

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**IN MEMORIAM:  
ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ АНДРЕЕВ**

Ульяновск  
УлГТУ  
2018

УДК 621.316(082)(092)

ББК 31.27Г(2)

I 57

**Редакторы:** А.Л. Дубов – канд. техн наук, доцент, декан ЭФ УлГТУ,  
М.П. Волков – д-р фил. наук, профессор, зав. кафедрой  
«Философия».

**IN MEMORIAM: ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ АНДРЕЕВ:**

I 57 сборник памяти Андреева В.А. – Ульяновск : УлГТУ, 2018. – 300 с.

ISBN 978-5-9795-1843-5

Сборник подготовлен к 95-летию со дня рождения В.А.Андреева – известного советского и российского ученого, внесшего значительный вклад в исследование вопросов повышения надежности систем электроснабжения и разработки устройств релейной защиты и автоматики.

В сборнике также приведены статьи, посвященные повышению качества образования в Высшей школе, чему В.А. Андреев уделял большое внимание. Здесь же имеются стихи собственного сочинения. Часть статей посвящена защите Мира на земле. Специальный раздел образуют работы его аспирантов.

Статьи печатаются с максимально возможным сохранением авторского стиля.

**УДК 621.316(082)(092)**

**ББК 31.27Г(2)**

ISBN 978-5-9795-1843-5

© Колл. авторов, 2018  
© Оформление. УлГТУ, 2018



**Василий Андреевич Андреев**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Василий Андреевич Андреев .....</b>	<b>6</b>
<b>Учебная работа в вузе.....</b>	<b>13</b>
Повышать эффективность вузовской науки .....	13
Становление. Институт накануне 25-летия .....	20
Некоторые проблемы научной организации учебного процесса .....	23
Выступление проф. Андреева В. А. на Совете института в 1985 г.....	29
Андреев В. А. “Релейная защита и автоматика системы электроснабжения” .....	32
Состоялась презентация учебника профессора В. А. Андреева.....	36
Релейная защита – это поэма .....	41
Студенческие страдания.....	45
Плоды просвещения.....	46
О нашем коллеге.....	55
<b>Из поэзии В.А. Андреева .....</b>	<b>57</b>
«Времена года» профессора В.А. Андреева .....	57
Не только точные науки .....	59
Никто не забыт, ничто не забыто. Сказ о моем деде.....	60
Худобину Л.В. в связи с избранием академиком отраслевой академии.....	64
Худобину Л.В. в связи с юбилеем .....	64
<b>Научные работы .....</b>	<b>67</b>
Основоположник энергетической научной школы УлГТУ .....	67
<i>Андреев В.А., Кузнецов А.В.</i> Анализ быстродействия жидкометаллических и обычных предохранителей .....	73
<i>Андреев В.А., Дубов А.Л., Шишкин В.Ф.</i> Влияние заземляющих устройств нулевого провода на токи нулевой последовательности в воздушных сетях напряжением 0,38 кВ.....	82
<i>Свиридов Ю.П.</i> Автоматизированная система управления водоснабжением на базе программно-технического комплекса “СИРИУС” .....	90
<i>Шингаров В.П.</i> О региональной энергетике .....	96
<i>Кузнецов А.В., Юренков Ю.П., Лапин И.</i> О завышении инвестиционной составляющей в системы электроснабжения, в связи с увеличением токов короткого замыкания .....	111

