции за счет повышения производительности обработки. Если планируются использовать максимальные скорости подачи, то следует выбирать более крупный абразив.

Объем снимаемой стружки единичным зерном определяет скорость подачи сопла. В связи с чем, авторами получена и решена численным методом система уравнений движения зерна, определяющая траекторию врезания частицы в обрабатываемый материал от режимов резания и свойств абразива, что позволило определить глубину  $h$ , ширину  $b$  и длину  $L$  царапины от выступов микрОрельефа зерна. Оценка производительности внедрения струи в материал сделана по совокупному съему металла режущими зернами в зоне контакта. Количество актов контактного взаимодействия абразивных зерен с поверхностью материала обусловлено концентрацией абразива в потоке жидкости,

величиной расхода абразива в единицу времени через срез сопла, а также величиной подачи сопла [3].

Точность и качество теоретической модели проверена на основе исследования свойств остаточной компоненты с использованием экспериментальных данных. Результаты показали хорошую сходимость.

Используя полученные теоретические модели, технолог может оценить влияние нескольких параметров процесса (обрабатываемый материал, давление истечения струи, диаметр отверстия сопла, подача сопла относительно материала, толщина материала, свойства абразива и др.) на производительность обработки (рис. 1). Полученные данные можно использовать не только для случая резания по прямой линии, но и для обработки криволинейного контура детали.



**Рисунок 1 – Влияние характеристик абразива и обрабатываемого материала на скорость подачи сопла**

1 – толщина 5 мм; 2 – толщина 10 мм; 3 – толщина 20 мм;  
4 – толщина 30 мм; 5 – толщина 50 мм

#### Список литературы

1. Степанов, Ю.С. Формирование качества поверхностного слоя деталей при резании сверхзвуковой струей жидкости [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков // СТИН. -2003. - № 10. - С. 15 –17.
2. 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.
3. 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.

**Барсуков Геннадий Валерьевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ТМиКТИ ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», тел. (4862) 541503, E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru), <http://www.ostu.ru/personal/barsukov/index.htm>.

**Александров Артем Александрович**, аспирант кафедры ТМиКТИ ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орёл, тел. (4862) 541503, E-mail: [awj@list.ru](mailto:awj@list.ru).



## **СЕКЦИЯ № 5. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Руководитель:

**Ефимов Михаил Александрович**, кандедат технических наук, профессор  
ОГАУ

УДК 621.01

### **ВОДОГРЕЙНЫЙ КОТЕЛ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА МЕСТНОМ ТОПЛИВЕ**

**Каравайков В.М., Алутин А.П., Иванов Е.Э.**  
*Россия, г. Кострома, Костромской ГТУ*

*Приведены некоторые результаты балансового испытания водогрейного котла для автономного теплоснабжения на местном топливе.*

*Some results of balance test of a water-heating copper for an independent heat supply on local fuel are resulted.*

Балансовые испытания котла проводились с целью определения теплотехнических характеристик работы котла. Испытания должны проводиться при установившемся тепловом состоянии системы с обязательным сведением теплового баланса котла. Требование поддержания постоянства заданной нагрузки котла перед замером параметров во время замеров является обязательным. Технический состав топлива (зольность, влажность, выход летучих и т.д.) должен соответствовать расчётному или среднеэксплуатационному.

Общий вид испытываемого котла представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Общий вид котла**

Во время испытаний водогрейного котла производились следующие группы измерений:

1. Производительность и температура прямой и обратной сетевой воды.
2. Качество и количество сжигаемого топлива.
3. Состав и температура газов за котлом.

В журнал наблюдений заносятся следующие параметры:

$t_{пр}$  – температура прямой сетевой воды, °С;  
 $t_{обр}$  – температура обратной сетевой воды, °С;  
 $D_v$  – расход сетевой воды, м<sup>3</sup>;  
 $\vartheta_{yx}$  – температура уходящих газов, °С;  
 $t_o$  – температура воздуха в котельной, °С;

$O_2$  – содержание кислорода в дымовых газах за котлом %;

$RO_2 = CO_2 + SO_2$  – сумма трехатомных газов в дымовых газах за котлом, %;

$CO, H_2, CH_4, C_nH_m$  – продукты неполного сгорания топлива, %.

Определение КПД брутто по методу прямого баланса основано на измерениях количества подведённого и использованного тепла путём непосредственных замеров расхода топлива, воды и ее параметров. Определение КПД брутто методом обратного баланса производится косвенным путем и основывается на измерении тепловых потерь водогрейного котла. При этом составление теплового баланса котла заключается

в установлении равенства между располагаемым теплом топлива  $Q_n^p$  и полезно использованным теплом  $Q_1$  плюс сумма тепловых потерь. При одинаковой точности замеров, метод обратного баланса обеспечит большую точность в определении КПД по сравнению с методом прямого баланса. Поэтому метод обратного баланса используется как основной при балансовых испытаниях водогрейных котлов. При этом требуются следующие дополнительные измерения: температуры уходящих газов ( $\vartheta_{yx}$ , °С); газового анализа уходящих газов ( $RO_2 = CO_2 + SO_2$ ;  $O_2$ , %).

Перед испытаниями котел был оснащен оборудованием и приборами, указанными на рисунке 2:

К1, К2, К3, К4, К5 – запорная арматура,

Т1 – измерители температуры,

QI – газоанализатор,

СГВ – счетчик горячей воды

Перед началом испытаний была проведена пробная проверка работы котла, во время которой проверялись узлы подключений на наличие утечек, показания подключенных приборов. Также определен объем воды в котле, объем емкости с водой, расход воды при работе с насосом Wilo 25/6.

В процессе балансовых испытаний котел испытывался на трех режимах – интенсивном, экономичном, минимальном.

Интенсивный режим – режим поддержания тепла при максимальных потерях тепла зданием в наиболее холодный период отопительного сезона, соответствует номинальной мощности котла.

Экономичный режим – режим поддержания тепла при средней температуре наружного воздуха отопительного периода.

Минимальный режим – минимально возможная мощность котла. Режим поддержания тепла в переходные отопительные периоды при плюсовой наружной температуре.

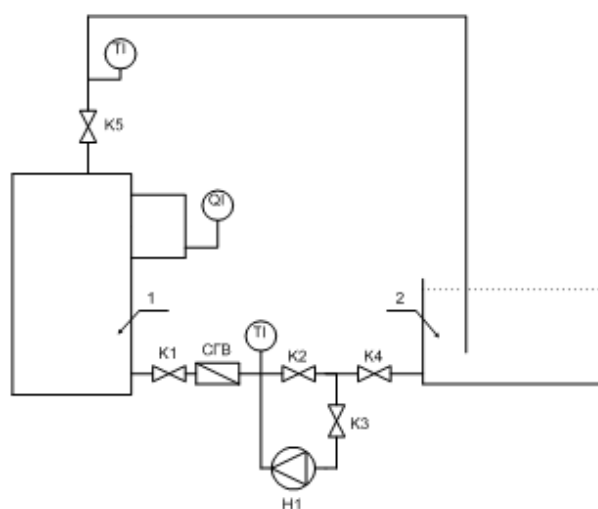


Рисунок 2 – Схема подключения оборудования и приборов

1 – котёл 2-емкость с водой

Таблица 1 – Обобщенные результаты испытаний.

Показатели	Интенсивный режим	Экономичный режим	Минимальный режим
Мощность котла, кВт	115	50	8,8
Температура обратной воды, °С	70	70	70
Температура прямой воды, °С	75	72,5	71,5
Расход топлива (дров 50% влажности), кг/ч, $Q_n^p=7806$ кДж/кг	57	23	4
Расход топлива (дров 35% влажности), кг/ч, $Q_n^p=11490$ кДж/кг	45,6	21	3,7
Расход топлива (дров 20% влажности), кг/ч, $Q_n^p=14170$ кДж/кг	35,1	13	2,3
Расход топлива (торф кусковый), кг/ч, $Q_n^p=17600$ кДж/кг	29,8	12,3	2,0
Кпд, %	79	83	88,3

### Заключение

1. Испытуемый водогрейный котел обеспечивает производство тепловой энергии с выходной мощностью от 8 до 120 кВт.
2. КПД котла определен в пределах от 83 до 75 % (при возрастании мощности КПД снижается).
3. Котел легко поддается регулировке, обеспечивая горение во всем диапазоне выделяемой мощности.
4. Наиболее стабильная работа котла была выявлена при сжигании торфа в брикетах.
5. Наименее предпочтительна работа котла на фрезерном торфе (низкая выходная мощность котла – до 30 кВт).
6. При сжигании дров котел обеспечивает выходную мощность в диапазоне от 6 до 140 кВт при влажности дров до 50% .
7. Работа котла в экономном режиме достигается при средних тепловых потерях зданием в отопительный период 40 – 60 кВт.

**Каравайков Владимир Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, Костромской государственной технологической университет, директор регионального центра энергосбережения, тел. (4942) 316991, факс (4942) 317008.

**Алутин Алексей Петрович**, аспирант КГТУ;

**Иванов Егор Эдуардович**, студент 5 курса КГТУ.

УДК 681.536.6: 631.23

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИБОРОВ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛИЦЫ**

**Каравайков В.М., Волков И.О.**  
*Россия, г. Кострома, Костромской ГТУ*

*Приведены результаты вычислительного эксперимента с применением технологии ANSYS по определению оптимальных значений температур приборов надпочвенного и грунтового обогрева в теплице с одинарным и двойным остеклением с учетом температуры наружного воздуха.*

*Results of computing experiment with application of technology ANSYS by definition of optimum values of temperatures of devices надпочвенного and soil heating in a hothouse with an unary and double glass cover taking into account temperature of external air are resulted.*

Определим температуры приборов надпочвенного и грунтового обогрева, обеспечивающие достижение оптимальных для культуры томатов температур для теплицы с двойным остеклением при температуре наружного воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$  в ночное время. Для этого в разделе Goal Driven Optimization дерева проекта ANSYS [1] установим для выходных параметров модели в стоке Objectives параметр Seek Target, и зададим для температуры воздуха значение  $18,5^{\circ}\text{C}$ , для температуры грунта  $19^{\circ}\text{C}$  [2]. Таким образом, программа определит значения входных параметров, необходимых для достижения заданных температур.

Для поставленной задачи ANSYS определил три варианта оптимальных параметров, представленные в таблице 1. При этом наиболее близкие по критерию оптимальности варианты выводятся программой в первую очередь.

Таблица 1 – Оптимальные значения температур приборов надпочвенного и грунтового обогрева для культуры томата.

№ п/п	Входные параметры		Выходные параметры	
	Температура приборов надпочвенного обогрева, °С	Температура приборов почвенного обогрева, °С	Средняя температура воздуха, °С	Средняя температура грунта, °С
1	55,62	30,11	18,22	18,94
2	53,22	32,69	17,15	19,24
3	54,74	36,75	18,44	21,41

Из таблицы 1 следует, что для культуры томата в заданных условиях для типовой теплицы с использованием двойного остекления оптимальный температурный режим воздуха и грунта достигается при температуре приборов надпочвенного обогрева 55,6 °С, подпочвенного обогрева 30,1 °С. При этом удельная мощность системы надпочвенного обогрева составит 190 Вт/м<sup>2</sup>, подпочвенного обогрева – 30 Вт/м<sup>2</sup>, всего 220 Вт/м<sup>2</sup>.

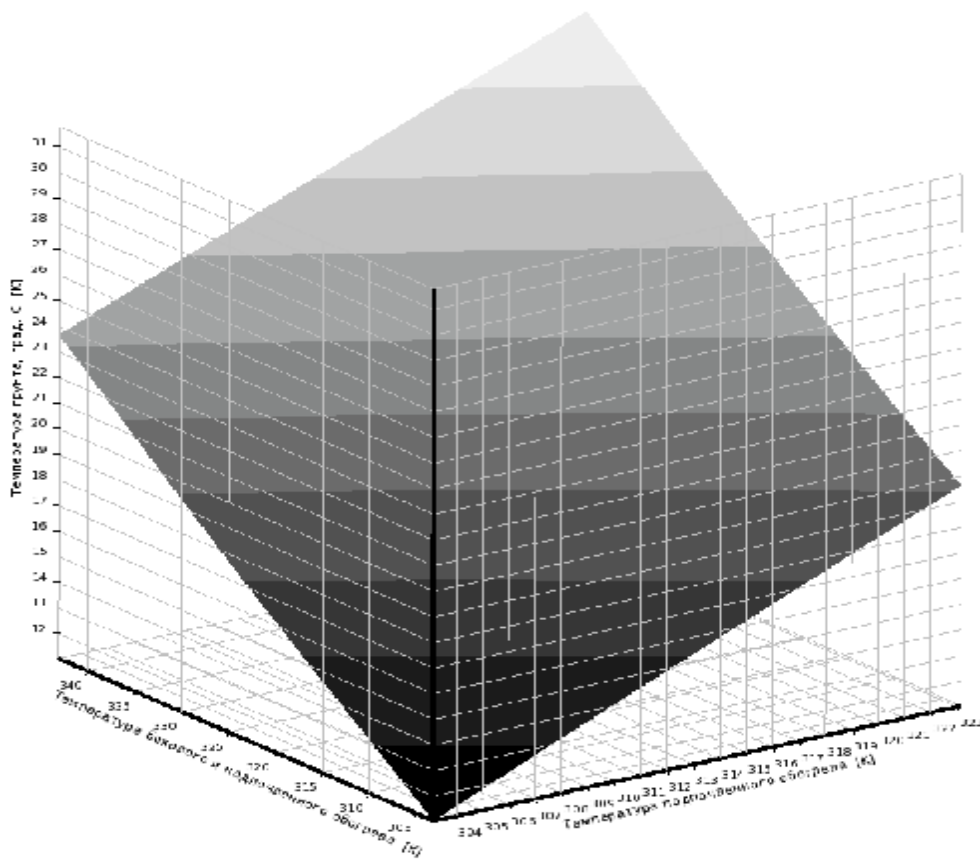
Произведем аналогичные расчеты для типовой теплицы с одинарным остеклением. Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по оптимизации температурного режима теплицы с одинарным остеклением

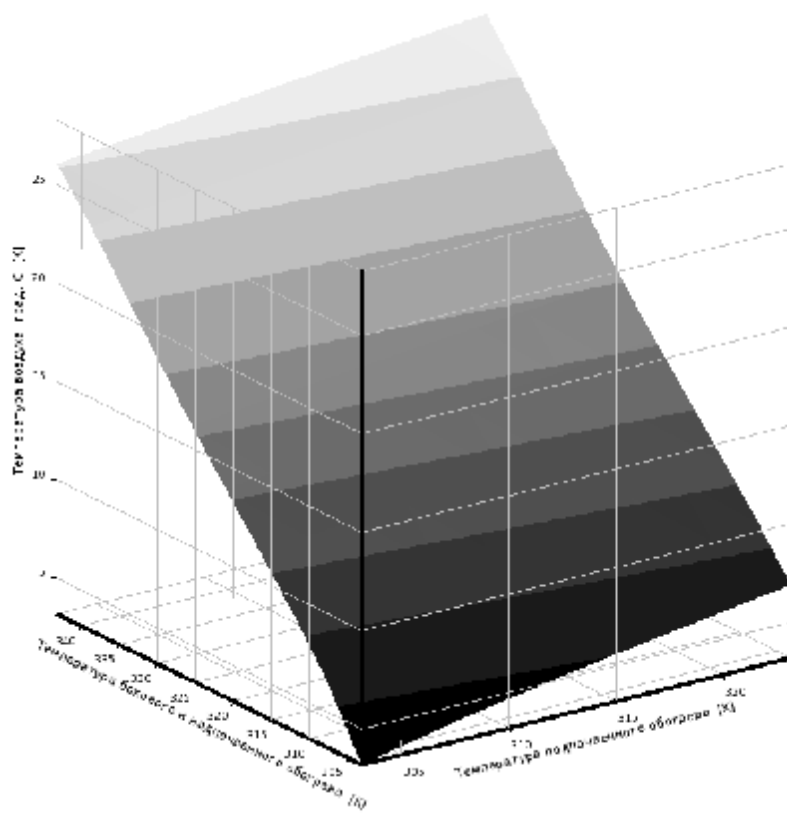
№ п/п	Входные параметры		Выходные параметры	
	Температура приборов надпочвенного обогрева, °С	Температура приборов почвенного обогрева, °С	Средняя температура воздуха, °С	Средняя температура грунта, °С
1	77,5	40	9,36	15,87
2	60	40	3,07	12,34
3	95	40	15,80	19,68
4	77,5	30	8,76	12,03
5	77,5	50	9,93	19,65
6	60	30	2,45	8,46
7	95	30	15,20	15,92
8	60	50	3,73	16,21
9	95	50	16,33	23,41
10	100	40	17,61	20,81
11	100	30	17,04	17,07

Расчетные оптимальные температуры отопительных приборов для теплицы с одинарным остеклением составили: надпочвенного обогрева 103,7°С, подпочвенного 33,0°С. Удельная мощность системы надпочвенного обогрева при оптимальных температурах воздуха и грунта для одинарного остекления составляет 512 Вт/м<sup>2</sup>, подпочвенного обогрева – 35 Вт/м<sup>2</sup>, всего – 547 Вт/м<sup>2</sup>, что в 2,5 раза превышает затраты тепла в теплице с двойным остеклением.

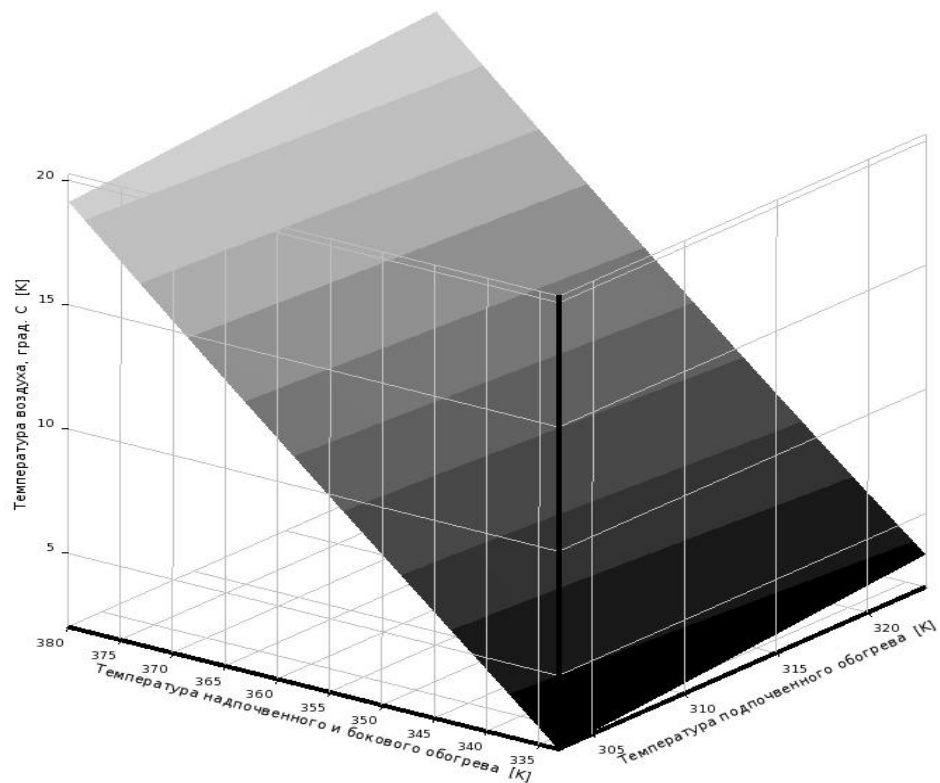
Зависимости температур грунта и воздуха теплицы от температур приборов обогрева приведены на рисунках 1–4 соответственно.



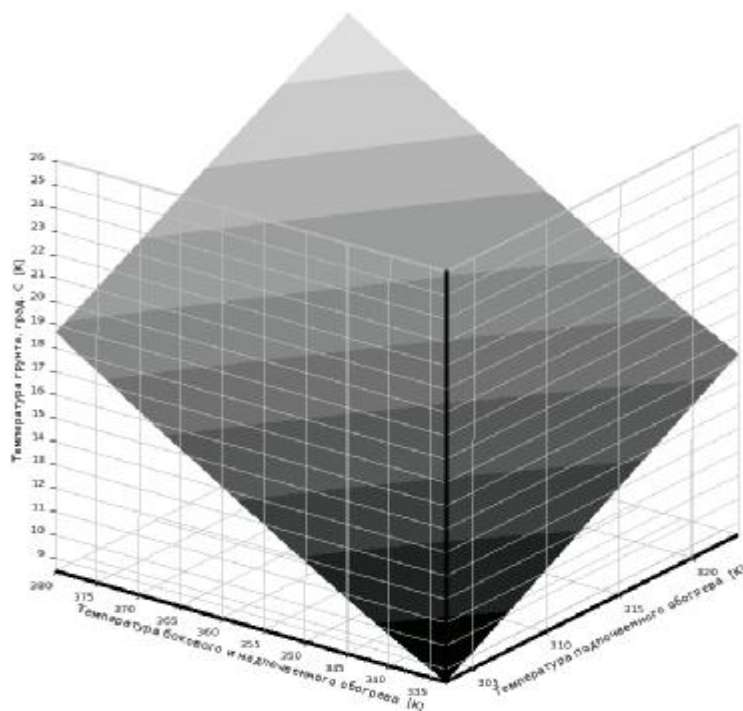
*Рисунок 1 – Зависимость температуры воздуха теплицы с двойным остеклением от температур отопительных приборов*



*Рисунок 2 – Зависимость температуры грунта теплицы с двойным остеклением от температур отопительных приборов*



**Рисунок 3 – Зависимость температуры воздуха теплицы с одинарным остеклением от температур отопительных приборов**



**Рисунок 4 – Зависимость температуры грунта теплицы с одинарным остеклением от температур отопительных приборов**

#### Выводы

1. Проведен вычислительный эксперимент, позволивший определить зависимости температуры отопительных приборов надпочвенного и бокового обогрева, температуры грунта и удельной тепловой мощности отопительных приборов для различных видов светопрозрачных ограждающих конструкций от температуры наружного воздуха.

2. Полученные данные показывают, что использование в качестве светопрозрачных ограждающих конструкций теплицы сотового поликарбоната толщиной 16 мм должно уменьшить затраты тепла на отопление в 2,4 раза, а двойного остекления – в 2,6 раза по отношению к одинарному остеклению. При этом двойное остекление снижает затраты тепла по сравнению с поликарбонатом на 12%.

3. Разработанная методика моделирования теплового режима культивационных сооружений закрытого грунта позволяет анализировать новые объемно-планировочные решения теплиц и систем их водяного отопления, а также оптимизировать температурный режим отопительных приборов для конкретных овощных культур.

#### Список литературы

1. Киселев Н.В. Моделирование процессов теплопереноса на основе технологии ANSIS / Н.В. Киселев, В.М. Каравайков // Изв. ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2012. – № 9-10. – С.20–27.

2. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады НТП 10-95.

**Каравайков Владимир Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, Костромской государственной технологической академии, директор регионального центра энергосбережения, тел. (4942) 316991, факс (4942) 317008.

**Волков Илья Олегович** – аспирант КГТУ, 1-й год обучения, специальность Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

УДК 621.01.0016621.833.1/7

#### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ (ГТР) ПО ИХ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

**Ефимов М.А., Фомичёв Е.В.**  
Россия, г. Орёл, ОрёлГАУ

*В статье исследованы внешние и безразмерные характеристики ГТР, их рабочие зоны, оказывающие влияние на производительность трактора и количество передач в трансмиссии. Обосновано применение на тракторе комплексных ГТР, имеющих наиболее широкую рабочую зону.*

*In this paper the external and dimensional characteristics of hydraulic torque converter, their work areas that impact on the performance of the tractor and the number of gears in the transmission. The application of the tractor integrated hydraulic torque converter having the most extensive work zone.*

Внешней характеристикой ГТР называют зависимости крутящего момента на насосном колесе  $M_1$ , крутящего момента на турбинном колесе  $M_2$ , КПД  $\eta_{ГТР}$  от кинематического передаточного отношения  $i'$ , равного отношению частоты вращения турбинного колеса  $n_2$  к частоте вращения насосного колеса  $n_1$  при  $n_1 = \text{const}$ .

На рисунке 1 представлены внешние и безразмерные характеристики трёх ГТР: простого, комплексного однореакторного и комплексного двухреакторного.

При увеличении нагрузки частота вращения турбинного колеса  $n_2$  и параметр  $i'$  уменьшаются, крутящий момент  $M_2$  растёт, а  $M_1$  не изменяется у непрозрачного ГТР, увеличивается у прозрачного с прямой прозрачностью и уменьшается у прозрачного с обратной прозрачностью. При максимальной нагрузке турбинное колесо останавливается ( $n_2=0$ ), крутящий момент  $M_2$  равен максимальному ( $M_{2\text{max}}$ ), а этот режим называется «стоповым».

Простой ГТР во всём диапазоне  $i'$  от 0 до 0,97 работает в режиме трансформации крутящего момента и КПД  $\eta_{ГТР}$  вначале растёт, а затем падает. У комплексного ГТР

в интервале  $i'$  от 0 до точки  $A_1$  ГТР работает в режиме трансформации, в точке  $A_1$  муфта свободного хода освобождает направляющий аппарат и ГТР переходит в режим гидромufты, КПД при этом возрастает. Комплексный двухреакторный ГТР в интервале  $i'$  от 0 до точки  $A_2$  работает в режиме трансформации с обоими неподвижными направляющими аппаратами. В точке  $A_2$  освобождается первый направляющий аппарат и в интервале  $i'$  от точки  $A_2$  до точки  $A_1$  ГТР работает в режиме трансформации, но с одним неподвижным направляющим аппаратом, а в точке  $A_1$  он переходит в третий режим работы – в режим гидромufты. Указанная особенность трёх типов ГТР влияет на рабочую зону ГТР.

Для определения рабочей зоны задаются минимально допустимым значением КПД  $\eta_{\text{ГТРmin доп}}$ , ниже которого работа ГТР не эффективна. Обычно принимают  $\eta_{\text{ГТРmin доп}}=0,8$ . Далее это значение КПД откладывают на оси ординат, через него проводят горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с кривой КПД. Первая точка пересечения соответствует началу рабочей зоны, а вторая – концу рабочей зоны. Из рисунка 1 видно, что самую узкую рабочую зону имеет простой ГТР, она находится в интервале  $i' = 0,4 \dots 0,8$ . У комплексного однореакторного ГТР рабочая зона расширяется вправо и находится в интервале  $i' = 0,4 \dots 0,97$ . У комплексного двухреакторного ГТР рабочая зона самая широкая, она расширяется влево и находится в интервале  $i' = 0,2 \dots 0,97$ .

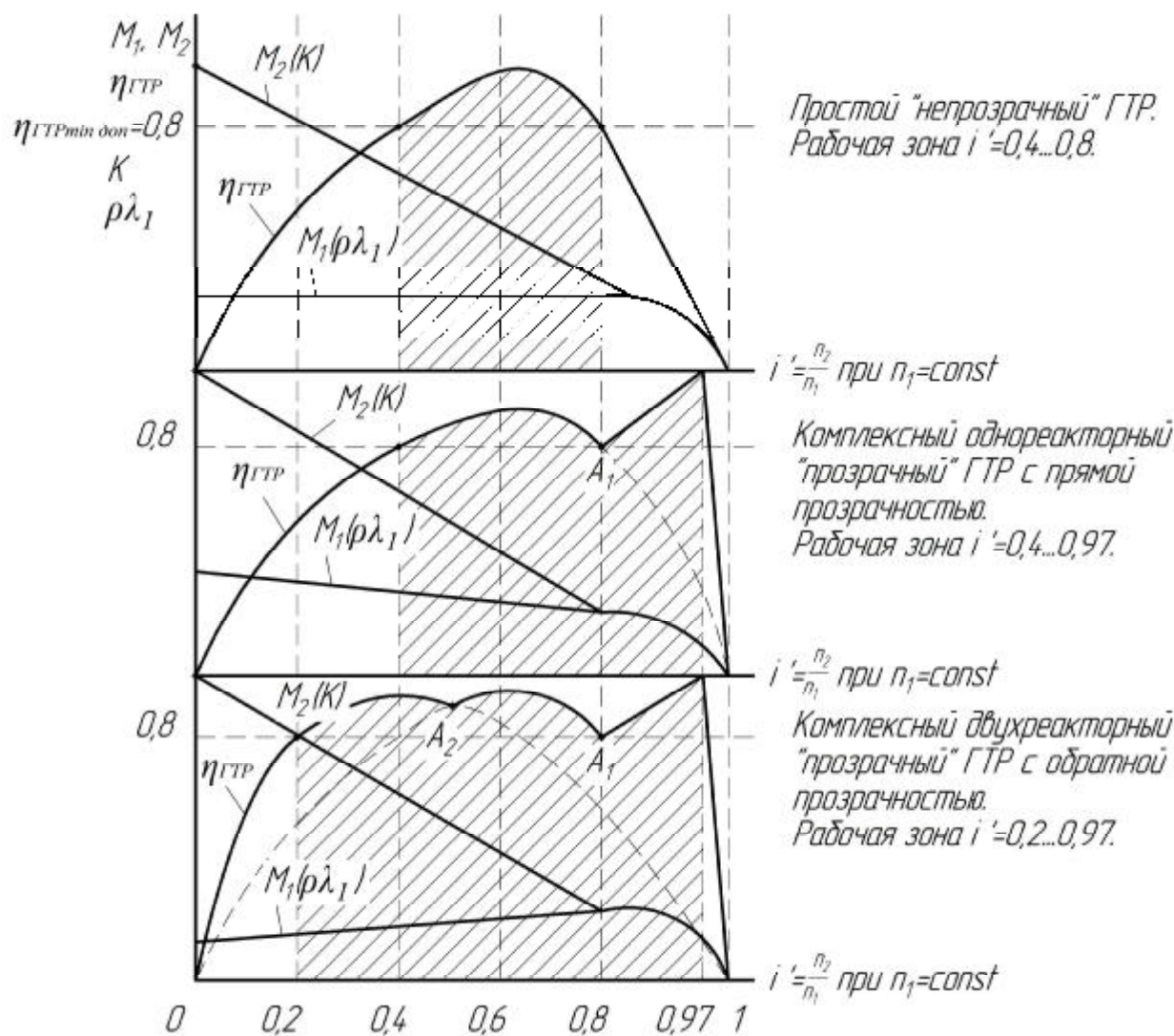


Рисунок 1 – Внешние и безразмерные характеристики ГТР



Безразмерной характеристикой ГТР называют зависимости коэффициента трансформации  $K$ , КПД ГТР  $\eta_{ГТР}$  и параметра  $\rho\lambda_1$  от кинематического передаточного отношения  $i' = n_2/n_1$ , при  $n_1 = \text{const}$  (рисунок 1).

Коэффициентом трансформации называют отношение момента на турбинном колесе к моменту на насосном колесе

$$K = \frac{M_2}{M_1} = 2,5 \dots 7,5$$

Коэффициент трансформации  $K$  на безразмерной характеристике изменяется по такому же закону, что и крутящий момент  $M_2$  на внешней характеристике.

Параметр  $\rho\lambda_1$  на безразмерной характеристике изменяется по такому же закону, что и момент  $M_1$  на внешней характеристике.

Входной характеристикой ГТР называют зависимость мощности на насосном колесе  $N_1$  от частоты вращения насосного колеса  $n_1$ .

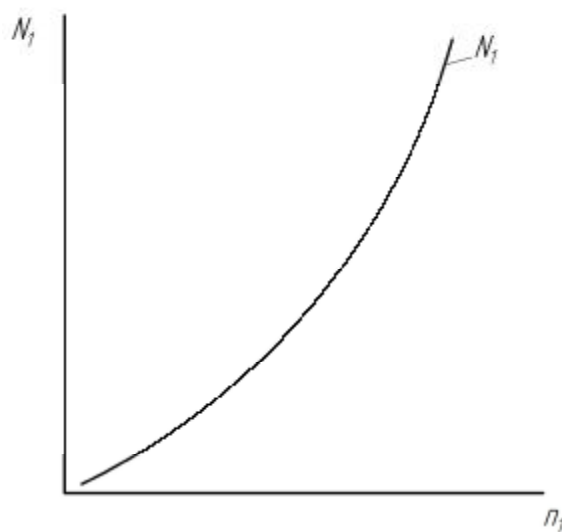
Входную характеристику ГТР рассчитывают по формуле и строят для каждого значения  $i'$ :

$$N_1 = \frac{(\rho l_1)_{i'} \cdot n_1^3 \cdot Da^5}{9550}$$

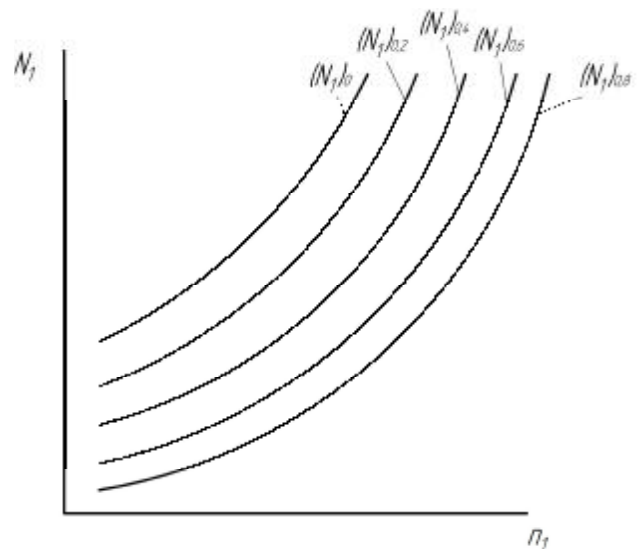
Да – активный диаметр ГТР;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\lambda_1$  – коэффициент моментов насосного колеса.

На рисунке 2 представлена входная характеристика для «непрозрачного» ГТР, у которого входная характеристика имеет одну кривую, так как у «непрозрачного» ГТР  $\rho\lambda_1 = \text{const}$  и мощность  $N_1$  зависит только от частоты вращения  $n_1$ .

На рисунке 3 представлена входная характеристика «прозрачного» ГТР, у которого для каждого значения  $i'$  своя кривая, а в целом – пучок кривых, так как  $\rho\lambda_1 \neq \text{const}$ .



**Рисунок 2 – Входная характеристика «непрозрачного» ГТР**



**Рисунок 3 – Входная характеристика «прозрачного» ГТР**

Безразмерные и входные характеристики используют для правильного подбора ГТР к заданному двигателю.

**Выводы.**

1) Простой ГТР имеет самую узкую рабочую зону и не может быть рекомендован для трактора, так как производительность трактора будет наименьшей, а количество передач наибольшее.

2) Двухреакторный ГТР имеет самую широкую рабочую зону и может быть рекомендован для трактора, который будет иметь наибольшую производительность и

наименьшее количество передач в трансмиссии и потому является энергоресурсосберегающим.

#### Список литературы

1. Ефимов М. А. Основы теории бесступенчатых передач тракторов. г. Орёл, 2001 г.

**Ефимов Михаил Александрович**, канд. техн. наук, профессор кафедры «ЭМТП и тракторы» ОрёлГАУ, т. 76-17-54.

**Фомичёв Евгений Васильевич**, студент ОрёлГАУ, [evgenij.ok@mail.ru](mailto:evgenij.ok@mail.ru).

УДК 621.01.0016621.833.1/7

### СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ: ДВС – ГТР

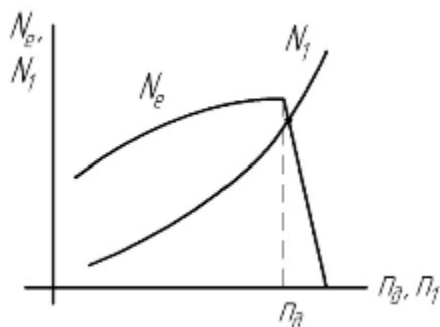
**Ефимов М.А., Скоркин А.А.**

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО ОрёлГАУ

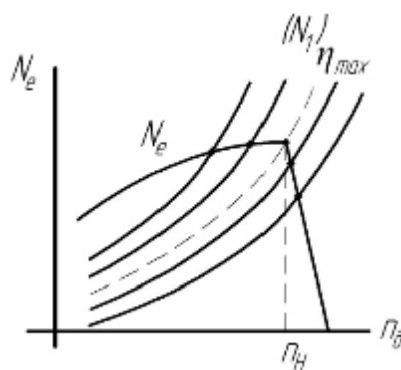
*В статье рассмотрена характеристика системы: двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – гидродинамический трансформатор (ГТР). Показано, что для оптимизации характеристики необходимо изменять активный диаметр  $D_a$  или частоту вращения насосного колеса  $n_1$ . Оптимальная характеристика обеспечивает наивысшую производительность работы трактора.*

*The article describes the system: the internal combustion engine - torque converter. It is shown that to optimize the need to change the active diameter  $D_a$ , or the speed of the impeller  $n_1$ . Optimum performance provides the best performance of the tractor.*

Характеристику системы: ДВС–ГТР получают путем наложения на регуляторную характеристику ДВС входную характеристики ГТР. На рисунке 1 представлена характеристика системы: ДВС – «непрозрачный» ГТР, а на рисунке 2 – системы: ДВС – «прозрачный» ГТР.



**Рисунок 1**– Характеристика системы:  
ДВС – «непрозрачный» ГТР



**Рисунок 2** – Характеристика системы:  
ДВС – «прозрачный» ГТР

Точки пересечения входных характеристик с регуляторной характеристикой определяют режимы совместной работы ДВС и ГТР.

По характеристикам системы: ДВС – ГТР оценивают правильность подбора ГТР к заданному ДВС.

Правильно подобрать ГТР к двигателю является до настоящего времени серьезной проблемой. Объясняется это тем, что и ДВС, и ГТР имеют неудовлетворительные характеристики. На рисунке 3 представлена зависимость эффективной мощности ДВС  $N_e$  от частоты вращения коленчатого вала  $n_d$ . Эта характеристика имеет только один выгодный режим – номинальный, при котором мощность двигателя максимальная  $N_{e,max}$ .

На рисунке 4 представлена зависимость КПД простого ГТР  $\eta_{ГТР}$  от кинематического передаточного отношения  $i' = \frac{n_2}{n_1}$  при  $n_1 = \text{const}$ . Эта характеристика также имеет только один выгодный режим, при котором КПД имеет максимальное значение  $\eta_{ГТР \text{ max}}$ .

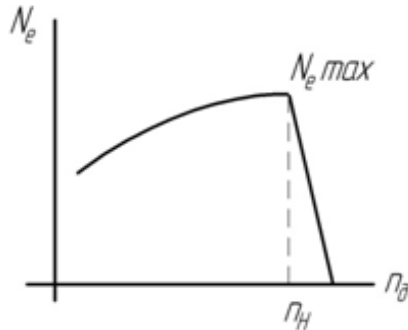


Рисунок 3 – Характеристика ДВС

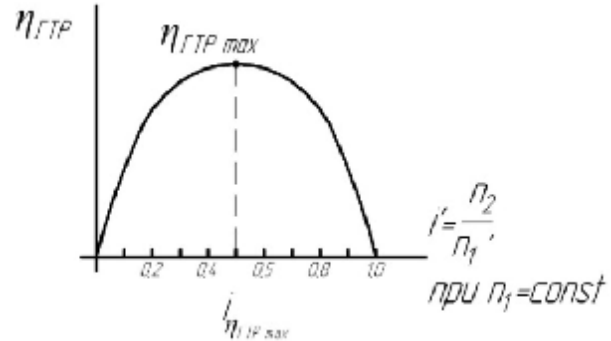


Рисунок 4 – Безразмерная характеристика ГТР

Оптимальной характеристикой считается такая, в которой входная характеристика, построенная для максимального КПД  $\eta_{ГТР \text{ max}}$ , пересекает характеристику ДВС в точке  $N_{e \text{ max}}$  (см. рисунок 5). Только в этом случае ДВС и ГТР будут совместно работать в наивыгоднейших режимах. Если же входная характеристика ГТР проходит ниже или выше  $N_{e \text{ max}}$ , то мощность на насосном колесе  $N_1$  надо увеличивать или уменьшать соответственно, пользуясь следующей формулой:

$$N_1 = \frac{(rI_1) \cdot n_1^3 \cdot Da^5}{9550}, \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), увеличить или уменьшить мощность  $N_1$  можно двумя способами:

1) За счет увеличения или уменьшения активного диаметра ГТР  $Da$ . Этот способ можно использовать только в том случае, если создают новый ГТР.

2) За счет увеличения или уменьшения частоты вращения насосного колеса  $n_1$ . Этот способ целесообразно использовать, если существует готовый серийно изготавливаемый ГТР с высокими конструктивными и техническими параметрами. Тогда для изменения частоты вращения  $n_1$  между ДВС и ГТР ставят согласующий редуктор (см. рисунок 6).

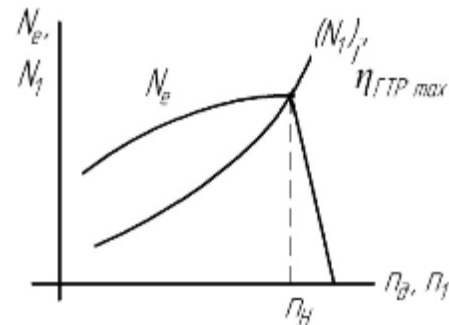


Рисунок 5 – Оптимальная характеристика

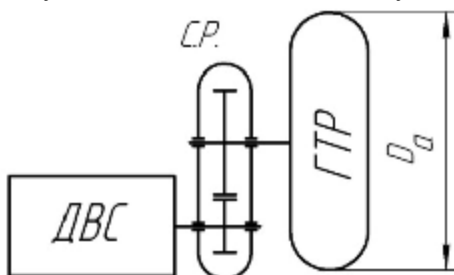


Рисунок 6 – Схема установки согласующего редуктора СР

Передаточное число согласующего редуктора определяют по формуле:

$$i_p = \sqrt[5]{\frac{N_1'}{N_{e \text{ max}} \cdot h_p}}, \quad (2)$$

где  $N_1'$  – мощность на насосном колесе при номинальном режиме работы двигателя;  $\eta_p$  – механический КПД согласующего редуктора.

Параметр  $r\lambda_1$  в формуле (1) берут из безразмерной характеристики ГТР для максимального КПД  $\eta_{ГТР \text{ max}}$ .

Оптимальная характеристика системы обеспечивает работу её составляющих в наивыгоднейших режимах, что повышает экономичность и производительность трактора, способствует энерго- и ресурсосбережению в АПК.

Выводы:

- 1) Показано, что характеристики ДВС и ГТР имеют только по одному выгодному режиму  $N_{e\max}$  и  $\eta_{\text{ГТР MAX}}$  соответственно.
- 2) Оптимальной характеристикой системы называют такую, у которой входная характеристика ГТР для  $\eta_{\text{ГТР MAX}}$  пересекает характеристику ДВС в точке  $N_{e\max}$ .
- 3) Показано, что для получения оптимальной характеристики системы необходимо изменять либо активный диаметр  $D_a$ , либо частоту вращения насосного колеса  $n_1$ .
- 4) Дано обоснование целесообразности применения того или иного способа оптимизации характеристики системы: ДВС – ГТР.

#### Список литературы

1. Ефимов М.А., Основы теории и расчета бесступенчатых передач тракторов, Орёл, 2001.

**Ефимов Михаил Александрович**, канд. техн. наук, профессор кафедры «ЭМТП и тракторы» ОрёлГАУ, т. 76-17-54.

**Скоркин Андрей Александрович**, студент ОрёлГАУ, e-mail: [andrei\\_hightower\\_skorkin@mail.ru](mailto:andrei_hightower_skorkin@mail.ru).

УДК 621.01.0016621.833.1/7

### ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПЕРЕДАЧИ ТРАКТОРОВ

**Ефимов М.А., Заикин И.Ю.**  
Россия, г. Орёл, ОрёлГАУ.

*В статье приведена классификация ГТР, дан их сравнительный анализ. Показано, что применение ГТР обеспечивает повышение долговечности и производительности трактора и снижение количества передач в трансмиссии, что повышает энерго-ресурсосбережение в АПК.*

*The article describes the classification of GAD, given their comparative analysis. It is shown that the use of GAD provides increased durability and performance of the tractor and reduce the number of gears in the transmission, which increases energy and provision of resources in agriculture.*

Перспективным направлением совершенствования тракторов является применение бесступенчатых передач, которые обеспечивают автоматическое непрерывное регулирование передаточного числа и повышение на этой основе производительности трактора. Наиболее целесообразное применение, в силу ряда преимуществ, нашли гидродинамические передачи, которые делятся на гидромуфты и гидротрансформаторы и имеют следующие достоинства: обеспечивают идеально плавное трогание и разгон трактора, гасят крутильные колебания коленчатого вала двигателя, снижают динамические нагрузки в тракторе, облегчают управление троганием и остановкой трактора с помощью только педали управления подачей топлива. К недостатку обычно относят низкий КПД (0,87...0,92). Это объясняется тем, что в ГТР происходит двойное преобразование одного вида энергии в другой.

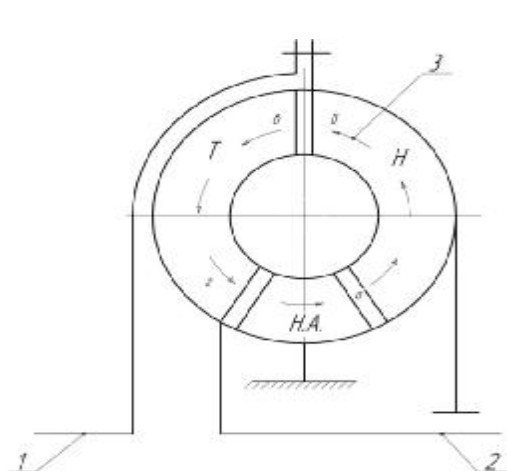
Гидромуфта (ГМ) имеет два колеса: насосное и турбинное. Её основным свойством является равенство моментов на насосном  $M_1$  и турбинном колёсах  $M_2$ .

Гидродинамический трансформатор (ГТР) имеет три колеса: насосное (Н), турбинное (Т), и направляющий аппарат (Н.А.). Основным свойством ГТР является преобразование (изменение) крутящего момента, т.е.  $M_2 > M_1$ . Трансформирующие свойства ГТР оцениваются коэффициентом трансформации  $K = M_2/M_1$ . В существующих ГТР тракторов коэффициент «К» находится в пределах 2,8...4,5 (умеренные преобразующие свойства). Таким образом ГТР частично выполняет функции трансмиссии трактора, а применение его более предпочтительнее.

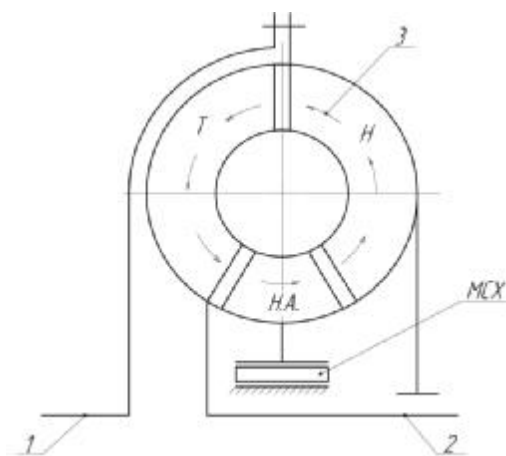
Классификация ГТР. По способу закрепления направляющего аппарата ГТР бывают простые и комплексные; по количеству направляющих аппаратов комплексные ГТР бывают одно- и двухреакторные; по наличию блокировочного устройства ГТР бывают неблокируемые и блокируемые; по количеству ступеней турбинного колеса ГТР бывают одно- и многоступенчатые.

На рисунке 1 показана схема простого ГТР. У него направляющий аппарат всегда неподвижен и ГТР во всем диапазоне нагрузок работает в режиме трансформации крутящего момента.

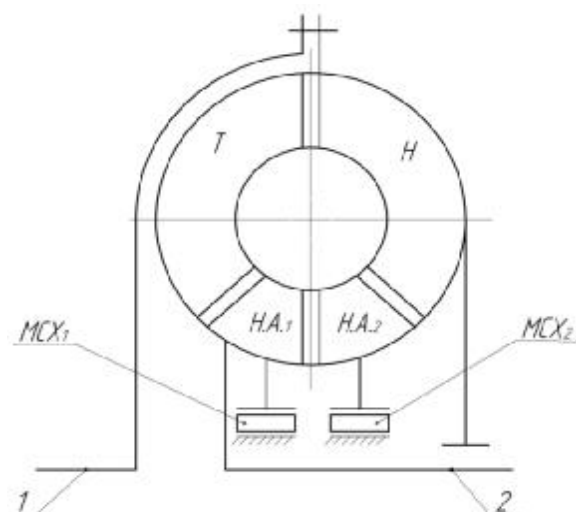
На рисунке 2 показана схема комплексного однореакторного ГТР. У него направляющий аппарат установлена муфта свободного хода (МСХ). МСХ устроена таким образом, что при больших и средних нагрузках, когда от ГТР нужны преобразующие свойства, она удерживает направляющий аппарат от вращения. При малых нагрузках, когда достаточно передавать крутящий момент без изменения, МСХ освобождает направляющий аппарат и ГТР переходит в режим работы ГМ. При этом КПД ГТР возрастает и рабочая зона за счет этого расширяется в сторону увеличивающегося КПД.



**Рисунок 1 – Схема устройства и работы ГТР**



**Рисунок 2 – Схема комплексного однореакторного ГТР**



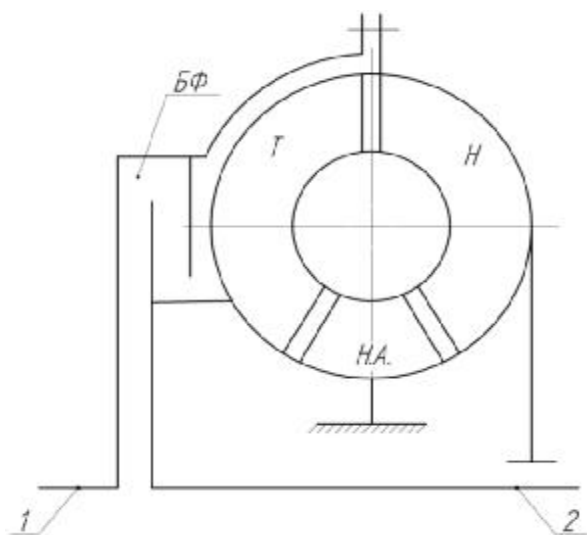
**Рисунок 3 – Схема комплексного двухреакторного ГТР**

На рисунке 3 показана схема комплексного двухреакторного ГТР, который имеет два направляющих аппарата ( $Н.А.1$  и  $Н.А.2$ ), каждый из которых установлен на своей муфте свободного хода ( $МСХ1$  и  $МСХ2$ ). МСХ устроены таким образом, что при больших нагрузках оба направляющих аппарата неподвижны, при средних нагрузках освобождается первый направляющий аппарат. В обоих случаях ГТР работает в режиме трансформации крутящего момента, но с разным КПД. При малых нагрузках освобождается и второй направляющий аппарат, ГТР переходит в режим ГМ. В итоге этот ГТР имеет более широкую рабочую зону.