<i>Ганиев Р. Н.</i> Электропривод кордной линии с рекуперацией энергии ...	116
<i>Романов В.С., Гольдштейн В.Г., Васильева Н.С.</i> Разработка и исследование математической модели эксплуатационной эффективности погружных электродвигателей нефтедобычи .....	128
<i>Панкин В. В., Соловьева Е. Б.</i> Первая в России кафедра электротехники: от технического училища до электротехнического университета.....	138
<i>Ерохов И. В.</i> Создание схемы электрического баланса.....	153
<i>Майко Г. В., Мамед О. Ш., Филаретов В. В.</i> Преобразования нулловых деревьев и учет неявного замыкания при анализе электронных цепей ...	165
<i>Шкуронат И. А.</i> Расчет основных размеров активной части трансформаторов методом удельных электромагнитных нагрузок .....	179
<i>Горшков К. С., Недорезов П. В., Филаретов В. В.</i> Особенности реализации полиномиальной бисекции при символьном анализе линейных электронных цепей .....	198
<i>Курганов С. А., Недорезов М. В., Филаретов В. В.</i> Оптимизация разностной формулы чувствительности линейных электрических цепей .....	211
<b>Воспоминания .....</b>	<b>221</b>
О нашем коллеге.....	221
Воспоминания и впечатления .....	222
«Женщины заслуживают внимания и уважения не только в Женский праздник...» .....	224
Незабываемый человек.....	226
Воспоминания о В.А. Андрееве.....	229
Василий Андреевич Андреев: каким он остался в моей памяти.....	235
Воспоминания о моем научном руководителе Андрееве Василии Андреевиче.....	238
Мой учитель.....	240
Путевка в жизнь.....	245
Давайте говорить друг другу комплименты! .....	247
Скажи-ка, Сечкин .....	252
<b>Библиографический указатель трудов В.А. Андреева .....</b>	<b>254</b>
<b>Фотоальбом.....</b>	<b>290</b>
<b>Сведения об авторах .....</b>	<b>298</b>

## **ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ АНДРЕЕВ**

*Ректор Ульяновского политехнического института с 1969 по 1980 гг.,  
проректор по научной и учебной работе с 1963 по 1964 гг.,  
проректор по учебной работе с 1964 по 1969 гг.,  
зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных  
предприятий и городов» с 1966 по 1988 гг.,  
доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
действительный член Международной энергетической академии,  
Почетный гражданин Ульяновской области,  
изобретатель СССР,  
ветеран труда, участник Великой Отечественной войны,  
председатель областного Комитета защиты мира.*

В.А. Андреев, крупный ученый и талантливый педагог в области релейной защиты и автоматики систем электроснабжения, один из первых организаторов высшего технического образования в г. Ульяновске и в Киргизии, известный общественный деятель, участник Великой Отечественной войны.

Василий Андреевич родился в селе Тамерлановка Арысского района Южно-Казахстанской области 1 января 1923 года. Школу окончил в г.Чимкенте в 1940 году и поступил в Среднеазиатский индустриальный институт. В мае 1943 года был призван в Красную Армию и направлен в Ташкентское пехотное училище. Но уже через два месяца его откомандировывают в Военный институт иностранных языков Красной Армии на курсы переводчиков. После окончания курсов в октябре 1944 г. В.А. Андрееву было присвоено звание младшего лейтенанта, и он был направлен на Первый Украинский фронт переводчиком штаба 359

стрелковой дивизии. День Победы Василий Андреевич встретил в г.Бреслау. В связи с заболеванием на фронте, в сентябре 1945 г. был демобилизован и продолжил учебу в Московском энергетическом институте (МЭИ), который закончил с отличием в 1949 г. и по распределению работал на ГРЭС № 10 в г.Новомосковске. В 1952 г. снова вернулся в МЭИ, чтобы продолжить учебу в аспирантуре. Диссертацию защитил в 1955 г. и сразу же был направлен Минвузом СССР во вновь организованный Фрунзенский политехнический институт проректором по учебной и научной работе (сейчас это г. Бишкек). В 1963 г. Минвуз РСФСР с согласия руководства Киргизии направляет В.А. Андреева проректором по учебной и научной работе в Ульяновский политехнический институт, реорганизованный в 1962 г. из вечернего в дневное высшее учебное заведение. В 1969 г. он был назначен ректором института и более 11 лет до 1981 г. проработал в этой должности.

Общий стаж работы В.А. Андреева в системе высшего образования более 50 лет, в Ульяновском государственном техническом университете – 43 года. Здесь он бессменно в течение 17 лет являлся проректором, а затем ректором института. Это был период бурного развития в Ульяновске и области промышленных предприятий радиотехнического профиля, легкой промышленности, самолетостроения. Расширялась и укреплялась строительная база, был организован Главульяновскстрой. Все это требовало подготовки инженеров соответствующего профиля. Поэтому это был и период становления института: расширения перечня специальностей, организации радиотехнического, энергетического, строительного, самолетостроительного факультетов и факультета легкой промышленности в г. Димитровграде, строительства учебной базы, организации кафедр, комплектования педагогического коллектива, формирования научных направлений, организации учебного процесса на требуемом уровне, комплектование библиотеки. Наряду с этим успешно

решались задачи, связанные с бытом, отдыхом и лечением студентов и преподавателей. К 1980 г. было завершено строительство первой очереди учебной базы, общежитий, столовой, спортивного лагеря на берегу Волги. Были открыты студенческая поликлиника и профилакторий. Сложились кафедры и определились научные направления, некоторые из этих направлений вошли в целевые комплексные программы Минвуза РСФСР или региональные научно-технические программы. В институте была организована аспирантура. В этот же период на базе института стали проводиться республиканские научные конференции и выставки-смотри научно-технического творчества студентов вузов России. Были заключены договоры о сотрудничестве с Московским энергетическим и Львовским политехническим институтами. Получила развитие хоздоговорная форма научных исследований. Это привлекло дополнительные средства и позволило оснастить учебный процесс дорогостоящей вычислительной техникой. В то время это была одна из основных задач высшей школы. Процент преподавателей со степенями и званиями достиг средне-министерского уровня. Работа ректора В.А. Андреева неоднократно положительно оценивалась в приказах Минвуза РСФСР. Он был награжден Орденом трудового Красного Знамени. Народно-хозяйственное и социально-культурное значение института трудно переоценить. Его выпускники стали организаторами и руководителями производства не только в России, но и в бывших республиках СССР, стали учеными и руководителями административных органов.

Характерным для В.А. Андреева является плодотворное сочетание административной, научной, педагогической и общественной работы. Во Фрунзенском политехническом институте он организовал и возглавил кафедру «Электрические станции». Под его руководством были созданы лабораторная база кафедры, методическое обеспечение учебного процесса, а также условия для научно-исследовательской работы. В период работы В.А.

Андреева в Киргизии шло формирование Киргизской академии наук и он как проректор по научной работе политехнического института много сделал для организации совместных с академией научных исследований, для развития вузовской науки и подготовки научных кадров в Киргизии того времени. Сейчас Фрунзенский (Бишкекский) политехнический институт – крупное высшее учебное заведение Средней Азии. В Ульяновском государственном техническом университете он был одним из организаторов кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий и городов» и бесменно руководил ею более двадцати лет. В процессе формирования кафедры складывалась научная школа проф. В.А. Андреева с единым научным направлением «Повышение надежности и экономичности функционирования систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования существующих, разработки и внедрения новых устройств защиты, автоматики и телемеханики», обеспечившим организацию аспирантуры и успешную подготовку научных кадров. Основной состав кафедры – бывшие аспиранты проф. В.А. Андреева. Работы, проводимые проф. В.А. Андреевым и его учениками в рамках единого научного направления, имеют важное народнохозяйственное и социально-культурное значение. Они являлись составной частью целевой комплексной программы на 1986-1990 годы «Разработка методов и средств экономии электроэнергии и повышения ее качества в электроэнергетических системах» (Экономия электроэнергии), приказ № 101 Минвуза СССР от 9.02.86 г., а также региональной научно-технической программы на 1986-1990 годы «Комплексное использование энергоресурсов Поволжья» (Энергоресурсы Поволжья), приказ № 99 Минвуза РСФСР от 06.02.86 г. Имя проф. Андреева В.А. и его учеников широко известно в России и в странах ближнего зарубежья по работам в области совершенствования плавких предохранителей. Им принадлежат оригинальные разработки устройств релейной защиты для сетей 6-10 кВ и ВЛ-0,38 кВ, исследования и расчеты режимов сетей до 1 кВ. Проф. В.А.

Андреевым впервые высказана и реализована идея создания управляемых предохранителей. На их основе совместно с учениками разработаны устройства защиты и коммутации, не имеющие аналогов в мировой электроэнергетике для различных электроустановок напряжением 0,4-110 кВ.

Теоретически обоснована и практически реализована возможность создания у нас в стране жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей. Впервые высказана и реализована идея использования этих предохранителей для защиты тиристорных пускателей и аппаратов, выполненных на их основе.

Впервые теоретически обоснована и практически подтверждена возможность использовать токи третьей гармонической для выполнения быстродействующей защиты линий 10 кВ.

Решен широкий круг задач в области совершенствования устройств релейной защиты и телемеханики распределительных электрических сетей, а также защиты, выполненной плавкими предохранителями и автоматическими выключателями.