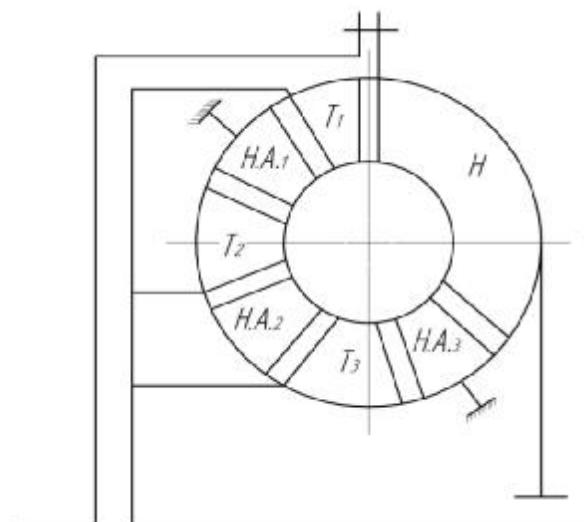
На рисунке 4 показана схема блокируемого ГТР, который в отличие от предыдущих имеет блокировочное устройство. В этой схеме в качестве блокировочного устройства применен блокировочный фрикцион (БФ). Когда на

трактор действуют постоянно изменяющиеся нагрузки то ГТР должен работать в режиме трансформации крутящего момента. В этом случае БФ выключают. При постоянных нагрузках на трактор достаточно, чтобы ГТР просто передавал крутящий момент без изменений. В этом случае БФ включают. Тогда крутящий момент передается механическим путем от вала 1 к валу 2.

На рисунке 5 показана схема трехступенчатого ГТР. У этого ГТР имеется три ступени турбинного колеса  $T_1, T_2, T_3$ .



**Рисунок 4 –  
Схема блокируемого ГТР**



**Рисунок 5 – Схема  
трехступенчатого ГТР**

Между каждой ступенью установлена ступень направляющего аппарата  $Н.А.1, Н.А.2, Н.А.3$ . У многоступенчатого ГТР преобразующие свойства ГТР высокие и коэффициент трансформации «К» выше, чем у одноступенчатого (рис. 1 - 4) и находится в пределах от 4,7 до 7,5. Многоступенчатые ГТР имеют более низкий КПД, чем одноступенчатые, их применяют в основном на судах для увеличения крутящего момента в приводе к гребному винту. На тракторах целесообразно применять комплексные двухреакторные, одноступенчатые, блокируемые ГТР. Они имеют наиболее высокий КПД и умеренные преобразующие свойства. Применение таких ГТР обеспечивает высокую производительность и экономичность трактора, снижение количества передач в механической части трансмиссии, что в итоге направлено на энерго-ресурсосбережение в АПК.

#### Список литературы

1. Ефимов М.А. «Основы теории и расчета бесступенчатых передач тракторов. Учебное пособие, Орёл, 2001г.

**Ефимов Михаил Александрович**, канд. техн. наук, профессор кафедры "ЭМТП и тракторы" ОрёлГАУ, т. 76-17-54.

**Зайкин Иван Юрьевич**, студент ОрёлГАУ, [vanya-xuliga@mail.ru](mailto:vanya-xuliga@mail.ru).

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ (ГТР) И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТРАКТОРЕ

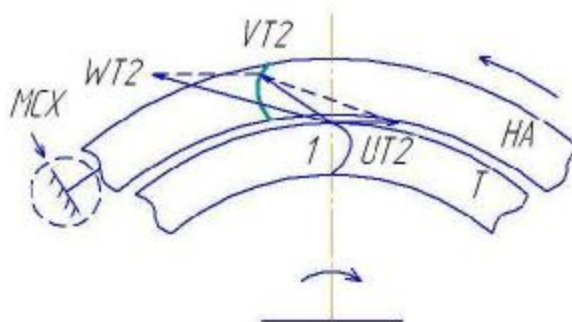
**Ефимов М.А., Петриков И.А.**  
Россия, г. Орёл, ОрёлГАУ

*В статье исследована работа комплексного ГТР и его внутренняя автоматичность. Показано что с изменением нагрузки на трактор автоматически изменяется крутящий момент на турбинном колесе, а в комплексном ГТР, кроме того, происходит автоматический переход с одного режима работы в другой. В результате этого оптимизируется производительность трактора.*

*The paper studies the complex work of GAD and its internal automaticity. It is shown that a change in the load on the tractor automatically adjusts the torque to the turbine wheel, and in the complex GAD, moreover, there is an automatic transition from one mode to another. As a result, this optimizes the performance of the tractor.*

Как известно, комплексный ГТР, в зависимости от количества направляющих аппаратов и муфт свободного хода (МСХ), может работать в двух или трех режимах в зависимости от нагрузки.

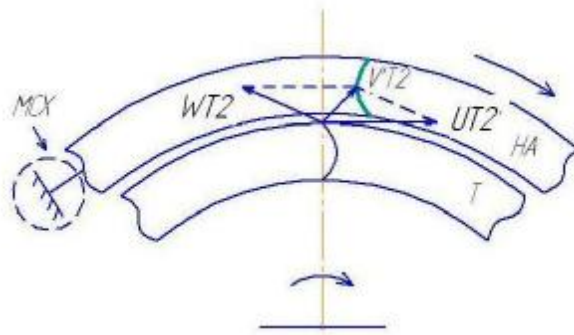
МСХ устроена таким образом, что при повороте направляющего аппарата ГТР против часовой стрелки он оказывается неподвижным и ГТР работает в режиме трансформации крутящего момента. При повороте НА по часовой стрелке МСХ освобождает НА и ГТР работает в режиме гидромufты. Направление вращения направляющего аппарата зависит от направления движения жидкости, поступающей из турбинного колеса, которое, в свою очередь, зависит от нагрузки на трактор.



**Рисунок 1 – План скоростей движения жидкости  
на выходе из турбинного колеса при большой нагрузке**

Рассмотрим как изменяется план скоростей движения жидкости на выходе из турбинного колеса в зависимости от нагрузки на трактор. На рисунке 1 показан план скоростей для большой нагрузки. МСХ схематично заменена стержнем – стенкой. Вектор переносной скорости  $U_{T2}$  на выходе из турбинного колеса направлен по касательной к окружности в точке 1. Вектор относительной скорости  $W_{T2}$  направлен по касательной к профилю лопатки в точке 1. Величина вектора  $U_{T2}$  зависит от частоты вращения турбинного колеса  $n_2$ . При большой нагрузке на турбинное колесо Т частота вращения турбинного колеса  $n_2$  небольшая и следовательно вектор скорости  $U_{T2}$  также небольшой (см. рисунок 1). Вектор скорости  $W_{T2}$  зависит от секундного расхода жидкости в межлопаточном пространстве, который всегда постоянен. Следовательно, величина вектора скорости  $W_{T2}$  не зависит от частоты вращения  $n_2$  и тоже постоянна. На самом деле, жидкость на выходе из турбинного колеса движется с абсолютной скоростью  $V_{T2}$ , величину и направление которой получают путем векторного сложения двух векторов скоростей  $U_{T2}$  и  $W_{T2}$ .

Как видно из рисунка 1, при большой нагрузке вектор скорости  $V_{T2}$  направлен на направляющий аппарат против часовой стрелки и направляющий аппарат неподвижен.



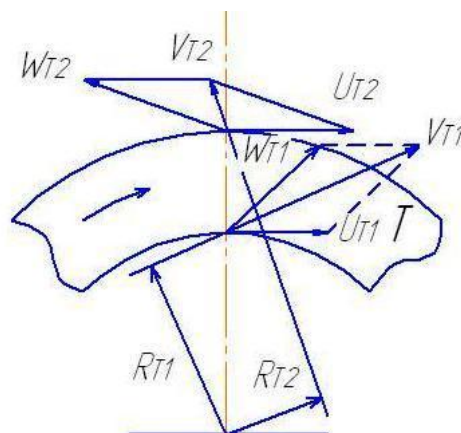
**Рисунок 2 – План скоростей движения жидкости на выходе из турбинного колеса при малой нагрузке**

При уменьшении нагрузки на турбинное колесо, частота вращения  $n_2$  увеличивается и план скоростей движения жидкости на выходе из турбины изменяется (см. рисунок 2). Вектор переносной скорости  $U'_{T2}$  увеличивается, что приводит к изменению направления вектора абсолютной скорости движения жидкости  $V'_{T2}$ , который направлен теперь на направляющий аппарат по часовой стрелке. Направляющий аппарат освобождается муфтой свободного хода и ГТР переходит в режим работы гидромуфты. Перевод работы с режима трансформации крутящего момента в режим гидромуфты позволяет расширить рабочую зону ГТР и увеличить его КПД. Для трактора это дает повышение его производительности и позволяет уменьшить количество передач в механической части трансмиссии. Все это в целом направлено на ресурсосбережение и повышение эффективности работы трактора.

ГТР обладает внутренней автоматичностью, благодаря которой он получил широкое применение на тракторах.

Для раскрытия сущности внутренней автоматичности ГТР на рисунке 3 представлен план скоростей движения жидкости на входе в турбинное колесо и на выходе из него. Как известно из теории лопаточных машин крутящий момент на турбинном колесе  $M_2$  равен разности моментов количества движения секундного расхода жидкости на выходе из турбинного колеса и на входе в него, что записывается в виде следующей формулы:

$$M_2 = Q \cdot r(V_{T2} \cdot R_{T2} - V_{T1} \cdot R_{T1}), \quad (1)$$



**Рисунок 3 – План скоростей движения жидкости на турбинном колесе**



где  $R_{T1}$  и  $R_{T2}$  – плечи векторов абсолютных скоростей движения жидкости на выходе  $V_{T2}$  из турбинного колеса и на входе в него  $V_{T1}$  соответственно;

$Q$  – секундный расход жидкости, движущейся в межлопаточном пространстве турбинного колеса, л/с;

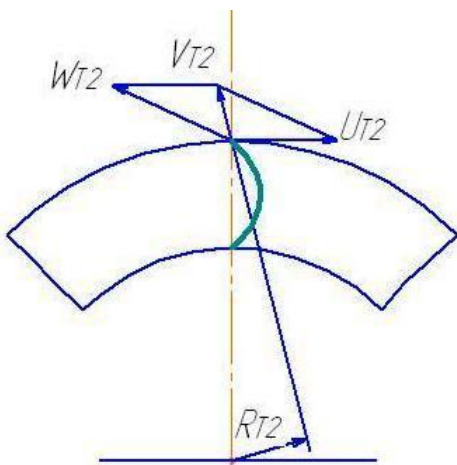
$\rho$  – плотность жидкости.

На рисунке 4 показаны планы скоростей движения жидкости на выходе из турбинного колеса при малой (рис. 4.а) и большой нагрузке (рис. 4.б)

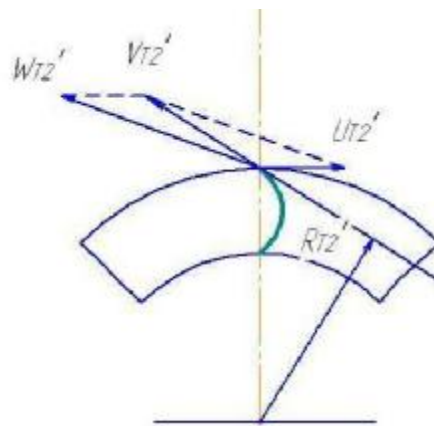
С увеличением нагрузки на турбинное колесо частота вращения  $n_2$  уменьшается, что приводит к уменьшению вектора переносной скорости на выходе из турбинного колеса  $U'_{T2}$ . Вектор абсолютной скорости  $V'_{T2}$  и плечо  $R'_{T2}$  автоматически увеличивается, что приводит к увеличению произведения  $V'_{T2} \cdot R'_{T2}$  и крутящего момента  $M'_2$  в формуле (1).

Следовательно при увеличении нагрузки на турбинное колесо крутящий момент  $M'_2$  также увеличивается ( $M'_2 > M_2$ ).

В этом и заключается сущность внутренней автоматичности ГТР.



**Рисунок 4.а – План скоростей при малой нагрузке**



**Рисунок 4.б – План скоростей при большой нагрузке**

Автоматическое бесступенчатое регулирование передаточного числа трансмиссии, имеющей ГТР, позволяет эксплуатировать двигатель внутреннего сгорания в наиболее выгодном режиме, при котором он развивает максимальную эффективную мощность. Это, в свою очередь, обеспечивает максимальную производительность работы трактора, облегчает трактористу управление двигателем и в целом трактором, снижает утомляемость оператора, что дополнительно повышает производительность трактора. Опыт эксплуатации установлен, что применение ГТР повышает производительность трактора примерно на 30%.

#### Список литературы

1. Ефимов М. А. Основы теории бесступенчатых передач тракторов. г. Орёл, 2001 г.

**Ефимов Михаил Александрович**, канд. техн. наук, профессор кафедры «ЭМТП и тракторы» ОрёлГАУ, т. 76-17-54.

**Петриков Иван Александрович**, студент ОрёлГАУ, e-mail: [i.petrikoff@yandex.ru](mailto:i.petrikoff@yandex.ru).

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ОБЪЕКТОВ АПК****Гончаренко Г.А.**

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

**Карнаухова Л.Н.**

Россия, г. Орёл, ГУ «ОрёлРЦЭ»

*Проведен анализ техногенных опасностей электроустановок зданий. Показано, что наиболее «слабым звеном» являются электропроводки, в которых происходит подавляющее число электропоражений и пожаров. Обоснована кинетическая модель старения и разрушения изоляционных и токопроводящих частей электропроводки. Построена блок-схема оценки и прогнозирования остаточного ресурса.*

*Analysis of technogenic dangers of electrical installations of buildings. Shows that the weak link is the wiring in which a vast number of electroporazhenij and fires. Is kinetic model of aging and destruction of insulation and conductive parts of the electrical installation. Is a block diagram of the estimation and forecasting residual resource.*

Бесперебойное электроснабжение сельских электропотребителей невозможно без надежной работы внутренних электрических сетей (электропроводки), проложенных в производственных зданиях и объектах инфраструктуры населенных пунктов. В процессе эксплуатации электропроводка подвергается различным тепловым, электрическим и механическим нагрузкам, негативным влияниям факторов внешней среды, что приводит к ускоренному старению, деградации и выходу из строя: возникают пробой изоляции и разрыв электрических цепей. Аварии в системе электроснабжения приводят не только к прекращению производственных процессов, но и к возникновению электропоражений людей и животных, пожарам.

Значительная часть отказов электропроводки связана с локальным старением изоляции, снижением ее электрической прочности, вызванной абсорбцией и поляризацией, повреждением проводников и их контактных соединений. В условиях сельского хозяйства многие технологические процессы осуществляются либо на открытом воздухе, либо в неотапливаемых помещениях, либо в условиях высокой температуры и влажности, например, котельные. Все это приводит к преждевременному физическому износу электропроводки, в результате чего электропроводка становится не безопасной и потенциально аварийной. Положение усугубляется тем, что электропроводка зданий и сооружений, построенных более 40 – 50 лет выработала свой нормативный ресурс (таких зданий в аграрном секторе страны составляет порядка 80% от общего их числа). Об этом красноречиво свидетельствуют статистические данные по пожарам от электроустановок, на долю которых приходится более 30%. Убытки, связанные с производственным травматизмом (включая электротравматизм) составляют в РФ свыше 160 млн. долл. США в год, в том числе расходы по возмещению пострадавшим или погибшим [1]. Анализ распределения техногенных опасностей по тяжести последствий и по видам приведены в таблицах 1 и 2 [1], из которых следует, что почти три четверти всех аварий приходится на объектовые и локальные. Причем доля пожаров составляет более 80% всех возникших техногенных аварий. Таким образом, обеспечение надежности и безопасности электроустановок при усилении интенсивности режимов работы, сложности условий эксплуатации и отсутствия квалифицированного обслуживающего персонала (например, в эксплуатации бытовых электроустановок принимает участие практически все население страны) является в настоящее время первостепенным. Добавим к этому, что существующей практикой эксплуатации объектов сельской электроэнергетики игнорируется проведение профилактических мероприятий, направленных на предотвращение аварийных ситуаций на ранних стадиях развития повреждения, ограничиваясь при этом лишь фактом обнаружения того или иного дефекта. Причем выбор управленческого решения осуществляется

в условиях неопределенности исходных данных, который обусловлен наличием многих случайных факторов, не поддающихся количественной оценке.

Таблица 1– Распределение техногенных опасностей по тяжести последствий

Класс опасностей	Годы				Всего	Статистические характеристики	
	1997	1998	1999	2000		Среднее	Доля
Локальные (объективные)	871	674	614	434	2593	648	0,72
Местные	249	233	218	161	861	215	0,24
Территориальные	49	45	24	9	127	32	0,04
Региональные	2	2	0	1	5	1,25	0,001
Федеральные	2	1	0	1	4	1,0	0,001

Таблица 2 – Распределение техногенных опасностей по видам

Виды опасностей по источникам возникновения	Годы					Статистические характеристики		
	1996	1997	1998	1999	2000	среднее	$\sigma$	$\nu$
Пожары в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании (в т.ч. электроустановках)	332	250	114	79	54	165	125	0,75
Пожары в зданиях и сооружениях социально-бытового назначения	289	304	215	288	181	265	94,3	0,36
Аварии в электроэнергетическом комплексе			25	22	21	22,6	2,04	0,09
Аварии в системе ЖКХ	68	114	120	29	24	71	52,5	0,74

Эффективность эксплуатации электроустановок должна определяться в первую очередь обеспечением надежности и безопасности при возможности увеличения остаточного ресурса при приемлемых затратах на техническое обслуживание и ремонт. Такая задача решается методами повышения надежности технических систем, инструментальными средствами диагностики и путем прогнозирования остаточного ресурса [2].

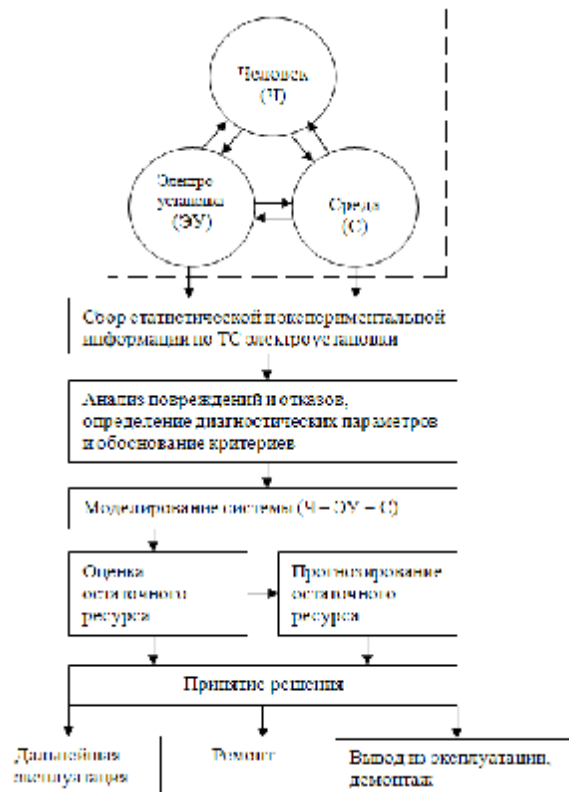
В соответствии с [3] на рис. 1 приведена блок-схема оценки и прогнозирования остаточного ресурса электроустановки (или ее элемента – электропроводки). Обследование объекта предполагает сбор статистической информации об авариях и отказах и о физическом состоянии электроустановки, определение диагностических параметров, характеризующих техническое состояние (ТС) объекта.

Здесь техногенную безопасность (или опасность) будем рассматривать как результат взаимодействия компонентов системы (Ч – ЭУ – С). Под «человеком» - (Ч) условимся понимать электротехнический персонал в условиях производства, или население, обслуживающее бытовые электроустановки. «Электроустановка» - (ЭУ), связанная с технологическими процессами передачи, распределения и потребления электроэнергии, рассматривается как источник опасностей. «Среда» - (С) (внутренняя) является пространством, в котором непосредственно находится система (Ч – ЭУ – С), и «внешняя» - то, что не входит в нее, но может влиять на ее функционирование.

Опасность будем интерпретировать как возможность системы причинения какого-либо ущерба (материального, социального, экологического).

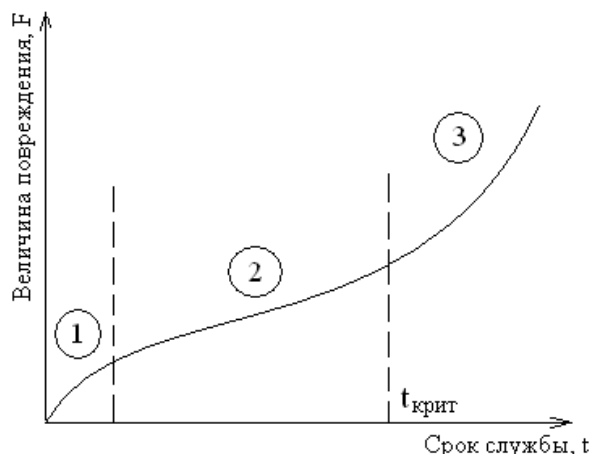
Математическое моделирование системы должно быть построено на принципах описания физических процессов старения и деградации проводящих и изолирующих частей электропроводки с последующим составлением статистических временных рядов, учитывающих результаты наблюдения за техническим состоянием электропроводки на основе периодического измерения диагностических параметров. Полученная таким образом математическая модель позволяет прогнозировать момент наступления многопараметрического отказа электропроводки, что дает возможность на ранних стадиях предвидеть возникновение электропоражения или пожара и обеспечить своевременное принятие мер по недопущению опасных техногенных ситуаций. Отметим, что в настоящее время техническое состояние электроустановки оценивается путем расчета вероятностных характеристик надежности, представляющих собой точечные статистические оценки (наработка на отказ, вероятность безотказной работы и др.). По этим данным строится некая усредненная модель процесса деградации и отказа. Такая модель не позволяет оценить ресурс и прогнозировать развитие неисправностей при изменяющихся условиях среды. Наблюдающийся в таком случае неизбежный разброс параметров надежности искажает оценку и прогноз остаточного ресурса, что может привести с одной стороны к невыявленным опасностям, с другой – неоправданным затратам на техническое обслуживание.

Остаточный ресурс электропроводки может быть определен на основе упрощенных методов прогнозирования, когда имеется некоторый объем информации по основным диагностирующим параметрам за период эксплуатации  $t$ . Вид функции  $F(t)$ , характеризующий остаточный ресурс, зависит от многих факторов, важнейшими из которых является механизм и характер разрушения (электрический, тепловой, динамический, коррозия, абсорбция, поляризация, сплошной, локальный). При этом часть из этих факторов можно отнести к детерминистическим, физическая природа которых известна, например, деградационные процессы в контактных соединениях электрических сетей подчиняются второму закону Фика и описываются известными дифференциальными уравнениями [4]. Другая часть факторов или параметров являются случайными, например, характеризующая среду, и они подчиняются статистическим распределениям и оценкам. Имеются также факторы, которые не поддаются учету и количественной оценке, т.е. отсутствуют достоверные статистические данные о диагностирующих параметрах электропроводки, микроклимате, обслуживающем персонале. В этом случае может быть использован подход, который предполагает неопределенность исходных данных интерпретировать как некую информацию в виде нечеткого множества [5]. Такая процедура сводится к замене точечных оценок вероятностей конкретных промежуточных событий (предпосылок), формирующих главное событие (аварию, электропоражение и др.), их интервальными оценками, выраженными в форме нечетких чисел.



**Рисунок 1 – Блок-схема оценки и прогнозирования остаточного ресурса**

Представим кинетическую модель  $F(t)$  старения и разрушения электропроводки производственного объекта в зависимости от времени эксплуатации (рис. 2). Выделим здесь три характерных периода. В первом начальном периоде эксплуатации (период



**Рисунок 2 – Кинетическая модель  $F(t)$  старения и разрушения электропроводки**

приработки) функция  $F(t)$  возрастает монотонно по экспоненте. При этом в конце периода происходит замедление роста и наступает второй период, когда функция  $F(t)$  становится почти линейной – наблюдается стабильная интенсивность старения электропроводки с постоянной скоростью. В третьем периоде по мере накопления повреждений скорость разрушения начинает увеличиваться и возрастает до полного разрушения (выход из строя, отказ).

Относительная продолжительность этого периода в зависимости от условий эксплуатации при разных видах разрушений может быть различной. Так,

при наличии агрессивной среды, повышенной влажности и колебания температуры (например, в животноводческих помещениях) процесс разрушения электропроводки является более интенсивным и первый период (так называемый инкубационный, когда происходит накопление повреждений) может перейти сразу в третий. При определенных условиях (в случае умеренных воздействий факторов внешней среды или наличия технического обслуживания электроустановок) третий период также может отсутствовать (электроустановка снимается с эксплуатации до возникновения ее критического состояния). Таким образом, прогнозирование остаточного ресурса электропроводки может осуществляться в области первого и второго периода, рассматривая их как квазилинейную функцию.

Будем считать, что предельное состояние электропроводки определяется некоторыми численными значениями диагностических параметров, характеризующих токопроводящие и изоляционные ее свойства. В качестве диагностических параметров примем:

для проводников:

- сопротивление целостности электрической цепи ( $R_{ц}$ );
- активное сопротивление контактного соединения ( $R_{конт}$ );
- температура контактного (переходного) сопротивления ( $T_{конт}^0$ ).

для изоляции:

- сопротивление изоляции ( $R_{из}$ );
- ток утечки на землю ( $I_{ут}$ );
- коэффициент абсорбции ( $K_{абс}$ );
- коэффициент поляризации ( $K_{пол}$ ).

Отметим, что показатели предельных состояний электропроводки могут быть как качественными (наличие трещин, частичные разрывы цепи тока, обугливание и т.д.), определяемые визуально-оптическими способами, так и количественными, значения (интервал) которых устанавливаются соответствующими нормами.

Представим формализованное описание процесса старения и разрушения электропроводки в виде аддитивной схемы влияния факторов на форматирование значений временного ряда

$$F(t) = \sum_{j=1}^n a_j \sum_{j=1}^n f_j(t), (j = \overline{1,7}), \quad (1)$$

где  $F(t)$  – функционал (тренд), характеризующий тенденцию изменения ресурсного показателя в процессе старения и разрушения электропроводки;

$f_j(t)$  – функция, характеризующая изменение  $j$ -го диагностического параметра;

$a_j$  – корректирующий коэффициент, который может принимать значения 1 или 0 в зависимости от того, участвует ли в формировании значений функции  $F(t)$ . Для установления этого факта необходимо проведение многокритериального анализа технического состояния электропроводки по данным экспериментальных исследований диагностических параметров, что позволит установить причинно-следственные связи между дефектами и признаками, характеризующими электроустановку.

#### Список литературы

1. Потапов Б.В. Экономика природного и техногенного рисков / Б.В. Потапов, Н.Н. Радаев – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс». 2001. – 516 с.
2. Бурков В.Н., Грищенко А.Ф., Кулик О.С. Задачи оптимального управления промышленной безопасностью / В.Н. Бурков, А.Ф. Грищенко, О.С. Кулик – М.: ИТУ РАН, 2000, - 70 с.
3. ГОСТ Р 51901 – 2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.
4. Наумов А.Е. Система прогнозирования остаточного ресурса электроконтактных соединений в эксплуатации на основе мониторинга ресурсного параметра / А.Е. Наумов// Научное программное обеспечение в образовании и научных исследованиях: труды научно-технической конференции СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2008, - С. 219 – 220.
5. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей // Приложение к представлению знаний в информатике: пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1990, - 288 с.

**Гончаренко Георгий Александрович**, аспирант кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, E-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru)  
**Карнаухова Любовь Николаевна**, ведущий инженер ГУ «ОрёлРЦЭ», тел. 8(4862) 419830

УДК 631.3.658.382

### КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

**Черкасова Н.И.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Семичевский П.И.**

*Россия, г. Москва, МГАУ*

*Рассмотрены аварийные и нормальные эксплуатационные режимы электроустановок, приводящие к электропоражению и электропатологии крупного рогатого скота на фермах. Рассмотрены принципы построения комплексной системы обеспечения электробезопасности животных.*

*Considered normal operating modes and emergency electrical installations, resulting in èlektroporaženiû and èlektropatologii of cattle on farms. The principles of building an integrated system to ensure electrical safety.*

Проблема электробезопасности сельскохозяйственных животных при использовании электроэнергии на фермах требует пристального внимания.

Протяженные металлические части (трубы системы автопоения и вакуумных насосов, навозоуборочные транспортеры, рельсовые пути и др.), соединенные с нулевым проводом, хорошо проводящий пол, агрессивные пары и газы, а также повышенная влажность воздуха способствуют поражению электрическим током.

Поражение животных возникает, главным образом, при попадании электрического потенциала на открытые и сторонние проводящие части. Установлено, что около 50% животных были поражены в результате контакта с автопоилками при однофазных коротких замыканиях, 30% - при выносе потенциала по нулевому проводу, 2% - при ошибочном подключении к корпусам электродвигателей фазного провода вместо нулевого. Кроме того, животные поражались электрическим током при обрыве фазного провода сети 0,38 кВ и замыкании его на землю (11%) а также из-за нарушения правил техники безопасности при подключении сварочных аппаратов (7%). [1].

Для определения напряжения прикосновения при различных случаях электротравмирования были рассмотрены наиболее характерные схемы аварийных режимов. Установлено, что напряжение прикосновения может достигать от 30 до 4000 В.

Время отключения короткого замыкания электрической защитой может достигать нескольких десятков секунд, что создает смертельную опасность для животных.

В качестве поражающих факторов обычно принимается напряжение прикосновения и шаговое напряжение. Естественно, что в обоих случаях поражение вызывается током, протекающим по телу животного. Величина тока и время его воздействия определяют характер поражения.

В сельскохозяйственных и животноводческих помещениях для обеспечения безопасности животных установлены следующие нормы [2].

В нормальном режиме электроустановок в зоне размещения животных предельно допустимое напряжение прикосновения для исключения электропатологии не должно превышать 0,2 В.

В аварийном режиме электроустановки напряжение прикосновения не должно превышать значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Нормированные значения напряжения прикосновения для животных

Время возможного воздействия напряжения прикосновения, с	Наибольшее допустимое напряжение прикосновения, В
0,2	150
0,5	100
1,0	75
5,0	35
10,0	25
Свыше 10	Не более 12

Необходимо иметь в виду, что на электрифицированных фермах существуют реальные условия для постоянного или периодического воздействия на животных малых электрических напряжений, которые возникают на трубопроводах и металлоконструкциях из-за падения напряжения в нулевом проводе, вызванного несимметричным режимом нагрузки.

В таблице 2 приведены условия электропоражения сельскохозяйственных животных (коров) на фермах.

Некоторые данные свидетельствуют о том, что на фермах КРС в течение суток напряжение на металлоконструкциях может достигать 2,5 ... 16 В [3]. Такое

напряжение не вызывает смертельных исходов, но может оказать определенное негативное воздействие на животных. Имеются данные, указывающие на снижение удойности коров на 20 ... 30% [4], задержки молокоотдачи [5]. Отмечается также, что при постоянном воздействии на животных напряжения 1 В, появляющееся на автопоилках, вызывает угнетающее воздействие, приводящее к безуспешной попытке потребления воды [6].

Отмеченное обстоятельство явилось основанием для рассмотрения проблемы электробезопасности животных не только с позиции защиты от электропоражения, но и устранения электропатологий крупного рогатого скота. При этом под электропатологией условимся понимать снижение продуктивности животных (уменьшение молокоотдачи и качества молока у дойных коров, снижение прироста веса находящегося на откорме животного) под воздействием малых электрических напряжений.

Таблица 2 – Ситуации, приводящие к электропоражениям животных

Аварийный режим в электрической сети	Ситуация, приводящая к электропоражению животных
<p>Однофазное короткое замыкание на землю в сети напряжением до 1000 В, включая обрыв и падение проводов воздушной линии (ВЛ). Замыкание на землю на стороне высокого напряжения на подстанциях 6/0,4, 10/0,4 и 35/0,4 кВ. Замыкание на землю в ВЛ напряжением 10 и 35 кВ.</p>	<p>Вынос электрического потенциала на заземленные (зануленные) металлоконструкции животноводческого помещения. Воздействие на животных напряжения прикосновения и шагового напряжения</p>
<p>Однофазное короткое замыкание на корпус в сети напряжением до 1000 В. Замыкание на землю на стороне высокого напряжения на подстанции глубокого ввода напряжением 110 кВ. Замыкание на землю ВЛ напряжением 110 кВ глубокого ввода.</p>	<p>Существование аварийного режима более 0,5 с из-за неэффективной работы электрической защиты.</p>

В таблице 3 приведены условия возникновения электропатологий животных.

Таблица 3 – Условия возникновения электропатологий животных

Нормальный эксплуатационный режим	Ситуация, приводящая к электропатологии
Несимметричный режим трехфазной электрической сети при смешанной нагрузке	Появление на корпусах электрооборудования и заземленных металлоконструкциях малых электрических потенциалов
Занос электрического потенциала по нулевому проводу линии 0,38 кВ извне на все зануленные металлоконструкции животноводческого помещения	Воздействие на животных напряжения прикосновения и шагового напряжения

Решение проблемы комплексной электробезопасности животных, на наш взгляд, должно идти по двум направлениям:

- обоснование пороговых (минимальных) значений электрического тока и напряжения, вызывающих какие-либо регистрируемые изменения функционального состояния организма животных;



- изучение характера влияния функциональных изменений, обусловленных действием тока, на продуктивность животных.

Термин «пороговый ток» должен означать минимальную величину электрического тока, проходящего через организм животного, и способную вызвать регистрируемую ответную реакцию при условии длительного воздействия. Известна попытка экспериментального определения «порогового тока» для крупного рогатого скота [6]. Авторы в качестве регистрируемой информации избрали двигательные и поведенческие реакции животных. Такой подход, на наш взгляд, представляется упрощенным, поскольку защитные реакции животных не могут быть использованы в качестве критериев оценки пороговых значений электрического тока, так как они вызваны его местным раздражающим влиянием на рецепторный аппарат кожи. Объективным критерием пороговых величин токов и напряжений может служить только комплексная оценка функциональных изменений основных систем жизнеобеспечения организма.

Анализ поражающих значений электрического тока показал, что наибольшей чувствительностью к нему обладают сердечно-сосудистая и дыхательная системы. Поэтому наиболее приемлемыми в качестве регистрируемой информации могут быть показатели, характеризующие функциональное состояние этих двух систем. Выявить тонкие изменения частоты биения и возбудимости сердца, циркуляторные реакции, изменения частоты и глубины дыхания позволяют электрокардиография, электроплевтизмография и пневмография.

Опыты, проведенные в Алтайском крае [7] позволили установить, что дойные коровы проявляют высокую чувствительность к электрическому току. При продолжительном воздействии на них малых напряжений (1 В) обнаружено снижение удоев на 10%, жирности молока на 7%, а также снижение содержания белка в молоке на 20%.

Целью проводимых исследований является разработка защитных мероприятий, исключающих превышение установленных значений потенциалов. В качестве таких мероприятий наиболее перспективным представляется применение комплексной защиты, включающей защитное отключение с выравниванием электрических потенциалов и с разделением нулевых рабочих и защитных проводов в распределительной сети 0,38 кВ. Разделение проводов исключает появление электрического напряжения на зануленном технологическом оборудовании из-за несимметрии нагрузки, так как нулевой рабочий провод не связан с металлоконструкциями. Система выравнивания потенциалов снижает до допустимых значений напряжения, наведенные блуждающими токами и токами короткого замыкания на металлоконструкциях. Необходимо отметить, что разделение нулевых рабочих и защитных проводов является обязательным условием для установки высокоэффективных устройств защитного отключения по току утечки, предназначенных для предотвращения электропоражений животных при коротком замыкании в электрооборудовании. Разделение нулевых рабочих и защитных проводов не связано со значительными материальными затратами, поскольку нередко требуется только изолировать нулевой рабочий провод от корпусов электрических аппаратов и щитов, роль защитного провода в этом случае выполнит система заземления.

#### Список литературы

1. Никольский О. К. Системы обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве / О. К. Никольский. – Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1977. – 192 с.
2. Основы электромагнитной совместимости: 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. – 2-е изд., перераб. и доп. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 470 с.

3. Дороченский В. Д. О защите крупного рогатого скота от поражения электрическим током / В. Д. Дороченский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 6. – С. 47-55.

4. Whittlestome W. G., Harper N., Electrical leakages on the Milking Machine may Reduce Milk Production, Milk Boord Vournal, Dee, 1962.

5. Мошиашвили И. Я. Причины задержки молока у коров при машинном доении / И. Я. Мошиашвили // Ветеринария. – 1961. – № 5. – С. 254-262.

6. Казимир А. П., Прудников Н. И. О вредном воздействии электрического напряжения на животных / А. П. Казимир, Н. И. Прудников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 6. – С. 40-46.

7. Васильев В. П., Киселев В. Д., Никольский О. К., Сошников А. А. Методика определения критериев электробезопасности сельскохозяйственных животных / В. П. Васильев, В. Д. Киселев, О. К. Никольский, А. А. Сошников // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1986. – № 6. – С. 92-100.

**Черкасова Нина Ильинична** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (38557) 5-98-75, e-mail: [4ercas@bk.ru](mailto:4ercas@bk.ru).

**Семичевский Петр Иванович** – канд. техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина, тел. (499) 976 36 40.

УДК: 621.31: 537.8

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АПК НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ**

**Воробьев Н.П., Сошников А.А., Компанец Б.С.**

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

*Рассмотрены вопросы развития и совершенствования технологий электрической и электромагнитной безопасности на основе количественной оценки показателей, характеризующих опасные проявления рассматриваемых процессов в АПК.*

*Questions of development and improvement of technologies of electric and electromagnetic safety on the basis of a quantitative assessment of the indicators characterizing dangerous manifestations of considered processes in agrarian and industrial complex are considered.*

Совершенствование технологий безопасности во всех отраслях народного хозяйства стало в последние годы одной из важнейших составляющих государственной политики. В АПК, прежде всего, следует отметить обеспечение электрической и пожарной безопасности электроустановок, а также относительно новое направление - защиту от электромагнитных излучений, возникающих в процессе использования современного информационно-технологического оборудования, новых электротехнологий, мобильных средств связи и т.п.

Развитие и совершенствования технологий безопасности целесообразно производить на основе количественной оценки показателей, характеризующих опасные проявления рассматриваемых процессов.

В частности, использование такого подхода для предупреждения пожаров от электроустановок низкого напряжения базируется на следующем.

Для автоматического отключения питания при неисправности электроустановки широко используются предохранители и автоматические выключатели, в функции

которых входит не только защита от аварийных режимов, но и предупреждение электропоражений людей и животных. Однако многолетний опыт эксплуатации электроустановок в сельском хозяйстве показал недостаточную эффективность такой защиты, как в части предупреждения электропожаров, так и обеспечения электробезопасности.

Одной из причин этого является сложность реализации чувствительной электрической защиты при низких значениях токов короткого замыкания (КЗ), характерных для сельских низковольтных сетей. Особенностью таких сетей является значительная протяженность воздушных линий, имеющих существенно большее сопротивление по сравнению с кабельными, а также относительно небольшая мощность силовых трансформаторов питающих подстанций. Поэтому токи КЗ имеют весьма малую кратность по отношению к параметрам срабатывания электрической защиты, что приводит к увеличению времени существования в сети опасных аварийных режимов и повышает вероятность пожаров даже при условии соответствия системы защиты нормируемым требованиям.

Во внутренних электропроводках высокую пожарную опасность представляют дуговые КЗ. При КЗ электрическая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла приводит к развитию пожара. Кроме того, действуя, как электросварка, дуга КЗ может пережечь электропроводку быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов.

Современные методики выбора электрической защиты не учитывают воздействие электрической дуги КЗ на электропроводки. Тем самым допускается возможность электропожара еще на этапе проектирования защиты. Для обеспечения пожарной безопасности электроустановок необходимы оценка функционирования и обоснование мероприятий по повышению эффективности электрической защиты, как меры предупреждения пожаров. С этой целью могут использоваться вероятностные методы оценки пожарной опасности КЗ.

С использованием этих методов в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) создана технология повышения безопасности электроустановок, основанная на автоматизированных методах выявления пожароопасных участков системы электроснабжения и выбора экономически целесообразных сочетаний параметров защиты от КЗ и электропроводок по условию наименьшей вероятности пожара [1].

Количественным критерием оценки противопожарной эффективности электрической защиты, определяющим условия пережога электропроводки током дугового КЗ, является коэффициент незащищенности участка сети для  $i$ -го вида КЗ. Этот коэффициент определяется отношением диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети (пропорциональным отношению соответствующих длин участков сети) и рассчитывается по формуле:

$$k_s^{нз(i)} = \delta l_s^{нпз(i)} = \frac{l_s^{нпз(i)}}{l_s}, \quad (1)$$

где  $l_s$  - длина  $s$ -го участка сети ( $s=1, 2, \dots, S$ );  $l_s^{нпз(i)}$  - длина зоны пережога для КЗ  $i$ -го вида на этом участке;  $\delta l_s^{нпз(i)}$  - доля незащищенной части  $s$ -го участка сети для  $i$ -го вида КЗ.

На основе этого показателя строится показатель, характеризующий пожарную опасность пережога в сети в целом для  $i$ -го вида КЗ. Он определяется как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети:

$$K^{нз(i)} = \Delta l^{нз(i)} = \frac{\sum_{s=1}^S l_s^{нз(i)}}{\sum_{s=1}^S l_s}, \quad (2)$$

где  $\Delta l^{нз(i)}$  - доля незащищенной части электрической сети для i-го вида КЗ;

$l_s^{нз(i)}$  - длина незащищенной части s-го участка сети.

С помощью показателей (1) и (2), можно сравнивать различные варианты систем защиты для одной и той же электрической сети.

Для практического использования методики принимаются следующие допущения:

- за время Т (обычно равное одному году) в сети происходит не более одного КЗ, причем вероятность i-го вида КЗ составляет  $P_T^{Ki}$ ;

- значение вероятности возникновения КЗ на s-ом участке сети  $P_{s,T}^{Ki}$  пропорционально доле протяженности участка сети:

$$P_{s,T}^{Ki} = P_T^{Ki} \frac{l_s}{\sum_{s=1}^S l_s} \quad (3)$$

На основе принятых допущений событие «пережог проводов в сети» оценивается вероятностью пережога проводов  $P_s^i(Прж)$  на одном из S участков сети за время Т для i-го вида КЗ:

$$P_s^i(Прж) = \sum_{s=1}^S P_{s,T}^{Ki} P_s^i(Прж / КЗ), \quad (4)$$

где  $P_s^i(Прж / КЗ)$  - условная вероятность пережога проводов при i-м виде КЗ на s-м участке сети.

Таким образом, возникновение пожара ставится в соответствие с явлением пережога электропроводки до срабатывания защиты.

С учетом изложенного, вероятность пожара  $P_s^{Ki}(П)$  от КЗ i-го вида на s-том участке сети в течение времени Т можно определить по формуле:

$$P_s^{Ki}(П) = P_{s,T}^{Ki} k_s^{нз(i)} Q_y Q_z Q_p Q_{T3}, \quad (5)$$

где  $Q_y$  - вероятность сосредоточения пожароопасного вещества (включая наличие горючей изоляции) вблизи электропроводки;  $Q_z$  - вероятность воспламенения пожароопасного вещества в результате воздействия электрической дуги или раскаленных частиц металла;  $Q_p$  - вероятность перерастания возникшего загорания в пожар;  $Q_{T3}$  - вероятность отказа системы пожаротушения.

В расчетах значения вероятностей  $Q_y$ ,  $Q_z$ ,  $Q_p$  и  $Q_{T3}$  принимаются равными единице, поэтому  $P_s^{Ki}(П)$  можно рассматривать в качестве показателя пожарной опасности i – го вида КЗ на s-ом участке электрической сети:

$$P_s^{Ki}(П) = P_{s,T}^{Ki} k_s^{нз(i)} \quad (6)$$

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

$$P^{Ki}(П) = P_T^{Ki} K^{нз(i)} \quad (7)$$

Может быть также рассчитан интегральный показатель пожарной опасности всех видов КЗ в электрической сети [1].

В основу рассмотренной методики положено сопоставление характеристик срабатывания аппаратов защиты (предохранителей или автоматических выключателей) и характеристик пережога электропроводки электрической дугой, полученных экспериментально в АлтГТУ.

Характеристики срабатывания аппаратов защиты задаются заводами-изготовителями с учетом разброса возможных значений. Реальное время срабатывания защиты за счет наличия зоны разброса может отличаться в несколько раз при одном и том же токе. Аналогичный разброс имеют и характеристики пережога электропроводок. В общем случае возможны как благоприятные, так и неблагоприятные сочетания характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки на различных участках электрической сети. В первом случае защита может иметь высокую эффективность. Во втором – крайне низкую.

Для обоснования выбора расчетных характеристик нами выполнены расчеты показателей пожарной опасности для различных вариантов электроснабжения и различных систем электрической защиты в сельских электроустановках [1]. Расчеты проводились для ПА-системы защиты (на основе предохранителей и автоматических выключателей) и ПАУ-системы защиты (с дополнительным использованием УЗО). При этом рассматривались верхние, средние и нижние характеристики срабатывания защиты и пережога электропроводки, обозначаемые далее соответственно **В**, **С**, **Н** в последовательности: для аппарата защиты – для пережога электропроводки.

Наибольшие показатели пожарной опасности дуговых КЗ соответствуют сочетанию характеристик: **В-Н**, и **С-Н**. Улучшение по величине показателей пожарной опасности КЗ, иногда значительное, обеспечивает сочетание характеристик **В-С**.

Меньшим значениям показателей пожарной опасности по сравнению с сочетанием **В-С** среди оставшихся характеристик соответствуют сочетания: **В-В**, **С-В**, **С-С** и **Н-С**. При этом наихудшая ситуация соответствует сочетанию **С-С**. При сочетаниях **В-В**, **С-В** и **Н-С** показатели пожарной опасности, по крайней мере, не хуже этих показателей для сочетания **С-С**.

При сочетании характеристик **Н-Н** возможны как высокие, так и низкие показатели пожарной опасности. При этом в случае высоких значений показатели пожарной опасности, по крайней мере, не хуже этих показателей при сочетаниях **В-Н**, и **С-Н**, а в случае низких значений они, по крайней мере, не лучше этих показателей для сочетания **С-С**.

По результатам расчетов показателей пожарной опасности для различных вариантов электроснабжения и различных систем электрической защиты сельскохозяйственного объекта определены способы повышения эффективности электрической защиты при благоприятных и неблагоприятных сочетаниях характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки.

Наиболее простым способом снижения пожарной опасности КЗ при **В-Н** и **В-С** сочетаниях характеристик является отбраковка автоматических выключателей с защитными характеристиками выше средней. Такая отбраковка может быть проведена перед монтажом аппаратов защиты, например, с помощью комплекта «РТ-2048 М», предназначенного для испытания автоматических выключателей.

Опасность однофазных КЗ на открытые проводящие части может быть устранена за счет применения УЗО, то есть использования ПАУ-систем защиты.

При неблагоприятных сочетаниях характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки для снижения опасности оставшихся видов КЗ могут быть предложены использование быстродействующих предохранителей (например, серии СН, производства Словении), а также частичная замена алюминиевой электропроводки, прежде всего на участках с наименьшими сечениями проводов. Алюминиевые провода сечением 2,5 мм<sup>2</sup> целесообразно исключить еще на этапе проектирования системы

электрооборудования, заменив их на медные и повысить тем самым пожарную безопасность при КЗ.

При рассмотрении вопросов обеспечения электромагнитной безопасности необходимо учитывать возможность одновременного влияния нескольких источников электромагнитного излучения (ЭМИ). Повышению уровня опасности способствует автоматизация и компьютеризация производственных и бытовых процессов, внедрение современных электротехнических изделий. ЭМИ могут создаваться также силовой и осветительной электропроводкой, электрическими распределительными щитами, электрическими лампами и т.п.

Для выбора эффективной защиты от ЭМИ необходимо обеспечивать контроль состояния электромагнитной обстановки. При этом количественным показателем степени ее опасности является наименьшее допустимое время пребывания человека в контролируемой зоне, соответствующее наиболее опасной составляющей действующих электромагнитных излучений. На этом подходе основан новый способ контроля электромагнитной безопасности [2], характеризуемый следующим [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 электромагнитного излучения от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля.

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

В процессе реализации способа:

- проводятся экспериментальные исследования уровней статических электрических полей, переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей в диапазоне частот и на расстоянии от центра каждой внешней поверхности каждого источника излучения, соответствующих требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов; при этом учитывают только наибольшие значения напряженностей электрического, магнитного полей и плотности потока энергии;

- определяется наименьшее допустимое время пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ в измеренных статических электрических полях и частотных диапазонах переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей;

- измеренные значения напряженностей электрических, магнитных полей и ППЭ, соответствующие наименьшему допустимому времени пребывания людей в зонах воздействия излучения от внешних поверхностей источников ЭМИ, используют для компьютерного моделирования пространственной картины электромагнитных излучений, а также сочетания различных видов излучений в исследуемом помещении;

- на основе результатов компьютерного моделирования получают картины уровней электрического, магнитного и электромагнитного полей во всех точках пространства объектов;

- с помощью полученной пространственной картины электромагнитных полей определяют области исследуемого пространства, характеризуемые превышением предельно-допустимых уровней исследуемых полей;

- о состоянии электромагнитной обстановки судят по полученной пространственной картине опасности ЭМИ, преобразуя узловые значения шкалы

напряженности электрического или магнитного полей или плотности потока энергии в узловые значения допустимого времени пребывания, формируя шкалу допустимого времени и заменяя шкалу поля на шкалу допустимого времени пребывания в опасных зонах объекта;

- полученную пространственную картину опасности ЭМИ используют в качестве карты допустимого времени пребывания людей в различных зонах исследуемого помещения, а также для проведения организационно-технических мероприятий по снижению степени влияния электромагнитных излучений на людей, находящихся в рассматриваемом помещении.

Моделирование электромагнитных полей позволяет решать задачи определения мероприятий по нормализации электромагнитной обстановки в помещениях с источниками ЭМИ, в том числе:

- выбор способов организации рабочих мест;
- выбор мер защиты от электромагнитного излучения;
- обоснование целесообразности замены оборудования.

#### Список литературы

1. Компанец, Б.С. Учет разброса характеристик аппаратов защиты при создании систем пожаробезопасности / Б.С. Компанец // Ползуновский вестник. - 2011.- № 2\2.- С. 32 – 36.

2. Пат. 2476894. Российская Федерация МПК<sup>7</sup> G 01 R 29/08. «Способ контроля электромагнитной безопасности» / Н.П. Воробьев, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Е.В. Титов / патентообладатель: ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; заявл. 07.04.2011; зарегистр. 27.02.2013 г.

3. Сошников, А.А. Электромагнитная безопасность технологических процессов АПК: монография / А.А. Сошников, О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, Е.В. Титов, И.Е. Мигалев. – Барнаул: типография АлтГТУ, 2012. – 110 с.

**Воробьев Николай Павлович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

**Сошников Александр Андреевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

**Компанец Борис Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: (385-2) 36-71-29, e-mail: [kompbs@mail.ru](mailto:kompbs@mail.ru).

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

**Гончаренко Г.А.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

*Предложен алгоритм оценки остаточного ресурса электропроводки зданий и сооружений, позволяющий обеспечить своевременное принятие мер по недопущению пожаров в них и минимизировать затраты на проведение ремонтов и замены электропроводки в зданиях и сооружениях.*

*The algorithm of an estimation of a residual resource of electroconducting of buildings and the constructions is offered, allowing to provide timely acceptance of measures on a non-admission of fires in them and to minimise expenses for carrying out of repairs and electroconducting replacement in buildings and constructions.*

В процессе эксплуатации электропроводки на нее, помимо электрической нагрузки, действуют химически активные элементы, повышенная влажность, циклические колебания температуры, приводящие к более интенсивному старению изоляции, что повышает пожарную опасность и уменьшает срок службы электропроводки.

Принято считать, что срок службы электропроводки целиком и полностью определяется материалом, из которого выполнены провода. Так, срок службы проводов из алюминия рассчитывают в 30 лет, для медных проводов этот промежуток времени еще больше. Определяя срок службы электропроводки, следует внимательно ознакомиться с одним из основных при производстве электромонтажа документов – Ведомственными строительными нормами (ВСН 58-88(р)), которые действуют и сейчас.

Согласно этим нормативам, продолжительность эксплуатации до замены или капитального ремонта для внутриквартирных сетей составляет при скрытой проводке в жилых зданиях 40 лет, при открытой – соответственно 25. Для внутридомовых магистральных сетей с распределительными щитками, используемых для электропитания квартир, и вводно-распределительных устройств эта величина существенно ниже – 20 лет. Еще ниже – 10 лет – временной порог, определяющий сроки замены или же капитального ремонта сетей, используемых для освещения мест коллективного пользования и помещений производственно-технических, а также для электрооборудования (например, выключателей или же штепсельных розеток).

Срок службы электропроводки для питания систем дымоудаления, лифтов, бытовых электроплит, встроенных в здания бойлерных и центральных тепlopунктов определяется ВСН 58-88(р) в 15 лет. [1]

Нами выявлены влияющие факторы, способствующие изменению технического состояния электропроводки, а значит, изменению ее остаточного ресурса. Такими факторами являются:

- целостность электрических цепей;
- сопротивление изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза";
- сопротивление контактных соединений, входящих в состав электропроводки;
- сопротивление цепи "фаза- защитный проводник РЕ";
- параметры устройств защитного отключения;
- полное сопротивление линии и контура;
- сопротивление заземляющих устройств;
- интегральное функциональное состояние электропроводки - экспертная оценка состояния электропроводки [2], базируется на декомпозиции функций и конструкций технического устройства, вводе единой шкалы уровней состояний и переходе от элементов конструкций и элементарных функций к интегральным оценкам;
- ожидаемый ток короткого замыкания;
- коэффициент абсорбции;
- коэффициент поляризации;



Перечисленные влияющие факторы разнородны, включают как численные значения, так и термы вида «соответствует», «не соответствует», «отсутствует» (для параметров устройств защитного отключения), «плохая», «хорошая», «превосходная» (по результатам измерения коэффициентов абсорбции и поляризации). Такую информацию трудно интерпретировать и обрабатывать, а тем более представлять ее в виде остаточного ресурса электропроводки, то есть времени, в годах.

В связи с чем для определения остаточного ресурса электропроводки нами предлагается алгоритм его формирования на основе системы нечеткой логики, который можно представить в виде последовательности операций:

1) разрабатывают систему нечеткой логики, например, на основе Fuzzy Logic пакета Matlab [3], входными параметрами которой являются перечисленные выше влияющие факторы, а выходным параметром – число, которое предлагается интерпретировать как остаточный ресурс электропроводки в годах;

2) параметрами скрипта, управляющего работой системы нечеткой логики, выбирают минимально возможные (с точки зрения качества электропроводки) влияющие факторы;

3) запускают систему нечеткой логики в командном окне Matlab и получают в нем же число, которому путем настройки скрипта, присваивают минимально возможное значение остаточного ресурса электропроводки (например, 0 лет);

4) параметрами скрипта, управляющего работой системы нечеткой логики, выбирают максимально возможные (с точки зрения качества электропроводки) влияющие факторы;

5) запускают систему нечеткой логики в командном окне Matlab и получают в нем же число, которому путем настройки скрипта, присваивают максимально возможное значение остаточного ресурса электропроводки (например, 30 лет, полагая, что электропроводка выполнена из алюминия);

6) параметрами скрипта, управляющего работой системы нечеткой логики, выбирают средние возможные (с точки зрения качества электропроводки) влияющие факторы;

7) запускают систему нечеткой логики в командном окне Matlab и получают в нем же число, которому путем настройки скрипта, присваивают среднее возможное значение остаточного ресурса электропроводки (например, 15 лет, полагая, что электропроводка выполнена из алюминия);

8) определяют реальные влияющие факторы, соответствующие, например, конкретному зданию или сооружению, путем измерения перечисленных выше влияющих факторов с помощью приборов (нами установлено, что оптимальным вариантом является использование приборов: MZC-200, MPI-525, MIC-1000, суммарная стоимость которых составляет 136 430 руб.), а также экспертно, по методике, изложенной в [2];

9) параметрами скрипта, управляющего работой системы нечеткой логики, выбирают реальные влияющие факторы;

10) запускают систему нечеткой логики в командном окне Matlab и получают в нем же число, которое принимают за реальное значение остаточного ресурса электропроводки, в годах (например, 12 лет).

Операцию 1 выполняют один раз. Последовательности операций с 2 по 7 выполняют один или несколько раз, настраивая систему нечеткой логики с учетом максимально допустимого по ВСН 58-88(р) срока службы электропроводки для каждого конкретного здания или сооружения. Так, если окажется, что все обследуемые здания и сооружения имеют одинаковый максимально допустимый по ВСН 58-88(р) срок службы электропроводки, то последовательности операций с 2 по 7 выполняют один раз.

Последовательности операций с 8 по 10 выполняют один раз после выполнения последовательности операций с 1 по 7.

В результате выполнения операции 10 в командном окне Matlab получают значение остаточного ресурса электропроводки, в годах, для конкретного здания или сооружения, на основе которого принимают решение о продолжительности эксплуатации до замены или капитального ремонта электрических сетей обследуемого здания или сооружения.

Разработанный алгоритм оценки остаточного ресурса электропроводки зданий и сооружений позволит обеспечить своевременное принятие мер по недопущению пожаров в них и минимизировать затраты на проведение ремонтов и замены электропроводки в зданиях и сооружениях.

#### Список литературы

1. Определение срока службы электрической проводки. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: [http://www.ip-link.ru/elektromontazh/srok\\_sluzhby\\_elektroprovodki.html](http://www.ip-link.ru/elektromontazh/srok_sluzhby_elektroprovodki.html) - Загл. с экрана.
2. Черкасова Н.И. Способ диагностики электропроводок зданий / Н.И. Черкасова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2012. – Вып. 11. - С. 171-176.
3. Штовба С.Д., Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/15.pdf> - Загл. с экрана.

**Гончаренко Георгий Александрович**, аспирант каф. электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. (83852) 36-71-29.

## **СЕКЦИЯ № 6. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Руководитель:

**Комаристый Александр Семенович**, кандедат экономических наук,  
доцент кафедры ЭиЭ ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

---

УДК 338.2+697.1

### **НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ - ВАЖНЕЙШИЙ ЭТАП ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА.**

**Пичугин И.Л.**

*Россия, Москва, НИУ ВПО МГСУ*

*В статье рассмотрены определения и классификации мониторинга. Применительно к системе теплоснабжения показана необходимость функционирования непрерывного мониторинга. Показаны условия для организации эффективного мониторинга. В авторской методике внедрения энергоменеджмента предложены два специфических вида мониторинга первого и второго уровня.*

*Ключевые слова: мониторинг, классификация, энергоаудит, энергоменеджмент, система теплоснабжения.*

*The article describes the definition and classification of monitoring. As applied to the heating system the necessity of continuous monitoring of the operation. Showing the conditions for effective monitoring. In the author's method of implementing energy management proposes two specific types of monitoring the first and second level.*

*Key words: monitoring, classification, energy audit, energy management, heating supply.*

Согласно толковому словарю иноязычных слов, мониторинг имеет два значения. Во-первых, это «наблюдение, оценка и прогноз состояния окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека» и второе – «систематическое наблюдение за каким-нибудь процессом с целью фиксировать соответствие (или несоответствие) результатов этого процесса первоначальным предположениям» [2]. Вторая трактовка предполагает возможность использования мониторинга в целях обеспечения эффективного энергосбережения, в частности, в системе теплоснабжения и является предпочтительной. Новейшие исследования в области энергоменеджмента показывают необходимость включения мониторинга в качестве самостоятельного этапа при проведении энергоаудита [3].

Мониторинг классифицируют по различным признакам [4]. В частности, выделяют несколько видов в зависимости от оснований: динамический, конкурентный, сравнительный, комплексный.

Динамический мониторинг рассматривает данные о динамике развития того или иного показателя, в частности, при мониторинговании теплоснабжения можно отслеживать показатели поставки тепловой энергии, или же производить перерасчет поставляемого объема в рублевом эквиваленте. Однако этот метод подходит лишь для относительно простых систем, поскольку, прежде всего, цель данного мониторинга заключается в предупреждении возможной опасности, а не в выявлении ее причин [4]. В основе конкурентного мониторинга лежат результаты такого же обследования иных систем. Одновременно исследуются подсистемы, образующие систему. На основе конкурентного мониторинга делают выводы о количественном потенциале той или иной опасности, степени ее критичности. В основе сравнительного мониторинга

берется аналогичное исследование систем иного уровня, по сути подбираются аналоги и, взяв их за базовую основу, исследуют текущий объект в сравнении. В основе комплексного мониторинга лежит использование сразу нескольких оснований.

Учитывая высокую социальную значимость отрасли теплоснабжения, применительно к ней мониторинг классифицируется дополнительно по трем видам: информационный, базовый и проблемный [4].

Для организации эффективного энергоменеджмента необходимо точно определить параметры, по которым будет производиться мониторинг. Исходя из структуры энергетического паспорта, завершением энергетического обследования (энергоаудита) является разработка комплекса энергосберегающих мероприятий. В зависимости от тех или иных аспектов, нуждающихся в улучшении, можно отобрать ряд параметров мониторинга и определить, к какому виду мониторинга наиболее рационально прибегнуть. Учитывая сложность схемы управления отраслью теплоснабжения и достаточно большое количество параметров, нуждающихся в мониторинге, предлагается прибегнуть к дифференциации мониторинга на два уровня: параметрический первого уровня и комплексный второго уровня [5]. На первом уровне мониторинг проводится по ряду параметров, например, все технические составляющие, необходимые для эффективного теплоснабжения. На втором уровне этот мониторинг завершается разработкой энергосберегающих мероприятий по итогам энергоаудита и является комплексным.

После внедрения проекта управления системой теплоснабжения необходимо получение комплексной информации о нем для оценки эффективности проведенных мероприятий и последующей корректировки дальнейших управленческих действий. На данном этапе предлагается использование также комплексного мониторинга, где помимо технических параметров, будут мониториться и социальные, экономические, технологические, финансовые, экологические, организационные и иные аспекты, необходимые для оптимизации управления отраслью.

Выводы:

1. Непрерывный мониторинг – важнейшее условие эффективного энергоменеджмента.

2. Показано, что в усовершенствованной методике внедрения энергоменеджмента, имеющей более сложную структуру по сравнению с циклической моделью международного стандарта [1], необходимо применение двух видов мониторинга: параметрического и комплексного [5].

3. Показано, что применительно к отрасли теплоснабжения, необходимо применение комплексного мониторинга.

#### Список литературы

1. ISO 50001: 2011 «Energy management systems».
2. Крысин Л.П. «Толковый словарь иноязычных слов» - М.: Эксмо, 2008.
3. Пичугин И.Л. «Роль энергоаудита при разработке энергосберегающих мероприятий в бюджетных организациях» // Вестник ОрёлГАУ №5(38), Орёл – 2012.
4. Полозюк А.Г. «Мониторинг и его виды» [Электронный ресурс], [gosnauka.com](http://gosnauka.com).
5. Лукинов В.А., Пичугин И.Л. «Региональная модель энергоменеджмента» // «Недвижимость: экономика, управление»; №1, Москва - 2013.

**Пичугин Игорь Леонидович**, аспирант кафедры Национальной экономики и оценки бизнеса НИУ ВПО МГСУ, тел.+7 985 185 61 99; e-mail: [ilpichugin@yandex.ru](mailto:ilpichugin@yandex.ru).

## **О ПРОБЛЕМЕ ПЕРЕКРЕСТНОГО СУБСИДИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Фелькер В.В.**

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

*В статье приведен анализ негативных последствий перекрестного субсидирования в электроэнергетике России и предложены практические меры по снижению его объемов.*

*The article gives analysis of cross-subsidization negative effects in Russian power engineering and provides practical measures for its volume reduction.*

Одной из самых сложных проблем в электроэнергетике является ликвидация перекрестного субсидирования. Перекрестное субсидирование в электроэнергетике – это способ перераспределения нагрузки по оплате электроэнергии между различными группами потребителей, при котором одни из них (промышленные потребители) фактически оплачивают часть стоимости электроэнергии, потребленной другими категориями потребителей (населением, бюджетными организациями и др.).

По оценкам Федеральной службы по тарифам России, в 2011 году совокупный объем переплаты субсидирующих групп потребителей составил 204,8 млрд. рублей без НДС или 241,7 млрд. рублей с НДС.

Более 80% объема перекрестного субсидирования в электроэнергетике включены сейчас в тарифы на услуги по передаче электроэнергии через распределительные сети.

Перекрестное субсидирование, включенное в тарифы на услуги по передаче электроэнергии по распределительным сетям, состоит из таких элементов, как:

- аренда «последней мили, (под «последней милей» понимается передача электрической сетью ОАО "ФСК ЕЭС" в аренду территориальным сетевым организациям объектов электросетевого хозяйства);

- перераспределение необходимой валовой выручки (НВВ) в ставке на содержание сетей;

- перераспределение расходов на компенсацию потерь в ставке на оплату потерь электроэнергии;

- завышение двухставочного тарифа на высоком напряжении относительно одноставочного.

Росту перекрестного субсидирования в составе платы за передачу электроэнергии способствует также непрозрачность установленных с 2008 г. Правительством РФ единых «котловых» тарифов на услуги по передаче электроэнергии по распределительным сетям. Сегодня структура котловых тарифов и учтенные в них параметры региональными органами регулирования не раскрываются, и потребители практически лишены возможности проверить обоснованность установленных региональными регулирующими органами тарифов и оспорить их.

Кроме этого, известно, что фактические затраты сетевых организаций в регионе различны, а соответственно и тарифы на услуги по передаче электроэнергии разные. Так, как оплата потребителями всем сетевым организациям услуг производится по одинаковым тарифам, то часть сетевых организаций получит денежных средств больше, чем ее экономически обоснованные расходы, а другая часть сетевых организаций не соберет положенных ей денежных средств.

Перекрестное субсидирование приводит к значительному росту затрат субсидирующих групп потребителей на электроэнергию. Так, потребители, присоединенные к объектам «последней мили», а это крупные промышленные предприятия, платят за услуги по передаче электроэнергии в среднем в 3,6 раза больше, чем должны были бы платить по тарифам магистральных сетей. Потребители

электроэнергии, присоединенные к распределительным сетям высокого напряжения, платят за услуги по передаче электроэнергии в среднем в 2,3 раза больше, а потребители, присоединенные на первом среднем напряжении – примерно в 1,6 раза больше, чем должны были бы платить без перекрестного субсидирования. Все это пагубно сказывается на себестоимости выпускаемой продукции и конкурентоспособности предприятий.

Завышенные расходы на оплату электроэнергии, которые несут промышленные потребители, сказываются на макроэкономических показателях. Согласно исследованию, проведенному энергетическим центром бизнес - школы «СКОЛКОВО», потери роста промышленного производства России из-за перекрестного субсидирования составляют 3,6%, что сравнимо с годовым приростом объема промышленного производства в стране. Потери ВВП России оцениваются в 0,8% или 451,5 млрд. рублей.

Меры, предлагаемые для снижения объемов перекрестного субсидирования:

- минимизация внутрихозяйственных расходов сетевых компаний;
- введение жестких критериев отбора инвестиционных проектов и эффективности инвестиционных программ развития электросетевых компаний;
- организация постоянного мониторинга деятельности территориальных сетевых организаций со стороны контролирующих органов;
- обеспечение прозрачности единых (котловых) тарифов на услуги по передаче электроэнергии по распределительным сетям, (публикация параметров, учтенных при расчете и установлении котловых тарифов в печатных СМИ);
- введение социальных норм потребления электроэнергии, для различных по доходам слоев населения, с последующей заменой перекрестного субсидирования адресными субсидиями нуждающимся слоям населения.
- утверждение каждой паре сетевых организаций индивидуального тарифа взаиморасчетов по, которому одна сетевая организация должна передать другой дополнительно полученные денежные средства, с целью получения сетевыми организациями объективной, экономически обоснованной валовой выручки.

Вышеперечисленные меры, по мнению авторов статьи, позволят значительно сократить объемы перекрестного субсидирования и уменьшить его бремя для промышленных предприятий.

#### Список литературы

1. Перекрестное субсидирование в российской электроэнергетике – зло или благо? Франц Хуберт, профессор, д.э.н. (Университет Гумбольдта, Берлин и Государственный Университет Высшая школа экономики, Москва). 2003 г. Источник: <http://po.pssr.ru>
2. «Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: итог пятнадцатилетней борьбы» отраслевое исследование энергетического центра бизнес - школы «СКОЛКОВО», март 2013г. Источник: SmartGrid.ru

**Комаристый Александр Семенович**, кан. эк. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», тел.(4862) 419830, факс (4862) 416684, e-mail: [askomaristiy@yandex.ru](mailto:askomaristiy@yandex.ru).

**Комаристая Людмила Семеновна**, ст. преподаватель кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», тел.(4862) 419830, факс (4862) 416684.

**Молоканов Евгений Егорович**, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», тел.(4862) 419830, факс (4862) 416684.

**Фелькер Виктория Владимировна**, студентка группы 21 – ЭО ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», тел.(4862) 419830, факс (4862) 416684.

**ЭКВИВАЛЕНТ ПРОИЗВЕДЕНИЯ СУММ****Глинкин Е.И., Шубина М.С.***Россия г. Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

*Рассмотрены методы оптимизации оценок: индукции, производной и динамического программирования для проектирования оптимального эквивалента адаптивного диапазона высокоэффективных метрологических средств компьютерных анализаторов.*

*Methods of optimization of estimates are considered: induction, a derivative and dynamic programming for design of an optimum equivalent of adaptive range of highly effective metrological means of computer analyzers.*

Теория измерений для метрологической оценки приборов предлагает абсолютные и относительные погрешности случайных наблюдений относительно действительных значений [1, 2], представленных средними арифметическими и геометрическими, гармоническими и квадратическими числами [3. с. 139, 212]. Основным преимуществом известных оценок является относительно простая техника вычисления значений, но их достоверность и объективность условны из-за отсутствия оптимального эквивалента. Для автоматического поиска оптимальной меры необходима гибкая самоорганизующаяся оптимальная оценка из множества случайных значений. Априорные измерения в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер диктуют автоматические оценки относительно гибкого оптимального эквивалента [4, 5]. Оптимальные меры оценки эффективности рассмотрим на примере оптимизации произведения сумм случайных величин.

Рассмотрены три метода оптимизации оценок: индукции, производной и динамического программирования для проектирования оптимального эквивалента адаптивного диапазона за счет оптимального разбиения диапазона по критерию максимума произведения поддиапазонов.

Метод индукции оптимизирует решение итерационным анализом от простого (частного) к сложному (общему) на численных примерах при синтезе идеального эквивалента адаптивной образцовой меры для проектирования автоматического программно - управляемого критерия оценки эффективности микропроцессорных измеряемых средств. Строгое доказательство оптимального произведения суммы отрезков дает дифференциальное исчисление экстремума функции.

Метод производной является развитием метода индукции, включающим оптимизацию решения итерационным анализом по экстремуму производной аналитической функции. Метод производной доказывает тождественные закономерности максимума произведения равных частей со средней суммой для синтеза оптимального эквивалента, но более просто и строго, оперативно и технологично в виде целенаправленной последовательности однотипных операторов дифференциального исчисления экстремума функции по производной от простого к сложному решению.

Метод динамического программирования развивает метод производной за счет экстремума дифференциала произведения  $(j+1)$ -го шага по оптимальному эквиваленту экстремума первообразной  $j$ -го шага согласно принципу оптимальности. Принцип оптимальности постулирует [5, С. 305-308], что последующее решение должно быть оптимальной стратегией по отношению к состоянию результата первого шага. Принцип оптимальности заменяет трудоемкий многошаговый процесс последовательностью однотипных операций по одному и тому же рекуррентному соотношению, принимаемому за оптимальный эквивалент. Проиллюстрируем метод динамического программирования на примере максимума произведений суммы частей диапазона.

Шаг 1 делит диапазон на две части из суммы остатка  $S-x$  и переменной  $x$ , произведение которых конструирует исходную функцию

$$\Pi = (S - x) x. \quad (1)$$

Вычислим максимум произведения  $\Pi_2$  функции (1) при равенстве нулю дифференциала

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \frac{\partial [(S-x)x]}{\partial x} = -x + (S-x) = S - 2x = 0,$$

которое приводит к равенству отрезков половине суммы с максимальным решением  $\Pi_2$

$$x = \frac{S}{2}; \quad \Pi_2 = \prod_{i=1}^2 x_i = \left(\frac{S}{2}\right)^2, \quad (1, a)$$

подобному решению других методов и принимаемому за оптимальный эквивалент следующего шага.

Шаг 2 достигает максимум произведения  $\Pi_3$  эквивалента  $(S-x)^2/4$  и неизвестной  $x$

$$\Pi_3 = \max \left\{ \left( \frac{S-x}{2} \right)^2 x \right\} \quad (1, б)$$

при равенстве производной  $\Pi_3$  по  $x$  нулю:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \left( \frac{S-x}{2} \right)^2 - \frac{2(S-x)x}{4} = \frac{S-x}{4} (S-3x) = 0,$$

с равными тремя отрезками и максимумом  $\Pi_3$

$$x = \frac{S}{3}; \quad \Pi_3 = \prod_{i=1}^3 x_i = \left( \frac{S}{3} \right)^3. \quad (1, в)$$

Решение (1,в) тождественно результату численного метода, принимаемому за эквивалент  $j$ -го шага.

Шаг  $j$  доставляет максимум произведения эквивалента  $\left( \frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1}$  и переменной  $x$

$$\Pi_j = \max \left\{ \left( \frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1} x \right\} \quad (1, г)$$

для нулевой производной

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \left( \frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1} - \frac{j-1}{j-1} \left( \frac{S-x}{j-1} \right)^{j-2} x = 0,$$

соответствующей уравнению

$$\left( \frac{S-x}{j-1} \right)^{j-2} \left( \frac{S-x-jx+x}{j-1} \right) = 0.$$

Из последнего уравнения находим оптимальные алгоритмы с равными  $j$ -ми поддиапазонами и максимальным произведением  $\Pi_j$



$$x = \frac{S}{j}; \quad \Pi_j = \prod_{i=1}^j x_i = \left(\frac{S}{j}\right)^j, \quad (1, д)$$

тождественные алгоритмам метода производной, служащими эквивалентом  $n$ -го шага.

Шаг  $n$  подобен решению  $j$ -го шага при замене числа  $j$  на  $n$  для максимума  $\Pi_n$

$$\Pi_n = \max \left\{ \left( \frac{S-x}{n-1} \right)^{n-1} x \right\} \quad (1, е)$$

при обнулении производной

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \left( \frac{(S-x)^{n-2}}{(n-1)^{n-1}} \right) [S - x - (n-1)x] = 0.$$

с закономерностями рекуррентного алгоритма

$$x = \frac{S}{n}; \quad \Pi_n = \prod_{i=1}^n x_i = \left(\frac{S}{n}\right)^n. \quad (1, ж)$$

Рекуррентный алгоритм (1,ж) подобен методу индукции и тождественен закономерностям метода производной, но получен более оперативно и просто по информационной технологии проектирования максимума произведения относительно оптимального эквивалента экстремума первого шага согласно принципа оптимальности.

Анализ методов оптимизации показывает их вектор развития от индукции через метод производной к динамическому программированию с тождественными закономерностями максимума произведений равных поддиапазонов со средней суммой для синтеза рекуррентного алгоритма относительно пошагового эквивалента, в частности, и от максимального эквивалента оценки эффективности по гибким образцовым мерам, в общем. Синтез и анализ закономерностей систематизирует методы оптимизации в информационную технологию проектирования оптимального эквивалента автоматизации эффективных метрологических средств коммуникабельных компьютерных анализаторов состава и свойств веществ в адаптивном диапазоне с заданной точностью образованных мер.

#### Список литературы

1. Метрология, стандартизация и сертификация/под ред. В.В.Алексеева. – М.: Академия, 2008.-381с.
2. Чичев С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Корпоративная интегрированная система управления распределительным электросетевым комплексом. – М.: Спектр, 2012.-228с.
3. Бронштейн И.А., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука,1986.-544с.
4. Глинкин Е.И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010.-168с.
5. Ту Ю. Современная теория управления. – М.: Машиностроение, 1971, - 472с.

**Глинкин Евгений Иванович**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: [glinkinei@rambler.ru](mailto:glinkinei@rambler.ru), тел. (8-4752) раб. 63-56-20, дом. 51-23-45.

**Шубина Марина Сергеевна**, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», ТамбовГТУ; e-mail: [mari\\_7777777@bk.ru](mailto:mari_7777777@bk.ru), тел. (8-4752) дом. 53-49-64.

## УПРАВЛЕНИЕ ОБОРОТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

**Карпычева Е.Ю.**

Россия, г. Орёл, ОрёлГИЭТ

*В статье рассмотрена эффективность использования оборотных средств на основе построения экономико-математических моделей. Данная система позволяет комплексно оценить эффективное функционирование и развитие расширенного воспроизводства на основе оптимизации размеров и структуры оборотных средств.*

*Management of the circulating capital is one of the most significant functional directions of a control system of enterprise structure. Management of the circulating capital is directed at its forming in necessary and sufficient volume, at the least expenses, and also increase of efficiency of its use.*

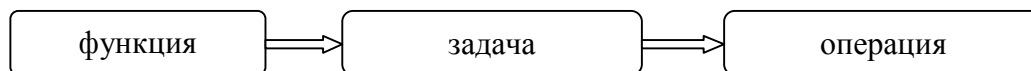
Рыночные реформы, проводимые в последние годы в Российской Федерации, привели к значительным изменениям не только во внутренней экономике страны, но и к глобальным изменениям в экономике отдельных отраслей и хозяйствующих субъектов. Большая часть предприятий перешли на самостоятельно-сформированную маркетинговую и производственную политику [4]. Однако как показывает анализ посткризисного периода, мировой финансово-экономический кризис не оздоровил отечественное хозяйство, а, наоборот, оказал на него отрицательное влияние, в том числе и на состояние оборотных средств. Это усиливает актуальность введения наиболее эффективной системы управления не только производственными, трудовыми, материальными и финансовыми процессами, но и оборотными средствами. [2].

В процессе производства и реализации продукции, оборотные средства совершают непрерывный кругооборот. Оборотные средства переходят из сферы обращения в сферу производства и обратно, принимая последовательно форму фондов обращения и оборотных производственных фондов, а устойчивость финансового состояния во многом зависит от оптимального размещения средств по стадиям процесса кругооборота и размеров вложений оборотных средств в каждую стадию кругооборота (рис. 1).



**Рисунок – 1** Уточненная схема кругооборота оборотных средств с позиции динамично-устойчивого развития предприятия

В настоящее время многие процессы и явления кругооборота оборотных средств могут быть представлены в виде математических моделей. Поскольку такие модели содержат экономические величины, то они именуются как экономико-математические. Структура управления математическими ресурсами имеет следующий вид (рис. 2):



**Рисунок – 2 Структура управления математическими ресурсами**

Ниже приведем примеры построения экономико-математических моделей для некоторых задач управления оборотными средствами:

1. Определение потребности в оборотных средствах (нормируемых).

$$\text{ОбСр}_i = \sum_{j=1}^n H_{ij} Q_j, \quad (1)$$

где ОбСр<sub>i</sub> – потребность в оборотных средствах i-го наименования на производственную программу предприятия;

H<sub>ij</sub> – нормы оборотных средств i-го наименования на производство единицы продукции j-го вида;

Q<sub>j</sub> – производственная программа выпуска продукции j-го вида;

1, 2, ..., j, ..., n – ассортимент выпускаемой продукции.

2. Определение суммы затрат на сырье и материалы.

$$\longrightarrow \quad C_m = \sum_i M_i C_i \quad \min, \quad (2)$$

где M<sub>i</sub> – потребность в сырье и материалах все виды деятельности предприятия;

C<sub>i</sub> – плановые цены на сырье и материалы i-го наименования (включая скидки и наценки, а также транспортно-заготовительные расходы).

2. Определение уровня производственного запаса на предприятии.

Существуют различные экономико-математические модели управления запасами. В общем виде их можно подразделить на четыре группы [4].

Рассмотрим содержание каждой из них в таблице 1.

**Таблица 1 – Экономико-математические модели управления запасами**

Модели	Основные характеристики
1. Детерминированная	- наиболее точные параметры (стоимость, потребность в материалах, складские издержки); - выражение зависимости величины партии от соотношения определенных элементов.
2. Стахостическая	- потребность это неопределенная, вероятностная величина; - распределение потребности по периодам имеет независимый характер; - рассматривается не один период, а несколько; - покупки производятся вначале каждого периода; - определение количества закупаемого товара в каждый период зависит от уровня запасов данного товара к началу каждого периода.
3. Статистическая	- управление запасами не зависит от выбора оптимальной стратегии; - материальные ценности, обладающие небольшой стоимостью, можно рассчитать приближенно.
4. Динамическая	Оптимальная стратегия пополнения при соблюдении следующих условий: - определение транспортных издержек по перемещению с одного этапа на другой пропорционально количеству перемещаемого товара; - издержки по содержанию запасов и потери из-за дефицита, исчисляемые по каждому предприятию в течение каждого периода; - издержки являются функцией величины запаса.

Недостаток производственных запасов у предприятий приводит к сбою ритмичности его производства, уменьшению производительности труда, перерасходу материальных ресурсов из-за вынужденных внебюджетных трат и увеличению себестоимости выпускаемой на предприятии продукции. В то же время наличие неиспользуемых запасов замедляет оборачиваемость [4].

### 3. Классическая модель экономического размера заказа.

Другими словами это применение для упрощения условия равномерного потребления (расхода) и постоянного определенного отставания времени поставки от момента заказа продукции (марки материала) у поставщика. Эта модель описана во многих работах и, в частности, у Букана Д. и Кинигсберга Э. в книге «Научное управление запасами» [3].

Основным ее результатом является следующая формула определения оптимального размера заказа поставки:

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2C_1Q}{C_2}}, \quad (3)$$

где  $q_{opt}$  – оптимальная партия поставки;

$C_1$  – сумма постоянных транспортно-заготовительных расходов;

$Q$  – потребность в материале на планируемый период  $T$ ;

$C_2$  – сумма издержек хранения и потерь от иммобилизации (прослеживания) единицы материала в запасе за планируемый период  $T$  (продолжительность года –  $T+365$  дней).

### 4. Минимизация остатков незавершенного производства.

Особенно актуальной сейчас становится вопрос минимизации остатков незавершенного производства, так как все современные предприятия испытывают недостаток оборотных средств. Предположим, что для каждого планируемого периода времени, обычно – это декада, известна определенная потребность в данной детали  $A_t$ . Выпуск этой детали за каждую декаду  $X_t$  является искомой величиной. Известен лишь начальный запас детали  $S_0$ , а запас на конец декады  $t$  обозначим через  $S_t$ . Очевидно, что запас на начало  $t$ -ой декады  $S_{t-1}$  плюс производство за декаду  $X_t$  должны быть равны декадной потребности  $A_t$ , т.е.:

$$S_{t-1} + X_t = A_t + S_t, \quad (4)$$

Или, перенеся неизвестные в левую часть, получим:

$$S_{t-1} + X_t - S_t = A_t \quad (5)$$

Количество таких уравнений равно числу декад в планируемом периоде времени.

Для производства очень важна равномерность выпуска, поэтому величина  $X_{t+1} - X_t$  не должна сильно изменяться от декады к декаде. Введем две переменные  $Y_t$  и  $Z_t$  - неотрицательные переменные, при этом  $Y_t$  – равняются приросту, а  $Z_t$  – снижению производства при переходе от  $t$ -ой декады к следующей, т.е.  $(t+1)$ -ой.

На предприятии ставится задача: во-первых, свести к минимуму колебания графика выпуска деталей, во-вторых, остатки незавершенного производства должны быть минимальны, т.е. целевая функция имеет вид:

$$\sum_{t=1}^n (y_t + z_t) \rightarrow \min \quad (6)$$

Если неравномерность графика и уровень запасов считаются одинаково нежелательными, система ограничений задается следующим образом:

$$\begin{cases} st-1 + xt - st = at \\ xt+1 - xt - yt + zt = 0, \\ xt > 0, st > 0, yt > 0, zt > 0, t = (1,n) \end{cases} \quad (7)$$

Эффективное управление финансовыми и материальными ресурсами, направленное на обеспечение выполнения маркетинговой и производственной программы, а также на сохранение платежеспособности и финансовой стабильности, предполагает конкретный анализ финансовых результатов, связанных с приобретением и реализацией оборотных активов, с погашением или наращиванием краткосрочных финансовых обязательств предприятия.

Таким образом, актуальность темы управления оборотными средствами обусловлена необходимостью разработки новых инструментов планирования состояния и структуры оборотных активов организации на основе экономико-математических моделей и научно обоснованной комплексной методики, позволяющей руководству предприятия анализировать финансовое состояние (бюджет) и оценивать перспективы его изменения, связанные с управлением оборотных средств предприятия в современных рыночных условиях.

#### Список литературы

1. Булкин О.А., Дерябина М.А. Направления и методика анализа оборотных средств ОАО «Болховский хлебокомбинат» [Текст]/Булкин О.А., Дерябина М.А.//Научные записки ОрёлГИЭТ. – 2010. - №1 – 146-148 с.
2. Данилин В.Н., Данилина Е.И. О новой концепции воспроизводства оборотного капитала в современных условиях хозяйствования [Текст]/В.Н. Данилин, Е.И. Данилина//Проблемы современной экономики.–2012. - №1 – 43-46 с.
3. Букан Дж., Кенигсберг Э. Научное управление запасами [Текст]: пер. с англ. Е.Г. Коваленко; ред. Б.В. Гнеденко/Д.Букан, Э.Кенигсберг; - М.: Наука, 1967. – 424 с.
4. Мельник М.В. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учеб. пособие/Мельник М.В., Герасимова Е.Б. – М.: Форум, 2008.- 192 с.

**Карпычева Екатерина Юрьевна**, аспирант кафедры «Информатика и информационные технологии», Орловский государственный институт экономики и торговли, e-mail: [katyuffffka31@mail.ru](mailto:katyuffffka31@mail.ru), тел.: 8-910-306-63-58.

УДК 621.746.27:621.771.237

### **КРИТЕРИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА МНЛЗ – ШСГП**

**Соловьёв А.Г., Шитов М.В.**

*Россия, Магнитогорск, ФГБОУ «МГТУ им. Г. И. Носова»*

*В статье рассматривается комплексный критерий оценки работы системы МНЛЗ-ШСГП и возможные варианты производства горячекатаной продукции, главной целью которых является повышение общей энергоэффективности.*

*The article deals with comprehensive assessment criteria of CCM-HSRM complex functioning with a special emphasis on possible energy efficient variants of hot-rolled production.*

Современные широкополосные станы горячей прокатки (ШСГП) относятся к энергоёмким агрегатам, суммарные затраты энергии на которых достигают 3000 и более МДж/т. С учётом того что практически для всех них исходными заготовками служат непрерывнолитые слябы, отливаемые на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), согласованная работа двух этих агрегатов представляет огромный резерв для обеспечения энергоэффективного производства проката [1].

Эффективная работа комплекса МНЛЗ – ШСГП затрагивает два аспекта возможного управления энергетическими (расход топлива, электроэнергии и др.) и материальными ресурсами (потери металла в обрызг и в окалину, расход вспомогательных материалов и др.), и один аспект, связанный с обеспечением соответствия программ производства разлива и прокатки (производительность и размерный сортамент). Эти аспекты находятся во взаимной связи между собой, которая не всегда выражена в явном виде. Например, повышение температуры слябов перед посадом их в печь на каждые 100 °С влечёт уменьшение расхода топлива на

2 – 6 кг.у.т/т [2], напротив, однозначного ответа где эффективнее проводить изменение ширины, например на МНЛЗ, ШСГП или на отдельном редуцирующем агрегате, не приводится. Делаются лишь уточнения, что на каждом предприятии решение данного вопроса зависит от его специализации и объёмов производства [3-5]. Это обусловлено, прежде всего, тем, что технологический комплекс МНЛЗ – ШСГП включает в свой состав фиксированное количество МНЛЗ и один ШСГП. Соответственно при неограниченной потребности в количестве ширин готовой продукции в линию стана подается фиксированное количество ширин слябов. Поиски рациональных схем технологических комплексов с точки зрения количества и технических характеристик МНЛЗ и ШСГП не производится во-первых, из-за избыточного количества технологических мощностей в мире и во-вторых, из-за огромных капитальных затрат на реконструкцию существующих комплексов. Таким образом, решения задачи энергоэффективного производства замыкаются в действующей технологической системе.

Примем, что изменение ширины сляба происходит либо на МНЛЗ, путём смены кристаллизатора под производственную программу стана, либо на ШСГП – за счет максимального обжатия вертикальными валками. В обоих случаях температура слябов для обеспечения горячего посада находится в пределах 6 – 8 ч ожидания после разливки. При разливке слябов под производственную программу стана потребуются постоянно менять кристаллизаторы, и соответственно снижать производительность МНЛЗ и ШСГП, их программы будут не выполнены, хотя температура посада может быть достаточно высокой. Разливка слябов фиксированного количества типоразмеров положительно скажется на серийности МНЛЗ, т.е. её производительность возрастет, программа ШСГП будет выполнена, но формирование ширины будет возложено на черновую группу ШСГП, а значит, возрастет концевая обрезь, но температура посада слябов будет меньше, чем в первом варианте.

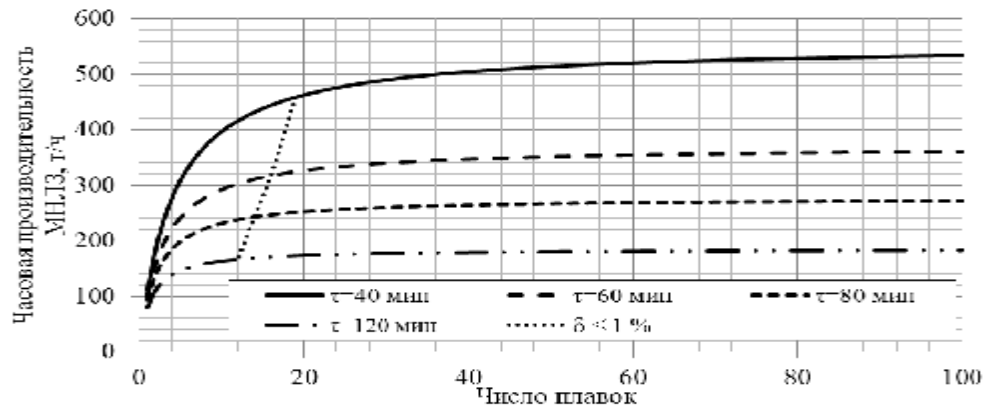
Получается, предпочтительный вариант находится между двумя крайними, но если рассмотреть комплекс, разбив его на три составные части - МНЛЗ, печи и черновая группа ШСГП, основываясь на трёх предложенных аспектах, применительно к реальному объекту, то результат получается иным.

Для рациональной работы МНЛЗ, с точки зрения производительности и расхода энергоресурсов, в работах [6-8] содержится ряд рекомендаций, согласно которым количество плавов в серии не должно превышать 10 – 15. Причиной снижения производительности является нарушения подаче ковшей к МНЛЗ, а уменьшение снижения расхода газа обусловлено отсутствием необходимости в постоянном подогреве промежуточных ковшей. Напротив, в работе [9] число плавов доходит до 40 и производительность растёт, но для уменьшения протяжённости переходного участка, возникающего при разливки марок разного химического состава, применяют одновременную смену разливочного и промежуточного ковша, так что увеличение серийности, ни как не сказывается на расходе материальных и энергетических ресурсов. Хотя с увеличением серийности обрезь на МНЛЗ снижается, что отмечается всеми единогласно.

Увеличение производительности МНЛЗ возможно при уменьшении длительности смены кристаллизатора и длительности разливки, и увеличение массы разлитого металла и количества плавов. На существующих заводах первый, второй и третий параметры фиксированы либо изменяемы в незначительном интервале, а значит, для повышения производительности нужно повышать серийность, т.е. разливать слябы одной ширины. Но даже при разливке сериями происходит «насыщение», где при разливке последующей плавки увеличение производительности происходит менее чем на 1 % (кривая  $\delta \leq 1\%$ , рис.1).

С учётом того, что могут возникнуть затруднения описанные ранее, роста производительности может не быть, поэтому стремление повысить серийность выглядит не совсем рациональным, кроме того необоснованно происходит загрузка склада, а также

отлитые впрок слябы остывают, безвозвратно теряя тепловую энергию. В тоже время программа стана обеспечена с запасом на несколько часов вперёд.



**Рисунок 1 – Зависимость производительности МНЛЗ от времени разливки и количества плавов в серии при длительности смены кристаллизатора 160 мин, массе одной плавки 370 т и толщине отливаемого сляба 250 мм**

Вторая часть - печи ШСГП, является не только агрегатом доводящим слябы до определённой температуры, но также и буфером между МНЛЗ и ШСГП. Последняя функция заключается в том, что они компенсируют неполную согласованность работы двух агрегатов [10]. Затраты энергии на нагрев напрямую зависят здесь от температуры посадка слябов, и если партии слябов сажаемые в печь имеют в своём составе один или несколько слябов отличных от всех остальных своим градиентом температуры, то нагрев происходит по слябу с наименьшей энтальпией и говорить о снижении энергии не приходится. Поэтому работу комплекса важно выстраивать с целью снижения чередования слябов с разной температурой.

Последняя третья часть – черновая группа клетей ШСГП, которая формирует промежуточный раскат путём обжатия сляба в вертикальных и горизонтальных валках. Слишком большие вертикальные обжатия формируют экономически нецелесообразную концевую обрезь, поэтому на современных ШСГП абсолютное изменение ширины не превышает 100 – 150 мм. При это есть несколько путей решения вопроса с концевой обрезью: это приближение ширины сляба к ширине полосы [11], внедрение новых технических решений в черновой группе, затрагивающих как оборудование, так и технологию [3-5], или изыскание других технологических и технических решений в комплексе МНЛЗ – ШСГП, которые покрывали бы затраты на обрезь. Для этого сведём все энергетические и материальные ресурсы, расходуемые на производство продукции в таблицу 1 и представив комплексный критерий  $K^k$  как функцию от этих параметров (формула 1).

**Таблица 1 – Возможное изменение параметров в комплексе МНЛЗ - ШСГП**

№ п/п	Варьируемые параметры		Части комплекса МНЛЗ - ШСГП		
	Условное обозначение	Расшифровка и ед. измерения	МНЛЗ	Нагревательные печи	Черновая группа
1	Q	Топливо, кг.у.т/т	2,5 - 3	2 – 6 <sup>1)</sup>	- <sup>2)</sup>
2	G	Огнеупоры, кг/т	0,08 – 0,1	-	-
3	E	Электроэнергия, МДж/т	-	-	1 – 3
4	g	Обрезь, кг/т	5 - 25	-	5 - 15
5	q	Окалина, кг/т	-	2 - 3	-

1) – изменение расход топлива для печей считается на каждые 100 °С;

2) – данного параметра либо нет в рассматриваемой части, либо его изменением можно пренебречь.

$$K^k = f(Q, G, E, g, q) \quad (1)$$

Темп работы и саму программу задаёт ШСГП, и все мероприятия должны быть направлены не только на его бесперебойную работу, но и работу с минимальными затратами энергии и материальных ресурсов. Одно из таких компромиссных решений было найдено в комплексе МНЛЗ – ШСГП 2000 ОАО «ММК». Особенность данного комплекса в том, что МНЛЗ отливает слябы не только для стана 2000, но и для стана 2500, который из-за незначительной доли полос больше 2000 мм работает, как стан 2000, и по причине своей удалённости от МНЛЗ лишён возможности осуществлять горячий посад.

Был проанализирован период длиною в год, который показал, что МНЛЗ имеют небольшой резерв в работе, что можно использовать для повышения горячего посада. Продолжительность цикла прокатки монтажных партий составляет 2 – 8 ч, где большая доля приходится на 3 – 4 ч. Соответственно, работа МНЛЗ должна быть направлена на разливку слябов для двух монтажных партий, что создаёт благоприятные условия для обеспечения горячего посада. В то же время на МНЛЗ возникают затруднения с разливкой всех типоразмеров слябов. Для этого нужно интенсифицировать обжата в черновой группе ШСГП 2000 доведя обжата некоторых слябов до 150 – 180, за счёт чего доля количества некоторых типоразмеров слябов будет либо уменьшена, либо увеличена.

Для оценки возможного согласования графиков и прочих неучтённых факторов была разработана модель, где на примере реальных монтажных партий просчитаны разные варианты работы всего комплекса. В данной модели изменение параметров  $Q^{МНЛЗ}$  и  $G^{МНЛЗ}$  не учитывалось, согласно работе [9]. За счёт только этих мероприятий возможно повысить долю горячего посада до 60 – 80 % и сократить затраты на топливо, при этом дополнительные затраты на обрезь незначительны. Внедрение модели на предприятие потребует пересмотреть управление сложившихся режимов и нагрузок мощностей комплекса МНЛЗ – ШСГП, что принесёт значительные экономические преимущества и повысить производственную гибкость комплекса в целом.

#### Список литературы

1. Средства технического обеспечения энергосберегающей технологии производства листового проката. Ю.В. Коновалов, А.Л. Остапенко, Э.Е. Бейгельзимер и др. // Обзорная информация: Ин-т Черметинформация. Серия. «Прокатное производство». 1988. Вып. 1. 34 с.
2. Остапенко А.Л. Производство проката. Том 3. В 2-х книгах. Книга 1. Информационное и методическое обеспечение проектирования технологии и оборудования листовых и полосовых станов горячей прокатки. Учебно-справочное пособие. М.: Теплотехник 2011. 344 с.
3. Салганик В.М., Кульпин Е.В. Формирование ширины полос при горячей прокатке // Обзорная информация: Ин-т «Черметинформация». Серия «Прокатное производство». 1989. Вып. 2. 24 с.
4. Салганик В.М., Сеничев Г.С., Тверской Ю.А. Проблемы формирования ширины полос и ресурсосбережение при горячей листовой прокатке // Прогрессивные технологические процессы в обработке металлов давлением: Сб. науч. тр./ Под ред. акад. Б.А. Никифорова. Магнитогорск: МГМА. 1997. С. 169-173
5. Коновалов Ю.В. МНЛЗ как многофункциональный агрегат для разливки, модифицирования и деформирования металла (Часть II) // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2010. № 6. с. 41-52.
6. Евтеев Д.П., Колыбалов И.Н. Непрерывная разливка стали. М.: Металлургия. 1984. 200 с.
7. Процессы непрерывной разлики. А.Н. Смирнов, В.Л. Пилющенко, А.А. Минаев и др. Донецк: ДонНТУ. 2002. 536 с.



8. Еронько С.П., Быковских С.В. Разливка стали: Оборудование. Технология. К. Техника. 2003. 216 с.

9. Столяров А.М., Юречко Д.В., Селиванов В.Н. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали различных марок: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ. 2006. 94 с.

10. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос. В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев, А.А. Радионов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 506 с.

11. Соловьев А.Г., Шитов М.В. Пример повышения энергоэффективности технологической системы МНЛЗ – ШСГП // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегиональный сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2012. с. 178-185.

**Соловьёв Александр Геннадьевич**, ФГБОУ «МГТУ им. Г.И.Носова», канд. техн. наук, доцент, т.: 89123089963, e-mail: [sag71mgn@yandex.ru](mailto:sag71mgn@yandex.ru).

**Шитов Михаил Викторович**, аспирант ФГБОУ «МГТУ им. Г.И.Носова», т.: 89090954952, e-mail: [mihailschitov@mail.ru](mailto:mihailschitov@mail.ru).

УДК 330.111

## **О ВЛИЯНИИ ПОЛНОТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА РАСЧЕТЫ НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ**

**Заугольников В.Ф.**

*Россия, г. Орёл, ОАО «МРСК Центра» филиал «Орёлэнерго»*

*В работе выполнены и проанализированы расчеты нагрузочных потерь в ЛЭП по методу средних нагрузок в зависимости от полноты исходной информации.*

*In the work calculations of load losses in a transmission line by the method of average load, depending on completeness of initial information, are executed and analyzed.*

Для эффективного управления энергосбережением на электросетевом предприятии необходимо корректно определять потери электроэнергии в сетях и в частности, нагрузочные потери.

В работе проведен сопоставительный анализ расчета нагрузочных потерь в зависимости полноты режимной исходной информации и формул расчета в соответствии с нормативными документами. Расчеты выполнены для реальной воздушной линии (ВЛ) электропередачи напряжением 110 кВ длиной 46,9 км выполненной проводом АС-120/19. Перетоки электроэнергии по ВЛ соответствуют декабрю и июню месяцам, а режимные параметры – зимнему и летнему дням замеров. Данные перетоков электроэнергии по ВЛ и коэффициенты, характеризующие графики нагрузки электропередачи представлены в табл. 1.

Для определения величины потерь используем метод средних нагрузок, как один из рекомендуемых методов расчета нагрузочных потерь электроэнергии в сетях 35-220 кВ, в соответствии с инструкцией утвержденной приказом Министерства энергетики РФ /1/.

Согласно этому методу нагрузочные потери в электрооборудовании за расчетный период определяют по формуле:

$$dW_H = k_{\kappa} \Delta P_{cp} T \cdot k_{\phi}^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{cp}$  – потери мощности в сети при средних за расчетный интервал нагрузках;

$k_{\phi}^2$  – коэффициент формы графика нагрузки электропередачи за расчетный интервал;

$k_k$  – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки (принимается равным 0,99) ;

$T$  – число часов в расчетном периоде, ч.

Коэффициент формы графика  $k_\phi^2$  и коэффициент заполнения графика нагрузки  $k_z$  определяются в соответствии с /3/.

Средняя нагрузка определяется по формуле:

$$P_{cp} = \frac{W_H}{T},$$

где  $W_H$  - активная энергия за расчетный период.

Учитывая, что в качестве исходной информации будем использовать количество энергии учтенной счетчиком, формула (1) может быть преобразована к более удобному виду для практических расчетов:

$$dW_H = \frac{k_k (W_p^2 + W_q^2) k_\phi^2}{U^2 T} R_{л} \quad (2)$$

где  $R, U$  – сопротивление и напряжение элемента сети, соответственно;

$W_p$  и  $W_q$  – активная и реактивная энергии, соответственно.

На практике, часто, часть режимной информации для расчетов отсутствует и формулу (2) преобразовывают к другим упрощенным видам /2/.

При отсутствии данных о коэффициенте формы графика вместо (2) используют формулу:

$$dW_H = 1,3 \frac{k_k (W_p^2 + W_q^2)}{U^2 T} R_{л}. \quad (3)$$

Если отсутствует информация о реактивной энергии переданной по электропередаче, то используют формулу:

$$dW_H = 1,25 \frac{W_p^2 k_\phi^2}{U^2 T} R_{л}. \quad (4)$$

При отсутствии информации о коэффициенте формы графика и реактивной энергии, формула (2) принимает вид:

$$dW_H = 1,63 \frac{W_p^2}{U^2 T} R_{л}. \quad (5)$$

В качестве величины напряжения элемента сети, в знаменателе приведенных формул, /1/ рекомендует принимать среднее напряжение за расчетный период, /2/ рекомендует принимать эквивалентное напряжение, которое определяют по выражению:

$$U_{эк} = (kU_1^2 + (1-k)U_2^2)^{1/2},$$

где  $k$  – коэффициент, принимаемый равным 0,8 для сетей 35-150 кВ;

$U_1$  и  $U_2$  - напряжения на шинах подстанции в режимах максимальных и минимальных нагрузок соответственно.

Для нашей электропередачи, по данным режимных дней,  $U_{cp}$  составило 115,92 кВ, а  $U_{эк} = 116,1$  кВ. В качестве первоначального напряжения используемого в формуле (2), с результатом расчета по которой сравнивались все остальные результаты расчетов, принималось  $U = 1,05 * U_{ном}$ .

Результаты выполненных расчетов в зависимости от величины напряжения сведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что при подстановке в формулу (2) значения  $U_{cp}$  (столбец 9) отклонение потерь от базового расчета (столбец 8) составило по июню месяцу -0,7%, по декабрю -1,5%. При использовании в формуле (2) эквивалентного напряжения (столбец 10), отклонения составили: по июню -1,0%, по декабрю -1,9%. Как видно, расчеты по всем трем величинам напряжений дают близкие значения потерь электроэнергии, отклонения которых от базового расчета не превышают по модулю 1,9%.

Таблица 1 – Результаты выполненных расчетов в зависимости от величины напряжения

Исходные данные				Расчетные значения			ф-ла(2)	ф-ла(2)''	ф-ла(2)'''	ф-ла(3)	ф-ла(4)	ф-ла(5)
мес	Wp	Wq	Pmax	Kз	Kф^2	tg	dW(115)	dW(Ucp)	dW(Uэkv)	dW(без Kф)	dW(без Wq)	Wp^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
июнь	6 170	5 191	24,6	0,35	1,62	0,84	126,3	125,5	125,0	100,5	91,8	73,8
				% потерь от пропуска			2,05	2,03	2,03	1,63	1,49	1,20
				абсолютное отклонение от ф-лы 2				-0,87	-1,30	-25,81	-34,50	-52,53
				% процент отклонения от ф-лы 2				-0,7	-1,0	-20,4	-27,3	-41,6
дек	23 385	5 814	46,4	0,68	1,16	0,25	786,3	774,1	771,5	882,3	925,6	1041,8
				% потерь от пропуска			3,36	3,31	3,30	3,77	3,96	4,46
				абсолютное отклонение от ф-лы 2				-12,16	-14,83	95,98	139,35	255,54
				% процент отклонения от ф-лы 2				-1,5	-1,9	12,2	17,7	32,5

Проведем анализ результатов расчета потерь электроэнергии полученных при использовании полной режимной информации и частично ее недостающей с использованием формул (2) – (5), приняв в качестве эталонного результат расчета потерь с использованием формулы (2), как содержащей наиболее полную информацию по режиму сети (столбец 8). Результаты этих расчетов также сведены в табл.1.

В столбце 11 приведен результат расчета потерь электроэнергии по формуле (3) для случая, когда отсутствует информация о коэффициенте формы графика нагрузки. Относительное отклонение от результатов базовых расчетов составили, по июню - 20,4% , по декабрю 12,2%. В столбце 12 табл.1 приведен результат расчета по формуле (4), для случая отсутствия данных о переданной по ВЛ реактивной энергии. В этом случае отклонения от базовых результатов составили: по июню -27,3%, по декабрю 17,7%.

В столбце 13 приведены результаты расчетов по формуле (5), которая используется при отсутствии информации как о коэффициенте формы графика нагрузки, так и о прошедшей реактивной энергии. В этом случае отклонения составили соответственно: июнь - 41,6%, декабрь 32,5%. Как видно, полнота исходных данных значительно влияет на точность полученных результатов расчета. Для нашего примера, при неполной информации о режиме работы линии, отклонения от результатов базового расчета составили по модулю от 12,2% до более чем 40%. При этом, чем менее информативны исходные данные для расчета потерь электроэнергии, тем большие отклонения от базового результата получаем. Такие результаты расчетов не для всех решаемых задач могут быть приемлемы.

#### Выводы:

1. Использование в расчете потерь электроэнергии величин напряжений рекомендованных как в /1/, так и в /2/ дает близкие, приемлемые результаты расчетов.
2. Получены количественные оценки влияния неполной исходной информации режимных параметров сети на результаты расчетов потерь электроэнергии по методу средних нагрузок.

#### Список литературы

1. Инструкция по организации в Минэнерго РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Утверждена приказом Минэнерго РФ от 30.12.2008г. Зарегистрирована в Минюсте РФ 12.02.2009г №13314.

2. Инструкция по расчету и анализу технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. И 34-70-030-87. М., «Союзтехэнерго». 1987, 34 стр.

3. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. М., «НЦ ЭНАС», 2003, 277 с.

**Заугольников Владимир Федорович**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [zaugolnikov@rambler.ru](mailto:zaugolnikov@rambler.ru), тел. 8 910 7481331.

УДК 004.057.4

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О НАРУШЕНИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ**

**Шульгин Р. Н., Максаков С. А.**  
Россия, г. Орёл, Академия ФСО России

*В статье рассматривается математическая модель сбора и обработки данных о нарушениях функционирования системы управления энерго- и ресурсосбережением, базирующаяся на их потоковом представлении трафика данных контроля и управления с помощью аппарата ненаправленных графов и отличающаяся процедурами разделения путей и выявления нарушений для синхронных и асинхронных сообщений, позволяющая гарантировать характеристики доставки.*

*In article the mathematical model of collecting and data processing about violations of functioning of a control system power - and the resource-saving, based on their stream representation of a traffic of data of control and management by means of the device of not directed counts and differing by procedures of division of ways and identifications of violations for the synchronous and asynchronous messages, allowing to guarantee delivery characteristics is considered.*

Современное газотранспортное предприятие помимо того, что представляет объект со сложной инфраструктурой, так еще отличается четким разделением функций административного аппарата и функций структурных подразделений (филиалов). На филиалы возложены функции исполнения производственных планов и экономических показателей. Каждый филиал имеет, в свою очередь, и административную и цеховую структуру. Причина возникновения множества уровней управления состоит все в той же географической распределенности, затрудняющей коммуникации, и, как следствие, оперативное управление подразделениями [1].

Из-за прогресса в технологиях сбора и обработки данных число конечных точек в вычислительных сетях (ВС) АСУ ГТП растет очень быстро и модели связи между конечными точками таких больших сетей становятся трудными для анализа и прогнозирования. На стадии заказа услуги вычислительных сетей АСУ ГТП чаще всего для пользователей затруднено или просто невозможно определить нагрузку между каждой парой конечных точек. Соответственно при использовании отношений «точка-точка» существенно увеличивается сложность определения требований к качеству обслуживания. В этом случае предлагается более гибкая модель услуги вычислительных сетей АСУ ГТП, которая названа потоком [2].

Поток обеспечивает гарантию характеристик передачи трафика от данной конечной точки к набору других конечных точек и к данной конечной точке от набора всех других конечных точек ВС АСУ ГТП. С точки зрения пользователя, поток эквивалентен звену доступа в сеть. Использование модели потока позволяет

пользователю передавать трафик в сеть без необходимости определения всех нагрузок типа «точка-точка».

Диагностика 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, случайного характера или результатом попыток получения несанкционированного доступа к сетевым ресурсам, проникновения вирусов. Обнаружение таких состояний позволяет своевременно устранить их причину, а также предотвратит возможные последствия.

Проблемам информационного обмена в интегрированной информационной среде промышленных предприятий посвящен целый ряд работ [3-8]. Однако за рамками их рассмотрения остаются вопросы критериев оценки нарушений функционирования и своевременности их обнаружения.

Постановка задачи. Сущность модели сбора и обработки данных о нарушениях функционирования в вычислительных сетях ГТП заключается в занятии такой полосы пропускания в сети, при которой будет обеспечена реализация любой допустимой матрицы трафика между конечными точками ВС АСУ ГТП. Матрица трафика является допустимой тогда и только тогда, когда она отображает нагрузку каждой пары конечных точек  $(m, v)$  в множестве  $Q$  при положительном запросе полосы пропускания  $d_{mv}$  так, что для каждой конечной точки  $v$  выполняются соотношения

$$\sum_{u \in Q} d_{ux} \leq B_v^{in} \text{ и } \sum_{u \in Q} d_{vx} \leq B_v^{out}$$

Очевидно, что отсутствует трафик между одноименными конечными точками ВС АСУ ГТП, т.е.  $d_{vv}=0$  для всех  $v \in Q$ .

Полосу пропускания, зарезервированную для ВС АСУ ГТП на ребре  $e \in E$ , обозначим через  $y_e$ . Тогда полная стоимость резервирования полосы пропускания в сети для ВС АСУ ГТП  $C = \sum_{e \in E} c_e y_e$ , а целью оптимального построения ВС АСУ ГТП является нахождение резервирования соответствующей полосы пропускания с минимальной стоимостью.

Математическое моделирование потока данных о нарушениях функционирования в вычислительных сетях. Рассмотрим ситуацию, в которой трафик конечных точек ВС АСУ ГТП асимметричный (произвольный). При асимметричном трафике усложняется расчет древовидной топологии ВС АСУ ГТП. Это объясняется тем, что

$$C_T(i, j) = \min \left\{ \sum_{v \in p_i^{(i,j)}} B_v^{out}, \sum_{v \in p_j^{(i,j)}} B_v^{in} \right\} \quad (1)$$

$$C_T(i, j) = \min \left\{ \sum_{v \in p_i^{(i,j)}} B_v^{in}, \sum_{v \in p_j^{(i,j)}} B_v^{out} \right\}$$

Пусть дерево для реализации ВС АСУ ГТП, изображенное на рис. 1, соединяет конечные точки ВС АСУ ГТП  $P = \{0, 1, \dots, 4\}$ . Трафик конечных точек ВС АСУ ГТП определен следующим образом: для конечных точек 0 и 1  $B_{in} = 3$ ,  $B_{out} = 6$ , а для конечных точек 2, 3 и 4  $B_{in} = 3$ ,  $B_{out} = 4$ . Для случая асимметричного трафика задача определения древовидной топологии ВС АСУ ГТП с минимальной резервируемой полосой пропускания по сложности не сложнее расчета дерева Штейнера. Поэтому

решение данной задачи возможно только аппроксимационными методами.

Задача нахождения оптимальной древовидной топологии ВС АСУ ГТП в случае асимметричного трафика конечных точек может быть сформулирована как задача целочисленного программирования. Определим свойства древовидной топологии графа, соединяющего конечные точки с асимметричной полосой пропускания.

Ребро  $(i, j)$  считается смещенным, если оно смещено по направлению к вершине  $i$  или к вершине  $j$ . Ребро считается равновесным, если оно не имеет смещения. Будем считать вершину дерева  $T$  корневой, если равновесное ребро подключается к ней.

Определим основные свойства равновесных ребер в ориентированном графе. Как было показано выше, в случае симметричного трафика резервируемая полоса пропускания на любом ребре  $(i, j)$  определяется выражением:

$$C_T(i, j) = \min \left\{ \sum_{v \in P} B_v^{in}, \sum_{v \in P} B_v^{out} \right\} \quad (2)$$

Обозначим через  $P_u$  компоненту, включающую корневую вершину  $u$ . Пусть компонента  $P_u$  соответствует корневой вершине  $u$ . В этом случае каждое ребро  $(i, j)$  в совокупности  $P_u$  смещается по направлению к вершине  $j$  (предполагается, что вершина  $j$  располагается дальше от вершины  $u$ , чем вершина  $i$ ). При этом суммарную полосу пропускания компоненты  $P_u$  можно определить по формуле:

$$C_u = \sum_{v \in (C_u \cap P)} d_T(u, v) (B_v^{in} + B_v^{out}) \quad (3)$$

где  $d_T(u, v)$  – длина пути (количество ребер в пути) от вершины  $u$  к вершине  $v$  в дереве  $T$ .

Обозначим через  $S(T)$  совокупность корневых вершин в дереве  $T$  и через  $H(T)$  – совокупность равновесных ребер в дереве  $T$ . С учетом (3) полоса пропускания дерева  $T$  определяется выражением:

$$C_S = M |H(T)| + \sum_{u \in S(T)} \sum_{v \in (C_v \cap P)} d_T(u, v) (B_v^{in} + B_v^{out}) \quad (4)$$

Отсюда следует, что каждое дерево ВС АСУ ГТП в общем случае может быть полностью охарактеризовано своей совокупностью корневых вершин. Обозначим такую совокупность вершин через  $S$ . Тогда суммарная резервируемая полоса пропускания для совокупности корневых вершин  $S$ :

$$C_S = Mb + \sum_{v \in P} \min_{u \in S} \{d_G(u, v)\} (B_v^{in} + B_v^{out}) \quad (5)$$

где  $b$  – число ребер в дереве Штейнера, соединяющего вершины в совокупности  $S$ .

Задача определения оптимальной ВС АСУ ГТП с древовидной топологией эквивалентна определению совокупности вершин  $S$ , для которых резервируемая полоса пропускания  $C_S$  минимальна. Справедливо и обратное, если  $T_{opt}$  – оптимальное дерево, то для него полоса пропускания минимальна, т.е. всегда  $C_S \leq C_{T_{opt}}$ . Таким образом, при асимметричном трафике для определения оптимального дерева ВС АСУ ГТП необходимо найти совокупность вершин  $S$ , для которых резервируемая полоса пропускания в соединяющих их ребрах минимальна.

Задача расчета совокупности вершин  $S$  с минимальной резервируемой полосой пропускания может быть сформулирована как задача целочисленного программирования, если известна одна из вершин в совокупности  $S$ .

Обозначим через  $\delta(V)$  совокупность ребер, соединяющих группы вершин  $V$  и  $(V - V)$  в графе  $G$ . Трафик, проходящий через конечную точку  $j$ ,  $B_j = B_j^{in} + B_j^{out}$ . Предположим, что заранее известно, что вершина  $v \in S$ . Тогда формулировка задачи

целочисленного программирования (ЦП) для нахождения оптимальной совокупности вершин  $S$ , содержащих вершину  $v$ , будет иметь вид:

минимизировать величину

$$\sum_{i \in \forall, j \in P} d_G(i, j) B_j x_{i,j} + M \sum_{e \in E} Z_e \quad (6)$$

с учетом следующих ограничений:

$$\begin{aligned} \forall j \in P: \sum_{i \in E} X_{i,j} &\geq 1 \\ \forall i \in v, \forall j \in P: y_i - x_{i,j} &\geq 0 \\ \forall V' \subset V, v \notin V', j \in P: \sum_{e \in d(V')} z_e - \sum_{i \in V'} x_{i,j} &\geq 0 \\ x_{i,j} \ z_e &\in \{0,1\} \end{aligned}$$

Задача определения совокупности вершин с минимальной резервируемой полосой пропускания имеет несколько сходств с хорошо известной проблемой распределения ресурсов [4,5,7,8], однако есть одно существенное отличие. Если рассматривать отдельные вершины в совокупности  $V$  как ресурсы, то в рассматриваемом случае полоса пропускания для каждого индивидуального ресурса (вершины) равна 0. Однако выбранные ресурсы как единое целое имеют суммарную величину полосы пропускания, так как они объединяются деревом Штейнера с соответствующими величинами пропускных способностей ребер  $M$ . Таким образом полоса пропускания каждого отдельного ресурса (вершины) определяется полосой пропускания в дереве Штейнера, объединяющего эти выбранные ресурсы (вершины).

При использовании модели потока пользователь ВС АСУ ГТП определяет набор конечных точек, которые должны быть соединены с общей гарантией качества «точка-точка».

Математическое моделирование потока данных о нарушениях функционирования в вычислительных сетях ГТП существенно упрощает технические требования к этим сетям. Поток гарантирует определенную полосу пропускания и позволяет передавать и принимать трафик без необходимости точного его определения от конкретной конечной точки к каждой другой конечной точке ВС АСУ ГТП.

#### Список литературы

1. Якименко А. А. Особенности совершенствования системы управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс] – <http://do.gendocs.ru/docs/index-380553.html>
2. Автоматизация диспетчерского управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс] – <http://www.http://informtransgas.ru/acstp-gof-2.html>
3. Еременко, В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / С. И. Афонин, В. Т. Еременко, С. А. Максаков, А. И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 9. – С. 46 – 49.
4. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / 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. / С.И. Афонин, В. Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, и др. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 1 – С.78 – 84.

6. Еременко, В.Т. Рекурсивный алгоритм оценки минимальной величины канального ресурса в сети передачи данных. / В. Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, Д. А. Плащенков, Д. А. Краснов // Информационные системы и технологии. – 2012, № 4 – С. 97 – 102.

7. Еременко, В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных совместимых с неблокируемой маршрутизацией. / В. Т. Еременко, А.И. Офицеров, С. А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012, № 4. – С. 38 – 46.

8. Еременко, В.Т. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП. / 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 г. Орёл, Академия ФСО России.

**Максаков Сергей Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, 8(953)612-03-11, e-mail: [romanspartak1977@mail.ru](mailto:romanspartak1977@mail.ru).

УДК 338.45:621.311:330.322.14

## **РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ**

**Устинова Е. П.**

*Россия, г. Новосибирск, НГТУ*

*Выделение электросетевого хозяйства в естественно монопольный, находящийся в собственности государства и им же регулируемый сектор, определяет особую роль государства в выборе направлений развития электросетевого комплекса и осуществлении ими инвестиционной деятельности. Значение Распоряжения Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации» в формировании инвестиционного потенциала электросетевого комплекса.*

*Allocation of electronetwork economy in naturally exclusive, being in property of the state and to it adjustable sector, defines a special role of the state in a choice of the directions of development of an electronetwork complex and implementation of investment activity of the network companies. Value of the Order of the Government of the Russian Federation of 03.04.2013 N 511-p "About the adoption of Strategy of development of an electronetwork complex of the Russian Federation" in formation of investment potential of an electronetwork complex.*

Выделение электросетевого хозяйства в естественно монопольный, находящийся по большому счету в собственности государства и им же регулируемый сектор, определяет особую роль государства в выборе направлений развития электросетевого комплекса и осуществлении инвестиционной деятельности сетевых компаний.

Текущая ситуация в данном секторе характеризуется следующими фактами:

1. Основные субъекты: ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Россети», территориальные сетевые организации (более 3000).

2. Износ основных фондов составляет более 60%, отсутствие возможности своевременного удовлетворения спроса на технологическое присоединение.

3. Утверждены долгосрочные инвестиционные программы СО (объем инвестиций на модернизацию и строительство электросетевого комплекса на период 2011-2020 оценивается Министерством энергетики на уровне 4,6 трлн. руб.).

4. Основные источники инвестиций: тариф на передачу электрической энергии и технологическое присоединение к электрическим сетям, бюджетные инвестиции.

5. Регулирование тарифов осуществляется по методу доходности инвестированного капитала.



6. Объективная невозможность полного удовлетворения потребностей СО в инвестициях по средствам тарифов по социальным, политическим и общеэкономическим причинам.

Одним из наиболее знаковых событий в направлении развития электросетевого комплекса и повышения его инвестиционной привлекательности является опубликование Распоряжения Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации».

Основные положения данного акта содержат качественный анализ текущей ситуации, тенденций развития электросетевого комплекса, а так же пути и средства решения задач стратегического развития, в т.ч. по средствам корректировки правовой базы.

Ключевой задачей государственной политики станет создание экономических методов стимулирования эффективности СО, обеспечение условий для стабилизации тарифов, а также привлечение нового капитала для модернизации и реконструкции электрических сетей. А для СО: обеспечение надежности энергоснабжения потребителей, качества обслуживания; развитие инфраструктуры для поддержания роста экономики России; конкурентоспособные тарифы для развития промышленности; развитие научного и инновационного потенциала, привлекательный для инвесторов "возврат на капитал".

В средне и долгосрочной перспективе предполагается выполнить целый комплекс мероприятий.

1. Внедрение систем сбора данных о надежности и качестве электроснабжения, трансляция собранных данных в пользу потребителей, повышение эффективности. К 2017 году все СО будут обеспечивать сбор данных о надежности и качестве электроснабжения, осуществлять расчет показателей по международным методикам, используемых Регулятором для определения оптимального баланса между уровнем тарифа и уровнем надежности. Данные показатели станут одним из основных критериев при формировании инвестиционных и ремонтных программ СО.

3. Повышение уровня обслуживания потребителей. К 2017 году будет налажен учет показателей качества обслуживания потребителей, будут внедрены единые стандарты, организованы периодические исследования удовлетворенности потребителей уровнем обслуживания и качеством услуг СО, с последующим опубликованием результатов и учетом при тарифном регулировании.

4. Расстановка приоритетов для инвестиций. Повышение эффективности производственной и инвестиционной деятельности, совершенствование методик планирования, создание условий для окупаемости инвестиций. Сосредоточение СО на выявлении и замене наиболее аварийных и/или системообразующих узлов. Внедрение программы управления производственными активами. Усиление координации между разными уровнями контроля электросетевого комплекса.

5. Формирование единой технической и инновационной политик, направленных на развитие электросетевого комплекса на основе применения современного оборудования и материалов, а также на основе использования эффективных систем управления процессом передачи и распределения электрической энергии, создания интеллектуальной системы с активно-адаптивной электрической сетью, ориентированной на клиента и основанной на мультиагентном принципе управления ее функционированием и развитием.

7. Обеспечение надежного и безопасного функционирования. Совершенствование норм и правил охраны труда, производственной безопасности, пересмотр существующих и внедрение современных ключевых показателей эффективности операционных процессов, включающих обязательные меры по безопасности. Разработка экологических требований к деятельности СО, обеспечение энергоэффективных технологий и совершенствование технологических процессов, способствующих снижению вредного воздействия на окружающую среду. А так же

обеспечение комплексной безопасности (физическая охрана, антитеррористическая защита, экономическая и информационная безопасность).

8. Оптимизация процессов и систем, повышение производительности труда. Эффективное определение приоритетов работ, повышение производительности труда, оптимизации численности работников. Совершенствование бизнес-процессов, подходов к обслуживанию сетей, более эффективному взаимодействию подразделений внутри компаний. Информатизация и автоматизация бизнес-процессов, а также стандартизация основные технические и технологические решения.

9. Снижение потерь электроэнергии. Изменение принципа организации учета электрической энергии на розничном рынке. Создание тарифных стимулов к снижению потерь и эффективному использованию сетевой мощности для обеспечения оптимальных режимов работы сети. Актуализация единых технических стандартов и требований к оборудованию и эксплуатации электрических сетей.

10. Загрузка мощностей. До 2017 года планируется разработать методические документы и обеспечить их применение в части учета загрузки построенных питающих центров, ввести финансовую ответственность заявителей за последующее использование присоединенной мощности, установление ответственности органов регулирования за включение в инвестиционные программы объектов, которые впоследствии оказываются невостребованными. Принятие решения о консолидации функции системного планирования электрической сети единым выделенным центром планирования на федеральном уровне.

11. Повышение результативности и снижение удельной стоимости инвестиций. Совершенствование процесса отбора проектов, оптимизация проектных решений, повышение качества управления проектами, оптимизация стоимости капитала за счет прямых и опосредованных форм государственной поддержки.

12. Отбор инвестиционных проектов. Унификация методики расчета экономического эффекта по разным категориям проектов, переход к осуществлению комплексного анализа топологии и состояния электрической сети, исходя из карты нагрузок. Обеспечение публичного и открытого обсуждения инвестиционных программ, проведение их ценового и технологического аудита.

13. Оптимизация проектных решений. Определение минимальных технических решений, разработка типовых технических решений и укрупненных расценок. Оптимизация механизмов выбора, формирования и предоставления земельных участков для строительства энергообъектов.

14. Повышение качества управления проектами. Переход к полноценному проектному управлению и повышение уровня консолидации закупок по видам материалов и услуг. Внедрение системы анализа, для оценки динамики цен по видам и категориям закупок, внедрение системы ключевых показателей эффективности и контроля за их выполнением.

15. Система регулирования. Реализация мер по обеспечению гарантированности возврата займов, принятие решения о возможности финансирования отдельных важнейших инвестиционных проектов с использованием бюджетных средств, принятие решения о возможности применения метода заключения соглашений об условиях осуществления регулируемой деятельности (регуляторных договоров). Внедрение методики сравнительного анализа деятельности СО. Выравнивание сетевой составляющей тарифов в части операционных расходов и потерь в пределах федеральных округов и (или) зон обслуживания каждой из межрегиональных сетевых организаций. Внедрение процедуры публичного рассмотрения тарифных заявок сетевых организаций.

16. Территориальные сетевые организации (ТСО). Сокращение степени разрозненности территориальных сетевых организаций и повышение контроля над ними (количество ТСО к 2030 году сократится с 3000 примерно до 800).

17. Перекрестное субсидирование. Поэтапное снижение перекрестного субсидирования до 2022 года за счет постепенного повышения тарифа для наиболее обеспеченных домохозяйств до экономически обоснованного уровня и повышения эффективности электросетевого комплекса.

18. Формирование ОАО "Российские сети", в ведении которого будут находиться магистральные и распределительные электрические сети, для целей обеспечения координации действий всех СО России в области тарифов, технической политики и планирования инвестиций, обеспечения прозрачности финансово-хозяйственной деятельности, а также в области антикоррупционной политики.

19. Привлечение новых инвесторов в электросетевой комплекс РФ. Разработка и утверждение программы уменьшения доли ОАО "Российские сети" в дочерних СО, в которой будут определены сроки, способы продажи соответствующих пакетов акций, квалификационные требования к потенциальным инвесторам. Расширение участия негосударственного капитала в распределительном электросетевом комплексе, сокращение участия государства.

20. Международное сотрудничество. Выступление СО в качестве инициаторов и исполнителей проектов по развитию крупных узлов международной энергетической инфраструктуры на территории России, реализуемых с использованием новых энергетических технологий.

Оценка результатов реализации стратегии предполагается на основании целевых количественных и качественных показателей, разработанных с учетом прогнозов социально-экономического развития РФ на 2013 год и плановый период 2014 - 2015 годов и Сценарных условий долгосрочного прогноза социально-экономического развития РФ до 2030 года, по каждому из выше обозначенных направлений.

При этом основным механизмом реализации и контроля будут совершенствование нормативно-правовой базы в области регулирования электросетевого комплекса, разработка государственных, федеральных, региональных и ведомственных целевых программ, стратегий СО, системный мониторинг и анализ реализации Стратегии.

Таким образом [4] явилась государственным актом, обозначившим целевые ориентиры основных составляющих инвестиционного потенциала (ресурсно-сырьевой, человеческой, инновационной, производственной, финансовой). Принимая во внимание ключевые сроки исполнения положения Стратегии (2013 – 2017 гг.), оценить эффективность принятых мер нам удастся в обозримом будущем.

#### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
2. Федеральный закон РФ «Об электроэнергетике» (от 26.03.2003 г. №35).
3. Постановление Правительства РФ от 29.12.2011 г. №1178 «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике».
4. Распоряжения Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 №861 «Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого

хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям».

**Устинова Елена Петровна**, аспирант кафедры систем управления и экономики энергетики, Новосибирский ГТУ, т.: 8-923-234-20-35, e-mail: [Elenka\\_ustinova@mail.ru](mailto:Elenka_ustinova@mail.ru).

УДК 66.043.3-982:674.047]:005.932.5

## **ВЫБОР СПОСОБА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ПО КРИТЕРИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ**

**Качанов А.Н., Коренков Д.А.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»*

*В статье приведены результаты расчёта себестоимости сушки 1 м<sup>3</sup> древесины, как критерия выбора оптимального способа сушки, при конвективном и вакуумно-диэлектрическом способах сушки.*

*Results of calculation of cost of drying of 1 m<sup>3</sup> of wood are given in article, as criterion of a choice of an optimum way of drying, at convective and vacuum/dielectric methods of drying.*

В связи с развитием систем автоматического управления электротехнологическими комплексами стали совершенствоваться и установки для сушки капиллярно-пористых материалов, ранее не получившие широкого внедрения по ряду объективно-субъективных причин. К таким электротехнологическим комплексам можно отнести и вакуумно-диэлектрические камеры. Ранее проведенные теоретические расчёты показывают целесообразность внедрения вакуумно-диэлектрической сушки, например, сушки древесины, на предприятиях, использующих традиционные способы сушки (атмосферная, камерная и др.).

При решении вопроса о замене сушильного оборудования на деревообрабатывающих предприятиях основное внимание уделяется технико-экономическому эффекту от внедрения передовых технологий и оборудования. Уровень эксплуатационных затрат на сушку 1 м<sup>3</sup> древесины определяется её себестоимостью, одним из основных экономических показателей. При решении вопроса о целесообразности замены сушильных камер, работа которых основана на конвективном методе передачи тепла, на вакуумно-диэлектрические необходимо выполнить расчет себестоимости сушки 1 м<sup>3</sup> древесины. Сравним себестоимость сушки 1 м<sup>3</sup> древесины в конвективной камере СКВ-50 и вакуумном высокочастотном сушильном комплексе ВВСК-1 технические характеристики которых приняты из литературы [1,2].

Себестоимость  $S_T$  сушки 1 м<sup>3</sup> древесины определена по формуле:

$$S_T = Z_p + Z_B + P_0, \quad (1)$$

где  $Z_p$  – расходы на оплату труда производственных рабочих (операторы и рабочие по укладке пиломатериала),  $\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$ ;  $Z_B$  – расходы на оплату труда вспомогательных рабочих (наладчиков),  $\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$ ;  $P_0$  – расходы по эксплуатации оборудования,  $\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$ .

Расходы на оплату труда производственных рабочих  $Z_p$  приходящиеся на 1 м<sup>3</sup> древесины определены по формуле,  $\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$ :

$$Z_p = \frac{Z_{\text{укл.+оп.}}}{\Pi}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{укл.+оп.}}$  – затраты на оплату труда укладчиков и операторов, руб.;  $\Pi$  – годовая производительность камеры,  $\text{м}^3$ . Затраты на оплату труда укладчиков и операторов определяется по формуле:

$$Z_{\text{укл.+оп.}} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot (n_{\text{укл.}} \cdot C_{\text{час}}^{\text{укл.}} + n_{\text{оп.}} \cdot C_{\text{час}}^{\text{оп.}}) \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (3)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий затраты на дополнительную заработную плату; 1,3 – коэффициент, учитывающий затраты страховые взносы; 1,5 – коэффициент, учитывающий доплаты к тарифу;  $C_{\text{час}}^{\text{укл.}}$  и  $C_{\text{час}}^{\text{оп.}}$  – часовые тарифные ставки укладчика и оператора соответственно,  $C_{\text{час}}^{\text{укл.}} = 39,07$  руб.,  $C_{\text{час}}^{\text{оп.}} = 47,27$  руб.;  $n_{\text{укл.}}$  и  $n_{\text{оп.}}$  – количество укладчиков и операторов, обслуживающих комплекс в течение одной смены;  $\Phi_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд работы основного персонала,  $\Phi_{\text{д}} = 5732,7$  ч.

Производительность камеры рассчитана по формуле,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$\Pi = \frac{\Phi_{\text{д}}}{\tau} \cdot V, \quad (4)$$

где  $\tau$  – продолжительность цикла сушки, ч;  $V$  – объём загрузки камер,  $\text{м}^3$ .

Годовые расходы на оплату труда наладчиков, отнесённые к  $1 \text{ м}^3$  древесины, равны:

$$Z_{\text{нал}} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot \frac{C_{\text{час}}^{\text{нал}} \cdot \Phi_{\text{д}}}{\Pi \cdot n}, \quad (5)$$

где  $C_{\text{час}}^{\text{нал}}$  – часовая тарифная ставка оператора,  $C_{\text{час}}^{\text{нал}} = 42,98$  руб.;  $n$  – число единиц оборудования, обслуживаемых наладчиком,  $n=3$ .

Затраты по эксплуатации вакуумно-диэлектрической камеры, приходящиеся на  $1 \text{ м}^3$  древесины складываются из затрат на амортизацию  $A$  оборудования, затрат на текущий ремонт и обслуживание оборудования  $P$ , а также затрат на электроэнергию  $\mathcal{E}$  и затрат на амортизацию зданий  $A_3$ :

$$P_0 = A + P + \mathcal{E} + A_3 \quad (6)$$

Затраты на амортизацию оборудования определяются по формуле:

$$A = \frac{\Pi_{\text{отп}} \cdot N_{\text{арм}}}{100 \cdot \Pi}, \quad (7)$$

где  $\Pi_{\text{отп}}$  – отпускная цена изделия;  $N_{\text{арм}}$  – норма амортизации,  $N_{\text{арм}} = 10\%$ .

Затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования определяются по формуле:

$$P = \frac{\Pi_{\text{отп}} \cdot N_{\text{рем}}}{100 \cdot \Pi}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{рем}}$  – норма затрат на ремонт,  $N_{\text{рем}} = 5\%$ .

Затраты на электроэнергию определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = W_{\text{уд}} \cdot \Pi_{\mathcal{E}}, \quad (9)$$

где  $W_{\text{уд}}$  – удельный расход электроэнергии установки на сушку  $1 \text{ м}^3$  древесины,  $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$ ;  $\Pi_{\mathcal{E}}$  – стоимость  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  электроэнергии,  $\Pi_{\mathcal{E}} = 4,63$  руб.

Затраты на амортизацию зданий определяются по формуле:

$$A_3 = \frac{1,5 \cdot S_0 \cdot \Pi_3 \cdot N_3}{100 \cdot \Pi}, \quad (10)$$

где  $S_0$  – производственная площадь, непосредственно занимаемая оборудованием,  $\text{м}^2$ ; 1,5 – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь (на проходы, проезды, служебные и бытовые помещения), приходящуюся на единицу

оборудования;  $C_3 = 15000$  – стоимость  $1 \text{ м}^2$  производственной площади, руб.;  $H_3 = 3\%$  – норма амортизации зданий.

Результаты расчёта себестоимости сушки  $1 \text{ м}^3$  древесины приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчёт себестоимости сушки древесины

Исходные данные	ВВСК-1	СКВ-25Ф
$n_{укл}$	2	2
$n_{оп}$	1	1
$\tau$ , ч	22	192
$V$ , $\text{м}^3$	10	27
$C_{отп}$ , руб.	3400000	1100000
$W_{уд}$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	350	480
$S_0$ , $\text{м}^3$	47	34,5
Результаты расчёта	$\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{руб.}}{\text{м}^3}$
$Z_{укл.+оп.}$	591,8	1913,3
$Z_{нал}$	67,6	218,6
A	130,5	136,5
P	65,2	68,3
Э	1620,5	2222,4
$A_3$	12,2	28,89
Итого:	2487,9	4587,99

В расчёте принято допущение, что тепловая мощность в конвективной камере полностью вырабатывается из электрической энергии. В некоторых случаях в конвективных камерах тепловую энергию получают путем сжигания отходов производства (опилок), в результате чего себестоимость сушки может быть снижена ориентировочно до  $3000 \text{ руб./м}^3$ . Однако, из-за низкой годовой производительности себестоимость сушки древесины в конвективной камере значительно выше, по сравнению с сушкой в вакуумно-диэлектрических камерах. Высокая скорость удаления влаги в вакуумно-диэлектрических камерах обеспечивает большую годовую производительность, что является одним из основных аргументов в пользу широкого внедрения данного энергоэффективного способа сушки в производство.

#### Список литературы

1. <http://www.mgul.ac.ru/info/science/spisok/razdtwo/024.shtml>.
2. <http://www.mv-impuls.ru/article1.html>.

**Качанов Александр Николаевич** – академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» «Госунiversитет-УНПК», e-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru).

**Коренков Дмитрий Андреевич** – студент гр. 51-ЭО, ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», e-mail: [dimas.corenkov@yandex.ru](mailto:dimas.corenkov@yandex.ru).

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА: СОСТОЯНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Степанова Е.Ю.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет — УНПК»*

*Дан анализ развития возобновляемых источников энергии в мире и в России. Приводятся причины и пути поиска возобновляемых источников энергии, место водородной энергетики, меры по стимулированию возобновляемых источников энергии в Европе и России. Отмечена роль государства в развитии водородной энергетики и перспективы ее становления в России.*

*The analysis of the development of renewable energy sources in the world and in Russia is carry out. The reasons and the search path of renewable energy, hydrogen energy place, measures to encourage renewable energy in Europe and Russia are given. The role of government in the development of hydrogen energy and perspectives of its development in Russia is noted.*

По разным оценкам, нефти и газа на Земле осталось менее чем на полвека, а угля и урана – приблизительно на 2,5. Темпы потребления нефти столь велики, что в год человечество потребляет ее в количестве, которое образуется в природе за 2 млн. лет.

Такое сокращение запасов углеводородов на Земле, подогревает интерес правительств к поиску возобновляемых и неисчерпаемых источников энергии: биомассы, солнечной, ветровой, геотермальной, приливной и др. [1-5]. Для стран-импортеров углеводородов, а это большинство развитых стран, желание избавиться от ближневосточной и российской нефтезависимости вынуждает более интенсивно и целенаправленно искать пути энергоэффективности, энергосбережения и разработки альтернативных источников энергии.

Надо сказать, что поиск нетрадиционных, альтернативных нефти и газу источников энергии привлекал к себе внимание исследователей и изобретателей из разных стран не одно столетие и раньше. Вспомним хотя бы, как еще около двух веков назад в Англии начали оснащать автомобили генераторами, перерабатывающими твердое топливо в горючий газ.

В разных странах проблема снижения зависимости от импорта углеводородов решается разными путями.

Так США, потребляя самый большой объем из всех стран мира - порядка 16 млн. баррелей нефти в день, вкладывают огромные инвестиции в развитие нефтедобычи у себя. По данным экспертов IHS Cambridge Energy Research Associates (РБК daily. СПб. №104 (993) от 28.06.2012) в последнее время 48% мировых инвестиций в нефтепроизводство, а это 320 млрд. долл., пришлось на США и Канаду. Интересно мнение директора Института стратегических оценок и анализа В. Гусейнова, «Несомненно, США за последнее время достигли серьезных успехов в деле самообеспечения углеводородами. Добыча нефти в США бьет рекорды, а успехи американских компаний в добыче сланцевого газа делают эту страну независимой от поставок из-за рубежа... США создали практически замкнутый рынок энергоресурсов и фактически не испытывают на себе давление ценовых колебаний на мировых рынках». К 2020 году Америка хочет вдвое сократить поставки нефти с Ближнего Востока с более чем 4 млн. баррелей до 2,5 баррелей в день, а к 2035 году — вовсе отказаться от них. Обусловлено такое поведение успешным освоением технологий добычи из месторождений шельфовой нефти и нефтеносных песков Канады и сланцевого газа. США постепенно превращается из импортера в экспортера нефти. В конечном счете, цена на нефть к 2020 году может снизиться до 80-83 долл. за баррель. Это представляет серьезную экономическую угрозу для России и очень выгодно Китаю как главному импортеру.

В целом в мире ежегодно в развитие ВИЭ вкладывается ежегодно свыше 250 млрд. долларов. США при этом не упускает из внимания развитие большинства альтернативных источников энергии. Только в развитие биоэнергетики для военных и коммерческих нужд предлагается проект инвестирования государством в лице Министерств ВМС, сельского хозяйства и энергетики, а также частными компаниями более 510 млн. долл. к 2014 году [6]. Проект базируется на президентском указе «Концептуальные основы безопасного энергетического будущего», подписанного Б. Обамой в марте 2011 года.

Частный бизнес также не стоит в стороне. Известная американская компания Google, являясь одним из крупнейших потребителей электроэнергии в стране, в то же время стала уже много лет одним из крупнейших инвесторов в НИОКР в области солнечной, геотермальной и водородной энергетики.

Большие объемы «нефтяных» финансов, вкладывают Объединенные арабские эмираты в альтернативную энергетику в Европе, Азии и Африке. Ими поставлена задача довести к 2020 году долю альтернативной энергетики до 7% от энергетических потребностей страны [7]. Толчком для таких решений стали нестабильные цены на нефть, обусловленные арабскими революциями, мировой финансовый кризис, замедление темпов экономического роста в мире и, особенно, в Европе. Руководители ОАЭ используют создавшуюся ситуацию для наращивания своего влияния в мире.

Еще в 2009 году Финляндия использовала ВИЭ в 29,8 % производства конечной энергии, а в Швеции - 50,2 % [5]. В Швеции 80% автотранспорта работает на биоэтаноле, Бразилия еще с 2006 года отказалась практически от нефти в пользу биоэтанола из сахарного тростника. Венгрия становится лидером в ЕС по производству биоэтанола. В России даже запатентована технология получения биоэтанола из злостного сорняка – борщевика (патент РФ 2458106), который дает в четыре раза больше выход топлива, чем из сахарного тростника, а ученые Сибирского института Физиологии и биохимии растений СО РАН недавно предложили получать биотопливо из тополей. Для этого ими уже созданы трансгенные быстрорастущие пирамидальные тополя, которые можно разводить на специальных плантациях.

Динамично растет рынок ветровых электростанций - на 30 % в год, солнечной - на 50 %. Теоретически 1% условного солнечного «топлива» мог бы решить все энергетические потребности человечества на сотни тысяч лет вперед.

Испания решила построить сразу шесть крупных солнечных электростанций. В целом Европарламент обязал все страны Евросоюза к 2020 году довести долю альтернативной энергетики до 20% в общей генерации, а к 2040 году – до 40 % [8]. Есть оптимисты, которые считают, что долю ВИЭ можно довести до 100%. Дания уже сейчас производит 26% электроэнергии на ветроустановках. Доля ВИЭ в энергобалансе Германии достигает 25%, а к 2020 году ожидается до 35%. В Индии, Китае и США ВИЭ составляет около 12%, в Дании одна только ветровая энергетика обеспечивает 26% потребностей [9].

Полезным примером для нашей страны могут стать меры по стимулированию ВИЭ, предусмотренные программой развития энергетики Евросоюза [10]:

- дополнительное налогообложение для предприятий, занимающихся добычей полезных ископаемых;
- повышенные тарифы на выработку электроэнергии из ВИЭ («зеленые тарифы»);
- субсидирование потребителю от 20 до 40% стоимости покупки энергосберегающего оборудования и оборудования для выработки электроэнергии из ВИЭ;
- обязательные к исполнению госпрограммы по ускоренному освоению ВИЭ.

В России также утверждены основные направления государственной политики в сфере возобновляемых источников энергии. Государство впервые установило индикатор для ВИЭ, который должен быть достигнут в 2020 году – 4,5 % от общего



объема производства. Даже к зимней олимпиаде в Сочи было запланировано введение энергоустановки в 1 ГВт на ВИЭ.

Стоимость электроэнергии в Якутии на привозном топливе достигает 25 – 60 рублей за кВт·час. Поэтому там, в отдаленных районах, а таких районов в стране много, альтернативные источники энергии, например, солнечные и ветровые станции становятся выгодными уже сегодня. В ближайшее время 1 кВт·ч энергии от солнечной батареи, по прогнозам специалистов, будет стоить не более 20 евроцентов.

Однако, несмотря на огромный ветроэнергетический потенциал России, который оценивается в 40 млрд. кВт·ч в год, благоприятные природные условия и большую инвестиционную привлекательность, у нас до сих пор нет ни одного ветропарка европейского уровня.

Среди многих альтернативных видов энергетики выделяется водородная энергетика, которая, по мнению специалистов, может стать в обозримом будущем основным источником экологически чистой энергии для промышленности, ЖКХ и автомобилей. Ее еще называют «декарбонизированной», или «биосферосовместимой» т.е. без выбросов углекислого газа и других веществ в атмосферу и отсутствии вреда природе. Водород является простейшим и самым распространенным элементом во Вселенной – 75% ее материи состоит из водорода. Считается, что в глобальном масштабе его запасы неисчерпаемы и доступны всем странам. Однако он никогда не встречается в природе в чистом виде, всегда находится в соединении с другими элементами. Неисчерпаемым источником водорода является вода, при сжигании водорода образуется вода. Таким образом, применение водорода может спасти человечество от глобальной экологической катастрофы, а также обеспечить его устойчивое развитие и энергетическую безопасность в долгосрочной перспективе.

Известно, что NASA использует водородное топливо для запуска космических челноков, а также в топливных элементах, обеспечивающих тепло, электричество и питьевую воду для космонавтов. Жидкий водород используется NASA уже с 1970 года. По прогнозам Министерства энергетики США (United States Department of Energy (DOE)) к 2015 году стоимость водорода сравняется со стоимостью бензина [11].

В настоящее время водород применяется для атомно-водородной сварки, в нефтепереработке, синтезе метанола, в производстве аммиака, хлороводорода, твердых жиров, мыла и пластмасс, ракетного топлива, топлива для легкового и грузового автотранспорта. Многие технологии получения и применения водорода освоены и в России. Горючим для легендарного космического челнока «Буран» был жидкий водород и кислород. Большой задел был получен с 70-х до 90-х годов в институтах РАН. Но в процессе социально-политических потрясений 90-х годов было уже не до ВИЭ.

С 2006 года группа «ОНЭКСИМ» М. Прохорова вложила более 60 млн. долларов в водородную энергетику: построила инфраструктуру, оснастила лаборатории, сотни сотрудников начали работать над перспективными направлениями водородной генерации. Общий объем инвестиций должен был составить порядка 10 млрд. рублей. Но кризисные процессы в мире, резкий спад спроса на электроэнергию, высокая капиталоемкость исследований и длительный срок окупаемости снизил экономическую обоснованность проекта, который в 2009 году был заморожен. Не способствует развитию водородной экономики отсутствие сети АЗС и массового спроса, нет окончательного решения вопросов безопасности. А самой главной причиной является мощное лобби нефтяных и газовых вертикально интегрированных компаний, которые обеспечивают львиную долю наполнения экспорта и бюджета страны, а также имеют сверхприбыль от экспорта углеводородов.

Но крупнейшие компании-мировые бренды продолжают вкладывать огромные средства в технологии использования водорода на автомобильном транспорте и в топливных элементах. Оценку этого рынка можно представить по следующим известным данным: на сегодня в США на 300 млн. жителей приходится 200 млн.

автомобилей, в Китае на 1 млрд. 300 млн. – 50 млн. машин, в России на 143 млн. жителей – порядка 36 млн. машин. Если мир будет развиваться по американскому сценарию, то по нашим подсчетам, в Китае должно быть под 900 млрд. машин, а в России – порядка 100 млн. Можно представить, что будет с экологией, если не работать над поиском новых источников энергии для автомобилей сейчас. Игнорированием вопросов развития ВИЭ, в том числе водородных, можно получить результат, который мы имеем сегодня с компьютерной техникой, электроникой, сланцевым газом ит.п.

Как ни парадоксально, но мировой рынок водородных энергоносителей развивается уже сейчас в условиях острейшей конкуренции. На этом рынке представлены водородные топливные элементы для компьютеров и мобильных телефонов, срок работы которых без заправки достигает несколько недель; автомобили, скутеры, инвалидные коляски, подводные лодки, самолеты, АЗС, «водородные шоссе и коридоры» и многое другое.

Важность развития возобновляемых источников энергии в России подтверждает принятое Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 года № 449 «О стимулировании использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности», но касается оно в основном солнечной, ветровой и гидрогенерации.

Анализ выступлений, докладов, нормативно-правовых актов, говорит о том, что политика министерства энергетики РФ заключается в нахождении баланса между традиционной и «зеленой энергетикой». Но при наличии в стране громадных запасов традиционных энергоносителей и развитой инфраструктуры в этой отрасли оно не готово отдавать приоритет ВИЭ из-за ограниченности инвестиционных ресурсов.

Мало чем отличается и взгляд законодательной власти в лице председателя Комитета ГД РФ по энергетике И.Д. Грачева «Цены на углеводороды будут монотонно расти, пока не появится дешевый «термояд» и отклонений от этого процесса не ожидают». Но для России главное это атомная энергетика, углеводородная энергетика, уголь и экологически чистые методы его переработки».

Президент России В.В. Путин в своих выступлениях [12] отмечал неоднократно необходимость развития возобновляемых источников энергии, таких как энергии отливов и приливов, солнечной энергетики и водородной генерации. Он считает альтернативную энергетику по сравнению с атомной и углеводородной генерациями неэффективной, но полагает актуальным целенаправленное развитие этой отрасли. «В настоящее время альтернативная энергетика существует лишь потому, что её субсидируют, но это не значит, что её не нужно развивать», - заявил президент.

Важно отметить, что в этой области создаются и отрабатываются новые материалы и технологии, которые могут совершить революцию в авиационно-космической, оборонной отраслях, во многих приложениях, особенно при использовании наноматериалов и нанотехнологий.

В итоге можно признать, что сегодня водородная энергетика представляет собой новацию с блестящими экологическими, но с пока еще не совсем ясными и глубоко просчитанными экономическими последствиями. Необходимость слома старой с большим трудом созданной углеводородной инфраструктуры и экономики, которая фактически кормит всю страну, конечно, вызывает у многих явное неприятие и отторжение. Сложившуюся ситуацию используют в своих интересах сторонники традиционных видов энергии, материально заинтересованные в сохранении старого энергетического порядка. Есть и объективные причины, например, не в полной мере проработана нормативная, техническая и правовая базы, недостаточно развито производство оборудования, отсутствует сервисная сеть, не до конца решены вопросы подключения к сетям «нетрадиционных», так как по мнению сетевиков, качество энергии ВИЭ неудовлетворительное, особенно в части несоблюдения частоты, а также небольшие и «скачущие» во времени объемы вырабатываемой энергии и т.п.

Вывод: для стимулирования развития ВИЭ необходимы как административные, так и экономические меры на основе государственной поддержки [13]: проведение тендеров на разработку и реализацию новых технологий; создание благоприятного общественного климата по признанию технологий ВИЭ; установление обязательных квот по производству ВИЭ; проведение государственной политики развития технологий ВИЭ на всех уровнях административной иерархии; государственное финансирование НИОКР в сфере производства ВИЭ; предоставление грантов на развитие технологий ВИЭ; освобождение производителей ВИЭ от налогов; надбавки к тарифам на энергию, получаемую от установок ВИЭ; применение методов ускоренной амортизации установок ВИЭ; ГЧП в сфере строительства объектов ВИЭ; выдача лицензий на строительство объектов ВИЭ и согласование проектной документации; проведение информационно-рекламных компаний и выставок в поддержку технологий ВИЭ.

Подытожить анализ развития ВИЭ можно словами академика РАН, выдающегося энергетика М.А. Стыриковича «Энергетика – это физика и экономика, и ничего больше», которые произнес нынешний президент РАН В.Е. Фортов при обсуждении комплексной программе по водородной энергетике в 2003 году. Главное - не упустить бы время.

#### Список литературы

1. Степанова Е.Ю. Роль крупных корпораций в развитии альтернативной энергетики //Энерго- и ресурсосбережение XXI: Сб. матер. V-ой межд. науч.-прак. интернет-конф. - Орёл: ООО «Издательский дом «ОРЛИК» и К», 2007.- С. 190 – 191.
2. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике //Рос. хим. ж. (Ж. рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. т. LI. № 6. С. 95 - 106.
3. Степанова Е.Ю. Тенденции развития энергетики России и роль корпораций в развитии возобновляемых источников энергии //Энерго- и ресурсосбережение - XXI: Сб. матер. VII межд. науч.-прак. интернет-конф. март-июнь. - Орёл: ОрёлГТУ, 2009. – С. 190-195.
4. Степанова Е.Ю. Рынок солнечной энергетики в России: состояние и перспективы //Энерго- и ресурсосбережение - XXI: Сб. матер. X межд. науч.-прак. Интернет-конф. 01 марта — 30 июня. - Орёл: Госуниверситет - УНПК, 2012. – С. 303 - 307.
5. Разумнова Л. Возобновляемая энергетика становится глобальной //Нефть России. № 5. 2012. - С. 80 - 84.
6. <http://www.energoacademy.ru>.
7. [http://energysafe.ru/alternative\\_energy/companies/475](http://energysafe.ru/alternative_energy/companies/475).
8. Газета Президент № 5 (256) 1-7 июля 2010 года.
9. <http://top.rbc.ru/economics/17/06/2013/862008.shtml/>.
10. Европа как лидер «зеленой» энергетики: власти Старого Света стимулируют развитие возобновляемой энергетики: водородная энергетика в Западной Европе //«ЭКОмониторинг. №1. 2013. Энергетическая эффективность. С. 17 – 19.
11. <http://www.tradition-ru.org>.
12. Сайт Президента Российской Федерации. - <http://www.kremlin.ru/>.
13. Окоороков Р.В. Энергетические технологии XXI столетия: тенденции развития. Ч. II. Энергетические технологии производства энергии, использующие возобновляемые энергетические ресурсы //Академия Энергетики. - № 4 (30). Август 2009. – С. 4 - 19

**Степанова Елена Юрьевна**, канд. эк. наук, доцент кафедры «Государственное управление и финансы» ФЭИ Госуниверситета – УНПК, т.: (4862) 42-11-05, e-mail: [eco-nauka@ya.ru](mailto:eco-nauka@ya.ru).

## **СЕКЦИЯ № 7. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

Руководитель:

**Степанов Юрий Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, директор НОЦ нанотехнологий ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

---

УДК 535:621.373.8; 535:621.375.8

### **ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАЗЕРНОГО ДИОДА С КВАНТОВОРАЗМЕРНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ**

**Матюхин С.И., Макулевский Г.Р.**

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

*Представлена математическая модель прямой ветви вольтамперной характеристики лазерного диода на основе AlGaAs с отдельным ограничением и квантоворазмерной активной областью, позволяющая изучить факторы, определяющие пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление таких диодов.*

*A mathematical model of the forward I-V characteristics of the AlGaAs laser diode with separate confinement and quantum-well active region for determining the threshold voltage and differential resistance of the diodes is presented.*

Одной из фундаментальных проблем лазерной техники является проблема повышения эффективности преобразования электрической энергии в энергию когерентного лазерного излучения. Возможным способом решения этой проблемы является понижение тепловых потерь лазерных диодов, обусловленное снижением их порогового напряжения  $U_T$  и дифференциального сопротивления  $r$ . В настоящей работе построена математическая модель прямой ветви ВАХ лазерного диода на основе AlGaAs с отдельным ограничением и квантоворазмерной активной областью, позволяющая изучить все факторы, определяющие эти характеристики диодов.

Исходя из структуры лазерного диода, можно сделать вывод, что прямое падение напряжения на диоде равно:

$$U_F = \sum_j U_j + U_B + \sum_l U_l, \quad (1)$$

где первое слагаемое в правой части отвечает сумме падений напряжения  $U_j$  на гетеропереходах, второе – падению напряжения  $U_B$  на слаболегированной  $n$ -базе, а третье – суммарному падению напряжения на сильно легированных слоях полупроводниковой структуры, которое определяется их омическим сопротивлением  $r_l$  и током  $I_F$ :

$$\sum_l U_l = \sum_l r_l I_F = \sum_l r_l \frac{d_l}{S_0} I_F. \quad (2)$$

В выражении (2)  $S_0 \approx L_0 W_0$  – это активная площадь переходов, равная в случае полосковых контактов произведению длины лазерного резонатора  $L_0$  на ширину

полоска  $W_0$ ;  $d_l$  – толщины соответствующих слоёв, а  $r_l$  – удельные сопротивления этих слоев, определяемые подвижностью соответствующих носителей заряда  $m_l$  [1] и уровнем легирования слоёв  $N_l$ :

$$r_l \approx \frac{1}{em_l N_l}. \quad (3)$$

Падение напряжения на  $n$ -базе при высоких уровнях инжекции равно [2]:

$$U_B \approx \frac{1.5kT}{e} \exp\left(\frac{d_B}{2\Lambda_{pB}}\right) + r_B \frac{d_B}{S_0} I_F, \quad (4)$$

где  $d_B$  – равная ширине волновода толщина  $n$ -базы, а  $\Lambda_{pB} = \sqrt{D_{aB} t_{pB}}$  – амбиполярная диффузионная длина дырок в волноводе, которая выражается через амбиполярный коэффициент диффузии  $D_{aB} = 2D_{pB}/(1 + m_{pB}/m_{nB})$ . Величины  $m_{nB}$  и  $m_{pB}$  в этом последнем выражении – это подвижности электронов и дырок, а  $D_{pB}$  и  $t_{pB}$  – соответственно, коэффициент диффузии и среднее время жизни дырок в волноводе. Исходя из соотношения Эйнштейна,  $D_{pB} = kTm_{pB}/e$ , а среднее время жизни дырок в  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  мы принимаем равным 1 нс ( $t_{p2} \approx 1$  нс).

Первое слагаемое в выражении (4) учитывает тот факт, что сопротивлением квантоворазмерной активной области при высоких уровнях инжекции можно пренебречь, а удельная электропроводность волновода из-за роста концентрации электронов и дырок увеличивается с ростом тока пропорционально току. Вследствие этого падение напряжения на базе остается постоянным. Однако с ростом концентрации носителей в базе возрастает инжекция неосновных носителей в  $p^+$ - и  $n^+$ -эмиттеры, коэффициенты инжекции этих эмиттеров падают; кроме того, начинает проявляться взаимное рассеяние электронов и дырок, что приводит к уменьшению их подвижности. Вследствие этого проводимость базы, несмотря на рост концентрации электронов и дырок, остается примерно постоянной, а падение напряжения на базе возрастает пропорционально току.

Это обстоятельство учитывает второе слагаемое в выражении (4). Входящее в это слагаемое удельное сопротивление  $r_B$ , обусловленное взаимным рассеянием носителей, является в нашей модели феноменологическим параметром и уменьшается с температурой как  $T^{-1.5}$  вследствие роста определяемой рассеянием подвижности [2 – 3]:

$$r_B = \frac{r_0}{e_B^2} \sqrt{\frac{m_{eB} m_{hB}}{m_{eB} + m_{hB}}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1.5}, \quad (5)$$

где  $T_0 = 300$  К,  $e_B$  – диэлектрическая проницаемость [4], а  $m_{eB}$  и  $m_{hB}$  – эффективные массы электронов и дырок в волноводе [5].  $r_0$  в данном случае – это подгоночная постоянная; сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными [6] дает для этой постоянной величину  $r_0 \approx 114$  Ом·см.

Сумму падений напряжения на гетеропереходах лазерной структуры согласно существующей теории гетеропереходов [7] можно представить в виде:

$$\sum_j U_j \approx \frac{hkT}{e} \ln\left(\frac{I_F}{I_S} + 1\right), \quad (6)$$

где  $h$  – так называемый фактор идеальности, а  $I_S$  – обратный ток насыщения.

Если ток через диод ограничивается процессами термоэлектронной эмиссии на  $p^+$ - $n$ -гетеропереходе [8],

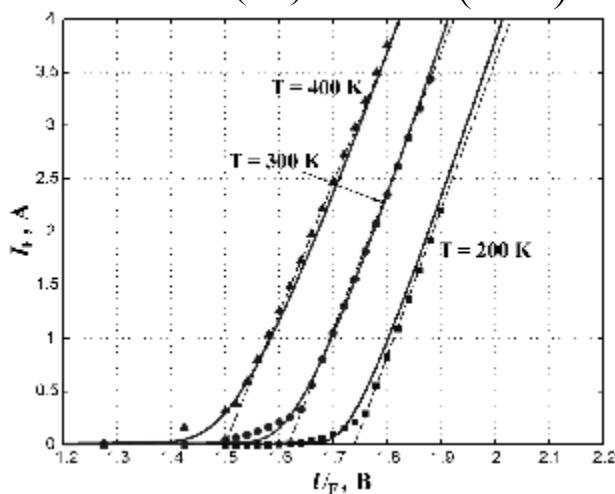
$$h \approx 1 + \frac{e_B N_B}{e_E N_E}, \quad (7)$$

$$I_S \approx A^* S_0 N_E \sqrt{\frac{T}{T_0}} \exp\left(-\frac{e j_C}{kT}\right), \quad (8)$$

где  $e_E$  и  $N_E$  – диэлектрическая проницаемость и уровень легирования  $p$ -эмиттера,  $j_C$  – возникающая на  $p^+$ - $n$ -гетеропереходе контактная разность потенциалов [7], а  $A^*$  – постоянная, определяемая, в основном, проницаемостью барьера на гетерогранице. Сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными [6] дает для  $A^*$  величину  $A^* \approx 2.2 \cdot 10^{-16}$  А·см.

Таким образом, вольтамперная характеристика лазерного диода в прямом направлении имеет вид:

$$U_F \approx \frac{hkT}{e} \ln\left(\frac{I_F}{I_S}\right) + \frac{1.5kT}{e} \exp\left(\frac{d_B}{2\Lambda_{pB}}\right) + \frac{r_0}{e_B^2} \sqrt{\frac{m_{eB}m_{hB}}{m_{eB} + m_{hB}}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1.5} \frac{d_B}{S_0} I_F + \sum_l r_l \frac{d_l}{S_0} I_F. \quad (9)$$



**Рисунок 1 – ВАХ лазерного диода на основе AlGaAs, излучающего на длине волны 808 нм.**

Сплошные кривые – результаты теоретических расчетов по формуле (3-7); маркеры – результаты компьютерного моделирования в пакете Sentaurus TCAD фирмы Synopsys.

Степень согласия теоретических расчетов по формуле (9) [сплошные кривые] с результатами компьютерного моделирования лазерного диода [8 – 9] (маркеры) демонстрирует рисунок 1.

Работа выполнена в НОЦ ОрёлНано [10] при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Орловской области. Грант №12-02-97512.

#### Список литературы

1. Sotoodeh M., Khalid A.H., Rezazadeh A.A. Empirical low-field mobility model for III–V compounds applicable in device simulation codes // Journal of Applied Physics. 2000. V.87. N. 6. P. 2890 - 2900.
2. Евсеев Ю.А., Дерменжи П.Г. Силовые полупроводниковые приборы. - М.: Энергоиздат, 1981. - С. 9 - 50.
3. Отблеск А.Е., Челноков В.Е. Физические проблемы в силовой полупроводниковой электронике. - Л.: Наука, 1984. С. 8 - 11.
4. Samara G.A. Temperature and pressure dependence of the dielectric constants of semiconductors // Phys. Rev. B. 1983. V. 27. P. 3494 - 3505.
5. New Semiconductor Materials. Characteristics and Properties.- Electronic archive of the Ioffe Institute: <http://www.ioffe.rssi.ru/SVA/NSM/Semicond/AlGaAs/index.html> (или <http://www.matprop.ru/AlGaAs>).
6. Мощные лазеры ( $\lambda = 808$  нм) на основе гетероструктур раздельного ограничения AlGaAs/GaAs /Андреев А.Ю., Зорина С.А., Лешко А.Ю., Лютецкий А.В., Мармалюк А.А., Мурашева А.В., Налет Т.А., Падалица А.А., Пихтин Н.А., Сабитов Д.Р., Симаков В.А.,

Слипченко С.О., Телегин К.Ю., Шамахов В.В., Тарасов И.С.//ФТП. - 2009. - Т. 43. - Вып. 4. - С. 543 - 547.

7. Шарма Б.Л., Пурохит Р.К. Полупроводниковые гетеропереходы. - М.: Советское радио, 1979. 232 с.

8. Зависимость характеристик полупроводникового ДГС РО лазера на основе AlGaAs от концентрации алюминия в области волновода и эмиттеров /Матюхин С.И., Козил З.Ж., Магомедов Г.Р., Малый Д.О., Ромашин С.Н. //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - №3 (287). - С. 26 - 35.

9. Матюхин С.И., Козил З.Ж. Зависимость характеристик полупроводникового ДГС РО лазера на основе AlGaAs от ширины квантоворазмерной активной области // Наноинженерия. - 2012. - № 5. С. 14 - 17.

10. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Степанова Е.Ю. Научно-образовательный центр нанотехнологий в структуре учебно-научно-производственного комплекса // Наноинженерия. - № 5. – 2012. – С. 3 – 6.

**Матюхин Сергей Иванович**, д-р ф.-м. наук, доцент, ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», декан Естественнонаучного факультета, тел. (4862) 41-98-8, e-mail: [sim1@mail.ru](mailto:sim1@mail.ru).

**Макулевский Гаджи Рашидович**, ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», аспирант, тел. (4862) 41-98-89, e-mail: [maggadr@gmail.com](mailto:maggadr@gmail.com).

УДК 539.3

## ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННОСТИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА УПРУГИХ ТЕЛ

**Якушина С.И.**

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

*Рассматриваются два тела  $B^{(1)}$  и  $B^{(2)}$  находящиеся в состоянии адгезии. Их слипание (адгезия) реализовано вдоль поверхности  $S_0$  – адгезионного шва. Обычно считается (если тела считаются сплошными средами), что адгезионный контакт является сплошным, происходящим вдоль всей поверхности  $S_0$ . Однако, если учесть остроковый механизм образования тонкопленочных покрытий, можно заключить, что сплошным адгезионный контакт считать нельзя. Предлагается попытка оценки истинной площади контакта на основании представлений механики сплошных сред. В основу рассуждений кладутся энергетические представления – величина площади контакта соответствует минимуму потенциальной энергии системы контактирующих тел.*

*Two bodies  $B^{(1)}$  and  $B^{(2)}$  in adhesion are considered. Their adhesion is performed along the surface  $S_0$  of the adhesion joint. It is usually considered (if bodies are considered to be continuous media) that the adhesion contact is continuous, acting along the whole of the surface  $S_0$ . But if discontinuous mechanism of thin-filmed cover formation is taken into account then it is possible to draw a conclusion that the adhesion contact cannot be considered a continuous one. The attempt for evaluation of the real contact area on the basis of continuous medium mechanics ideas is offered. In a footing of considerations are placed power ideas – a value of a contact area corresponds to potential power minimum of the contacting bodies system*

Известно, что реальный контакт твердых тел даже в состоянии адгезии не является сплошным [1, 2]. Причинами являются загрязнение поверхности контакта и неполнота контакта слоев  $B^{(1)}$  и  $B^{(2)}$ , связанные с физической природой их материалов, их “адгезионной совместимостью”. В данной работе рассмотрение неполноты адгезионного контакта осуществляется лишь с механической точки зрения.

Из-за разности межатомных расстояний решеток адгезионный контакт не является сплошным. Известно, что, приближаясь к равновесному состоянию, любое тело стремится к минимуму своей энергии [3]. Это приводит к тому, что при расколе его на две части вдоль первоначально гладкой поверхности ближайшие к ней атомы

меняют свое положение и поверхность получает сложную форму [4]. Кроме того, при подобной реконструкции поверхности ее активной частью, способной взаимодействовать с напыляемыми частицами, являются лишь отдельные участки – активные центры. Следствием этого является островковый механизм формирования плёнки при её напылении на поверхность основы. По мере роста и смыкания островков между ними и поверхностью основы возможно образование пустот, участков отсутствия слипания, то есть, неполного адгезионного контакта.

На основании вышеизложенного строится условие для количественной относительной площади адгезионного контакта.

Допускается, что каждый элементарный участок  $dS_0$  поверхности кажущегося контакта  $S_0$  тел  $B^{(1)}$  и  $B^{(2)}$  является объединением двух участков

$$dS_0 = dS_a + dS_{1-a}. \quad (1)$$

На первом из них  $dS_a = adS_0$  адгезия существует, на втором  $dS_{1-a} = (1-a)dS_0$  ее нет.

При образовании  $B = B^{(1)} \cup B^{(2)}$  в этой системе происходят энергетические изменения. Среди всех возможных для системы состояний наступает то, которое соответствует их минимуму. Поэтому в равновесном состоянии системы  $B = B^{(1)} \cup B^{(2)}$  в отсутствии внешних механических воздействий должно выполняться равенство

$$\frac{\partial F}{\partial a} = \frac{\partial W^{(1,2)}}{\partial a} = 0.$$

Перемещение частиц тела  $B^{(j)}$  на границе  $S_a$  его контакта с другим телом системы  $B = B^{(1)} \cup B^{(2)}$  является суммой перемещений, возникающих как при наличии адгезии, так и при её отсутствии, взятых с коэффициентами, равными относительным долям участков границы, на которых это наблюдается:

$$\mathbf{u}^{(j)} = a \mathbf{u}_a^{(j)} + (1-a) \mathbf{u}_{1-a}^{(j)} \quad (2)$$

В теории упругости [5] тензоры напряжений являются линейными комбинациями градиентов перемещений различных порядков. С учётом (2), на основании этого можно заключить, что для них справедливо представление

$$P^{k(j)} = a P_a^{k(j)} + (1-a) P_{1-a}^{k(j)}; j, k = 1, 2 \quad (3)$$

Представленные выше рассуждения дают возможность решить поставленную задачу, рассмотрев предварительно, независимо друг от друга, две задачи. Первая – об адгезии  $B^{(1)}$  и  $B^{(2)}$  в предположении об абсолютной её сплошности вдоль  $S_0$ . Вторая – задача об их напряжённо-деформированном состоянии при условии отсутствия их взаимных воздействий.

Выражение для избытка поверхностной энергии  $W^{(1,2)}$  объединённого тела  $B = B^{(1)} \cup B^{(2)}$

$$W^{(1,2)} = a^2 W_{aa} + a(1-a) W_{a(1-a)} + (1-a)^2 W_{(1-a)(1-a)} = W_{(a)}^{(1,2)} \quad (4)$$

В этой записи  $W_{aa}$  численно равно работе обобщённых внутренних сил, вызванных адгезионным контактом, на обобщённых перемещениях, вызванных также адгезионным контактом.  $W_{(1-a)(1-a)}$  – работа обобщённых внутренних сил, возникающих в  $B^{(j)}$  при отсутствии адгезии, на перемещениях, появляющихся под влиянием этих



сил. Ввиду этого, обе величины  $W_{aa}$  и  $W_{(1-a)(1-a)}$  положительны. Значит, зависимость  $W_{(a)}^{(1,2)}$  имеет минимум. Соответствующее ему значение  $a = a_0$  определяется условием

$$a = \frac{1}{1 + \frac{W_{aa} - \frac{1}{2}W_{a(1-a)}}{W_{(1-a)(1-a)} - \frac{1}{2}W_{a(1-a)}}} \quad (5)$$

С целью сокращения математических расчетов, учитывая необходимость лишь качественного анализа несплошности на основании предлагаемой математической модели, далее считаем следующее:

- 1) тела  $V_{(\alpha)}$  и  $V_{(\beta)}$  предполагаются полубесконечными;
- 2) процессы деформирования, происходящие при адгезии, являются одномерным;
- 3) для характеристики деформированного состояния предлагается использовать только два первых градиента перемещений, а для характеристики напряженного состояния – два первых тензора напряжений;
- 4) допускается, что внешние, распределенные по краям  $x_1 \equiv x = \pm\infty$ , взаимодействия на объединенное тело  $V_{(\alpha,\beta)}$ , имеющие касательную и нормальную составляющие, приводят к значению  $\alpha$ , равному сумме значений  $\alpha$ , полученных только от нормального и только от касательного воздействий.

Эти допущения позволяют рассчитывать поврежденность только аналитически, минуя численный счет. Данные расчета использованы при оценке прочности многослойной стенки макета проточного тракта жидкометаллического blankets термоядерного реактора ИТЭР [1].

#### Список литературы

1. Витковский, И. В. Теоретическая оценка несплошности адгезионного контакта элементов жидкометаллического blankets термоядерного реактора / И. В. Витковский, А. Н. Конев, В. С. Шоркин, С. И. Якушина // Журнал технической физики, 2007. – Т. 77.– Вып. 6. – С.28 – 33.
2. Зимон, А. Д. Адгезия пленок и покрытий / А. Д. Зимон. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
3. Физический энциклопедический словарь.– т.1.– М.: Советская энциклопедия, 1960.– 664 с.
4. Киселев В.Ф. Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках.– М.: Наука, 1970.– 400 с.
5. Шоркин В.С. Особенности упругости поверхностных слоев твердых тел. /В.С. Шоркин //Упругость и неупругость. Материалы международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 90 – летию со дня рождения А.А. Ильюшина. Москва, 22- 23 января 2001 г. – М.: МГУ, 2001. – С. 453 – 454.

**Якушина Светлана Ивановна**, старший преподаватель кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», e-mail: [Jakushina@rambler.ru](mailto:Jakushina@rambler.ru).

## СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

**Матюхин С.И., Деев О.В.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК»*

*Представлен обзор наиболее распространенных пакетов программ, используемых для компьютерного моделирования технологических процессов, структуры и характеристик приборов и устройств на современном этапе развития микро- и нанoeлектроники.*

*Review of the most common software packages used for computer simulation of electronic device technological processes, structure and characteristics on the today stage of the micro- and nanoelectronics development is presented.*

Приборное моделирование в микро- и нанoeлектронике позволяет предсказать электрические, тепловые и оптические характеристики полупроводниковых приборов без их изготовления, исключая тем самым потребности в проведении натуральных экспериментов. Программы приборного моделирования, как правило, дают возможность:

- сконструировать и оптимизировать любые приборы и устройства, включая приборы, работа которых основана на новых физических явлениях или материалах;
- понять принципы работы приборов посредством изучения распределения потенциала, электрического поля, тока, плотности тока, температуры, скорости генерации и рекомбинации носителей заряда и т.д.;
- исследовать стационарные и переходные процессы при любых интересующих условиях работы приборов;
- изучить условия повреждения приборов и механизмы их отказа;
- сгенерировать данные для компактных моделей приборов, которые используются при схемотехническом анализе и моделировании;
- объединить один или несколько физически смоделированных приборов в электрическую цепь с пассивными и активными элементами и компактными моделями.

Программы приборного моделирования позволяют проводить моделирование 1D-, 2D- и 3D-структур произвольной формы путём численного решения фундаментальных уравнений математической физики – уравнения Пуассона, уравнения непрерывности, уравнений энергетического баланса и теплопроводности. Моделируемые структуры в этих программах, как правило, создаются при помощи графических редакторов, при помощи эмуляторов технологических процессов или являются результатом технологического моделирования.

Существующие сегодня программы технологического моделирования позволяют моделировать как отдельные процессы изготовления, так и целые технологические цепочки, объединяя последние в технологические маршруты виртуального производства. Первой удачной программой такого типа стала программа Suprem II [1 – 3], разработанная в Стэнфордском университете (США) в 1978 г. и ставшая де-факто стандартом как для коммерческих (SSuprem, Athena), так и для свободных (Suprem III, Suprem IV) программных пакетов технологического моделирования.

Моделирование технологических процессов позволяет:

- проектировать и моделировать не только структуру, но и само производство современных устройств – от больших силовых транзисторов до субмикронных устройств;

- производить оценку и совершенствование как традиционных, так и нетрадиционных технологий;
- анализировать предысторию и релаксацию напряжений и прогнозировать характеристики одно-, двух- и трёхмерных структур;
- связывать виртуально произведенные структуры с программами приборного моделирования.

Синтез программ технологического моделирования с программами приборного моделирования привёл к появлению современных систем приборно-технологического моделирования (TCAD – Technology Computer Aided Design), без которых уже не может обойтись ни одно крупное производство микро- и нанoeлектроники.

Благодаря их огромным возможностям и предсказательной силе в настоящее время существует достаточно много производителей как коммерческих, так и свободных систем приборно-технологического моделирования [4]: Crosslight Software (Crosslight TCAD) [5], Cogenda Software (Visual TCAD) [6], Global TCAD Solutions (Minimos) [7], General-purpose Semiconductor Simulator [8] и Archimedes [9] (TCAD-системы с открытым кодом) и т.д. Однако наиболее мощными и наиболее привлекательными продуктами такого плана являются САПР Sentaurus TCAD компании Synopsys [10] и Silvaco TCAD компании Silvaco [11].

Основными направлениями развития этих пакетов в настоящее время являются:

- возможность построения компактных моделей (на базе результатов моделирования и/или измерений конкретных приборов), отражающих зависимость выходных (электрофизических) параметров от разброса входных (технологических) параметров для определения пределов значений технологических параметров, в которых обеспечиваются требуемые характеристики приборов;
- моделирование мощных кремниевых и гетероприборов, включая приборы на основе материалов группы АЗВ5, SiC и GaN, фотодетекторы, светоизлучающие диоды, полупроводниковые лазеры и т.д.;
- двумерное и трехмерное моделирование глубоко субмикронных приборов (VDSM – Very Deep Sub Micron), включающее моделирование процессов формирования структуры приборов, моделирование механических напряжений и физических явлений внутри таких структур и анализ трехмерного растекания носителей заряда.

Последнее направление оказывается особенно важным с точки зрения развития нанoeлектроники и привело к появлению специализированных программных пакетов, ориентированных на моделирование наноразмерных приборов и устройств: программного комплекса Tsuprem-4 фирмы Synopsys [10], российского комплекса NanoMod [12], программных пакетов Nextnano [13] и NanoTCAD ViDES [14], а также пакета для моделирования электромеханических систем IntelliSuite фирмы IntelliSense Software [15].

Работа выполнена в НОЦ ОрёлНано [16] при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Орловской области. Грант № 12-02-97512.

#### Список литературы

1. The Stanford TCAD Group's Home Page: <http://www-tcad.stanford.edu/>.
2. Нелаев В.В. Программа SUPREM II моделирования технологии изготовления интегральных схем.- Минск, 1998.
3. Нелаев В.В. Физическое моделирование технологических процессов в программе SUPREM II.- Минск, 1998.
4. Электронный ресурс: <http://www.tcadcentral.com/>.
5. The Crosslight Home Page: <http://www.crosslight.com/>.
6. The Cogenda Home Page: <http://www.cogenda.com/>.
7. The Global TCAD Solutions' Home Page: <http://www.globaltcad.com/>.
8. The GSS Home Page: <http://gss-tcad.sourceforge.net/>.

9. The Archimedes' Home Page: <http://www.gnu.org/software/archimedes/>.
10. The Synopsys Home Page: <http://www.synopsys.com/>.
11. The Silvaco Home Page: <http://www.silvaco.com/>.
12. Гарнавский Г., Анищик В. Компьютерное проектирование нанoeлектронных устройств // Электроника НТБ. 2009. Вып. 8. С. 95 - 98 [<http://www.electronics.ru/journal/article/312>].
13. The Nextnano Home Page: <http://www.nextnano.com/>.
14. The NanoTCAD Home Page: <http://vides.nanotcad.com/>.
15. The IntelliSense Home Page: <http://www.intellisense.com/>.
16. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Степанова Е.Ю. Научно-образовательный центр нанотехнологий в структуре учебно-научно-производственного комплекса // Наноинженерия. - № 5. – 2012. – С. 3 – 6.

**Матюхин Сергей Иванович**, д-р ф.-м. наук, доцент, ФГОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», декан Естественнонаучного факультета, тел. (4862) 41-98-81, e-mail: [sim1@mail.ru](mailto:sim1@mail.ru).

**Деев Олег Викторович**, ФГОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», аспирант, тел. (4862) 41-98-89, e-mail: [olegdee@yandex.ru](mailto:olegdee@yandex.ru).

УДК 539.51-629.7

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Лепешкин А.Р., Качанов А.Н.**

*Россия, г. Москва, Центральный институт авиационного моторостроения им.*

**Баранова П.И.**

*Россия, г. Орёл, ФГОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК»*

*Рассмотрен анализ применения нанотехнологий в противообледенительных авиационных системах газотурбинных двигателей (ГТД) и летательных аппаратов (ЛА). Наноструктурированные электропроводящие покрытия (с содержанием карбоновых нанотрубок) на аэродинамических поверхностях ЛА и лопатках ГТД позволяют повысить энергоэффективность резистивного нагрева при снижении электропотребления для предотвращения льдообразования. Приводятся и другие типы наноструктурированных покрытий.*

*The analysis of the application of nanotechnologies in the icing aircraft systems of gas turbine engines (GTE) and aircraft (AC) is considered. Nanostructured conductive coating (containing carbon nanotubes) on aerodynamic surfaces of AC and GTE blades will improve the energy efficiency of resistance heating while reducing power consumption in order to prevent ice formation. The other types of nanostructured coatings are presented.*

Разработчики беспилотных летательных аппаратов (БЛА) стоят перед необходимостью их функционирования в любых погодных условиях. Возникают проблемы выделения дополнительной энергии и веса в традиционных противообледенительных авиационных системах газотурбинных двигателей (ГТД) и летательных аппаратах (ЛА), которые могут быть решены путем использования нанотехнологий [1].

Американская научно-исследовательская организация Battelle занимается разработкой метода замешивания токопроводящих углеродных нанотрубок (conductive carbonnanotubes-CNT) в краску планера, чтобы получить легкое противообледенительное покрытие с малым энергопотреблением, удобное в использовании и ремонте [1]. Подобные работы ищет компания General Electric

Global Research, которая разрабатывает наноструктурированные поверхности, способные задерживать образование льда и снижать его прилипание.

В основе метода, разрабатываемого институтом Battelle, используется распределение нанотрубок в растворе покрытия, чтобы сделать его проводящим, и, таким образом, при подаче энергии на поверхность крыла он мог бы нагреваться как резистор, обеспечивая резистивный нагрев. По словам John Ontiveros, руководителя программы, покрытие было протестировано в аэродинамической трубе для испытаний в условиях обледенения на фрагменте крыла БЛА.

Сложность заключается в том, чтобы определить необходимое количество CNT в растворе для достижения требуемого удельного электросопротивления покрытия, которое может наноситься распылителем как обычная краска. Сначала на чистый металл наносится грунтовка, потом нанотрубчатое нагревающееся покрытие, основанное на защитном соевом слое, и затем - слой обычной краски.

Толщина покрытия составляет всего 0,020-0,030 дюймов, что в четыре раза более энергоэффективно (в Вт/м<sup>2</sup>), чем другие электротермические противообледенительные системы. Чем ниже электросопротивление, тем более эффективна теплогенерация.

Поскольку нагревание происходит на поверхности крыла, а не под его обшивкой, то нет никакой тепловой инерции. Покрытие нагревается моментально, и энергия быстро проникает между различными секциями передней кромки, что минимизирует ее потребление. Выводы питания кладут вровень с поверхностью, на которую распыляется покрытие. Покрытие, в свою очередь, также может быть легко восстановлено или заменено

Battelle ведет переговоры с производителями авиационной техники и изготовителями красок, продолжая работать над снижением риска в таких областях, как нанесение покрытия и управление энергопотреблением, Организация должна рассматривать полный цикл обледенения. При этом должны быть разработаны эксплуатационные стратегии, основанные на диапазонах режимов полета и располагаемой мощности. Уже рассматривается возможность полномасштабных летных испытаний.

Тем временем, в Global Research Center Niskayuna компании GE (Нью-Йорк) продолжаются исследования супергидрофобных материалов с наноструктурированными поверхностями, которые отталкивают воду и препятствуют формированию и прилипанию льда [1]. Компания GE заинтересована в разработке противообледенительных поверхностей и покрытий как для самолета, так и для двигателей, а также воздушных турбин, где увеличивающееся за счет наращивания льда сопротивление может значительно снизить объем генерируемой энергии и К.П.Д.

Испытания в аэродинамической трубе в условиях обледенения продемонстрировали, что наноструктурированные аэродинамические поверхности могут существенно снизить прилипание льда, и это, как считают в компании GE, может значительно замедлить льдообразование. По словам представителя компании, в сравнении со стандартными поверхностями, наноструктурированные противообледенительные поверхности смогли бы приостановить обледенение более чем на одну минуту без каких-либо дополнительных воздействий.

Наноструктурированные покрытия, нанесенные на аэродинамические поверхности и лопатки двигателя, смогут снизить, и, возможно, полностью избавить от необходимости принимать стандартные меры защиты от обледенения. Однако это означает, что необходимо продолжать совершенствование данных технологий до тех пор, пока покрытия не станут достаточно долговечными, чтобы их можно было применять в коммерческих целях.

EADS Innovation Works - научно-технический отдел компании Airbus, в новой лаборатории с криогенной аэродинамической трубой в городе Ottobrunn

(Германия) занимается исследованием водоотталкивающих покрытий, которые позволят предотвратить наращивание и прилипание льда. Университет штата Миссисипи предоставляет вычислительное моделирование динамики жидкости переохлажденных водных капель, сталкивающихся с аэродинамическими поверхностями. Эта работа проводится в поддержку европейской исследовательской программы Аеготисо, которая включает летные испытания противообледенительных покрытий.

НАСА, тем временем, начало модифицировать Gulfstream G-II для исследований попадания формирующихся в условиях теплых высокогорных штормов кристаллов льда в двигатель, их таяние и повторное замерзание, вызывающее нарушение энергоснабжения или остановку двигателя. Испытательные полеты во Флориде запланированы на август, перед серией испытаний, намеченных в 2013 г. в Австралии в местности Darwin, известной штормами с высокими уровнями содержания ледяных кристаллов.

Наноструктурированные электропроводящие покрытия (с содержанием карбоновых нанотрубок) на аэродинамических поверхностях ЛА и лопатках ГТД позволяют повысить энергоэффективность резистивного нагрева при снижении электропотребления для предотвращения льдообразования. Может быть эффективно применение и других типов наноструктурированных покрытий (супергидрофобных и др.). Необходимо продолжать совершенствование нанотехнологии для повышения надежности работы и долговечности наноструктурированных покрытий в противообледенительных авиационных системах ГТД и ЛА и коммерческого использования

#### Список литературы

1. Aviation Week, 2012, 12/111, v. 174, № 10, p. 15.

**Лепешкин Александр Роальдович**, член-корреспондент АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, начальник сектора, ФГУП “ЦИАМ им. П.И. Баранова”, e-mail: [lepeshkin.ar@gmail.com](mailto:lepeshkin.ar@gmail.com).

**Качанов Александр Николаевич**, академик АЭН Российской Федерации, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой “Электрооборудование и энергосбережение”, ФГОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК», e-mail: [kan@ostu.ru](mailto:kan@ostu.ru).

УДК 62-531.2

### ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Поярков В.Н.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК».*

*Дано обоснование применения приборов неразрушающего контроля над процессом формирования топографии микрорельефа, принцип действия которых основан на тестировании голографического изображения исследуемого объекта.*

*A theory for the three dimensional (3D) geometrical model definition of surface layer microrelief on the basis of a modular geometric principle is developed. A device design for the active control of a microrelief formation process the operation principle of which is based on the concept of dynamic holography is also developed. A microrelief formation technique by specified geometrics is developed.*

В настоящее время авторами разработаны теоретические основы и методы геометрического моделирования формирования микрорельефа поверхности на основе тензора Римана-Кристоффеля [1]. Предложен общий подход, позволяющий сделать качественно новый переход к применению трехмерных геометрических моделей

в исследовании процесса формирования микрорельефа поверхности, имеющих оптимальные параметры, которые обеспечивают наиболее полный учет технологических факторов, оказывающих влияние на эксплуатационные свойства детали.

Решена задача построения трехмерной геометрической модели, описывающей микрорельеф поверхности на основе модульного принципа структурирования поверхности сложной формы. Получено аналитическое представление соприкасающегося параболоида через главные кривизны поверхности  $k_1$ ,  $k_2$ , что позволяет сделать численный расчет трехмерной геометрической модели микрорельефа поверхности. В отличие от известных моделей для описания микрорельефа данный подход позволяет дополнить в узлах каркасную модель восстановлением кривизны поверхности в смысле Римана-Кристоффеля. Основной характеристикой топографии микрорельефа принят тензор Римана-Кристоффеля.

Предложен новый набор критериев:  $k_1, k_2$  – главные кривизны поверхности,  $R_z$  – высота микронеровности. Эти критерии были предложены для количественной оценки микрорельефа поверхности [2]. Как известно, критерии по ГОСТ 2789-73, не позволяют провести в полной мере оценку топографии микрорельефа.

1. Обоснование возможности разработки приборов контроля, позволяющих проводить оценку на основе трехмерных геометрических моделей

Современные приборы контроля сконструированы таким образом, что регистрирующие устройства фиксируют значения параметров с контурных карт объекта. Контурные карты определяются или с большими погрешностями, или за достаточно большой интервал времени. Осуществить контроль над труднодоступным объектом – абразивным зерном, движущимся в материале детали, не представляется возможным. Существует один из путей расширения возможностей контролируемых устройств и использования информации, полученной с их помощью для построения трехмерных моделей - применение приборов, исследующих голографическое изображение объекта.

2. Оптический профилограф, принцип действия, которого основан на голографическом методе

Известны профилографы, основанные на контактных способах измерения параметров микрорельефа поверхности. Чувствительный элемент этих устройств, представляет собой механический зонд (алмазную иглу), скользящий по поверхности, который через рычажный механизм передает информацию о микрорельефе в преобразующий элемент (индуктивный, пьезоэлектрический, электродинамический), где вырабатываются электрические сигналы, соответствующие вертикальным перемещениям зонда. Недостатками таких профилографов являются ограниченная способность регистрации в виде профилограммы лишь информации вдоль трассы перемещения зонда, повышенные конструктивно-технологические требования к алмазной игле и рычажному механизму (прочность, юстировка мест сопряжения деталей), что удорожает производство таких устройств. Кроме того, на этапах передачи информации от чувствительного элемента через преобразующий элемент в измерительную схему возникают различного рода искажения.

В качестве прототипа выбрано устройство копирования голограммы методом восстановления с предварительным увеличением, использующее восстановленное действительное изображение, содержащее светодетель луча лазера, оптические преобразователи и регистрирующую среду - толстослойную эмульсию. Недостатком данного устройства является недостаточная степень увеличения восстанавливаемого изображения, что не позволяет получить контурные карты микрорельефа исследуемой поверхности для последующей обработки данных.

Предлагаемое устройство [3] прогнозируется для решения конкретной контрольно-измерительной задачи, которая состоит в обеспечении увеличения, точности и возможности измерений восстановленного голографического изображения

микрорельефа контролируемого объекта. Это достигается тем, что в профилографе, содержащем светоделители луча лазера, оптические преобразователи, регистрирующие среды - толстослойные эмульсии, увеличение трехмерной интерференционной картины осуществляется микроскопом, при записи и копировании голографического изображения микрорельефа поверхности, а для измерений используется индикатор электромагнитного поля.

Выводы:

1. Дано обоснование возможности прогнозирования разработки приборов пассивного и активного неразрушающего контроля, позволяющих проводить оценку на основе трехмерных геометрических моделей.

2. Осуществлено прогнозирование разработки приборов пассивного и активного неразрушающего контроля над процессом формирования микрорельефа, принцип контроля которых основан на последних исследованиях процессов получения голографического изображения объекта в оптическом и рентгеновском диапазонах.

#### Список литературы

1. Белкин Е.А. Геометрическое моделирование формирования микрорельефа в магнитном поле //Прикладная геометрия. - Вып. 10. - №21. – 2008. - С. 57-58.

2. Патент РФ № 2187070. Способ определения микрогеометрии поверхности детали и абразивного инструмента / Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Барсуков Г.В. Заяв. 27.02.2001. Оpubл. 10.08.2002. Бюл. № 22.

3. Патент РФ № 2215317. Профилограф / Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Барсуков Г.В. Заяв. 08.01.2002. Оpubл. 27.10.2003. Бюл. № 30.

**Степанов Юрий Сергеевич** д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки Российской Федерации, директор НОЦ нанотехнологий ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», г. Орёл, e-mail: [yury057@yandex.ru](mailto:yury057@yandex.ru).

**Белкин Евгений Александрович** д-р техн. наук, зав. лабораторией «Приборы контроля над процессом формирования микрорельефа», ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов», e-mail: [oaobzpp@list.ru](mailto:oaobzpp@list.ru).

**Поярков Вячеслав Николаевич** канд. техн. наук, ген. директор, ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов», e-mail: [oaobzpp@list.ru](mailto:oaobzpp@list.ru).

УДК 621.382

### МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТОРА - ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЧАСТИ СТОКА ДМОП-ТРАНЗИСТОРА

**Гостенков Е.В., Турин В.О.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК»*

**Ващенко В.А.**

*США, г. Сан-Хосе, Maxim Integrated Corp.*

*Разработана компактная модель  $n^+-n-n^+$  структуры, имитирующей сопротивление стока кремниевого ДМОП-транзистора. Учтён эффект насыщения дрейфовой скорости электронов. Использована корректная аппроксимация ВАХ при переходе от омического к ТОПЗ режиму. Модель реализована на Verilog-A в САПР Symica и важна при моделировании приборов нанoelectronics. Моделирование в TCAD Angstrom DECIMM подтверждает правильность модели*

*The compact model of a  $n^+-n-n^+$  structure is developed to imitate the resistance of the Si VDMOSFET. The effect of saturation of the drift velocity of electrons is accounted. The correct approximation for I-V characteristic is used for transition from the ohmic to SCLC regime. The model is implemented by Verilog-A in EDA software Symica and important in nanoelectronics devices modeling. TCAD simulation in Angstrom DECIMM validates the model*



Вертикальный кремниевый МОП-транзистор, сделанный по технологии двойной диффузии (ДМОПТ), обладает большим сопротивлением в открытом состоянии из-за большого паразитного сопротивления слаболегированной вертикальной части стока. В нашей работе разработана компактная модель  $n^+ - n - n^+$  структуры, которая может быть использована для имитации этого паразитного сопротивления при компактном моделировании ДМОПТ. Отметим, что  $n^+ - n - n^+$  структура является распространённой в микро- и наноэлектронике, соответственно её корректная компактная модель может оказаться полезной и при моделировании других приборов [1,2]. В работе используются следующие обозначения:

$e = 1,6 \times 10^{19}$  Кл – заряд электрона;

$\mu_n = 405$  см<sup>2</sup>/В·с – подвижность электронов;

$v_s = 8 \times 10^6$  см/с – скорость насыщения электронов;

$\epsilon = 11,68$  – относительная диэлектрическая проницаемость кремния;

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная;

$L = 3$  мкм – высота вертикальной высокоомной части стока ДМОПТ и длина структуры;

$W = 100$  мкм – ширина канала ДМОПТ и поперечный размер структуры;

$d = 1$  мкм – продольный размер структуры;

$S = d \times W = 100$  мкм<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения структуры;

$N_D = 6 \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup> – концентрация донорной примеси;

$m = 2,5$  – безразмерный коэффициент, используемый в аппроксимации.

При малом напряжении на  $n^+ - n - n^+$  структуре напряжённость электрического поля в ней распределена равномерно и определяется как:

$$E = \frac{V}{L}. \quad (1)$$

Соответственно, омический участок ВАХ определяется как:

$$I_1 = em_n EN_D S = g_1 V. \quad (2)$$

Для проводимости на омическом участке ВАХ получаем:

$$g_1 = \frac{emN_D}{L} S = 1,3 \text{ мСм}. \quad (3)$$

Для учёта эффекта насыщения дрейфовой скорости электронов в сильных полях будем использовать простейшую аппроксимацию:

$$v(E) = \begin{cases} m_n E, & E \leq E_S \\ v_s, & E > E_S \end{cases}. \quad (4)$$

Здесь  $E_S = v_s / m_n = 1,97$  МВ/см - характерное поле насыщения дрейфовой скорости электронов. При увеличении напряжения на структуре электрическое поле в ней возрастает и, в какой-то момент, достигает значения  $E_S$ . При дальнейшем увеличении напряжения на структуре рост тока не может быть обеспечен ростом дрейфовой скорости электронов, а определяется увеличением концентрации электронов инжектированных в базу структуры. Такой режим работы называется режимом токов ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ). Напряжение и ток перехода в режим ТОПЗ:

$$V_k = E_S L = 5,93 \text{ В}, \quad (5)$$

$$I_K = eN_D v_s S = 7,68. \quad (6)$$

Из решения уравнений электростатики можно получить уравнение для тока через  $n^+ - n - n^+$  структуру в режиме ТОПЗ:

$$I_2 = I_k + \frac{2ee_0 v_s S}{L^2} (V - V_k). \quad (7)$$

При этом дифференциальная проводимость в режиме ТОПЗ определяется уравнением:

$$g_2 = \frac{2ee_0 v_s S}{L^2} = 0,18 \text{ мСм}. \quad (8)$$

С дальнейшим увеличением напряжения на структуре напряжённость поля на стоке растёт из-за увеличения пространственного заряда в базе структуры с ростом

концентрации инжектированных в базу электронов. Соответственно, вольт-амперная характеристика структуры может быть задана кусочно-линейной аппроксимацией:

$$I = \begin{cases} I_1 = em_n \frac{V}{L} N_D S, & V \leq V_k \\ I_2 = I_k + \frac{2ee_0 v_s S}{L^2} (V - V_k) & V > V_k \end{cases} \quad (9)$$

Для получения гладкой аппроксимации мы можем использовать подход, предложенный в [3,4]:

$$I = \frac{I_1 \tilde{I}_2}{(I_1^m + \tilde{I}_2^m)^{1/m}}. \quad (10)$$

Здесь 
$$\tilde{I}_2 = \frac{g_1}{(g_1^m - g_2^m)^{1/m}} I_2 = 1,003 \cdot I_2. \quad (11)$$

В режиме ТОПЗ напряжённость поля на стоке увеличивается согласно уравнению:

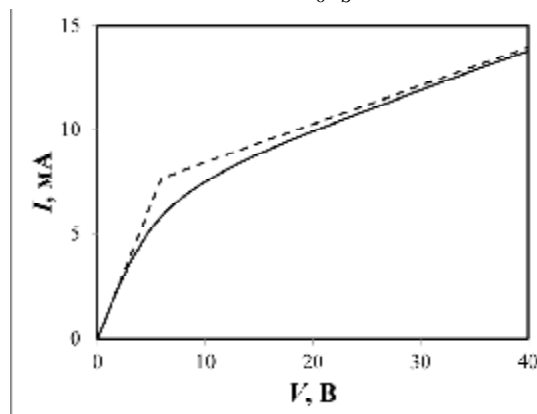
$$E_M = E_S + \frac{L}{ee_0 v_s S} (I_2 - I_k). \quad (12)$$

Такое увеличение поля на стоке происходит, приблизительно, до достижения характерного поля начала ударной ионизации  $E_B \approx 25$  МВ/см. После этого структура переходит в режим лавинно-инжекционного пробоя. При этом ток равен:

$$I_B = \frac{ee_0 v_s S}{L} (E_B - E_S) + I_k \approx 14 \text{ мА} \quad (13)$$

Напряжение начала пробоя можно оценить, подставив это уравнение во второе уравнение системы (9):

$$V_B = (I_B - I_k) \frac{L}{ee_0 v_s S} + V_k \approx 40 \text{ В}. \quad (14)$$



**Рисунок 1 – Зависимость тока от ширины КЯ  
Вольт-амперная характеристика  $p^+-n-p^+$  структуры.**

Пунктиром представлена кусочно-линейная ВАХ (9). Сплошной линией представлена гладкая аппроксимация ВАХ (10)

#### Список литературы

1. V.A. Vashchenko, A.A. Shibkov, ESD Design for Analog Circuits, Springer, (2010). ESD Design for Analog Circuits companion website [www.analogesd.com](http://www.analogesd.com)
2. V.A. Vashchenko and V.F. Sikevitch, Physical Limitations of Semiconductor Devices (Springer), 2008
3. V.O.Turin, A.V.Sedov, G.I. Zebrev, B. Iniguez, M.S.Shur. Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation. Proc. SPIE. Vol. 7521; no 75211H. Pp. 1-9. 2010.
4. В.О.Турин, Г.И.Зебрев, Б.Инигез, М.С.Шур. Корректный учёт ненулевой дифференциальной проводимости в режиме насыщения в компактной модели полевого нанотранзистора. Наноинженерия. No 8. С. 41-48. 2012.

**Гостенков Евгений Викторович**, Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс,. Студент УНИИ ИТ. E-mail: [zig57r@gmail.com](mailto:zig57r@gmail.com).

**Ващенко Владислав Александрович**, Maxim Integrated Corp., г. Сан-Хосе, США. Директор TR&D, д.ф.м.н. e-mail: [vladislavv@att.net](mailto:vladislavv@att.net).

**Турин Валентин Олегович**, Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Россия, г. Орёл.

УДК 621.315.592; 535:621.373.8

## **ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ РАССЕЯНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА КВАНТОВОЙ ЯМЕ ДГС ЛАЗЕРОВ НА ИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Козил З., Турин В.О.**

*Россия, г. Орёл, «Государственный университет – УНПК»*

**Будулева Е.А.**

*Россия, г. Орёл, Орловский Государственный Университет*

*Мы исследуем электрические (вольт-амперные) и оптические (ватт-амперные) характеристики полупроводникового лазера на основе AlGaAs с двойной гетероструктурой и отдельным ограничением методом компьютерного моделирования. Нами используется пакет программ приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD фирмы Synopsys. Моделирование ведётся в рамках дрейфово-диффузионной модели полупроводника. Мы обнаружили, что зависимости исследуемых характеристик от ширины и глубины квантовой ямы имеют разрывной характер. Мы выяснили, что амплитуда разрывов определяется временем рассеяния носителей на квантовой яме. При этом плотность тока ниже порога генерации, пороговая плотность тока и амплитуда разрывов уменьшаются с увеличением времени рассеяния носителей на квантовой яме.*

*Drift-diffusion computer simulations model available in Synopsys' Sentaurus TCAD is used to study electrical, I-V, and optical, I-L, characteristics of separate-confinement heterostructure laser based on AlGaAs. The carriers scattering time on Quantum Well (QW) is shown to have the crucial role on amplitude of discontinuities of these characteristics as a function of QW width or depth. The current bellow the lasing threshold and the threshold current density itself decrease with increase of QW scattering times and the amplitude of discontinuities decreases then as well.*

Компьютерное моделирование (КМ) электронных приборов применяется для изучения происходящих в них физических процессов и для оптимизации их технических характеристик. Методологически эта сфера научной и инженерной деятельности может быть помещена между теорией и экспериментом. При этом КМ не заменяет теорию и эксперимент, а дополняет их. Корректно проведённое КМ может облегчить понимание физических явлений, помочь в планировании эксперимента и в интерпретации экспериментальных данных.

Предметом исследования в нашей работе является полупроводниковый лазер (ПЛ) на основе AlGaAs с двойной гетероструктурой (ДГС) и отдельным ограничением (РО), являющийся одним из самых распространённых приборов современной оптоэлектроники [1].

Для моделирования электрических (вольт-амперных) и оптических (ватт-амперных) характеристик полупроводникового ДГС РО лазера методом конечных элементов мы использовали пакет программ приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD фирмы Synopsys [2]. Моделирование велось в рамках дрейфово-диффузионной модели полупроводника. Моделирование было направлено на изучение влияния параметров КЯ на подпороговые и пороговые электро-оптические характеристики ДГС РО лазера. При этом, ширина КЯ определялась геометрическим размером  $d_a$  активной области. Глубину КЯ мы могли менять задавая различные значения  $x$  молярной доли Al в области  $Al_xGa_{1-x}As$  волновода.

Мы установили, что подпороговые и пороговые характеристики ДГС РО лазера зависят от числа связанных уровней КЯ и близости высших уровней в яме к уровню дна

зоны проводимости или к уровню потолка валентной зоны в материале волновода. Обработывая результаты моделирования, мы построили зависимость порогового тока лазера  $I_{th}$  от ширины КЯ  $d_a$ . На этой зависимости мы обнаружили разрывы в виде порогов [3,4].

Проведя тщательный анализ результатов моделирования, мы пришли к выводу, что наблюдаемые разрывы происходят, когда верхний связанный уровень в КЯ пересекает зону проводимости ( $E_{CBO}$ ) или валентную зону ( $E_{VBO}$ ) [3,4]. При моделировании в [3,4] мы использовали параметры, определяющие время рассеяния на КЯ, предлагаемые в программе TCAD по умолчанию.

В данной работе мы исследуем влияние роли времени рассеяния носителей заряда на КЯ на зависимость порогового тока от ширины КЯ ДГС РО лазера. Мы обнаружили, что время рассеяния носителей на КЯ определяет амплитуду разрывов на зависимости порогового тока от ширины КЯ. Результаты моделирования показывают, что плотность тока ниже порога генерации и пороговая плотность тока уменьшаются с увеличением времени рассеяния носителей на КЯ. При этом амплитуда разрывов также уменьшается (рисунок 1).

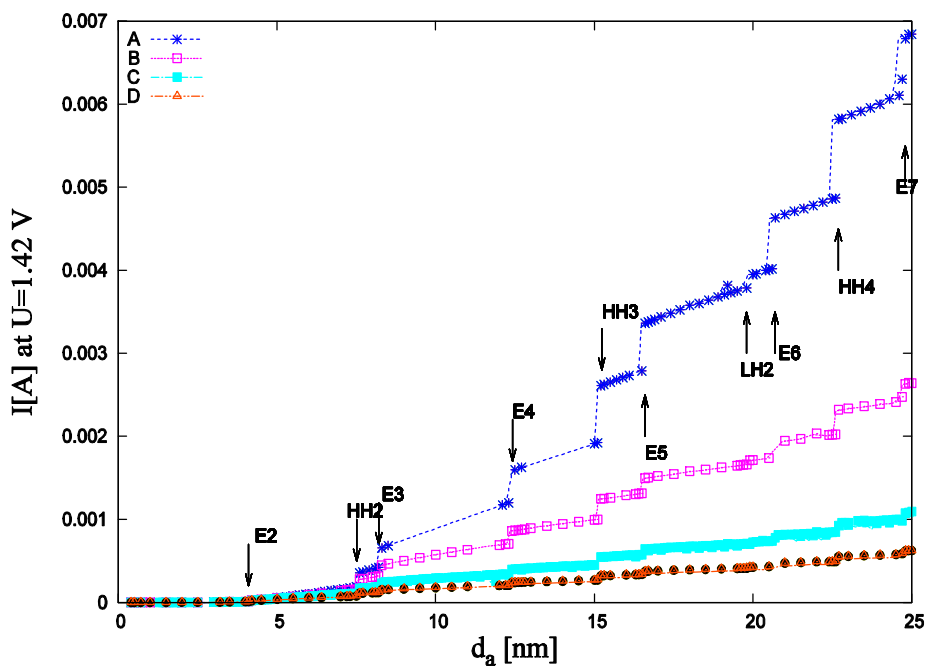


Рисунок 1 – Зависимость тока от ширины КЯ

Мы моделируем лазер, который имеет размеры, структуру и уровни легирования соответствующие лазеру, исследовавшемуся Андреевым и др. в работах [5,6], с длиной волны 808 нм, шириной КЯ,  $d_a$ , 12 нм и шириной обоих волноводов 0,2 мкм. Параметры моделирования, связанные с поглощением света и рассеянием носителей заряда, мы задавали, опираясь на доступные экспериментальные данные.

Значения параметров  $eQWMobility$  и  $hQWMobility$  равны 9200 и 400  $cm^2/(V \cdot s)$ , соответственно. Для кривых от А до D (сверху вниз) значения пары параметров, использованных в Synopsys TCAD, ( $QweScatTime$ ,  $QwhScatTime$ ) в секундах: ( $10^{-13}$ ,  $5 \cdot 10^{-14}$ ), ( $8 \cdot 10^{-13}$ ,  $4 \cdot 10^{-13}$ ), ( $4 \cdot 10^{-12}$ ,  $2 \cdot 10^{-12}$ ), ( $10^{-11}$ ,  $5 \cdot 10^{-12}$ ).

Эффект должен быть более выражен при низких температурах, что подтверждается результатами моделирования  $I(d_a)$  при температуре жидкого азота [3]. Эффект наблюдается также при моделировании тока в зависимости от глубины ямы (от концентрации Al в волноводе).

Мы пришли к выводу, что подобный эффект должен наблюдаться и при моделировании тока через ПЛ как функции температуры при постоянном напряжении на ПЛ. При этом параметры КЯ должны быть выбраны так, чтобы самое

верхнее энергетическое состояние КЯ проходило через край квантовой ямы при изменении температуры в рассматриваемом диапазоне.

Мы предполагаем, что экспериментальное изучение характеристик ПЛ в условиях изменения одноосного или гидростатического давления может помочь пронаблюдать и изучить эффект порогового изменения характеристик.

Результаты нашего исследования могут быть полезны при проектировании ПЛ, позволяя оптимизировать концентрацию  $Al$ , толщину активной области и т.д. Измерения и анализ характеристик ПЛ с пороговыми разрывами может оказаться основой новой практической методики спектроскопии квантовых уровней КЯ.

#### Список литературы

1. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии. УФН, 172(9), 2002 – стр. 1068-1086.
2. Sentaurus TCAD User Guide, Synopsys, <http://www.synopsys.com> (2010).
3. Матюхин С.И., Козил З.Ж. Зависимость характеристик полупроводникового ДГС РО лазера на основе AlGaAs от ширины квантоворазмерной активной области. Наноинженерия. №5, 2012 – стр.14-17.
4. Z. Koziol, Quantum-well states and discontinuities in opto-electrical characteristics of SCH lasers, Preprint arXiv:1112.0139v1 [cond-mat.mtrl-sci] 2011.
5. A.V. Andreev, A.Y. Leshko, A.V. Lyutetskiy, A.A. Marmalyuk, T.A. Nalyot, A.A. Padalitsa, N.A. Pikhtin, D.R. Sabitov, V.A. Simakov, S.O. Slipchenko, M.A. Khomylev, I.S. Tarasov, Semiconductors, 40(5), 2006. – стр. 628.
6. A.Yu. Andreev, S.A. Zorina, A.Yu. Leshko, A.V. Lyutetskiy, A.A. Marmalyuk, A.V. Murashova, T.A. Nalet, A.A. Padalitsa, N.A. Pikhtin, D.R. Sabitov, V.A. Simakov, S.O. Slipchenko, K.Yu. Telegin, V.V. Shamakhov, I.S. Tarasov, Semiconductors, 43(4), 2009. – стр. 543-547.

**Козил Збигнев**, Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс. Ph.D., Ведущий инженер-физик Учебно-научно-исследовательской лаборатории приборно-технологического моделирования микро- и наноэлектроники, e-mail: [zbigniew@ostu.ru](mailto:zbigniew@ostu.ru).

**Будулева Евгения Анатольевна**, Орловский Государственный Университет. Студентка магистратуры по физике, e-mail: [janesname@yandex.ru](mailto:janesname@yandex.ru).

**Турин Валентин Олегович**, Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс. Заведующий Учебно-научно-исследовательской лабораторией приборно-технологического моделирования микро- и наноэлектроники, канд. ф.-м. наук, e-mail: [voturin@ostu.ru](mailto:voturin@ostu.ru).

## **СЕКЦИЯ № 8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Руководитель:

**Савин Леонид Алексеевич**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг»  
ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

---

УДК 681.335 (07)

### **АДЕКВАТНОСТЬ ИННОВАЦИЙ**

**Глинкин Е.И.**

*Россия г. Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

*Проведен анализ методов идентификации математических моделей и алгоритмов, характеристик и параметров для оценки эффективности способов инноваций по сущности и новизне, работоспособности и практической применимости.*

*The analysis of methods of identification of mathematical models and algorithms, characteristics and parameters for an assessment of efficiency of ways of innovations on essence and novelty, working capacity and practical applicability is carried out.*

Адекватность инноваций физическим процессам обусловлена аналогией физики явлений и тождественностью математических операторов, дуальностью преобразований и метрологической симметрией [1-4]. Адекватность, как мера эффективности инноваций по сущности и новизне, работоспособности и промышленной применимости, отражает соответственно научную новизну и практическую значимость технических решений из сопоставительного анализа достижений науки и уровня техники, искусства творчества и оценок культуры.

Тождественность операторов счисления и исчисления доказывает адекватность математических моделей статических, динамических и теплофизических характеристик в дифференциальных и интегральных образах. Адекватность доказывают методом тождественности эквиваленту исследуемой модели итерационным анализом или оптимизации. Метод тождественности математических моделей доказывает адекватность математической модели физике явления и процессам преобразования, физической модели и схемам замещения, операторам исчисления и счисления. Метод тождественности анализирует правильность синтеза исследуемой модели и правомерность схмотехнических и математических преобразований, в частности и технологию проектирования математических моделей, в целом. Теоретический анализ тождественности моделей подтверждает научную новизну инновации за счет синтеза новой модели традиционными алгоритмами решения или правомерности использования известной модели по новому назначению для исследования неизвестного явления. Универсальность метода тождественности моделей доказана на примере анализа вольтамперных и амплитудно-временных электрических характеристик, а также теплофизических свойств нестационарного нагрева.

Следовательно, адекватность математического и физического моделирования доказывает метод тождественности эквиваленту исследуемой модели стационарных, динамических и нестационарных процессов для оценки уровня научной новизны инновации.

Существо и техническую новизну инновации оценивает метод тождественности эквивалентам границ диапазона за счет синтеза алгоритмов расчета информативных параметров и анализа по ним статических и динамических характеристик способов. Тождественность адаптивному диапазону подтверждает правильность моделирования алгоритмов и характеристик, новизну и существо инновации, как неделимую совокупность ограничительных и отличительных признаков для достижения цели (технической задачи) изобретения. Метод тождественности границ диапазона оценивает эффективность информативных параметров и алгоритмов их расчета, ширину адаптивного диапазона и точность контроля известных мер границ. В процессе моделирования метод границ позволяет выявить закономерности линейного преобразования без температурного, временного и параметрического дрейфа с гальванической развязкой сигналов. Метод тождественности алгоритмов проиллюстрирован на примере моделирования способа бинарных напряжения ВАХ и целесообразен для определения как динамических характеристик, так и теплофизических свойств. Адекватность техническому решению модели сущности способа является необходимым условием реализации научной новизны инновации.

Следовательно, метод тождественности эквивалентам границ диапазона доказывает адекватность алгоритмов определения информативных параметров оптимальным характеристикам технического решения по закономерностям ИКР для подтверждения технического уровня и существования изобретения, как необходимого условия реализации научной новизны – практической значимости инновации в адаптивном диапазоне мониторинга.

Достаточным условием практической значимости служит работоспособность и промышленная применимость технического решения, которые доказывает тождественность моделируемой характеристики экспериментальной диаграмме. С этой целью проанализирован метод идентификации характеристик экспериментальному эквиваленту на примере амплитудно-частотных преобразований. Метод идентификации характеристик сравнивает моделируемую диаграмму с экспериментальной – эквивалентом по погрешности относительно заданной меры оценки, для доказательства адекватности теоретических предпосылок практической реализации, как достаточного условия научной новизны и практической значимости исследований. Метод идентификации характеристик, как и метод тождественности границ, показывает технический уровень и существо технического решения (адекватность алгоритмов оптимальным характеристикам, информативных параметров – закономерностям оптимизации) посредством математического моделирования – лишь необходимого условия реализации. Принципиальное отличие от теоретического моделирования алгоритмов и характеристик в методе идентификации заключается в сравнении моделирования с результатами натурального эксперимента, что особенно важно для объективной оценки технической экспертизы [2].

Следовательно, метод идентификации характеристик эквиваленту эксперимента доказывает технический уровень и существо технического решения, работоспособность и промышленную применимость инновации, как достаточного условия научной новизны и практической значимости исследований.

Выводы:

1. Вектор развития методов идентификации направлен от доказательства научной новизны математических моделей и алгоритмов до практической значимости характеристик и параметров для оценки эффективности способов инновации по техническому уровню и сущности, работоспособности и практической применимости;

2. Метод тождественности эквиваленту исследуемой модели показывает адекватность математического и физического моделирования для оценки уровня научной новизны инновации;

3. Метод тождественности эквивалентам границ диапазона оценивает адекватность эффективности технического решения – цели (технической задачи) изобретения для подтверждения технического уровня и существования способа, как необходимого условия реализации научной новизны – практической значимости;

4. Метод идентификации моделируемой характеристики эквиваленту эксперимента анализирует адекватность теоретических предпосылок практической реализации для доказательства не только технического уровня и существования изобретения, но также работоспособности и промышленной применимости, как достаточного условия научной новизны и практической значимости.

#### Список литературы

1. Метрология, стандартизация и сертификация/под ред. В. В. Алексева. - М.: Академия, 2008.-384с.

2. Указания по составлению заявки на изобретение (93-1-74). – М.: ВНИИПИ, 1981.-140с.

3. Чичев С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И. Информационная система центра управления электрических сетей. – М.: Машиностроение, 2009-176с.

4. Глинкин Е. И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010.-168с.

**Глинкин Евгений Иванович**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника» ТамбовГТУ, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: [glinkinei@rambler.ru](mailto:glinkinei@rambler.ru), тел. (8-4752) раб. 63-56-20, дом. 51-23-45.

УДК 629.4.027.4: 656.2

### **СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТИВОБОКСОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»**

**Пугачев А.А., Измеров О.В., Волохов С.Г.**  
Россия, г. Брянск, БГТУ

*Рассмотрена задача снижения потерь энергии вследствие скольжения колеса по рельсу. В результате анализа установлено, что для решения проблемы необходимо в перспективе изменение функций противобоксовочной системы, задачей которой должно стать управление физическими свойствами системы «колесо-рельс» для поддержания постоянства предельных значений силы тяги и прогнозирование влияния внешних факторов на эти свойства*

*The problem of losses of energy as a result of wheel sliding on a rail is considered. The analysis, based on physically-oriented design methods, has shown radical change of the functions and the principle of action of wheel slide protection systems in a future. Presumably, the next generation of wheel slide protection systems will compensate the spontaneous change of adhesion by influence of a magnetic field or an electric current. The forecasting of conditions of coupling becomes the main function of a control system*

Энергетической стратегией ОАО "РЖД" на перспективу до 2030 года предусмотрено сокращение удельного расхода топлива и электроэнергии в поездной работе в электрической тяге на 15%, и в тепловозной тяге – на 11%. Значительным резервом для этого является снижение потерь энергии в системе «колесо-рельс», которые, согласно [1], составляют 10% - 30% расходуемых на тягу поездов топливно-энергетических ресурсов. Такой высокий уровень потерь в значительной мере обусловлен самой природой фрикционной передачи, где создание тяги всегда



сопровождается относительным скольжением. Дальнейшее повышение тяговых свойств локомотивов требует выбора оптимальной величины скольжения, обеспечивающей максимум передаваемой силы тяги, которая, как показывают исследования [2], при мокрых и замасленных рельсах может достигать 15%. Высокий уровень скольжения, обусловленный необходимостью реализации силы тяги при плохом сцеплении, ведет к быстрому износу бандажей колес локомотива и быстрому износу рельс, что требует дополнительного расхода металла, энергетических и иных ресурсов. В России в начале 80-х гг. срок службы бандажей колесных пар локомотивов составлял 6–7 лет, а в 90-е гг. XX века он сократился уже до 2–3 лет [3]. Продолжение работы по повышению к.п.д самого локомотива, систем электроснабжения вступает в противоречие со стихийным характером изменения коэффициента сцепления и возникает потребность научно предвидеть, будут ли противобоксовочные системы развиваться в рамках существующих технологий, или их ждет скачок, связанный с переходом на новые физические принципы действия. Для решения проблемы был использован модифицированный метод непараметрического прогнозирования развития технических систем (ТС), изложенный в [4], согласно которому эволюция ТС рассматривается, как эволюция ее функций. Отсюда вытекают следующие особенности процесса развития ТС:

1. Эволюция ТС представляет собой ряд устойчивых структур на функциональном уровне, каждая из которых отражает определенное состояние рынка сбыта, характеризующее совокупностью условий производства и эксплуатации изделия.

2. За время существования устойчивого состояния ТС происходит выявление и осмысление потребителем и производителем проблем в использовании ТС, которые с развитием ситуации становятся более острыми и необходимость их решения осознается как потребность в создании нового состояния производства и эксплуатации.

3. Описание потребности на техническом уровне приводит к определению новой функциональной структуры изделия или переопределению существующей.

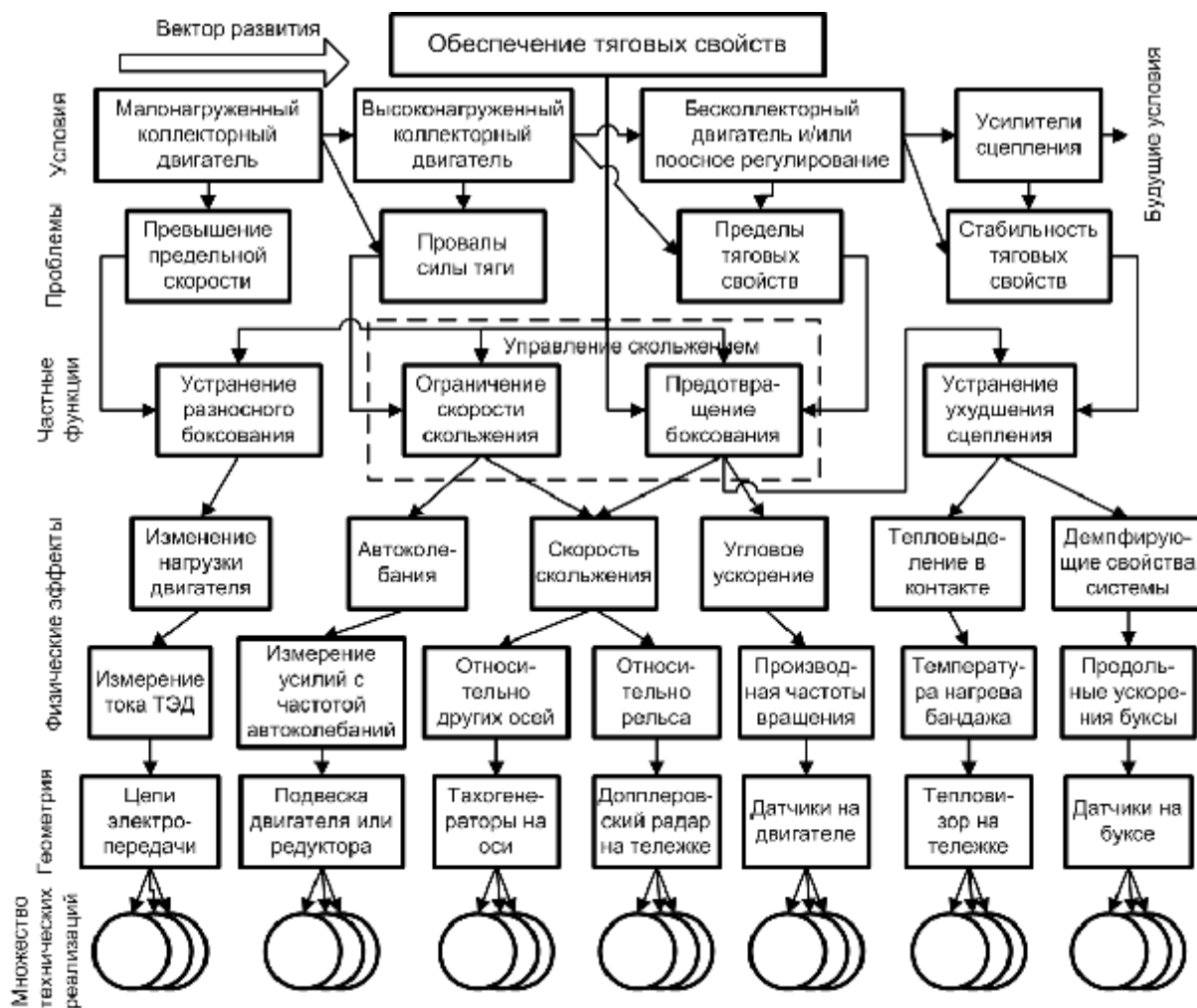
4. Реализация новой функциональной структуры в виде технических решений приводит к тому, что складывается новое состояние рынка сбыта, для которого возникают новые проблемы.

На основании этих принципов предложена следующая периодизация развития функций противобоксовочных систем и их практической реализации (рис.1).

Отправной точкой эволюции можно считать появление паровых локомотивов, не имеющих противобоксовочных устройств. В этих машинах боксование уже появилось, как явление, однако оно могло быть легко прекращено ручным регулированием.

Первым этапом развития можно считать появление локомотивов с электроприводом. Оно выявило проблему, связанную с боксованием – возможность повреждения коллектора и якорных обмоток тягового электродвигателя (ТЭД) при разносном боксовании. Возникла потребность в реализации новой функции – ввести сигнализацию о начале боксования для ручного регулирования тяги, подачи песка и т.п.. Пока нагруженность электрических машин была невысокой, а электротяга существовала лишь на отдельных участках, это решало проблему.

Второй этап обусловлен массовым распространением на железных дорогах электровозов и тепловозов с электропередачей. Это привело к росту мощности коллекторных ТЭД, и повышению нагрузки на колесно-моторный блок. Появилась новая проблема: фрикционные автоколебания, возникающие при боксовании, могут вызывать повреждения механизмов передачи тяги от ТЭД к колесам. Это вызвало потребность в новой функции противобоксовочной системы - автоматически ограничивать скорость скольжения колеса по рельсу.



**Рисунок 1 – Эволюция функций противобоксовочных систем и способов их практической реализации**

Третий, современный этап, был обусловлен внедрением бесколлекторных тяговых двигателей, в частности, асинхронных (АТД), которые полностью сняли ограничение силы тяги по параметрам двигателя. Тяговые свойства локомотива стали полностью определяться усилием трения колеса по рельсу, которое зависит от различных случайных факторов, а также от скорости скольжения колеса по рельсу. Это привело к созданию локомотивов, имеющих примерно в полтора-два раза более высокую силу тяги в сравнении с локомотивами предыдущего этапа. Это изменило основную функцию противобоксовочной системы вместо ограничения скорости скольжения основной функцией стала оптимизация этой скорости, поддержания величины, при которой реализуется максимально возможная по условиям сцепления сила тяги.

Основная проблема на данном этапе порождена противоречием между необходимостью стабильного повышения тяговых свойств локомотива и стихийным изменением величины сцепления в зависимости от внешних условий. Как указывалось выше, оптимальное по величине силы тяги скольжение может достигать 15%, что сводит на нет усилия по снижению потерь в электрической и тепловозной тяге. Возникает потребность в новой функции – сделать сам физический коэффициент сцепления управляемым, чтобы снизить его зависимость от внешних случайных факторов. Данная функция на физическом уровне реализуема, по меньшей мере, двумя известными способами – с помощью воздействия на контакт колеса с рельсом с помощью магнитного поля и (или) электрического тока [5-6]. Назовем техническое устройство, в котором реализован один или оба этих эффекта, усилителем сцепления (УС).

Введение в систему «колесо-рельс» усилителя сцепления должно привести к новому изменению функций системы управления противобоксовочной системой. Функцией системы управления ТЭД становится задание некоего тягового усилия, которое можно

стабильно поддерживать с помощью УС, а функцией противобоксочной системы становится управление самим УС с целью обеспечения стабильности сцепных свойств. Очевидно, что простое слежение за процессом потери сцепления колеса с рельсом в этом случае теряет смысл (ухудшение сцепных свойств не допускается благодаря введению УС). Таким образом, система регулирования УС должна не следить за процессом развития боксования, а прогнозировать его заранее.

На сегодняшний день известны по крайней мере два возможных направления практической реализации системы. Первое из них рассмотрено в [7], где в качестве информативного признака для прогнозирования боксования приняты продольные ускорения буксы. На существование второго направления указывают результаты исследований мгновенного нагрева поверхности катания колеса рельсового экипажа (трамвая), приведенные в [8], которые показали, что путем регистрации изменения потока инфракрасного излучения от определенных участков поверхности колесной пары можно отслеживать быстропротекающие (с частотой порядка 400 Гц) изменения интенсивности тепловыделения в точке контакта «колесо-рельс» вследствие изменения величины скольжения.

Из изложенного можно сделать вывод, что 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.

#### Список литературы

1. Воробьев А. А. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса/А. А. Воробьев, П. Г. Сорокин // Новые материалы и технологии в машиностроении. -Брянск:БГИТА, 2004. т.Вып. 3.-С.8-18
2. Лонгстон мл., Итами. Исследования явления трения-крипа для локомотива: статья. - Труды Америк. общ. инж.-мех.: Конструирование и технология машиностроения. 1980, №3, том 102, с 241-248.
3. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар: автореф. дисс. ... на соискание уч. ст. доктора технических наук. – Екатеринбург, 2011, - 44 с.
4. Техническая инновационика. Методы изобретательского творчества: монография./[О.В. Измеров и др.]. – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2011. -213 с.
5. Рудяков, З.З. Резервы увеличения весовых норм поездов: статья. Железнодорожный транспорт, 2, 1962 г, с. 28-31.
6. Тихомиров, В.П. Моделирование сцепления колеса с рельсом: монография / В.П. Тихомиров, В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, Г.В. Багров, М.И. Борзенков, И.А. Бутрин. – Орёл: ОрёлГТУ, 2007. – 127 с.-ил.
8. Коропец, П. А. Прогнозирование боксования колесных пар локомотива по характеристикам динамических процессов в системе "экипаж - тяговый привод - путь" : автореф.дисс. ... канд. техн. Наук, Ростов-на-Дону, 2007 – 20 с.
8. Гойхман Л. В. К прогнозированию коэффициента сцепления колеса с рельсом / Гойхман Л., Дронов А. – М. 1980. Труды Академии коммунального хозяйства. – No 175. – С. 98-108.

**Пугачев Александр Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, Брянский государственный технический университет, e-mail: [alexander-pugachev@rambler.ru](mailto:alexander-pugachev@rambler.ru), тел. 8 919 192-88-70.

**Измеров Олег Васильевич**, администрация Губернатора и Правительства Брянской области, e-mail: [izmerov@yandex.ru](mailto:izmerov@yandex.ru), тел. 56-14-44.

**Волохов Станислав Григорьевич**, ООО «Радуга», 241035, г. Брянск, ул. Брянской Пролетарской дивизии, д. 1а.

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ СОЗДАНИИ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»**

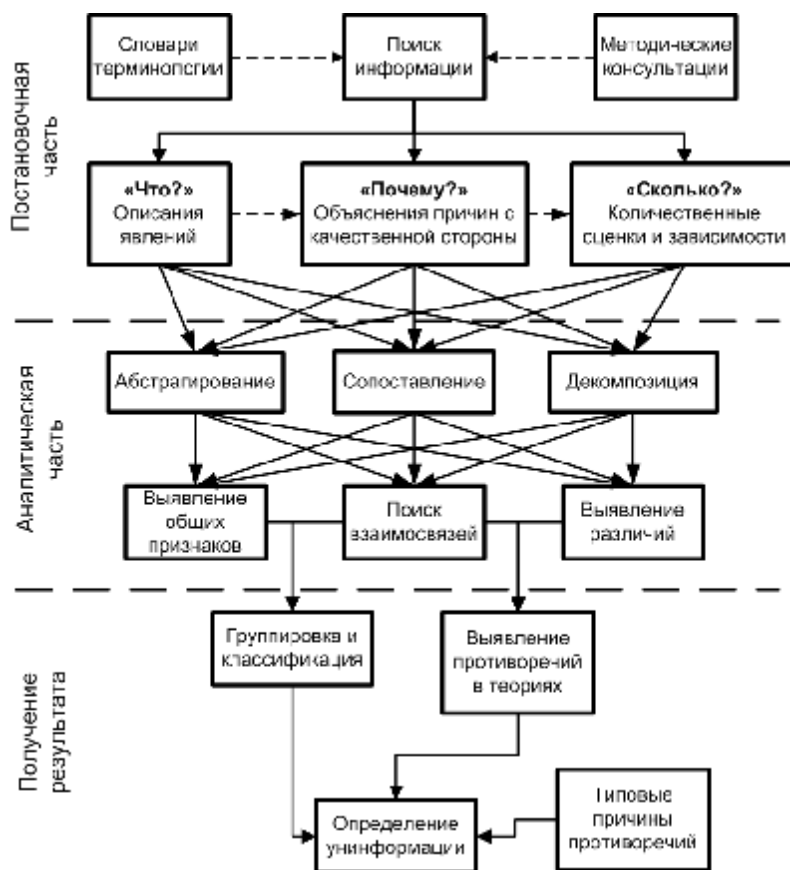
**Воробьев В.И., Измеров О.В., Волохов С.Г.**  
*Россия, г. Брянск, БГТУ*

*Рассмотрена задача снижения потерь энергии путем применения устройств, влияющих на коэффициент трения в системе «колесорельс» путем воздействия магнитного поля. Предложен план работ по инженерному анализу таких устройств на всех стадиях проектирования и подготовки к выпуску продукции.*

*The problem of energy saving for “wheel-rail” system by using the magnetic adhesion amplifiers is considered. The complete plan on the engineering analysis for magnetic adhesion amplifiers is offered.*

Экспериментально установлено, что затраты мощности тягового привода железнодорожного локомотива при скольжении колесных пар могут достигать 300 кВт на колесную пару в зависимости от относительного скольжения колесных пар и исходного фрикционного состояния рельсов [1], при часовой мощности на тягу для большинства эксплуатируемых электровозов порядка 600-800 кВт на колесную пару. Внедрение асинхронных тяговых электродвигателей и систем управления, обеспечивающих регулирование осевого тягового усилия для каждой оси в соответствии с предельными возможностями по условию сцепления также не является исчерпывающим решением проблемы в связи с тем, что при снижении коэффициента сцепления колес с рельсом вследствие загрязнений и наличия влаги максимум коэффициента сцепления реализуется при относительном скольжении 5-10% и выше [1]. Рост относительного скольжения, соответствующего максимальной величине силы тяги, происходит и при развитии автоколебаний колесной пары в режиме боксования [2]: так, при испытаниях тепловоза 2ТЭ121-003Б обнаружилось, что при интенсивных автоколебаниях колесной пары коэффициент сцепления порядка 0,3 был реализован при скольжении от 1 до 15%. Скольжение колесной пары при реализации предельных тяговых усилий также ведет к увеличению расхода легированной стали на изготовление бандажей и рельс.

Решением проблемы является использование устройств для управления коэффициентом трения в самом контакте колеса и рельса. Такое управление может быть осуществлено воздействием на контакт магнитного поля, что приводит к увеличению коэффициента трения для контактирующих поверхностей [3]. Основной причиной, сдерживающей создание магнитных усилителей коэффициента сцепления (МУКС) является отсутствие опыта их проектирования и большой деловой риск, связанный с возникновением непредсказуемых проблем в ходе проектирования и опытной эксплуатации. Согласно [4], вероятность ошибок в процессе проектирования можно существенно снизить за счет своевременного выявления униформации - совокупности данных, необходимых для устранения информационного дефицита в процессе проектирования. На основании общетеоретического подхода, изложенного в [4], предложен метод планирования инженерного анализа, направленный на выявление униформации и включающего в себя методику анализа теоретических работ, которая позволяет упростить их восприятие инженером-проектировщиком, исходя из того, что МУКС есть применение нового физического эффекта (воздействие магнитного поля) при известной частной функции, которую можно определить, как обеспечение фрикционного взаимодействия колеса и рельса. Ключевым элементом метода является алгоритм анализа научно-теоретических работ, как процедуры, наиболее сложной для инженерных работников (Рис.1.).



**Рисунок 1 – Алгоритм анализа теоретических работ в процессе выявления униформации**

Проведенный на основе указанного алгоритма анализ научных работ позволил прийти к следующим выводам.

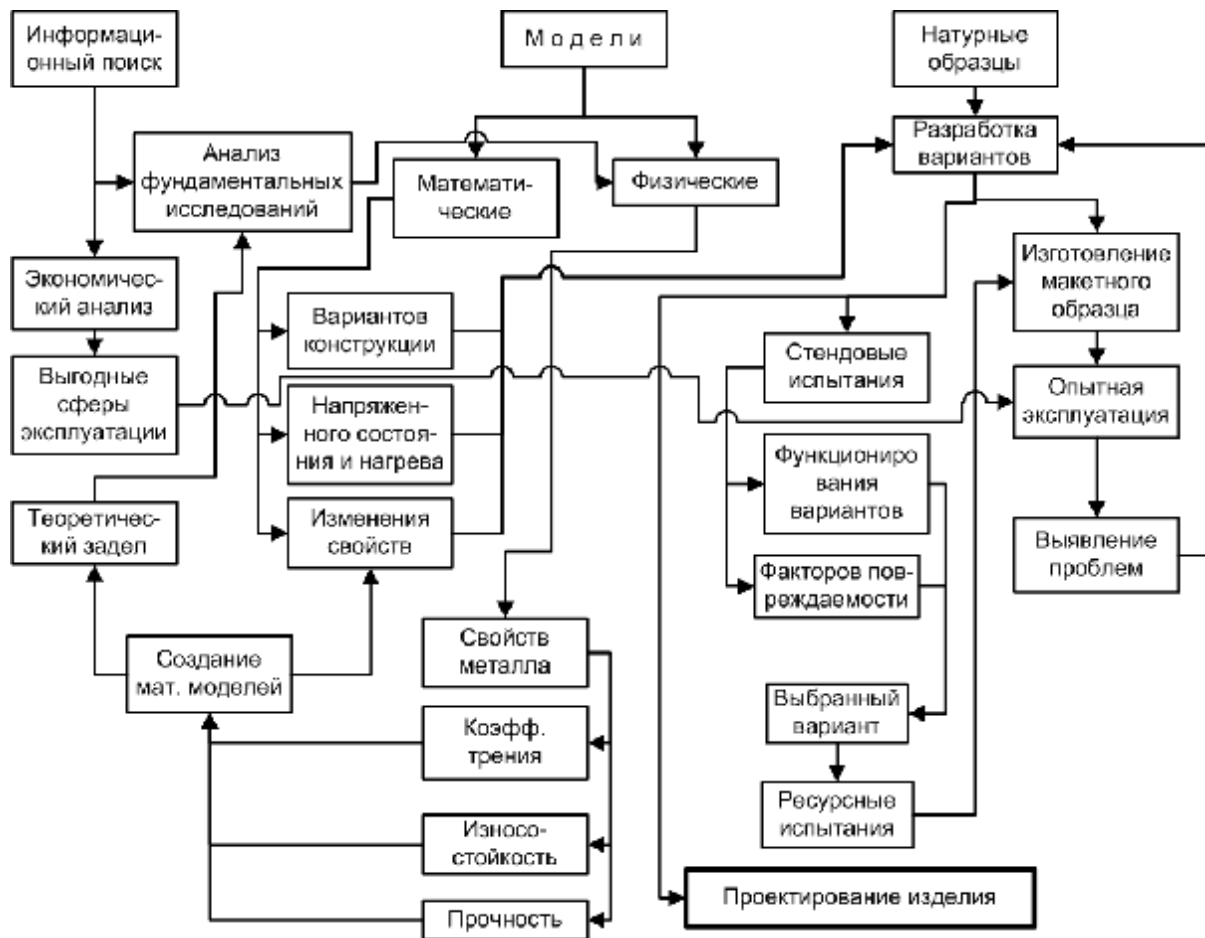
Во-первых, существует принципиальная возможность за счет применения внешних магнитных полей качественно улучшить целый ряд показателей системы «колесо-рельс», компенсировав тем самым увеличение напряжений в зоне контакта, вызванных усилением нажатия колеса на рельс и касательных усилий. На это, в частности указывает изменение коэффициента трения, выявленное в [5].

Во-вторых, настоящее время не

сложилось единого представления о природе влияния магнитного поля на свойства материалов. Можно выделить две основные теории. Согласно первой из них, исследователи объясняют изменение физических свойств металлов при воздействии магнитного поля прежде всего изменением поведения в магнитном поле легкоподвижных элементов, добавок, примесей в материале деталей [6]. В соответствии со второй теорией, одной из причин роста подвижности дислокаций при воздействии внешнего электромагнитного поля, приводящей к различным наблюдаемым явлениям, в настоящее время считают влияние электронных спинов, локализованных на дефектах кристаллической решетки. При этом, как показано Р.Б. Моргуновым в [7], возможность влияния электронных спинов, локализованных на дефектах структуры, на механические свойства кристаллов до недавнего времени не принимали во внимание. Получение строгих экспериментальных доказательств влияния спин-зависимых процессов на пластическую деформацию ионных кристаллов в магнитном поле и рост количества публикаций на эту тему определили возникновение нового направления в физике пластичности спиновой микромеханики, целью которой является получение знаний о микроскопических спин-зависимых процессах, влияющих на механические свойства твердых тел.

Предложен план работ, охватывающий потенциальные проблемы создания изделия (Рис.2.). Конечной целью является выделение и ранжирование сфер применения МУКС по соотношению «затраты-эффект», где риски от побочных эффектов (прилипание металлических предметов, ферромагнитной пыли) сведены к минимуму. По данным экономического анализа выбирается один из выпускаемых или эксплуатируемых локомотивов для опытной эксплуатации макетного образца, а также рациональная сфера его эксплуатации. Цель эксплуатации макетного образца – выявить как можно больше возможных проблем при использовании потребителем МУКС

с учетом всей совокупности современных условий эксплуатации, которые могут отличаться от тех, в которых проходили испытания тепловоза ТЭМ2УС.



**Рисунок 2 – Предлагаемый план работ по инженерному анализу при создании электромагнитного усилителя коэффициента сцепления**

Предлагается провести более подробный анализ фундаментальных исследований, результатом которого должен быть выбор технических решений ряда физических моделей и лабораторных установок для получения эмпирических закономерностей влияния магнитного поля на свойства вещества в диапазоне параметров, характерных для создаваемых МУКС (изменение коэффициента трения, пластичности, износа, трещинообразования и выкрашивания). Полученные эмпирические закономерности могут быть использованы для создания математических моделей, предназначенных для проектирования вариантов конструкции, а также для формирования в научно-теоретического задела для анализа и сопоставления с данными фундаментальных исследований. Установлено, что для проектирования вариантов конструкции потребуются следующие виды моделирования:

- предварительное моделирование различных вариантов конструкции усилителей сцепления для определения магнитных потоков и механической нагруженности конструкции перед проведением стендовых испытаний и в качестве их сопровождения;
- моделирование локальных механических напряжений и термических процессов в зоне контакта «колесо-рельс».

Установлено обязательное проведение следующих видов стендовых испытаний для изготовленных натуральных образцов:

- сравнительные испытания различных вариантов МУКС с целью поиска наиболее эффективных элементов конструкции;

- исследования на физических объектах факторов повреждаемости колеса и рельса в процессе контактного взаимодействия с учетом воздействия внешнего магнитного поля.

Результаты указанных испытаний позволят выбрать вариант узла, который, после проведения на стенде комплексных ресурсных испытаний, используется для создания макетного образца локомотива. Далее, после выявления проблем в эксплуатации макетного образца, необходимо проведение интерактивной процедуры поиска недостающей информации, что позволит приступить к проектированию уже для серийного локомотива.

Создание МУКС, в свою очередь, создает новые критерии оптимизации колесно-моторного блока: создание противобоксовочной системы, которая должна предсказывать снижение сцепления и корректировать его для поддержания постоянства силы тяги.

#### Список литературы

1. Попов В.А. Влияние фрикционных процессов на реализацию сцепления колесных пар локомотивов с рельсами: автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1984 20 с.

2. О.В. Измеров, А.В. Кошелев, А.Н. Чвала. Проблема воспроизводимости результатов натуральных экспериментальных исследований трибологических свойств системы «колесо-рельс» в условиях глобализации рынка рельсовых транспортных средств: статья. «Мир транспорта и технологических машин», № 3(34) 2011 (июль-сентябрь), Орёл, ОрёлГТУ, с. 28-34.

3. Тихомиров, В.П. Моделирование сцепления колеса с рельсом: монография / В.П. Тихомиров, В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, Г.В. Багров, М.И. Борзенков, И.А. Бутрин. – Орёл: ОрёлГТУ, 2007. – 127 с.-ил.

4. Инновационное проектирование машин: монография / [О. В. Измеров и др.] под редакцией член-корр. академии электротехнических наук Российской федерации, д-ра техн. наук А.С. Космодамианского. – Орёл, ОрёлГТУ, 2010. – 413 с.

5. Chang, Y.P. Effects of friction on tribo-magnetization mechanisms for self-mated iron pairs under dry friction condition/ Y.P. Chang, L.M. Chu, H.M. Chou, Y.C. Hwang//Proc. IMechE,2009.- Vol. 223, Part J: J. Engineering Tribology.- P. 1-12

6. Гаркунов Д.Н., Суранов Г.И., Коптяева Г.Б., О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой. Трение и износ. 1982, т.3,№2. 327-330с.

7. Моргунов Р.Б. Спин – зависимые реакции между дефектами структуры и их влияние на пластичность кристаллов в магнитном поле // Вестник РФФИ. № 2(32), июнь 2003. С. 19-46.

**Воробьев Владимир Иванович**, канд. техн. наук, доцент, Брянский государственный технический университет, тел. 8 960 564-38-45.

**Измеров Олег Васильевич**, администрация Губернатора и Правительства Брянской области, e-mail: [izmerov@yandex.ru](mailto:izmerov@yandex.ru), тел. 56-14-44.

**Волохов Станислав Григорьевич**, ООО «Радуга», 241035, г. Брянск, ул. Брянской Пролетарской дивизии, д. 1а

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГОГО ТЕЛА ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕМНЫХ СИЛАХ**

**Пеньков В.Б., Саталкина Л.В., Кузьменко Н.В.**

*Россия, Липецк, Липецкий ГТУ*

*Разработан и реализован алгоритмически метод решения задач теории упругости с объемными силами из класса непрерывных. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) шара, деформируемого непотенциальными силами.*

*The method for solving problems of the theory of elasticity with body forces from the class of continuous is developed and algorithmic implemented. The analysis of the stress-strain state of the ball, deformable nonpotential forces is performed.*

Традиционные методы (вариационные, граничных интегральных уравнений) анализа НДС линейного изотропного упругого тела учитывают объемные силы в их потенциальном варианте. Однако, опыт решения задач, в которых объемные силы не являются потенциальными, или нелинейных задач, в которых эффект наличия объемных сил появляется как результат применения метода Пуанкаре, требует расширения до задач с объемными, непрерывными на замкнутом многообразии.

Разработка эффективного алгоритма решения таких задач является темой актуальной, позволяет экономить вычислительные ресурсы по ряду аспектов: 1) использование общего решения Папковича-Нейбера [1] построено для случая потенциальных объемных сил. Постановка задач с непотенциальными силами наталкивается на необходимость аппроксимации таковых потенциальными, что в общем случае некорректно, но в частных случаях допустимо, хотя и порождает погрешность. Предлагаемый подход позволяет объемные силы приблизить с любой степенью точности вектором многочленов и оценить соответствующее ему НДС; 2) эффективен прием декомпозиции НДС тела на состояния, обусловленные объемными силами и скорректированными граничными условиями. Это сокращает трудоемкие операции примерно вчетверо.

Выход из положения, в котором НДС обусловлено непотенциальными объемными силами, находится на пути использования обратного метода, а именно: каждая компонента вектора перемещений может быть задана мономом  $x^a y^b z^g$ ;  $\alpha + \beta + \gamma = n$  - порядок монома. Очевидно, что варьирование  $\alpha, \beta, \gamma$  позволяет составить базис многочленов, аппроксимирующий любой регулярный вектор перемещений  $\mathbf{u}$ . Каждому такому вектору в соответствии с формулами Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (1)$$

отвечает единственный тензор деформации, описываемый многочленами порядка  $n - 1$ .

Обобщенный закон Гука

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

восстанавливает тензор напряжений такого же порядка;  $\lambda, \mu$  – константы Ламе.

Уравнения равновесия

$$\sigma_{i,j,j} + F_i = 0 \quad (3)$$

позволяют выписать выражения для вызывающих это состояние объемных сил

$$F_i = -\sigma_{i,j,j},$$

описываемых многочленами порядка  $n - 2$ . Для каждого фиксированного  $n$  центральным является вопрос: содержится ли базис векторов  $\mathbf{F} = \{X, Y, Z\}$  среди всех вариантов, генерируемых по указанной схеме?



Строгое доказательство положительного ответа пока не найдено, но практическое исследование на линейную зависимость/независимость для конкретных случаев  $n = 3, 4, 5$ , проведенное методом ортогонализации, показало присутствие базиса во множествах генерируемых вариантов.

В соответствии с теоремой Вейерштрасса любую ограниченную на замкнутом многообразии функцию (как следствие, векторную функцию) можно представить в виде многочлена, сконструированного из элементов базиса. Процедура конструирования не отличается от разложения произвольного элемента гильбертова пространства по его ортонормированному базису.

Для примера рассмотрим случай  $\mathbf{u} = \{x^\alpha y^\beta z^\gamma, 0, 0\}$  (варианты с иными ненулевыми компонентами вектора  $\mathbf{u}$  обеспечиваются круговой подстановкой индексов). Этому перемещению соответствуют тензоры деформаций и напряжений

$$\hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{x^\alpha y^\beta z^\gamma}{2} \begin{pmatrix} 2\alpha x^{-1} & \beta y^{-1} & \gamma z^{-1} \\ \beta y^{-1} & 0 & 0 \\ \gamma z^{-1} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{\boldsymbol{\sigma}} = x^\alpha y^\beta z^\gamma \begin{pmatrix} (\lambda + 2\mu)\alpha x^{-1} & \mu\beta y^{-1} & \mu\gamma z^{-1} \\ \mu\beta y^{-1} & \lambda\alpha x^{-1} & 0 \\ \mu\gamma z^{-1} & 0 & \lambda\alpha x^{-1} \end{pmatrix}.$$

Предъявленное НДС порождено массовыми силами

$$\mathbf{F} = -x^\alpha y^\beta z^\gamma \begin{pmatrix} (\lambda + 2\mu)\alpha(\alpha - 1)x^{-2} + \mu\beta(\beta - 1)y^{-2} + \mu\gamma(\gamma - 1)z^{-2} \\ (\lambda + \mu)\alpha\beta x^{-1}y^{-1} \\ (\lambda + \mu)\alpha\gamma x^{-1}z^{-1} \end{pmatrix}.$$

В частности, при  $n = 4$ ,  $\lambda = \mu = 1$  линейно-независимыми наборами являются

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \in -2 \left\{ \begin{pmatrix} 6z^2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 6z^2 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 18z^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3yz \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 3yz \\ 3z^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9yz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^2 + z^2 \\ 0 \\ 4yz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ y^2 + 3z^2 \\ 4yz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 4yz \\ 3y^2 + z^2 \end{pmatrix} \right. \\ \left. \begin{pmatrix} 3xz \\ 0 \\ 3z^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 3xz \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3z^2 \\ 0 \\ 9xz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} xy \\ z^2 \\ 2yz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z^2 \\ xy \\ 2xz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2yz \\ 0 \\ 3xy \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^2 + 3z^2 \\ 0 \\ 4xz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ x^2 + z^2 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4xz \\ 0 \\ 3x^2 + z^2 \end{pmatrix} \right\}.$$

Как следствие, полиномиальный базис объемных сил представляет собой

$$\left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3z \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 3z \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ 2z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ x \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ x \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2z \\ 0 \\ 3x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 6z^2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 6z^2 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 18z^2 \end{pmatrix} \dots \right\}.$$

Процедура разложения состояния  $\mathbf{Q} = \{x^2, y^2, z(x^2 + y^2)\}$  по предварительно ортонормированному базису дает набор коэффициентов Фурье (приведены ненулевые коэффициенты):

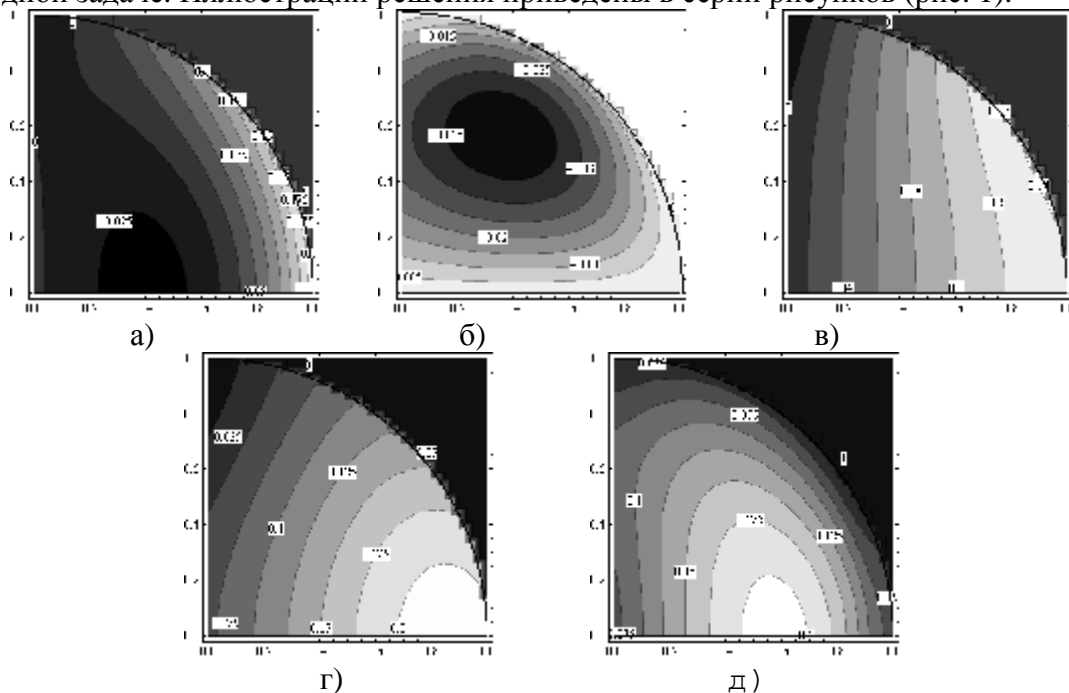
$c_1 = c_2 = 0.9428$ ,  $c_6 = 1.0887$ ,  $c_{20} = c_{28} = 0.8433$ ,  $c_{39} = c_{54} = 0.4869$ . Линейная комбинация базисных внутренних состояний с этими коэффициентами приводит к НДС, обусловленному указанным вектором  $\mathbf{Q}$  (ниже обозначено  $f = z^2 - x^2 - y^2$ ):

$$\mathbf{u}_Q = \frac{z^2}{36} \begin{pmatrix} -18x^2 + 5z^2 + 2xz^2 \\ -18y^2 + 5z^2 + 2yz^2 \\ 2z(4x + 4y - x^2 - y^2 - z^2/5) \end{pmatrix}$$

$$\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}_Q = \frac{z}{18} \begin{pmatrix} -18xz + z^3 & 0 & -9x^2 + 7z^2 + xz^2 \\ 0 & -18yz + z^3 & -9y^2 + 7z^2 + yz^2 \\ -9x^2 + 7z^2 + xz^2 & -9y^2 + 7z^2 + yz^2 & z(12x - 3x^2 + 12y - 3y^2 - z^2) \end{pmatrix}.$$

$$\hat{\sigma}_Q = \frac{z}{18} \begin{pmatrix} 3z(-14x - 2y + f) & 0 & 2(-9x^2 + 7z^2 + xz^2) \\ 0 & 3z(-2x - 14y + f) & 2(-9y^2 + 7z^2 + yz^2) \\ 2(-9x^2 + 7z^2 + xz^2) & 2(-9y^2 + 7z^2 + yz^2) & z(18x + 9f + 18y - 10z^2) \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим задачу о равновесии шара единичного радиуса, по границе свободного от внешних воздействий, но нагруженного объемными силами  $\mathbf{Q}$ . Внутреннее НДС, обусловленное  $\mathbf{Q}$ , вызывает на поверхности отклик в виде поверхностного усилия  $\mathbf{p}_Q = \hat{\sigma}_Q \cdot \mathbf{n}$ , где  $\mathbf{n}$  - единичный вектор внешней нормали к границе тела. Учет этого состояния в постановке задачи декомпозирует ее и приводит к первой основной задаче при отсутствии массовых сил, в которой на границе определено поверхностное усилие  $-\mathbf{p}_Q$ . После ее решения (например, методом граничных состояний [2]) оба поля суммируются, что дает состояние, соответствующее исходной задаче. Иллюстрации решения приведены в серии рисунков (рис. 1).



**Рисунок 1 – Распределения напряжений в осевом сечении: а) радиальное; б) сдвиговое; в) окружное; г) осевое; д) линии уровня наибольших касательных напряжений (изохромы)**

#### Список литературы

1. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. - М.: Наука, 1979. - 744 с.
2. Пеньков В.Б., Пеньков В.В., Викторов Д.В. Учет массовых сил в методе граничных состояний // Известия ТулГУ. Серия Математика. Механика. Информатика. 2005. Т.11, вып. 2. С.94-100.

**Пеньков Виктор Борисович**, д-р ф.-м. наук, профессор. Липецкий ГТУ, профессор, e-mail: [vbpenkov@mail.ru](mailto:vbpenkov@mail.ru), тел. 8-920-240-36-19.

**Саталкина Любовь Владимировна**, канд. ф.-м. наук, Липецкий ГТУ, доцент. e-mail: [satalkina\\_lyubov@mail.ru](mailto:satalkina_lyubov@mail.ru), тел. 8-904-219-02-08.

**Кузьменко Никита Васильевич**

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БАЗИСА СОСТОЯНИЙ КАК НАДЕЖНЫЙ ФАКТОР СОКРАЩЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ АНАЛИЗЕ УПРУГИХ ПОЛЕЙ

Рязанцева Е.А., Пеньков В.Б.

Россия, Липецк, ЛГТУ

*Анализ упругих полей с сингулярностями физического характера в граничных условиях приводит к большому объему вычислений и, как следствие, потере точности. Использование специального решения, схватывающего «особенность», позволяет не только улучшить сходимость решения, но и существенно сокращает вычислительные ресурсы при анализе упругих полей.*

*The analysis of the elastic fields with singularities of the physical character in the boundary conditions leads to a large volume of calculations and, as a consequence, the loss of accuracy. The use of special solutions, catching "feature", makes it possible not only to improve the convergence of the solutions, but also significantly reduces the computing resources in the analysis of the elastic fields.*

Метод граничных состояний (МГС) [1] является современным эффективным общим компьютерно-ориентированным методом решения краевых задач математической физики, который можно использовать для анализа состояний тел различной геометрической конфигурации. Основные принципы МГС: исходный базис пространства состояний строится для класса топологически эквивалентных тел, наполненных физической средой: ограниченных односвязных, неограниченных односвязных, двусвязных и др.; «тело в смысле МГС», под которым понимается ортонормированный базис внутренних состояний, строится однократно и может использоваться для решения различных краевых задач; в случае основных задач «скелет» задачи представляет собой единичную матрицу, и решение сводится к рутинному вычислению квадратур; граничные условия содержатся в результирующем граничном состоянии, что служит основой проверки адекватности решения; решение имеет аналитическую форму, что позволяет легко проводить анализ.

Общее решение плоских задач теории упругости обеспечивают формулы комплексного представления Колосова-Мусхелишвили [2]:

$$\begin{aligned} s_{xx} + s_{yy} &= 2[j'(z) + \overline{j'(z)}]; \\ s_{yy} - s_{xx} + 2it_{xy} &= 2[\overline{z}j''(z) + y'(z)]; \\ 2m(u + iv) &= cj(z) - \overline{zj'(z)} - y(z), \end{aligned}$$

где  $m, c = 3 - 4\nu$  - параметры упругой среды,  $\nu$  - коэффициент Пуассона,  $j(z), y(z)$  - аналитические функции Колосова - Мусхелишвили комплексного переменного  $z = x + iy$ . Любая их пара определяет некоторое внутреннее упругое состояние. Базис состояний получается из рассмотрения вариантов

$$\begin{pmatrix} j(z) \\ y(z) \end{pmatrix} \in \left\{ \begin{pmatrix} z^n \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ z^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} iz^n \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ iz^n \end{pmatrix} \right\}, n = 1, 2, \dots$$

В идеологии метода граничных состояний задача теории упругости состоит в отыскании коэффициентов Фурье разложения решения по ортонормированному базису, исходя из информации, скрытой в граничном состоянии  $g$ . В общем случае проблема сводится к бесконечной системе уравнений относительно коэффициентов Фурье  $c_k$ . Решение основных задач принципиальных трудностей не вызывает, поскольку коэффициенты Фурье рассчитываются рутинным образом через квадратуры:

в первой основной задаче  $c_k = \int_{\partial D} \mathbf{p} \cdot \mathbf{u}^{(k)} dl$ , в случае второй основной задачи

$$c_k = \int_{\partial D} \mathbf{u} \cdot \mathbf{p}^{(k)} dl.$$

Практика построения упругого поля предполагает использование ограниченного отрезка базиса, следовательно, ни при каком значении  $n$  «отловить» особенность физической природы в граничных условиях невозможно. Механическое наращивание размера базиса весьма энергозатратно в силу необходимости проведения процесса ортогонализации. Поэтому естественной является идея использовать в качестве одного из базисных состояний специальное решение задачи, в которой граничные условия содержат сингулярность соответствующего характера.

Рассмотрим задачу о воздействии равномерно распределенных на отрезках противоположных сторон прямоугольника взаимоуравновешенных погонных силах (рис. 1, постановка безразмерная): на границе  $S_2$  действует усилие равное  $p = (0, 1)$ , на границе  $S_4$  –  $p = (0, -3)$ .

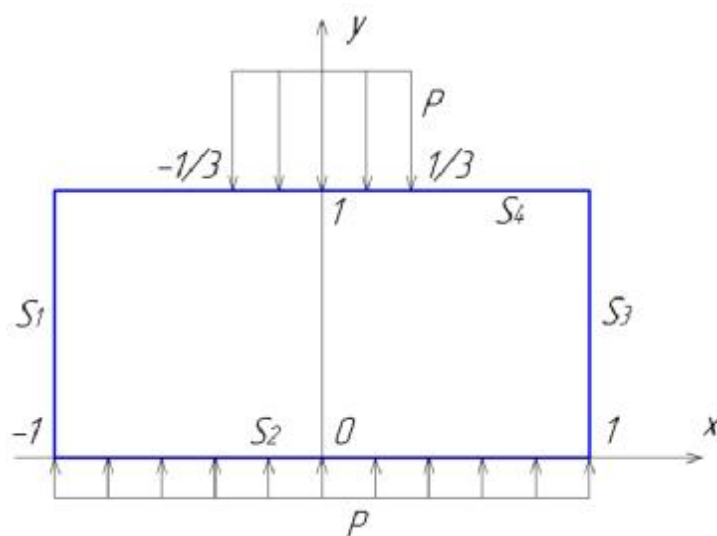


Рисунок 1 – Сжатие прямоугольника равномерно распределенными усилиями

В качестве специального решения, «схватывающего» разрывы усилий вдоль границы, используем строгое решение задачи о нагружении единичным усилием границы полуплоскости, распределенном на отрезке  $[-a, a]$ . Соответствующее упругое поле описывается функциями Колосова-Мусхелишвили:

$$j(z) = (z - a) \ln \frac{z - a}{z + a}, \quad y(z) = \frac{ia \ln(-a^2 + z^2)}{2p}$$

Решение поставленной задачи происходит двумя способами:

- 1) без включения специального решения;
- 2) с включением в базис специального решения.

При решении задачи первым способом на проведение ортогонализации потребовалось достаточно много времени и для улучшения сходимости использовалось 159 элементов в базисе, чего недостаточно. Об этом свидетельствует первый столбец табл. 1. Включение специального решения потребовало всего 43 базисных элемента и время счета существенно сократилось. Специальное решение удерживалось в четырех точках  $x = \pm \frac{1}{3}$  на  $S_4$  и  $x = \pm 1$  на  $S_2$  по границе. Регулярная часть базиса ограничивалась многочленами десятого порядка. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, включение на четвертой границе двух специальных решений дает граничное состояние, фактически совпадающее с заданным; на второй границе заметны сингулярные точки, но точность решения улучшена. Решение задачи с включением специальных решений заняло около двух минут, а решение задачи без включения специального решения заняло больше суток непрерывной работы компьютера.

В табл. 1 представлены рисунки, на которых сопоставлены результаты решения (сплошная линия) и заданные граничные условия (прерывистая линия). Рисунки показывают корректность решения.

Таблица 1 – Сравнительный анализ полученных решений

Усилия $p_y$ на границах, полученные без использования специального решения	Усилия $p_y$ на границах, полученные с использованием специального решения
$S_2$	
$S_4$	

Вывод: включение специального решения в базис не только улучшает сходимость, но и существенно экономит вычислительные ресурсы при выполнении расчетов.

#### Список литературы

1. Пеньков В.Б., Пеньков В.В. Метод граничных состояний для решения задач линейной механики. // Дальневосточный математический журнал. – 2001. – Т.2, №2. – С.115-137.
2. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: «Наука», 1966. – 708 с.

**Рязанцева Елена Анатольевна**, старший преподаватель ЛГПУ, e-mail: [elena\\_18\\_02\\_83@mail.ru](mailto:elena_18_02_83@mail.ru), тел. 8(904)688-95-73.

**Пеньков Виктор Борисович**, доктор физико-математических наук, профессор ЛГТУ, e-mail: [vbpenkov@mail.ru](mailto:vbpenkov@mail.ru), тел. 8(920)240-36-19.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ИХ ОТОБРАЖЕНИЕ В  
КОРПОРАТИВНЫХ ПОРТАЛАХ**

**Мегаев К.А.**

*Россия, г. Орёл, ГУ-УНПК*

*В докладе предложена математическая модель оптимизации технических возможностей средств информационного обмена на основе целочисленного программирования, отличающаяся использованием ограничений на отдельные сетевые ресурсы и позволяющая предложить для конкретной среды корпоративного портала ограниченное множество технических возможностей.*

*The report proposed a mathematical model of optimization of the technical capabilities of information exchange based on integer programming, characterized by the constraints of the individual network resources and allows us to offer specific protection of a corporate portal limited number of technical features.*

Развитие средств информационного обмена телекоммуникационной среды предприятия осуществляется в направлениях все более полного удовлетворения требований, выдвигаемых пользователями в корпоративных порталах, и улучшения характеристик передачи информации в сквозных трактах от отправителя до получателя [1,2].

Первое направление проявляется в расширении сферы дополнительных услуг, обеспечиваемых протоколами, которые могут быть созданы для пользователей, обменивающихся информацией в определенном режиме (ДОСТАВКА, ДИАЛОГ, ЗАПРОС – ОТВЕТ). Такими услугами, представляющими наибольшее значение при рассмотрении протоколов среды корпоративного портала, являются [4 - 8]:

- образование замкнутых групп пользователей конкретной среды корпоративного портала;
- хранение массивов данных пользователей;
- предварительное согласование между пользователями пропускной способности сквозного тракта передачи информации;
- регулирование доступа к пользователям – получателям информации или доступа к исходящему трафику;
- обеспечение возможности оплаты (тарификации) за информацию, передаваемую через среду корпоративного портала;

Второе направление проявляется во введении специальных алгоритмов обмена информацией, предназначенных для:

- сокращения времени доставки информационных массивов;
- улучшения степени использования пропускной способности каналов информационного обмена;
- регулирования информационного потока, вводимого в среду корпоративного портала с целью улучшения вероятностно-временных характеристик передачи;
- установления целесообразных параметров обмена – длины поля данных пользователя в информационном массиве, «глубину» тракта передачи, в пределах которого нумеруются массивы, величины цикла нумерации.

Не исключаются факторы, общие для обоих направлений. Например, предварительное согласование пропускной способности косвенно связано с регулированием информационного потока. В практике создания средств информационного обмена корпоративного портала в наибольшей мере проработан комплекс технических возможностей (ТВ) для пользователей при ориентации на принцип коммутации пакетов (КП), что и будет составлять предмет дальнейшего рассмотрения.

Предоставление единой точки доступа к корпоративной информации, корпоративным приложениям и другим источникам данных внутри и вне компании. При этом информация может предоставляться в персонифицированном, интегрированном и агрегированном виде – то есть предоставляться таким образом, чтобы максимально поддерживать процесс принятия бизнес-решений и решений функциональных проблем и задач [3].

Так как реализация каждой ТВ сопровождается определенными затратами ресурсов, то в практике создания средств информационного обмена в среде корпоративного портала возникает задача оптимизации ряда ТВ с учетом ограничений на отдельные сетевые ресурсы. Технические возможности характеризуются широким спектром применения, естественно поставить задачу для некоторого ограниченного множества ТВ, ориентированных на использование в рамках заданной службы информационного обмена и совокупности атрибутов. Предположим, что множество  $\{G\}$  содержит  $\bar{M}$  возможностей, и введем целевую функцию

$$Z = \sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k h_k \tilde{R}_k, \quad (1)$$

где  $\tilde{R}_k > 0$  — количественная мера эффективности реализации ТВ<sub>k</sub>;

$h_k$  — коэффициент, позволяющий при необходимости привести различные  $\tilde{R}_k$  к универсальной мере, характер которой зависит от службы информационного обмена и режима передачи, а также доминирующего требования к алгоритму взаимодействия пользователей среды портала (например, к экономическому критерию эффективности введения ТВ<sub>k</sub>)  $b_k = 0$  или 1.

Задача заключается в нахождении

$$\max_{\{g_1 \dots g_{2^{M-1}}\}} Z = \max_{\{g_1 \dots g_{2^{M-1}}\}} \sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k h_k \bar{R}_k = \max_{\{g_1 \dots g_{2^{M-1}}\}} \sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k V_k, \quad (2)$$

где  $g_1 \dots g_{2^{M-1}}$  — ненулевые сочетания ТВ, каждая из которых принадлежит множеству  $\{G\}$ , при выполнении ограничений вида

$$\sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k \bar{m}_k^{-1} \leq \bar{m}_0^{-1}, \quad \sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k \bar{m}_k^{-2} \leq \bar{m}_0^{-2}, \quad \dots, \quad \sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k \bar{m}_k^{-\bar{l}} \leq \bar{m}_0^{-\bar{l}}, \quad (3)$$

где  $\bar{m}_k^m$ ,  $m = 1 \dots \bar{l}$  — затраты m-го ресурса среды портала при реализации ТВ<sub>k</sub>. Каждому из  $\bar{l}$  неравенств соответствует ограничение на определенный ресурс среды портала. Решением задачи является сочетание ненулевых  $b_k$ , обеспечивающих условия (2) и (3). ТВ оказываются в анализируемых условиях нереализуемыми, если единственное сочетание образуют  $b_1 = \dots = b_m = 0$ .

Для решения поставленной задачи целочисленного программирования целесообразно применить метод ограниченного перебора альтернатив Балаша, согласно которому решение включает следующие этапы:

1) размещение коэффициентов  $V_k$ , в порядке возрастания. Пусть, например, рассматриваются четыре ТВ и возрастающая последовательность имеет вид  $V_1 < V_4 < V_2 < V_3$ ;

2) построение лексикографической последовательности для коэффициентов  $b_k$ , в данном случае, причем совокупность элементов в каждой строке, образует точку в пространстве решений;

3) проверка ограничений для точек  $b\bar{l}$  [ $b_3, b_2, b_4, b_1$ ], образующих лексикографическую последовательность;

- 4) выявление точки  $b_1$  удовлетворяющей ограничениям (3);
- 5) вычисление целевой функции  $\tilde{Z}_1$  для точки  $b_1$ ;
- 6) формирование фильтрующего ограничения  $\sum_{k=1}^{\bar{M}} b_k V_k \geq \tilde{Z}_1$ ;
- 7) построение новой лексикографической последовательности точек, расположенных выше точки  $b_1$ ;
- 8) проверка основных (2) и фильтрующего ограничений для точек новой лексикографической последовательности;
- 9) нахождение точки  $b_2$ , удовлетворяющей условию  $\tilde{Z}_2 > \tilde{Z}_1$ ;
- 10) повторение действий б) – 9) до исчерпания всех 2 точек пространства решений о применении ТВ;
- 11) определение точки  $b_n^-$ , соответствующей максимальному значению  $\tilde{Z}_n^-$  при выполнении ограничений (2);
- 12) определение допустимых ТВ, отображаемых ненулевыми координатами точки  $b_n^-$ .

#### Список литературы

1. Корпоративные порталы: современная концепция и ее воплощение в продуктах [Электронный ресурс] - <http://www.klubok.net/article432.html>
2. Корпоративные порталы: определение, история развития, цели и средства [Электронный ресурс] - <http://otherreferats.allbest.ru/marketing/c00175610.html>
3. Надеин А., Кузнецов В. Корпоративные интернет-порталы [Электронный ресурс] - <http://www.e-commerce.ru/analytics/analytics-part/analytics15.html>
4. Еременко В.Т. Математическое моделирование процессов информационного обмена в распределенных управляющих системах. : Монография / Под общей редакцией Константинова И.С. – м.: Машиностроение – 1, 2004. – 224 с.
5. Еременко В.Т. Основное содержание теории функциональной стандартизации протоколов безопасности и принципы ее разработки // Телекоммуникации – 2003. – № 6. – С. 34 – 38.
6. Еременко В.Т. Концепция обнаружения и коррекции логических ошибок в реализациях профилей протоколов безопасности // Телекоммуникации – 2003. – № 8. – С. 30 – 35.
7. Еременко, В.Т. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / С.И. Афонин, В. Т. Еременко, Т. М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д. А. Плащенков // Информационные системы и технологии. – 2011, № 6 – С. 35 – 42.
8. Еременко, В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов. / С.И. Афонин, В. Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, и др. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 1 – С.78 – 84.

**Мегаев Кирилл Андреевич**, аспирант кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг» Госуниверситета-УНПК, тел. +7(953)619-71-15, e-mail: [megaev@mail.ru](mailto:megaev@mail.ru).



## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В МОДУЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АСУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Лякишев А. А.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО "Госуниверситет – УНПК"

*Рассматривается методика оптимизации процессов информационного обмена в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП, базирующаяся на использовании замкнутой экспоненциальной модели сети массового обслуживания и отличающаяся возможностью оперирования нечёткими множествами.*

*The technique of optimization of information exchange in the modular structure of systems for the collection and processing data in the ACS of a gas transportation company, based on the use of the exponential model of a closed queuing network and the ability to operate characterized by fuzzy sets.*

Оптимальное проектирование модульных структур систем сбора и обработки данных газотранспортных предприятий (ГТП) невозможно без процедуры принятия решений на различных этапах процесса проектирования. Проектирование СПД ГТП характеризуется большим количеством этапов, на каждом из которых необходимо осуществить принятие решения, как на основе каких-либо математических или эвристических методов, так и на основе опыта проектировщика.

Методика оптимизации процессов информационного обмена в модульных структурах систем сбора и обработки данных. *Первый этап* представлен в виде алгоритма оптимизация пропускной способности в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП.

Задача оптимизации модульной структуры систем сбора и обработки данных состоит в максимизации ее производительности с учетом того, что она может быть представлена в виде замкнутой однородной СМО при стоимости, не превосходящей заданной, или минимизации стоимости сети при производительности не ниже заданной [1]. Максимум производительности сети не может достигаться внутри области ограничения на стоимость, и, следовательно, должно выполняться равенство  $S(\mu) = S^*$ , где  $S^*$  – ограничение по стоимости СМО. Аналогично минимальная стоимость сети достигается при выполнении ограничения на производительность в виде равенства  $\lambda(\mu) = \lambda^*$ . Таким образом, задача оптимизации замкнутой экспоненциальной СМО может быть сформулирована в одной из следующих постановок:

$$1. \text{ Найти: } \max I = e_1 G_M (N - 1) / G_M (N) \quad (1)$$

$$\text{при ограничении } S = \sum_{i=1}^M c_i m_i^{a_i} = S^*, \quad m_i > 0$$

$$2. \text{ Найти: } \min S = \sum_{i=1}^M c_i m_i^{a_i} \quad (2)$$

$$\text{при ограничении } I = e_1 G_M (N - 1) / G_M (N) = I^*$$

Оптимальное решение задач (1), (2) будем искать методом неопределённых множителей Лагранжа. Составим функцию Лагранжа  $Q = \lambda + \gamma(S - S^*)$ , где  $\gamma$  – множитель Лагранжа [2]. Получаем окончательную систему нелинейных уравнений относительно переменных  $\mu_i$ :

$$m_i^{a_i} = \frac{S}{\left\{ c_1 \left[ 1 + \frac{1}{L_1(N-1) \sum \frac{a_1}{a_i} (L_i(N) - L_i(N-1)) \right] \right\}}, \quad m_i^{a_i} = \frac{a_1 c_1}{a_i c_i} m_1^{a_i} \frac{L_i - L_i(N-1)}{L_1(N) - L_1(N-1)}, \quad i = \overline{(2, M)} \quad (3)$$

Вектор  $\mu^*$ , являющейся решением системы уравнений (3), доставляет максимум целевой функции  $\lambda(\mu)$  при выполнении ограничения  $S(\mu) = S^*$ .

Решая аналогичным образом задачу для постановки 2, получаем

$$m_1 = I^* / U_1(N), \quad m_1^{a_i} = \frac{a_1 c_1}{a_i c_i} m_1^{a_i} \frac{L_i - L_i(N-1)}{L_1(N) - L_1(N-1)}, \quad i = \overline{(2, M)} \quad (4)$$

Таким образом, задача оптимизации замкнутой однородной сети МО сведена к решению системы нелинейных уравнений (3) или (4).

Второй этап представлен в виде алгоритма выбора оптимального потока в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП.

Для решения поставленной задачи, воспользуемся модифицированным алгоритмом отклонения потока.

*Шаг 1.* Определить "веса" линий связи  $w_{kl}$  и проинициализировать потоки в линиях связи  $f_{kl}$ :

$$w_{kl} := \begin{cases} \left[ \frac{\partial T}{\partial f_{kl}} \right]_{f_{kl}=0} = \frac{1}{d_{kl}}; & k, l = 1, 2, \dots, N: d_{kl} > 0 \\ \infty, & k, l = 1, 2, \dots, N: d_{kl} = 0; \end{cases}$$

$$f_{kl} := 0; \quad k, l = 1, 2, \dots, N$$

*Шаг 2.* Используя "веса" линий связи  $w_{kl}$ , определить кратчайшие пути  $p_{i,j}$  между всеми парами узлов "источник-адресат". Для нахождения кратчайших путей в этом случае наиболее подходящим является алгоритм Флойда.

*Шаг 3.* Распределить потоки по кратчайшим путям:

$$\forall i, j = 1, 2, \dots, N; \quad \forall (k, l) \in p_{i,j}; \quad f_{kl} := f_{kl} + \frac{g_{i,j}}{m}$$

$$\text{Шаг 4. Вычислить: } T_{old} = \frac{1}{g} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \frac{f_{kl}}{d_{kl} - f_{kl}} T_{old}$$

*Шаг 5.* Положить:  $g^{(1)} := g$

$$\text{Шаг 6. Положить: } g^{(2)} := \min \left\{ g, \frac{g^{(1)}}{r_{\max}} \right\}, \text{ где } r_{\max} = \max \left\{ \frac{f_{kl}}{d_{kl}} \right\}; \quad \forall (k, l): d_{kl} > 0$$

$$\text{Шаг 7. Пересчитать потоки в линиях связи: } f_{kl} := f_{kl} \cdot \frac{g^{(2)}}{g^{(1)}}; \quad k, l = 1, 2, \dots, N$$

*Шаг 8.* Определить "веса" линий связи  $w_{kl}$  инициализировать потоки по кратчайшим путям  $j_{kl}$

$$w_{kl} := \begin{cases} \frac{\partial T}{\partial f_{kl}} = \frac{d_{kl}}{(d_{kl} - f_{kl})}; & k, l = 1, 2, \dots, N: d_{kl} > 0 \text{ и } f_{kl} < d_{kl} \\ \infty, & k, l = 1, 2, \dots, N: d_{kl} = 0; \text{ или } f_{kl} \geq d_{kl} \end{cases}$$

$$j_{kl} := 0; \quad k, l = 1, 2, \dots, N$$

*Шаг 9.* Используя "веса" линий связи  $w_{kl}$  определить кратчайшие пути  $p_{i,j}$  между всеми парами узлов "источник-адресат".

*Шаг 10.* Распределить потоки по кратчайшим путям:

$$\forall i, j = 1, 2, \dots, N; \quad \forall (k, l) \in p_{i,j}; \quad j_{kl} := j_{kl} + I_{ij} \cdot \frac{g^{(2)}}{m \cdot g}$$

*Шаг 11.* Найти величину  $b \in [0; 1]$ , минимизирующую функцию:

$$T(b) = \frac{1}{g^{(2)}} \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{b \cdot j_{kl} + (1-b) \cdot f_{kl}}{d_{kl} - b \cdot j_{kl} - (1-b) \cdot f_{kl}}$$

Поиск величины  $\beta$  можно осуществить любым из известных методов одномерного поиска, например, методом Фибоначчи.

*Шаг 12.* Выполнить отклонение потока на величину  $\beta$ :

$$f_{kl} = b \cdot j_{kl} + (1 - b) \cdot f_{kl}; \quad k, l = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{Шаг 13. Вычислить: } T_{new} = \frac{1}{g^{(2)}} \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^N \frac{f_{kl}}{d_{kl} - f_{kl}}$$

Шаг 14. Если  $|T_{old} - T_{new}| < \varepsilon$ , то STOP:

Если  $g^{(2)} < g$ , то допустимых решений нет;

Если  $g^{(2)} = g$ , то получено оптимальное решение с заданной точностью  $\varepsilon$ . Иначе:

1) положить:  $T_{old} := T_{new}$ ,  $g^{(1)} := g^{(2)}$ ;

2) если  $g^{(1)} = g$ , то перейти к шагу 6; иначе перейти к шагу 8.

Приведенный алгоритм решения задачи выбора оптимальных потоков и определения оптимальных маршрутов в случае альтернативной маршрутизации объединяет в себе шаги построения начального допустимого потока (шаги 1-14) и собственно задачи минимизации средней задержки сети (шаги 8-14).

*Третий этап* представлен в виде алгоритма оптимизации процесса маршрутизации в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП. Ограничение на число исходящих линий ( $K$ ), используемых для передачи данных из каждого узла к узлу-адресату  $j$  можно записать в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^N v_{kl}^{(j)} \leq K; \quad j, k = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

*Четвёртый этап* представлен в виде алгоритма статистического прогнозирования трафика в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП.

*Шаг 1.* Определить рамки временного периода, для которого делается прогноз развития трафика.

*Шаг 2.* Определить факторы, влияющие на трафик в течение исследуемого временного периода и провести прогнозирование на основе анализ зависимости трафика от величины тарифов на основе регрессионных моделей.

*Шаг 3.* В зависимости от выбранной процедуры и на основании имеющейся статистической информации произвести прогнозирование и оценить его достоверность.

Процедура прогнозирования трафика описывается выражением с использованием средней нагрузки сети в момент времени  $t$  для  $m$  разновидностей услуг.

$$Y = \sum_{i=2}^m \frac{k_i N_i}{2} (1 + th(w_i t - p_i)) \quad (6)$$

где  $k_i$  – нагрузка, создаваемая одним элементом  $i$ -й разновидности услуг.

Для выявления основной тенденции изучаемого процесса чаще всего используется метод наименьших квадратов. Согласно методу наименьших квадратов неизвестные параметры функции выбираются таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений эмпирических данных от значений, вычисленная с помощью выражения:

$$S = \sum_{i=1}^t (v_{э.мин} - f(t))^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

**Заключение.** Решение задачи оптимизации модульных структур систем сбора и обработки данных сводится к решению системы нелинейных уравнений, которая, не содержит частных производных. Такой подход позволяет расширить область применения методов оптимизации модульных структур и снизить вычислительную сложность алгоритмов. Полученная методика оптимизации процессов информационного обмена в модульных структурах систем сбора и обработки данных в АСУ ГТП позволяет произвести оценку их наиболее важных показателей, выбрать на основании предложенного критерия оптимизации маршрут и произвести прогнозирование дальнейшего развития нагрузки на исследуемую модульную структуру.

## Список литературы

1. Еременко, В.Т. Рекурсивный алгоритм оценки минимальной величины канального ресурса в сети передачи данных. / В. Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, Д. А. Плащенков, Д. А. Краснов // Информационные системы и технологии. – 2012, № 4. С. 97 – 102.
2. Вишневский В.М., Федотов Е.В. Анализ методов маршрутизации при проектировании сетей пакетной коммутации // 3-rd I.S. "Teletraffic Theory and Computing Modeling". - София, 1992.

**Лякишев Александр Александрович**, аспирант кафедры "Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность" ФГБОУ ВПО "Госуниверситет – УНПК", г. Орёл, тел.: 8(919) 777-06-64, E-mail: [stiplchez@list.ru](mailto:stiplchez@list.ru).

УДК 621.316.9

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ СТУПЕНЕЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

**Басманов В.Г., Лищенко К.В.**

*Россия, г. Киров, ФГБОУ ВПО «ВятГУ»*

*В данной публикации описаны результаты исследования оптимального интервала переключений ступеней конденсаторной установки, который позволит уменьшить износ коммутационной аппаратуры и конденсаторов, а также увеличить срок службы.*

*This publication describes the results of a study of optimal intervals switching steps of condenser installations, which will reduce the wear and tear switching apparatus and condensers, and increases service life.*

Одной из важнейших характеристик автоматического регулятора реактивной мощности является интервал переключения конденсаторных банок.

Производители регуляторов предлагают конденсаторные установки с минимальным временем переключения, которое достигается за счет большого числа банок, часть которых находится как бы «в резерве». Для безаварийной и безопасной работы конденсаторной установки необходимо разряжать конденсаторы, чтобы напряжение на них снижалось до нуля. Конденсаторы разряжаются через разрядное сопротивление – резистор, подключенный параллельно конденсатору. Для конденсаторов достаточным временем для разряда является время порядка 120 секунд.

С учетом требований о необходимости разряда, конденсатор, отключенный от сети, не может быть включен в работу раньше, чем произойдет его полный разряд. Таким образом, для достижения времени переключения конденсаторов, меньшего, чем время разряда, необходимо включать в конденсаторную установку большее число ступеней регулирования, тогда при переключении будет происходить подключение именно той ступени, которая уже успела разрядиться.

С одной стороны такой способ регулирования можно считать выгодным, так как время переключения ступеней минимально. Но с другой стороны при реагировании на любые кратковременные изменения нагрузки регулятор заставляет коммутационную аппаратуру батарей работать в тяжелом режиме, что приводит к сокращению срока ее эксплуатации и быстрому выходу контактов из строя. Износ контактов ведет к повышению эксплуатационных издержек. Кроме того, при частых коммутациях увеличивается частота возникновения пусковых токов, что приводит к дополнительному износу изоляции конденсаторов.

Еще одним фактором, который надо учесть при выборе времени переключения батарей, является требуемая точность регулирования.

Поэтому очень важно определить оптимальный интервал времени переключения конденсаторных банок, при котором переток реактивной энергии будет минимальным. Этот интервал определяется длительностью разряда конденсаторов, поэтому коммутационная аппаратура и конденсаторы вынуждены работать в тяжелом режиме с частыми включениями и отключениями, повышающими их износ и уменьшающими срок службы. При этом нет достаточной обоснованности использования этого интервала переключения для разных графиков нагрузки. Поэтому серьезной проблемой, увеличивающей износ коммутационной аппаратуры и конденсаторов, является отсутствие рекомендаций по выбору интервала переключения ступеней КУ для разных типов графиков реактивной нагрузки потребителей. Для решения этой задачи необходимо провести экспериментальные исследования графиков реактивной нагрузки потребителей. Кроме того, графики реактивной мощности потребителей позволяют оценить диапазон регулирования генерации реактивной мощности [1].

Для решения этих задач необходимо разработать инструмент, позволяющий произвести исследования по выбору оптимального количества, мощности ступеней регулирования и интервала переключений ступеней (КУ).

В качестве инструмента, позволяющего произвести исследования по выбору оптимального количества, мощности ступеней регулирования и интервала переключений ступеней КУ, разработан программный продукт Lab, моделирующий процедуру управления генерацией реактивной мощности с помощью регулятора реактивной мощности. Критерием выбора оптимального количества, мощности ступеней и интервала переключений ступеней КУ является минимальный переток реактивной энергии по участку сети [2].

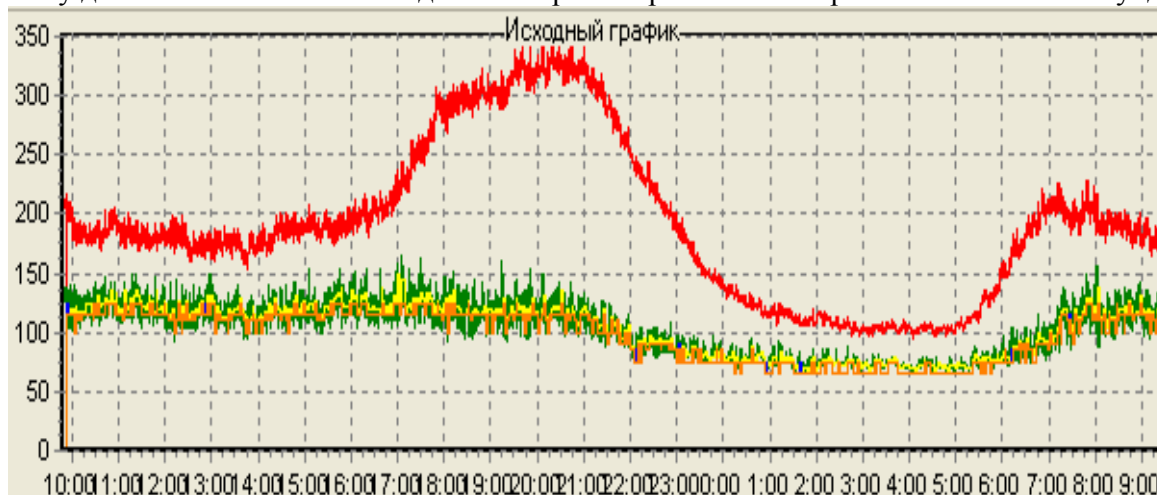
Данная модель реализована в среде визуального программирования Delphi. В качестве модели регулятора реактивной мощности используется регулятор реактивной мощности РРМ+. Критерием оптимального регулирования является полная компенсация реактивной мощности, так как в этом случае максимально увеличивается пропускная способность элементов системы электроснабжения потребителей, а также выполняются лимиты по потреблению реактивной мощности [2].

Выбор интервала переключения ступеней КУ производится методом численного моделирования с использованием реальных графиков реактивной мощности потребителей и программного продукта модели регулятора реактивной мощности - Lab. Интервал переключения выбирается на основе анализа влияния величины интервала переключения ступеней регулирования на величину перетока реактивной энергии. Для этого используются результаты выбора оптимального количества, мощности ступеней регулирования, т.е. производятся исследования интервала переключения для выбранного варианта количества и мощности ступеней регулирования. При численном моделировании изменяется интервал переключения ступеней регулирования, и исследуется изменение перетока реактивной энергии для разных интервалов переключения. На основании анализа полученных результатов выбирается вариант интервала переключения ступеней регулирования генерацией реактивной мощности КУ с минимальным перетоком реактивной энергии по участку сети, при этом предпочтение отдается большим интервалам переключения, так как в этом случае снижается износ коммутационных аппаратов и конденсаторов.

В качестве примера исследования оптимального интервала переключений ступеней конденсаторной установки рассматривается КУ мощностью 150 квар с шестью ступенями регулирования для ТП-101 трансформатор Т1 г. Кирова, имеющий график нагрузки приведенный на рисунке.

Результаты исследования интервалов переключения для данного объекта показали, что практически одинаковое качество регулирования генерации реактивной мощности получаются при интервале 120 секунд и интервалах находящихся в пределах 1440-1680 секунд, а наилучшее качество регулирования получено при интервале переключения равном 780 секунд. Результаты для остальных объектов исследования показали, что для

объектов коммунально-бытовых потребителей практически одинаковый переток реактивной энергии (погрешность около 5%) достигается при интервале 120 секунд и интервалах находящихся в пределах 1200-1800 секунд в зависимости от изменчивости графика реактивной нагрузки (коэффициент вариации изменяется от 0,09 до 0,22). Поэтому для этих потребителей с целью уменьшения частоты переключений ступеней регулирования, а, следовательно, и уменьшения износа коммутационной аппаратуры и конденсаторов необходимо выбирать интервал переключения в пределах 1200-1800 секунд. А для других потребителей, имеющих резкопеременный график нагрузки, с увеличением интервала переключения происходит значительное увеличение перетока реактивной энергии, т.е. значительно ухудшается качество регулирования реактивной мощности, поэтому для этих объектов необходимо интервал переключения принимать 120-360 секунд.



**Рисунок – Результаты регулирования реактивной мощности на ТП-101 (Т1) при использовании КУ мощностью 150 квар на 6 ступени регулирования (10+15+20+25+35+45)**

Разработанный алгоритм выбора интервала переключений ступеней КУ, позволяет уменьшить износ контактов коммутационной аппаратуры и увеличить срок службы коммутационной аппаратуры КУ, а также конденсаторов, из которых изготовлены эти установки. Разработанная программа позволяет выбрать оптимальный вариант интервала переключения ступеней КУ, что позволит осуществить качественное регулирование генерацией реактивной мощности, используя оптимальный режим работы конденсаторной установки.

#### Список литературы

1. Черепанов В.В., Басманов В.Г. О необходимости создания регуляторов реактивной мощности с использованием прогнозирования // Известия высших учебных заведений «Проблема энергетики». - 2006. - №11-12. - С. 38-40.
2. Басманов В.Г., Порошин Д.А. Математическая модель адаптивного регулятора реактивной мощности и результаты ее применения для исследования по выбору оптимального интервала переключения ступеней конденсаторных установок // Электрика. – 2012. - №8. С.2-7.

**Басманов Владислав Геннадьевич**, Вятский Государственный Университет, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроснабжение», e-mail: [vlad.basm@hotbox.ru](mailto:vlad.basm@hotbox.ru), тел.: (8332) 53-02-74.

**Лищенко Константин Вадимович**, Вятский Государственный Университет, студент группы ЭПП-41, e-mail: [kaf\\_eps@vyatsu.ru](mailto:kaf_eps@vyatsu.ru), тел.: (8332) 53-02-74.

## СИСТЕМА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

**Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А.**

*Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

**Рыжикова Е.Ю.**

*Россия, г. Орёл, ГУ «ОрёлРЦЭ»*

*Рассмотрена разработка метода оценки и прогнозирования остаточного ресурса в условиях неопределенности исходных данных и его программная реализация, позволяющие обеспечить своевременное принятие мер по недопущению аварий в электропроводах зданий и сооружений.*

*Working out of a method of an estimation and forecasting of a residual resource in the conditions of uncertainty of the initial data and its program realisation is considered, allowing to provide timely acceptance of measures on a non-admission of failures in electroconductings of buildings and constructions.*

В процессе эксплуатации в результате воздействия различных факторов, режимов и условий работы исходное техническое состояние электропроводки непрерывно ухудшается, возрастает вероятность возникновения замыканий и пожаров.

Пожарная опасность обусловлена спецификой окружающей среды, в которой на электропроводку, помимо электрической нагрузки, действуют химически активные элементы, повышенная влажность, циклические колебания температуры, приводящие к более интенсивному старению изоляции.

В связи, с чем нами произведено обоснование необходимости учета влияющих факторов при создании системы нечеткой логики, определяющей остаточный ресурс электропроводки (таблица 1).

Упомянутые в таблице 1 приборы выдают разнородную информацию о состоянии остаточного ресурса электропроводки, которую трудно интерпретировать и обрабатывать. Часть параметров по таблице 1 представлена числовыми значениями, а часть – нечеткими числами. Так, в таблице 2 приведены параметры электропроводки, измеряемые различными приборами.

Таблица 1 – Обоснование необходимости учета влияющих факторов при создании системы нечеткой логики, определяющей остаточный ресурс электропроводки

Влияющие факторы, контролируемые приборами, и полученные экспертно (марка прибора)	Обоснование необходимости учета влияющих факторов при создании системы нечеткой логики, определяющей остаточный ресурс электропроводки
1	2
Измерение целостности цепей испытательным током 7 мА или 200 мА (МРІ - 525)	При плохих контактных соединениях происходит нагрев изоляции, вследствие чего уменьшается нормативный срок ее службы. Используя испытательный ток 7 или 200 мА, получают более точные данные измерения.
Измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза"(МРІ-525)	Сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" или "фаза-фаза" изменяется в процессе эксплуатации электропроводки, влияя тем самым на остаточный ее ресурс.
Измерение сопротивления контактных соединений (МРІ-525)	При перегреве расположенного вблизи контакта участка изоляции электропроводки, установочного электрооборудования, проводникового материала ограничивается ресурс электропроводки.
Измерение сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ"( МРІ-525)	Сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ" изменяется в процессе эксплуатации электропроводки, влияя тем самым на остаточный ее ресурс.
Проверка параметров УЗО (МРІ - 525)	УЗО, входит в состав электропроводки (если оно установлено), и несоответствие его параметров паспортным данным приводит к продолжительным токовым перегрузкам в электропроводке и к снижению остаточного ее ресурса.

1	2
Измерение полного сопротивления линии и контура (MPI - 525)	Сопротивление проводникового материала линии и контура определяет качество электропроводки. Чем выше это сопротивление, тем меньше остаточный ресурс электропроводки.
Влияющие факторы, контролируемые приборами, и полученные экспертно (марка прибора)	Обоснование необходимости учета контролируемого параметра при создании системы нечеткой логики, определяющей остаточный ресурс электропроводки
Измерение сопротивления заземляющих устройств (MPI - 525)	При большом сопротивлении заземляющего устройства происходит задержка времени отключения нагрузки, что уменьшает ресурс электропроводки.
Интегральное функциональное состояние ЭП	Оценка состояния электропроводки [1], базируется на декомпозиции функций и конструкций технического устройства, вводе единой шкалы уровней состояний и переходе от элементов конструкций и элементарных функций к интегральным оценкам.
Автоматическое распознавание и выбор фазного или междуфазного напряжения при вычислении ожидаемого тока короткого замыкания (MZC - 200)	Большой кратковременный ток КЗ приводит к нагреву изоляции и, как следствие, ухудшению ее свойств, а также к сокращению остаточного ресурса электропроводки. За счет автоматического выбора фазного или междуфазного напряжения обеспечивается более точное вычисление тока короткого замыкания.
Вычисление коэффициента абсорбции (MIC – 1000)	Коэффициент абсорбции $K_{абс}$ лучше всего определяет увлажнение изоляции: - если $K_{абс} < 1,25$ изоляция является несоответствующей; - если $K_{абс} < 1,6$ изоляция является хорошей; - если $K_{абс} > 1,6$ изоляция является превосходной.
Вычисление коэффициента поляризации (MIC – 1000)	Для оценки состояния изоляции и остаточного ресурса используют коэффициент поляризации ( $K_{пол}$ ), который характеризует ток сильно замедленных поляризаций (связанных с изменением структуры диэлектрика): - если $K_{пол} < 1$ изоляция является опасной; - если $K_{пол} = 1 \dots 4$ изоляция является нормальной; - если $K_{пол} > 4$ изоляция является превосходной.

Таблица 2 – Единицы измерения и способы оценки параметров электропроводки

Параметры электропроводки, измеряемые приборами (MIC-1000, MPI-525 и MZC-200)	Единицы измерения и способы оценки параметров электропроводки
Измерение целостности цепей испытательным током 7 или 200 мА	Ом
Вычисление ожидаемого тока короткого замыкания (при автоматическом распознавании и выборе фазного или междуфазного напряжения)	А
Проверка параметров УЗО	Соответствует, не соответствует или отсутствует
Коэффициент значимости суммарного сопротивления контактов в общем суммарном сопротивлении линии	$k_{знач} = \frac{\Sigma R_{кон}}{\Sigma R_{лин} + \Sigma R_{кон}}$ , где $R_{кон}$ – сопротивление контактного соединения, $R_{лин}$ – сопротивление одного участка линии.
Измерение сопротивления заземляющих устройств	Ом
Измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" или "фаза-фаза"	Ом
Измерение сопротивления цепи "фаза- защитный проводник РЕ"	Ом
Измерение сопротивления соединений заземлителей с заземляемыми элементами	Ом
Качество изоляции по показателю коэффициента поляризации	Изоляция: плохая, хорошая и превосходная
Качество изоляции по коэффициенту абсорбции	Изоляция: плохая, хорошая и превосходная
Интегральное функциональное состояние электропроводки	0-1 по методике, изложенной в [1]



В связи, с чем для определения остаточного ресурса электропроводки нами предложена система нечеткой логики, структурная схема которой приведена на рисунке 1. В таблице 3 приведено описание влияющих факторов к рисунку 1.

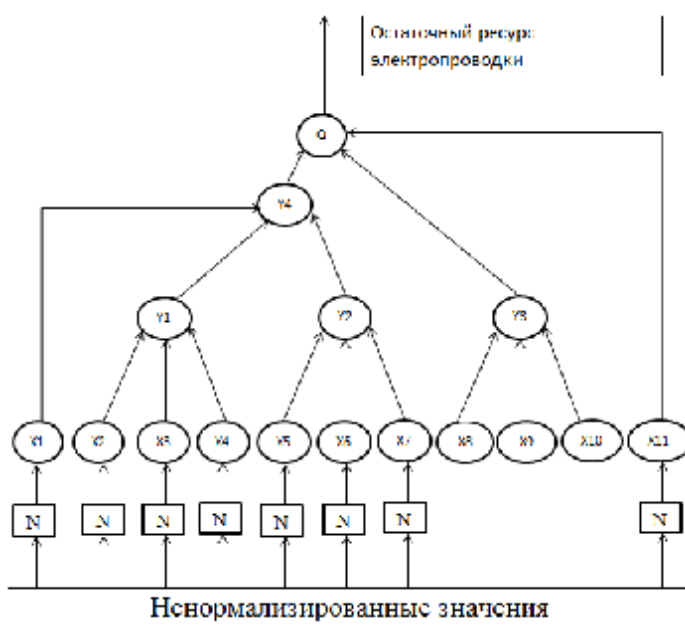


Рисунок 1 – Структурная схема нечеткой логики, для определения остаточного ресурса электропроводки

Нормализатор предназначен для перевода измеренных четких влияющих факторов с различными пределами изменений в диапазон от -50 до 50 для работы с пакетом Fuzzy Logic программы Matlab.

Таблица 3 – Описание влияющих факторов по рисунку 1

Обозначение влияющего фактора	Описание влияющего фактора
N	Нормализатор
X1	Вычисление ожидаемого тока короткого замыкания (при автоматическом распознании и выборе фазного или междуфазного напряжения)
X2	Измерение целостности цепей испытательным током 7 или 200 мА
X3	Измерение сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль" и "фаза-фаза"
X4	Измерение сопротивления цепи "фаза - защитный проводник РЕ"
X5	Коэффициент значимости суммарного сопротивления контактов в общем суммарном сопротивлении линии
X6	Измерение сопротивления соединений заземлителей с заземляемыми элементами и устройствами выравнивания потенциалов
X7	Измерение сопротивления контактных соединений
X8	Проверка параметров УЗО
X9	Качество изоляции по показателю коэффициента поляризации
X10	Качество изоляции по коэффициенту абсорбции
X11	Интегральное функциональное состояние электропроводки (по методике, изложенной в [1])
Y1, Y2, Y3, Y4	Промежуточные корни дерева – логические свертки
Q	Корень дерева – остаточный ресурс электропроводки

Разработанный метод оценки и прогнозирования остаточного ресурса в условиях неопределенности исходных данных и его программная реализация позволят обеспечить своевременное принятие мер по недопущению аварий в электропроводках зданий и сооружений.

## Список литературы

1. Черкасова Н.И. Способ диагностики электропроводок зданий / Н.И. Черкасова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2012. – Вып. 11. - С. 171-176.

**Воробьев Николай Павлович**, д-р техн. наук, доцент, кафедра «Электрификация производства и быта», профессор Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. служ. (385-2) 36-71-29, тел. моб. 8-961-999-93-04, [vnprol51p@ya.ru](mailto:vnprol51p@ya.ru).

**Гончаренко Георгий Александрович**, аспирант каф. электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. (83852) 36-71-29.

**Рыжикова Елена Юрьевна**, специалист ГУ «ОрёлРЦЭ», тел. 8 (4862) 419830.

УДК 537.8: 681.3

### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

**Сошников А.А., Мигалёв И.Е.**

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

*Представлена концепция создания аппаратно-программного комплекса для автоматизированного контроля электромагнитной обстановки. Описана модульная структура комплекса.*

*This paper describes the design concept of hardware-software complex for automating the measurements of electromagnetic environment. The complex module structure is detailed.*

Контроль электромагнитной обстановки в зонах влияния электромагнитных излучений является одной из актуальных проблем настоящего времени.

Нормированные показатели электромагнитной обстановки, определяются нормативными документами, в частности, СанПиН [1 – 3], которые регламентируют контроль следующих параметров [4]:

- напряжённости электрического поля, в диапазоне частот 0,03 – 300 МГц, а также электростатического поля;
- напряжённости магнитного поля, в диапазонах частот 0,03 – 30 МГц и 30 – 50 МГц;
- плотности потока электромагнитной энергии в диапазоне частот 300 – 300000 МГц.

Существующая измерительная аппаратура [4] позволяет измерить один или несколько перечисленных параметров. Однако технические средства для комплексного контроля электромагнитной обстановки отсутствуют. Это объясняется тем, что измерительные преобразователи, предназначенные для работы на разных частотах, имеют конструктивные различия [5]. Как следствие, невозможно использовать одну антенну для проведения всех видов измерений. Существуют приборы со сменным набором антенн, например, ПЗ-41 [4]. Но эти приборы также не обеспечивают измерения всех величин из представленного выше перечня.

Применение нескольких различных приборов не позволяет автоматизировать процесс измерения, исключает одновременное измерение нескольких параметров и требует повышенного внимания исследователя.

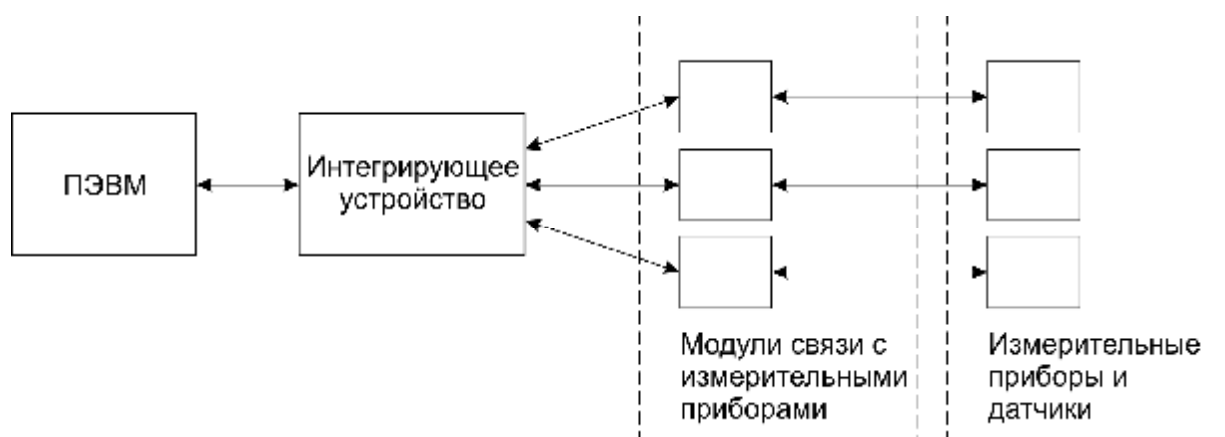
Сложности автоматизации процесса измерения обусловлены несколькими факторами:

- часть современных приборов технически не позволяет автоматизировать сбор данных, которые выводятся только на цифровой дисплей;
- приборы, которые имеют внешний интерфейс взаимодействия (обычно это порт RS-232), работают по собственным, не унифицированным протоколам, что затрудняет централизованный сбор информации.

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова разработана методика комплексной оценки электромагнитной обстановки [6], позволяющая контролировать соблюдение требований СанПиН с помощью комплекса из нескольких приборов, в частности [7]: универсальный измеритель напряженности и потенциала электростатического поля СТ-01, измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50, измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-41. Для обеспечения автоматизированного интегрированного контроля параметров электромагнитных излучений сочтено целесообразным создание интегрирующей технологической платформы, к которой предъявляются следующие требования:

- возможность интеграции любых приборов для измерения параметров электромагнитного поля, имеющих внешний интерфейс (например, RS-232, USB);
- автоматизированная передача данных на обработку в формализованной структуре;
- возможность объединения с ПЭВМ;
- возможность управления параметрами измерения (частоты и виды измеряемых полей) в автоматическом режиме в соответствии с требованиями методик измерения.

Структурная схема аппаратно-программного комплекса приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема аппаратно-программного комплекса**

Интегрирующее устройство соединяется с набором модулей, каждый из которых осуществляет взаимодействие со своим типом измерительного прибора.

К преимуществам выбранной архитектуры можно отнести следующие:

- возможность использования любых приборов, которые обладают внешним интерфейсом: для каждого прибора необходимо оснащение только соответствующим модулем для подключения к коммутирующему блоку;
- универсальная обработка и регистрация всех данных на ПЭВМ (нет необходимости в отдельных программных средствах, которые предлагаются производителями каждого прибора);
- обобщение полученных данных в рамках выбранной информационной модели.

Описанный подход позволяет существенно повысить эффективность проведения измерений параметров электромагнитной обстановки на контролируемых объектах.

### Список литературы

1. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Текст]. – Введ. 2003–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 27 с.
2. СанПиН 2.2.4-2.1.8.055-96. Излучения радиочастотного диапазона. [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2009.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. [Текст].
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. Байда, Л.И. Электрические измерения [Текст]: учебник для вузов / Л.И. Байда, Н.С. Добротворский, Е.М. Душин – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 392 с., ил.
6. 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 ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – № 2011113569/28(020098) ; заявл. 07.04.2011 ; опубл. 27.02.2013.
7. Воробьев, Н.П. Оценка состояния электромагнитной обстановки в помещениях [Текст] / Н.П. Воробьев, Е.В. Титов, И.Е. Мигалев // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2013. – № 1. – С. 134 - 138.

**Сошников Александр Андреевич** – д-р техн. наук, проф. кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: +79059831129, e-mail: [aa@soshnikov.info](mailto:aa@soshnikov.info).

**Мигалёв Иван Евгеньевич** – аспирант кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел.: +79132446691, e-mail: [i.migalev@gmail.com](mailto:i.migalev@gmail.com).

УДК 621.391

### АВТОМАТИЗАЦИЯ СПОСОБА ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

**Поляков С.А.**

*Россия, г. Орёл, Академия ФСО России*

*Рассматривается проблема ресурсосбережения, связанная с увеличением времени автономной работы измерительного прибора построенного на основе способа диэлькометрического измерения. На основании анализа современного состояния предметной области предложены некоторые рекомендации по решению этой проблемы.*

*Examines the problem of resource saving, connected with with an increase in battery life meter built on the basis of the method dielcometric measurements. On the basis of the analysis of the current state the offered some suggestions to resolve this problem.*

От свойств бензина зависят как технические параметры двигателя, так его надежность и долговечность. В настоящее время требования к качеству бензина постоянно растут, двигатели современных автомобилей требуют все более качественного и чистого топлива. Качество бензина на выходе к потребителю зависит от множества факторов, важнейшие из которых, производство и транспортировка.

К примеру, в качественное топливо, произведенное на производстве с соблюдением всех требований и норм, возможно попадание примесей при транспортировке (например, воды), что делает его некачественным, а иногда непригодным к эксплуатации.

В связи со сложившейся ситуацией возникает необходимость оперативного контроля топлива на его качество и на наличие примесей. Одним из основных показателей качества автомобильного бензина является его октановое число.

В настоящее время существует большое количество аналоговых способов измерения октанового числа топлива, позволяющих на основе измерения диэлектрической проницаемости, определять октановое число бензина [1, 2]. Данные способы измерения основаны на определении диэлектрической проницаемости топлива с учетом его температуры, контроля примесей и собственной емкости топливного датчика.

Основной проблемой применения диэлькометрического способа, как способа оперативного контроля топлива является проблема продолжительности автономной работы прибора использующего данный способ. В предлагаемом приборе используются резонансные методы контроля, определение октанового числа, производится путем измерения частоты задающего генератора, нагрузкой которого является емкостной датчик. При разработке предлагаемого прибора с автономным питанием кроме требований к точности и линейности характеристики преобразования учитывались дополнительные требования, применяемые к переносной аппаратуре:

- для уменьшения количества необходимых гальванических элементов прибор должен работать при низком напряжении питания  $U_{\text{пит}} \approx (3 \dots 4,5) \text{ В}$ ;
- для увеличения времени непрерывной работы прибора без замены гальванических элементов его ток потребления должен быть минимальным;
- результаты цифровых измерений частоты и амплитуды выходного сигнала емкостного датчика должны запоминаться в блоке памяти и выводиться на индикаторное табло непосредственно в значениях октанового числа;
- наличие интерфейса и порта *USB* для связи с внешней ПЭВМ, обеспечивающих возможность перепрограммирования постоянного запоминающего устройства, в частности, для табличного задания характеристик преобразования в зависимости от вида или структуры контролируемого материала;
- возможность калибровки для периодической проверки правильности функционирования прибора;
- автоматический контроль напряжения автономного питания с визуальной индикацией разряда гальванических элементов;
- минимальные масса и габаритные размеры прибора.

В результате предварительных экспериментальных исследований, разработана схема генератора на полевом транзисторе с индуктивной трехточкой, содержащей емкостной датчик (рисунок 1). При сравнительной простоте реализации в этом датчике обеспечивается выполнение сразу нескольких требований, предъявляемых к приборам с повышенными требованиями к энергосбережению:

1) амплитуда выходного сигнала ограничивается на максимальном уровне  $U_M \leq 2 \text{ В}$  за счет включения кремниевого диода *VD* в цепи затвора полевого транзистора, что позволяет автоматически согласовать уровни выходного сигнала датчика с цифровой частью прибора;

2) применение к цепи истока полевого транзистора дополнительного резистора  $R_2$ , зашунтированного фильтрующим конденсатором  $C_\Phi$  позволяет, во-первых, ограничить постоянный ток потребления генератора на микроамперном уровне, во-вторых, повысить температурную стабильность частоты выходных колебаний генератора при изменении напряжения питания и температуры эксплуатации датчика и, в третьих, без применения дополнительного амплитудного детектора сформировать

регулирующее напряжение  $U_p$ , прямо пропорциональное проводимости  $G_x$  контролируемого материала.

В данной схеме (рисунок 1) можно сразу получать два параметра, характеризующих диэлектрическую проницаемость и электрическую проводимость контролируемого материала – по частоте колебаний  $f_p$  судить о диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , а по напряжению  $U_p$  – о проводимости материала, и использовать этот второй параметр для коррекции результатов контроля октанового числа.

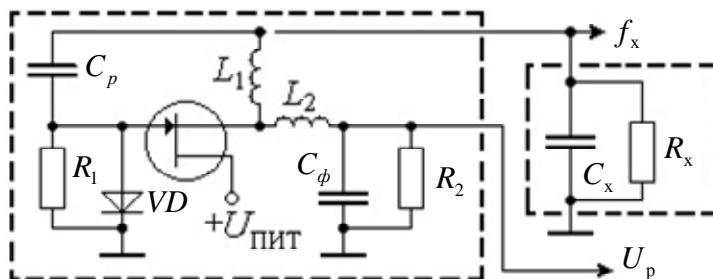


Рисунок 1 – Принципиальная схема генераторного датчика

Особенностью разработанной схемы является нелинейный режим работы полевого транзистора  $VT$  (рисунок 1), который работает в глубоком  $C$ -режиме. В каждом периоде колебаний транзистор открывается только на короткое время, а формирование гармонической формы выходного сигнала обеспечивается за счет избирательных свойств  $LC$ -контура. Вследствие этого обеспечивается высокая добротность контура и, как следствие, высокая стабильность частоты выходных колебаний (при постоянных значениях  $LC$ -параметров). В схеме генератора обеспечивается практически линейная зависимость постоянного тока питания полевого транзистора от проводимости контролируемого материала  $I_{пит} = K_I \cdot G_x$  и, соответственно, нелинейная зависимость падения напряжения  $U_p$  на образцовом резисторе  $R_2$  от сопротивления  $R_x$  материала. Это напряжение кодируется с помощью АЦП, входящего в состав микропроцессорной цифровой части измерителя, и используется для последующей коррекции результатов измерения октанового числа бензина в зависимости от его электрической проводимости.

Таким образом, применение предлагаемого генератора позволяет увеличить время автономной работы прибора основанного на диэлькометрическом способе измерения, а простота схемного решения позволяет уменьшить масса-габаритные показатели.

#### Список литературы

1. Пат. 2460065 Российская Федерация, G01N 27/22. Устройство измерения октанового числа бензинов.
2. Скворцов Б.В., Конюхов Н.Е., Астапов В.Н. Приборы и системы контроля качества углеводородных топлив. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 121 с.

**Поляков Сергей Александрович**, аспирант кафедры «Радиотехники и электроники» Академии ФСО России, e-mail: [qwertyuiop84@inbox.ru](mailto:qwertyuiop84@inbox.ru).

## СПОСОБЫ И ПРИЁМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К БЕСПРОВОДНОМУ КАНАЛУ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ МАРКОВА

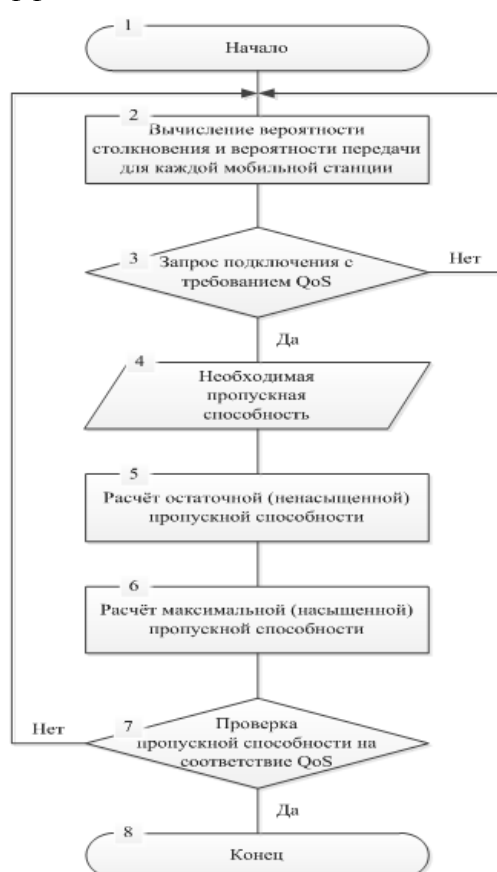
**Анисимов Д. В.**

*Россия, г. Орёл, Академия ФСО России*

*Рассматривается алгоритм управления доступом к беспроводному каналу сети передачи данных газотранспортного предприятия, основанный на анализе как ненасыщенной, так и насыщенной пропускной способности сети в сочетании с модифицированной цепью Маркова, описывающей состояния передающей станции.*

*Consider an algorithm controlling access to a wireless channel data network gas transportation company, based on the analysis of both unsaturated and saturated bandwidth in conjunction with a modified Markov chain, which describes the state of the transmitting station.*

Управление доступом в беспроводных сетях передачи данных (СПД) имеет важное значение при обработке запросов приложений, к которым применяются требования качества обслуживания (QoS). Это особенно сказывается на таких параметрах беспроводной сети, как задержка при передаче данных или пропускная способность. Особенностью использования беспроводной среды передачи данных в сетях IEEE 802.11 является возможность передачи одной станцией пакетов без учёта возможности передачи другими станциями. Это приводит к перегрузке всей сети [1]. Так же требование к QoS каждого потока трафика не может быть гарантировано в конкурирующей среде сети IEEE 802.11. На основе анализа прогнозируемой пропускной способности [2], предлагается алгоритм управления доступом к среде в сетях IEEE 802.11 для потоков трафика с требованиями к QoS, повышающего эффективность использования сетевых ресурсов.



Алгоритм управления доступом. Целью управления доступом является гарантия наибольшей необходимой полосы пропускания для осуществления запросов соединения. Рассмотрим типичный для сетей 802.11 случай, когда имеется одна точка доступа (access point, AP), которая и будет производить координацию в сетевом сегменте. Таким образом, местом реализации рассматриваемого алгоритма будет данная AP, которая будет собирать такие параметры трафика, как вероятности столкновения, вероятности передачи для каждой мобильной станции и т.д., для оценки производительности в ненасыщенных ситуациях.

Входными данными для алгоритма являются: размер данных для нового потока запросов с требованием к QoS. На выходе алгоритма принимается решение о приеме потока запросов. Описываемый алгоритм представлен на рисунке 1.

**Рисунок 1 – Алгоритм управления доступом в беспроводном канале СПД**

Предлагаемый алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Вычисление вероятности столкновения и вероятности передачи для каждой мобильной станции, производимое АР в процессе своей работы постоянно.

Для этого, исходя из результатов работы [2], необходимо получить:

$q$  – вероятность пустой очереди (вероятность отсутствия передачи) у станции  $k$ :

$$q = 1 - I_k / m_k \quad (1)$$

где для станции  $k$  поступление пакетов описывается в виде пуассоновского процесса с интенсивностью  $I_k$  и скоростью обработки пакетов  $m_k$ ;

вероятность неудачной передачи, которая может быть вычислена как:

$$p_k = 1 - (1 - p_f)(1 - p_c) = p_f + p_c - p_f p_c \quad (2)$$

где  $p_f$  – вероятность ошибки кадра и  $p_c$  – вероятность столкновения пакетов для станции  $k$ ;

вероятность передачи станцией  $k$  в случайно выбранном интервале времени может быть рассчитана как:

$$t_k = \frac{2(1 - p_k^{m+f+1})}{\frac{2q(1 - p_k)}{1 - q} + (1 - p_k^{m+f+1}) + W \left[ \frac{[1 - (2p_k)^{m+1}](1 - p_k)}{1 - 2p_k} + p_k (2p_k)^m (1 - p_k^f) \right]} \quad (3)$$

Соответственно вероятность столкновения:

$$p_c = 1 - (1 - t)^{n-1} \quad (4)$$

$P_{tr}$  – вероятность того, что, по крайней мере, одна станция передает в данном временном интервале. Поскольку  $n$  мобильных станций конкурируют за доступ к среде передачи, и каждая станция передает с вероятностью  $t_k$  ( $i=1, \dots, n$ ), то значение  $P_{tr}$  может быть рассчитано как:

$$P_{tr} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - t_i) \quad (5)$$

$P_s$  – вероятность того, что произведена успешная передача по каналу, которая рассчитывается как отношение между вероятностью передачи по каналу во временном интервале одной станцией, в зависимости от вероятности того, что, по крайней мере, одна станция передает в том же временном интервале:

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1 - t_j)}{P_{tr}} \quad (6)$$

2. Если получен запрос на передачу данных с требованием к QoS, то производится вычисление остаточной (ненасыщенной) пропускной способности  $C_u$  следующим способом:

$$C_u = \frac{E[L](1 - \prod_{i=1}^n q_i) P_{tr} P_s}{(1 - P_{tr}) T_s + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c + P_{tr} P_s p_f T_e} \quad (7)$$

где  $T_s$  – время отсутствия передачи по каналу,  $T_s$  – среднее время занятости канала при успешной передаче пакета,  $T_c$  – среднее время занятости канала каждой станцией из-за неудачной передачи пакетов, вызванной столкновениями процессов.

3. Вычисление насыщенной пропускную способность  $C_s$ . Анализ насыщенной пропускной способности достигается путем установки вероятности отсутствия передачи  $q=0$  для всех мобильных станций. Для получения вероятности столкновения и вероятности передачи в насыщенном состоянии, необходимо решить уравнения:



$$t = \frac{2(1 - p^{m+f+1})(1 - 2p)}{(1 - p^{m+f+1})(1 - 2p) + W[(1 - (2p)^{m+1})(1 - p) + p(2p)^m(1 - p^f)(1 - 2p)]} \quad (8)$$

$$p_k = p_f + c - p_f c$$

$$p_c = 1 - (1 - t)^{n-1}$$

Следовательно, ожидаемая насыщенная пропускная способность может быть рассчитана как:

$$C_s = \frac{P_s P_{tr} E[L]}{(1 - P_{tr})T_s + P_s P_{tr} T_s + P_{tr} (1 - P_s)T_c + P_s P_{tr} T_e P_f} \quad (9)$$

4. Определение разницы между насыщенными и ненасыщенными пропускными способностями. В результате, если  $a < |C_s - C_u|$ , тогда принимается решение о передаче данных по запросу, иначе запрос отклоняется и производится переход на 1 этап.

Полученный алгоритм управления доступом для сетей IEEE 802.11 на базе механизма доступа DCF, основан на полученной в работе [2] аналитической модели. Новизна полученного алгоритма заключается в анализе как ненасыщенной, так и насыщенной пропускной способности сети в сочетании с модифицированной цепью Маркова, описывающей состояния передающей станции, среди которых могут быть состояния, при которых отсутствуют пакеты готовые к передаче.

#### Список литературы

1. Ерёменко В.Т., Анисимов Д.В., Черепков С.А., Лякишев А.А., Чупахин П.А. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 // Информационные системы и технологии. 2013. № 2. С. 82 – 86.
2. Анисимов Д.В. Моделирование состояний пропускной способности беспроводного канала сети передачи данных газотранспортного предприятия на основе сетей Маркова // Информационные системы и технологии. 2013. № 5.

**Анисимов Дмитрий Владимирович**, научный сотрудник Академии ФСО России, г. Орёл. тел.: 8(920) 286-86-35, e-mail: [dimadikiy@mail.ru](mailto:dimadikiy@mail.ru).

УДК 004.023:658.65.011.56

### **ПОТОКОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АППАРАТА ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ С ПРИОРИТЕТАМИ**

**Черепков С. А.**

*России, г. Орёл, Академия ФСО России*

*Предложена математическая модель потоков обмена данными в вычислительных сетях систем контроля и управления газотранспортного предприятия, базирующая на аппарате временных сетей Петри с приоритетами, отличающаяся учетом внесистемных прерываний.*

*Ключевые слова: потоки обмена данными, вычислительные сети системы управления и контроля территориально распределенного промышленного предприятия, направленный граф, сети Петри, модель Канна.*

*The mathematical model of streams of data exchange in computer networks of monitoring systems and managements of the gas-transport enterprise, basing on the device of time networks Petri with the priorities, differing the account of stand-alone interruptions is offered.*

*Keywords: data exchange streams, computer networks of a control system and the control of*

В качестве математической модели процессов обмена данными в распределенной управляющей системе выбрана потоковая, позволяющая учесть взаимодействие нескольких источников и потребителей информации. Основная проблема, при этом, возникает с возможностью появления блокировок, когда процессы-потребители не могут быть инициированы, не имея достаточного количества требуемых данных от процессов-производителей.

Разработанная математическая модель базируется на аппарате временных сетей Петри с приоритетами, под которыми в работе понимается совокупность множеств и функций  $G = (V, X, Y, A, \rho, \sigma)$ , где  $V$  – множество вершин (узлов сети);  $X$  и  $Y$  – множества входных и выходных вершин;  $A \subseteq Y \cdot X$  – множество информационных дуг;  $\rho : (X \cup Y) \rightarrow V$  – функция распределения позиций по вершинам;  $\sigma : A \rightarrow Lout \times Lin$  – функция маркировки позиций. Здесь  $Lin$  и  $Lout$  – множества меток соответственно входных и выходных позиций вершин, в том числе и фиктивных, инцидентных входам и выходам графа. При этом множество  $X$  включает подмножество ординарных позиций, каждой из которых инцидентна одна дуга, и подмножество позиций для альтернативного выбора входящих потоков данных (*select*, или *slt*). В множество  $Y$  включаются подмножество ординарных выходных позиций, а также подмножество позиций, соответствующих альтернативным переключениям (*switch*, или *swh*) и ветвлениям (*fork*, или *frk*) исходящих потоков данных. В общем случае входная позиция любой вершины  $v \in V$  может быть ординарной или позицией альтернативного выбора потоков данных. Выходная позиция вершины  $v$  является ординарной, позицией ветвления либо единственной выходной позицией альтернативного переключения, которой инцидентно не менее двух информационных дуг. Этот случай соответствует условному ветвлению. Точкой входа в цикл является позиция альтернативного выбора.

Сообщение в модели рассматривается, как вектор, в котором каждый компонент представляет собой набор атомарных объектов. В этом случае входные и выходные позиции вершины графа  $G$  совпадают с количеством компонентов входных и выходных сообщений соответствующего процесса. Характер меток входных и выходных позиций определяется семантикой ПОД. Метка позиции описывает определенные семантические свойства компонента сообщения, а совокупности меток  $Lin$ ,  $Lout$  характеризуют систему типов сообщений, поддерживаемую моделью информационного обмена на основе потокового графа  $G$ .

Потоковый маркированный граф позволяет формализовать обмен сообщениями с разной структурой; т.е. сообщения могут состоять из разнотипных данных.

Сделано предположение, что модель описывает обмен сообщениями между процессами через каналы. Длина очереди (или глубина буфера в ней), равна числу входных сообщений, а ширина буфера совпадает с числом атомарных объектов в компоненте сообщения. Введено ограничение на число очередей (буферов), которое предполагается равным числу компонентов входного сообщения для соответствующего процесса. Установлены дополнительные ограничения по синхронности ПОД. Компоненты сообщения от процесса-производителя пересылаются сразу же по мере формирования в соответствующие каналы процессов-потребителей. Процесс-потребитель иницируется лишь тогда, когда переданы все необходимые компоненты сообщения от процессов-производителей.

В разработанной модели реализована возможность анализировать информационные потоки за счет меток, присваиваемых дугам или вершинам графа, представляющим семантические свойства ПОД в сетях передачи данных. Метки присваиваются дугам и вершинам по сформулированным правилам в процессе разметки графа за счёт предложенной процедуры сопоставления. В контексте анализа

под информационными потоками понимается не только передача операндов (данных), но и сигналов управления и синхронизации параллельных процессов.

В отличие от распространенной модели Кана, формализующей простые процедуры информационного обмена, представленная модель описывает и асинхронные процессы сложной структуры.

При анализе сетей передачи данных определено, что окружение представляет собой следующий набор: структурный граф  $G=(V,A)$  среды обмена данными с множеством  $V$  вершин и множеством  $A$  дуг. Вершины обозначают объекты коммуникации, а дуги из  $A$  соответствуют передаче данных или сигналов управления, либо сигналов синхронизации процессов. Следующий компонент окружения – алгебраическая структура в виде решетки  $(L, \wedge, \vee)$ , нижней  $(L, \wedge)$  или верхней  $(L, \vee)$  полуструктуры семантических свойств, где  $L$  – множество меток вершин,  $\wedge, \vee$  – операции пересечения и объединения на множестве меток (свойств) из  $L$ . Третья составляющая – множество  $F$  монотонных функций  $f:L \rightarrow L$ , которые называют потоковыми функциями либо преобразователями свойств. Четвертая составляющая окружения для анализа – это частичное отображение  $2^V \times 2^A \rightarrow F$ , сопоставляющее подмножествам вершин и дуг графа некоторую потоковую монотонную функцию  $f$ .

Представленная потоковая функция  $f_u$  ассоциируется с определенной вершиной  $u \in V$  графа  $G$ , и характеризует отображение входной информации (меток входящих дуг) в выходную информацию (метки исходящих дуг) вершины  $u$ . ( $I_u, O_u \in L$  являются метками входа и выхода вершины  $u$ ). При этом они связаны посредством потоковой функции  $O_u = f_u(I_u)$ . Эта связь описывается потоковым уравнением вида  $O_u = f_u(I_u) = I_u \wedge P_u \vee G_u$ , или  $O_u = f_u(I_u) = I_u P_u + G_u$ , где  $P_u, G_u \in L$ .

Таким образом, с графом вычислительной сети связывается система из  $V$  уравнений вида:  $H_u = O_u = f_u \left( \bigwedge_{v \in P_{red}(u)} O_v \right)$  или  $H_u = O_u = f_u \left( \bigvee_{v \in Pr ed(u)} O_v \right)$ , где  $P_{red}(u)$  – вершина-предшественник  $u$ .

Представленная математическая модель позволяет учесть все допустимые состояния конечных устройств и предотвратить блокировку ПОД из-за отсутствия входных сообщений за счет согласования параметров очередей сообщений (входных и выходных буферов).

#### Список литературы

1. Еременко В.Т. Проектирование логической структуры распределенной телекоммуникационной среды предприятия [Текст] / В.Т.Еременко, С.И. Афонин, А.Е. Георгиевский // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Пенза: Издательство Пензенского государственного университета. 2006, № 6 – С. 141-150.
2. Еременко В.Т. Математические модели реализаций протоколов информационного обмена [Текст] / В.Т. Еременко, С.И. Афонин, Д.Г. Богачев // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника».– Тула: Издательство ТулГУ, 2006, Вып. 9 – С. 40-45.
3. Еременко В.Т. Математическая модель процессов информационного обмена для сетей на основе полевых шин [Текст] / В.Т. Еременко, С.А. Максаков // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника».– Тула: Издательство ТулГУ, 2006, Вып. 9 – С. 127-135.

4. Поздняк, И. С. Методы маршрутизации в сетях NGN / И. С. Поздняк // VII Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: труды конференции. — Самара, 2006. - с. 148-149.

5. Черепков С.А. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий – 2012 – № 4. – С. 38 – 46.

6. Черепков С.А. Методика адаптивной маршрутизации вычислительной сети территориально распределенного предприятия / С.А. Черепков // Информационные системы и технологии – 2012 – № 3. – С. 118 – 127.

**Черепков Сергей Анатольевич**, Академия ФСО России, г. Орёл, преподаватель, т. 8(953)615-84-01, [perspectiva2010@mail.ru](mailto:perspectiva2010@mail.ru).

УДК 629.083

## **МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕСИСТЕМНЫХ ПРЕРЫВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Черепков С. А.**

*Россия, г. Орёл, Академия ФСО России*

*В статье представлена методика обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний процессов обмена данными в вычислительной сети системы управления и контроля газотранспортного предприятия.*

*Ключевые слова: система управления и контроля, сети Петри, маркированный потоковый граф, блокировки в сетях связи, внесистемные прерывания.*

*In article the technique of detection and prevention of stand-alone interruptions of processes of data exchange in the computer network of a control system and the control of the gas-transport enterprise is presented.*

*Keywords: a control system and the control, network Petri, marked streamer the count, blocking in communication networks, stand-alone interruptions.*

Предложена методика обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний процессов обмена данными в вычислительной сети (ВС) системы управления и контроля газотранспортного предприятия (СУиК ГТП).

Исходя из предположения о том, что формирование промежуточных и окончательных результатов обмена данными происходит асинхронно, и появление любого из них переводит выходной буфер в одно из особых состояний, сделано заключение, что подобное может привести к возникновению или отсутствию блокировок при обмене сообщениями с использованием буферов. Предложено условные ветвления реализовать процессами с одним выходным буфером, который может находиться в одном из заключительных состояний, причем ему соответствует определенное значение управляющей переменной процесса.

Установлено, что для предотвращения блокировок на бесконечном потоке входных данных, при любом возможном развитии процессов, должна существовать такое наименьшее число данных, находящихся в буферах, которое позволит композиции процессов вырабатывать бесконечное число выходных данных. Доказано, что при таком подходе исследование реализуемости обмена данными сводится к процедуре разметки маркированного потокового графа.

Показано, что разработанная методика обнаружения и предотвращения внесистемных прерываний должна состоять из следующих этапов:

- построение графа, соответствующего оптимизируемым процессам обмена данными (ПОД) в вычислительных сетях СУиК ГТП;
- задание начальной (минимальной) разметки графа;
- сопоставление полученному графу равносильного безконтурного графа;
- анализ свойств маркированного потокового графа временной сети Петри с приоритетами;
- проверка разметки графа на стационарность;
- вывод о достижимости стационарной разметки;
- интерпретация полученных результатов.

Предложено правило предотвращения блокировок, вызывающих внесистемные прерывания, которое заключается в таком изменении назначения  $a_i$  одной из попарно конкурирующих операций обмена данными, при котором, по крайней мере, не уменьшается суммарное время использования коммуникационных узлов и не увеличивается суммарная нагрузка каналов обмена данными, задействованных до возникновения блокировки. Это правило формализовано на основе введения известного коэффициента  $UC_j$  использования ресурсов  $j$ -го типа:

$$UC_j = \frac{1}{br_j} \sum_{e_j=1}^{br_j} UC_{e_j},$$

где  $br_j$  – общий уровень ресурса типа  $j$  (число каналов обмена типа  $j$ ),

$e_j$  – экземпляр ресурса типа  $j$ ,

$UC_{e_j}$  – коэффициент использования экземпляра  $e_j$  при информационном обмене.

Предложен критерий предотвращения блокировок операций обмена данными, который состоит в том, чтобы обеспечить минимум (неувеличение) коэффициента  $UC_j$  использования каналов обмена соответствующего типа с соблюдением необходимых ограничений.

Установлено, что управление процессами обмена данными осуществляется в зависимости от временных параметров контрольных событий, обусловленных взаимодействием процессов, занятостью ресурсов. Динамическое управление параллельными процессами обмена данными может происходить на основе их статического прогнозирования.

Исходя из того, что разрабатываемая модель процесса обмена данными в СУиК ГТП – ориентированный бесконтурный граф, вершины которого соответствуют операциям обработки и обмена, а дуги – информационным связям и условным ветвлениям, предложено отправку данных представлять в виде последовательности двух и более операций, а структуру всей сети – в виде последовательности операций и заданий. При этом, каждая из операций характеризуется априори заданными длительностью  $\tau_{ij}^0$  и стоимостью  $C_{ij}^0$  выполнения на ресурсе  $j$ -го типа и соответствующими значениями  $\tau_{ij}$ ,  $C_{ij}$ , полученными в результате масштабирования. Альтернатива масштабирования ресурсов описывается вектором  $\xi = (x_1, \dots, x_N, \alpha_1, \dots, \alpha_N)$ , где  $x_i$  – независимая переменная (длительность  $t_i$  операции или стоимость  $C_i$  использования ею ресурса),  $a_i$  – назначение  $i$ -й операции.

$\Xi$  – множество альтернатив, каждая из которых  $\xi \in \Xi$  соответствует допустимому масштабу  $S$  операций. С помощью вектора  $W(x)$  аддитивно-

сепарабельных критериев  $w_k(\xi)$ ,  $k=1, \dots, K$  задается бинарное отношение  $\Phi$  для сравнения альтернатив множества  $\Xi$ . Ограничения для операций, заданий и работ, представляющие собой крайние сроки или предельные стоимости завершения, полагаются связывающими. Множество  $\text{Opt}(\Xi, \Phi)$  оптимальных по отношению  $\Phi$  альтернатив в модели выбора  $(\Xi, \Phi)$  будем называть  $\Phi$ -оптимальной стратегией обмена данными. Модель выбора  $(\Xi, \Phi)$  – частный вид алгебраической системы.

Предложена стратегия обмена данными, которая заключается в том, чтобы при заданных связывающих ограничениях для действий найти множество  $\text{Opt}(\Xi, \Phi)$ , причем каждая из альтернатив  $x \in \text{Opt}(\Xi, \Phi)$  должна реализовывать допустимый масштаб  $S$  операций.

Доказано, что рассмотренные способы и приемы предотвращения блокировок применимы к распределенным процессам обмена данными в вычислительных сетях СУиК ГТП.

#### Список литературы

1. Еременко В.Т. Способы и приемы оптимизации процесса оценки вида технического состояния объектов телекоммуникаций / В.Т. Еременко, А.Н. Орешин, Н.А. Орешин, А.М. Лабунец // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008, №6 – С. 40 – 47.
2. Еременко В.Т. Способы и приемы предотвращения блокировок процессов информационного обмена в сетях передачи данных предприятия [Текст] / В.Т. Еременко, А.В. Коськин, С.И. Афонин, А.Н. Савенков, В.Е. Фисенко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008, №12 – С. 38 – 43.
3. Еременко, В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / С. И. Афонин, В. Т. Еременко, С. А. Максаков, А. И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 9. – С. 46 – 49.
4. Еременко, В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных совместимых с неблокируемой маршрутизацией. / В. Т. Еременко, А.И. Офицеров, С. А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012, № 4. – С. 38 – 46.
5. Черепков С.А. Методика адаптивной маршрутизации вычислительной сети территориально распределенного предприятия / С.А. Черепков // Информационные системы и технологии – 2012 – № 3. – С. 118 – 127.
6. Черепков С.А. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий – 2012 – № 4. – С. 38 – 46.
7. Черепков С.А. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУТП / В.Т. Еременко, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, // Информационные системы и технологии – 2012 – № 6. – С. 114 – 119.

**Черепков Сергей Анатольевич**, Академия ФСО России, г. Орёл, преподаватель, тел. 8(953)615-84-01, e-mail: [perspectiva2010@mail.ru](mailto:perspectiva2010@mail.ru).

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Лазарев С.Н.

Россия, г. Орёл, Академия ФСО России

*В докладе сформулирована задача и предлагается подход к оценке функционирования системы технического обслуживания и ремонта (СТО и Р) средств вычислительной техники (СВТ) на основе теории массового обслуживания, позволяющие повысить качество управления сервисным обслуживанием вычислительных сетей промышленных предприятий.*

*In the article the problem and proposes an approach to the evaluation of the system of maintenance and repair (SM and R) computer equipment (CE) based on queuing theory that improve the quality of management of computer networks servicing industry.*

Теория массового обслуживания позволяет строить модели для анализа операционных характеристик обслуживающих систем в условиях, когда длины интервалов времени между последовательными поступлениями заявок на обслуживание и (или) продолжительности обслуживания являются случайными величинами. Доказано, что теоретический анализ процессов массового обслуживания нередко дает результаты, которые вряд ли можно получить на основе интуиции.

В теории массового обслуживания важную роль играют пуассоновское и экспоненциальное распределения вероятностей. Они дают возможность описывать системы массового обслуживания, в которых как входные, так и выходные потоки являются полностью рандомизированными. Анализ моделей с другими распределениями вероятностей по сравнению с моделями, которые обладают пуассоновскими свойствами, гораздо сложнее. Результаты анализа подобных систем не позволяют получить такой большой объем полезной информации, как в случае моделей пуассоновского типа.

Конечная цель анализа работы СТО и Р, как системы массового обслуживания, заключается в разработке критериев (или показателей) эффективности функционирования. Поскольку процесс технического обслуживания и ремонта протекает во времени, следует заранее определиться, какой режим функционирования обслуживающей системы нас интересует – неустановившийся (переходный) или стационарный. Неустановившийся режим, естественно, имеет место тогда, когда поведение системы продолжает оставаться функцией времени. В этом смысле процессы чистого рождения и чистой гибели [1] всегда относятся к категории неустановившихся стохастических процессов. В системах ТО и Р, в которых, с одной стороны, происходит поступление потока СВТ на обслуживание, а с другой – обслуженные элементы выбывают из системы, в самый начальный период функционирования наблюдается неустановившийся режим, а по истечении достаточно большого интервала времени достигается стационарный режим.

Основные соотношения, формирующие различные модели массового обслуживания, можно использовать и для исследования переходных (неустановившихся) процессов. Сконцентрируем внимание на анализе стационарных процессов и интерпретации результатов, получаемых в предположении, что условия стационарности выполняются. На практике СТО и Р обычно предназначаются для работы в течение весьма длительного времени. Вместе с тем следует подчеркнуть, что анализ неустановившихся стохастических процессов связан с серьезными математическими трудностями [2].

При выполнении условий стационарности и среднем числе  $L_s$  находящихся в системе СВТ (заявок на обслуживание) требуется определить следующие

операционные характеристики:

$L_q$  – среднее число СВТ в очереди на обслуживание;

$p_n$  – вероятность того, что в системе находится  $n$  СВТ (заявок на обслуживание);

$W_s$  – среднюю продолжительность пребывания СВТ (заявки на обслуживание) в СТО и Р;

$W_q$  – среднюю продолжительность пребывания СВТ (заявки на обслуживание) в очереди.

В качестве основного ограничения, примем, что интенсивность  $\lambda$  поступающего потока не превышает интенсивность выходного потока  $\mu$ , то есть стационарный режим достижим, т.к. в противном случае, очередь со временем будет постоянно увеличиваться.

По определению [1]:

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} np_n, \quad L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n-c)p_n. \quad (1)$$

В тоже время, между величинами  $L_s$ ,  $L_q$  и  $W_s$  существует строгая взаимосвязь:

$$L_s = I W_s, \quad L_q = \lambda W_q. \quad (2)$$

Приведенные выше соотношения справедливы и при гораздо менее жестких предположениях, не налагающих никаких специальных ограничений ни на распределение моментов последовательных поступлений потоков требований, ни на распределение продолжительностей обслуживания. Однако в тех случаях, когда частота поступлений СВТ равняется  $\lambda$  и не все элементы имеют возможность попасть в обслуживающую систему (например, из-за недостаточно большой мощности очереди ожидания), соотношения (2), необходимо видоизменить путем нового определения параметра  $\lambda$ , которое позволило бы учесть только действительно «допускаемые» в систему СВТ.

Тогда, вводя в рассмотрение величину  $I_{\text{эфф}}$  – эффективную частоту поступлений, то есть количество СВТ, действительно допущенных в очередь ожидания обслуживающей системы, в единицу времени, будем иметь:

$$L_s = I_{\text{эфф}} W_s, \quad L_q = I_{\text{эфф}} W_q. \quad (3)$$

В общем случае:

$$I_{\text{эфф}} = bI, \quad 1 < \beta < 1. \quad (4)$$

Это означает, что только часть поступающих СВТ на обслуживание действительно «проникают» в систему.

Если средняя скорость обслуживания равняется  $\mu$  и, следовательно, средняя продолжительность обслуживания равняется  $1/\mu$ , то справедливо следующее соотношение:

$$W_s = W_q + 1/\mu. \quad (5)$$

Умножая левую и правую части этого соотношения на  $\lambda$ , получаем:

$$L_s = L_q + \lambda/\mu. \quad (6)$$



Последнее соотношение остается справедливым и в том случае, если величину  $\lambda$  заменить на  $\lambda_{эфф}$ . При этом для  $\lambda_{эфф}$  можно записать:

$$I_{эфф} = m(L_s - L_q). \quad (7)$$

При анализе всех рассматриваемых ниже моделей основное внимание было сосредоточено на получении формул для вероятности  $p_n$ , поскольку, зная эту величину, нетрудно определить значения всех основных характеристик интересующего нас процесса технического обслуживания и ремонта в указанном ниже порядке:

$$p_n \Rightarrow L_s \Rightarrow \sum_{n=0}^{\infty} n p_n \Rightarrow W_s \Rightarrow L_s / \lambda \Rightarrow W_q \Rightarrow W_s - 1/\lambda \Rightarrow L_q = \lambda W_q. \quad (8)$$

В большинстве случаев для вычисления значений вероятности  $p_n$  в рамках соответствующей математической модели особые трудности не встречаются. Что же касается распределений продолжительностей ожидания, то их численная оценка может оказаться далеко не простой. Таким образом, удобнее вычислять средние продолжительности пребывания СВТ в системе  $W_s$  и в очереди  $W_q$  через величины  $L_s$  и  $L_q$ .

При разработке модели процесса сервисного обслуживания сетей промышленных предприятий, основное внимание было сосредоточено на получении формул для вероятности  $p_n$  того, что в системе находится  $n$  средств вычислительной техники, т. к., зная эту величину, нетрудно определить значения всех основных операционных характеристик интересующего нас процесса технического обслуживания и ремонта.

Приведенные соотношения для математических моделей справедливы и при гораздо менее жестких предположениях, не налагающих никаких специальных ограничений ни на распределение моментов последовательных поступлений потоков требований, ни на распределение продолжительностей обслуживания. В отличие от известных моделей систем массового обслуживания, в разработанных моделях частота поступлений средств вычислительной техники равняется  $I_{эфф}$  – эффективной частоте поступлений, т. е. количеству средств, действительно допущенных в блок ожидания.

#### Список литературы

1. Вентцель, Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. Ермольев, Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1996. – 240 с.

**Лазарев Сергей Николаевич**, доцент, Академия ФСО России, г. Орёл, тел. 8(920)280-89-67, e-mail: [serg.orel@mail.ru](mailto:serg.orel@mail.ru).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ № 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.</b> .....	7
ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРОДСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	
<b>Никулина О.М., Лоек А.В.</b> .....	7
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕМОНТУ ЗДАНИЙ В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ	
<b>Музалевская Г.Н., Музалевский А.А.</b> .....	9
ЭКВИВАЛЕНТ СУММ ПРОИЗВЕДЕНИЙ	
<b>Глинкин Е.И., Везенкина С.Н.</b> .....	13
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ	
<b>Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В., Правильникова В.В.</b> .....	16
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	
<b>Черкасова Н.И., Карнаухова Л.Н.</b> .....	19
О КОНЦЕПЦИИ СТОИМОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ПРИНЦИПАХ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА	
<b>Никольский О.К., Гончаренко Г.А., Черкасова Н.И., Семичевский П.И., Качанов А.Н.</b> .....	24
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА, ОЦЕНКИ, АНАЛИЗА, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	
<b>Черкасова Н.И., Никольский О.К., Семичевский П.И.</b> .....	29
ВЫБОР ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	
<b>Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А., Шумарин В.Ф.</b> .....	38
МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ЗДАНИЙ	
<b>Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А., Рыжикова Е.Ю.</b> .....	41
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ - СПОСОБ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ В ОАО «ОРЁЛОБЛЭНЕРГО»	
<b>Тимохин В.А.</b> .....	44
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ г. ОРЛА	
<b>Комаристый А.С., Шумарин В.Ф.</b> .....	47
<b>СЕКЦИЯ № 2. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ</b> .....	50
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩАЮЩИХ НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
<b>Шпиганович А.Н., Пушница К.А.</b> .....	50
АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	
<b>Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Куратто П.В.</b> .....	54
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВЫХ СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ В СФЕРЕ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	
<b>Зайцев А.И., Крысанов В.Н.</b> .....	58
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДАВЛЕНИЯ ФЛИКЕРА С ПОМОЩЬЮ СТК	
<b>Гамазин С.И., Кулага М.А., Ненахов А.И.</b> .....	60

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВОДОПОГРУЖОЙ СВОБОДОПОТОЧНОЙ МИКРОГЭС	
<b>Загрядцкий В.И.</b> .....	62
ОПТИМИЗАЦИЯ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ	
<b>Буре И.Г., Киселев М. Н.</b> .....	65
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ	
<b>Грозных В.А., Бурунбаев А.И.</b> .....	67
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В СЕТЯХ 6-35 КВ С РЕЗИСТИВНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ	
<b>Рыжкова Е.Н., Фомин М.А.</b> .....	70
ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ СЭС	
<b>Хевсуриани И.М., Ридзель А.Н.</b> .....	73
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ ПРИ РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА	
<b>Широкоступова М.С.</b> .....	75
ПРОЕКТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ «МОСКОВСКОЕ КОЛЬЦО 500 кВ»	
<b>Калинин В.Ф., Глинкин Е.И., Чичёв С.И.</b> .....	79
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПАССИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ	
<b>Глинкин Е.И., Глинкин М.Е.</b> .....	83
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ К КОНЕЧНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ВХОДОВ И ПАРАМЕТРОВ	
<b>Блюмин С.Л., Погодаев А.К., Сараев П.В.</b> .....	86
МИНИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	
<b>Пугачев А.А., Космодамианский А.С., Бондаренко Д.А.</b> .....	89
ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УДАЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РАМКАХ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ	
<b>Отрошенко А.А.</b> .....	92
ПЕРСПЕКТИВЫ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ПУСТЫНЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГИСТРАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
<b>Лепешкин А.Р., Качанов А.Н.</b> .....	95
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ 35-110 кВ	
<b>Балабин А.А.</b> .....	99
УЧЕТ И КОНТРОЛЬ ПКЭ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	
<b>Королева Т.Г.</b> .....	101
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВХОДНОГО ТОКА СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ	
<b>Цырук С.А., Янченко С.А.</b> .....	103
ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	
<b>Компанеев Б.С., Нефёдов С.Ф.</b> .....	107
<b>СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ.</b> .....	109
РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧЬЮ НА ОСНОВЕ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	
<b>Елизаров В.А., Елизаров К.А.</b> .....	109

К ВОПРОСУ О ГАРМОНИКАХ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДРОССЕЛЕМ НАСЫЩЕНИЯ <b>Кувалдин А.Б., Птицына Е.В., Птицын Д.В.</b> .....	112
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ С ВЫСОКИМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ <b>Митяков Ф.Е., Горячих Е.В.</b> .....	115
КРИТЕРИЙ МИНИМУМА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОМПЛЕКТА ЭКРАННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ <b>Митяков Ф.Е., Горячих Е.В.</b> .....	118
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ <b>Горячих Е.В.</b> .....	121
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ <b>Бахвалов Ю.А., Горбатенко Н.И., Гречихин В.В., Грекова А.Н.</b> .....	124
ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ <b>Качанов А.Н., Коренков Д.А.</b> .....	126
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ <b>Кувалдин А.Б., Баскаков П.А.</b> .....	129
ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ПЛОСКОМ ДИСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ИНДУКТОРОВ <b>Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р., Лепешкин С.А.</b> .....	131
ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКТОРОВ И МАГНИТОВ <b>Лепешкин С.А.</b> .....	134
РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО ПОГРУЖНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ <b>Кувалдин А.Б., Федин М.А., Антонов Б.Б.</b> .....	136
РАСЧЁТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ МУФЕЛЬНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ <b>Кувалдин А.Б., Федин М.А., Перов Р.И.</b> .....	139
<b>СЕКЦИЯ № 4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ.</b> .....	142
ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ ГАЗА <b>Петров С.П., Курзютин Д.М.</b> .....	142
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ <b>Барчуков Д.А., Лаврентьев А.Ю., Зубков Н.С., Хохлов А.А.</b> .....	144
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА <b>Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Журавлева Т.А.</b> .....	146
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУЕЙ <b>Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В.</b> .....	148
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВА И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ <b>Барсуков Г.В., Александров А.А.</b> .....	150

<b>СЕКЦИЯ № 5. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ</b> .....	152
ВОДОГРЕЙНЫЙ КОТЕЛ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА МЕСТНОМ ТОПЛИВЕ	
<b>Каравайков В.М., Алутин А.П., Иванов Е.Э.</b> .....	152
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИБОРОВ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛИЦЫ	
<b>Каравайков В.М., Волков И.О.</b> .....	154
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ (ГТР) ПО ИХ ХАРАКТЕРИСТИКАМ	
<b>Ефимов М.А., Фомичёв Е.В.</b> .....	158
СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ: ДВС – ГТР	
<b>Ефимов М.А., Скоркин А.А.</b> .....	161
ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПЕРЕДАЧИ ТРАКТОРОВ	
<b>Ефимов М.А., Заикин И.Ю.</b> .....	163
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ (ГТР) И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТРАКТОРЕ	
<b>Ефимов М.А., Петриков И.А.</b> .....	166
ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ОБЪЕКТОВ АПК	
<b>Гончаренко Г.А., Карнаухова Л.Н.</b> .....	169
КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ	
<b>Черкасова Н.И., Семичевский П.И.</b> .....	173
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АПК НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ	
<b>Воробьев Н.П., Сошников А.А., Компанец Б.С.</b> .....	177
АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	
<b>Гончаренко Г.А.</b> .....	183
<b>СЕКЦИЯ № 6. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.</b> .....	186
НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ - ВАЖНЕЙШИЙ ЭТАП ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА	
<b>Пичугин И.Л.</b> .....	186
О ПРОБЛЕМЕ ПЕРЕКРЕСТНОГО СУБСИДИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
<b>Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Фелькер В.В.</b> .....	188
ЭКВИВАЛЕНТ ПРОИЗВЕДЕНИЯ СУММ	
<b>Глинкин Е.И., Шубина М.С.</b> .....	190
УПРАВЛЕНИЕ ОБОРОТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	
<b>Карпычева Е.Ю.</b> .....	193
КРИТЕРИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА МНЛЗ – ШСГП	
<b>Соловьёв А.Г., Шитов М.В.</b> .....	196
О ВЛИЯНИИ ПОЛНОТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА РАСЧЕТЫ НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ	
<b>Заугольников В.Ф.</b> .....	200

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О НАРУШЕНИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГО - И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕМ	
<b>Шульгин Р. Н., Максаков С. А.</b> .....	203
РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ	
<b>Устинова Е. П.</b> .....	207
ВЫБОР СПОСОБА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ПО КРИТЕРИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ	
<b>Качанов А.Н., Коренков Д.А.</b> .....	211
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА: СОСТОЯНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	
<b>Степанова Е.Ю.</b> .....	214
<b>СЕКЦИЯ № 7. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ.</b> .....	219
ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАЗЕРНОГО ДИОДА С КВАНТОВОРАЗМЕРНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ	
<b>Матюхин С.И., Макулевский Г.Р.</b> .....	219
ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННОСТИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА УПРУГИХ ТЕЛ	
<b>Якушина С.И.</b> .....	222
СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ	
<b>Матюхин С.И., Деев О.В.</b> .....	225
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
<b>Лепешкин А.Р., Качанов А.Н.</b> .....	227
ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	
<b>Степанов Ю.С., Белкин Е.А., Поярков В.Н.</b> .....	229
МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТОРА - ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЧАСТИ СТОКА ДМОП-ТРАНЗИСТОРА	
<b>Гостенков Е.В., Турин В.О., Ващенко В.А.</b> .....	231
ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ РАССЕЯНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА КВАНТОВОЙ ЯМЕ ДГС ЛАЗЕРОВ НА ИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
<b>Козил З., Турин В.О., Будулева Е.А.</b> .....	234
<b>СЕКЦИЯ № 8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ.</b> .....	237
АДЕКВАТНОСТЬ ИННОВАЦИЙ	
<b>Глинкин Е.И.</b> .....	237
СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТИВОБОКСОВЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»	
<b>Пугачев А.А., Измеров О.В., Волохов С.Г.</b> .....	239
ПЛАНИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ СОЗДАНИИ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»	
<b>Воробьев В.И., Измеров О.В., Волохов С.Г.</b> .....	243
РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГОГО ТЕЛА ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫМ НЕПРЕРЫВНЫМ ОБЪЕМНЫМ СИЛАМ	
<b>Пеньков В.Б., Саталкина Л.В., Кузьменко Н.В.</b> .....	247

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БАЗИСА СОСТОЯНИЙ КАК НАДЕЖНЫЙ ФАКТОР СОКРАЩЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ АНАЛИЗЕ УПРУГИХ ПОЛЕЙ	
<b>Рязанцева Е.А., Пеньков В.Б.</b> .....	250
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ИХ ОТОБРАЖЕНИЕ В КОРПОРАТИВНЫХ ПОРТАЛАХ	
<b>Мегаев К.А.</b> .....	253
МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В МОДУЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АСУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<b>Лякишев А. А.</b> .....	256
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ СТУПЕНЕЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	
<b>Басманов В.Г., Лищенко К.В.</b> .....	259
СИСТЕМА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ	
<b>Воробьев Н.П., Гончаренко Г.А, Рыжикова Е.Ю.</b> .....	262
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ	
<b>Сошников А.А., Мигалёв И.Е.</b> .....	265
АВТОМАТИЗАЦИЯ СПОСОБА ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА	
<b>Поляков С.А.</b> .....	267
СПОСОБЫ И ПРИЁМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К БЕСПРОВОДНОМУ КАНАЛУ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ МАРКОВА	
<b>Анисимов Д. В.</b> .....	270
ПОТОКОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АППАРАТА ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ С ПРИОРИТЕТАМИ	
<b>Черепков С. А.</b> .....	272
МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕСИСТЕМНЫХ ПРЕРЫВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<b>Черепков С. А.</b> .....	275
ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
<b>Лазарев С.Н.</b> .....	278

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

# ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ XXI ВЕК

МАТЕРИАЛЫ ОДИННАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ИНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦИИ

01 марта – 30 июня 2013 г., г. Орёл

Материалы конференции печатаются в авторской редакции

Компьютерная верстка и оригинал-макет Коренков Д.А., Рыжикова Е.Ю.

Госуниверситет – УНПК

Лицензия ИД № 00670 от 5.01.2000 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/8

Усл. п. л. 18,2. Тираж 500 экз.

Заказ № \_\_\_\_\_

Электронный адрес размещения:

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе Госуниверситета – УНПК  
302030 г. Орёл, ул. Московская, 65