Ему и его ученикам принадлежат оригинальные разработки камер гашения, позволяющих значительно повысить коммутационную способность выхлопных предохранителей.

По результатам научных исследований проф. В.А. Андреева и его учеников получены авторские свидетельства, созданы устройства защиты и коммутации. Отдельные разработки внедрены на промышленных предприятиях Москвы, Казани, Набережных Челнов, Ульяновска, а также отмечены медалями и дипломами ВДНХ. В основу предохранителей напряжением 35 кВ, выпускаемых отечественной промышленностью, положены разработки и авторские свидетельства В.А. Андреева и его учеников, многолетняя работа по совершенствованию предохранителей обобщена в единственной в своем роде монографии «Управляемые плавкие предохранители». Им опубликовано единолично и в соавторстве

более 100 статей и получено 26 авторских свидетельств. Под руководством проф. В.А. Андреева подготовлено и защищено девять диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс и использованы проф. В.А. Андреевым при написании учебников и учебных пособий. О единстве учебной и научной работы и степени использования результатов собственных научных исследований проф. В.А. Андреев изложил в монографии «Исследование, разработка и внедрение устройств комплексной автоматизации систем электроснабжения - единый процесс научной и учебной работы». Он более 40 лет успешно сотрудничает с издательством «Высшая школа». Под его руководством и при его непосредственном участии написаны учебники «Релейная защита распределительных электрических сетей» и «Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения». Он является также соавтором задачника по релейной защите. Ему принадлежит известный и единственный в России и в странах ближнего зарубежья учебник «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения», четвертое издание которого издательство «Высшая школа» выпустило в 2006 г. Признание общественностью заслуг В.А. Андреева в области науки и техники неоднократно отмечалось в положительных рецензиях на его учебники в журналах «Известия вузов. Энергетика» (1987, № 2 и № 3), «Промышленная энергетика» (1992, № 8-9), «Научно-технический калейдоскоп УлГТУ» (2002, №3), а также публикацией с поздравлением энергетиков к его семидесятилетию (журнал «Промышленная энергетика», 1993, № 5). Указом Президента ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Научно-педагогическая и организаторская работа В.А. Андреева всегда сочеталась с общественной деятельностью. Он был делегатом 24-го съезда партии, членом президиума республиканского комитета профсоюза

работников высшей школы и научных учреждений КиргССР, членом Ульяновского обкома профсоюза работников высшей школы и научных учреждений, более 10 лет входил в состав исполкома Ульяновского городского совета народных депутатов и обкома партии, был председателем Ульяновского совета ректоров, членом научно-методической комиссии по электроснабжению Минвуза СССР, являлся членом областного совета ветеранов войны и труда, председателем совета ветеранов университета. Более 30 лет возглавлял областной комитет защиты мира, входил в состав редакционного совета Книги Памяти Ульяновской области.

Организаторская, учебная, научная и общественная деятельность В.А.Андреева отмечена Орденом Трудового Красного Знамени, медалью «За трудовое отличие», знаком Минвуза СССР «За отличные успехи в работе», Почетной медалью Советского комитета защиты мира «Борцу за мир», Почетной медалью Советского фонда мира, медалью «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина» и многими грамотами Минвуза РСФСР и обкома партии.

За ратные подвиги в Великой Отечественной войне он награжден Орденом Красной Звезды, Орденом Отечественной войны второй степени и медалями.

Жизнь, трудовая и общественная деятельность В.А. Андреева безусловно оказали существенное положительное влияние на экономику и культуру г. Ульяновска и Ульяновской области. Учитывая это, В.А. Андреев был занесен в Золотую Книгу Почета и удостоен почетного звания «Почетный гражданин Ульяновской области».

# УЧЕБНАЯ РАБОТА В ВУЗЕ

## ПОВЫШАТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВУЗОВСКОЙ НАУКИ

Из всего множества проблем высшей школы сейчас на первый план выдвигается проблема дальнейшего совершенствования и повышения эффективности вузовской науки. Дело в том, что высшая школа, превратившись за годы девятой и десятой пятилеток в крупный учебно-научный комплекс, располагает огромным научным потенциалом и способна, наряду с подготовкой высококвалифицированных специалистов, решать важнейшие научно-технические и социально-экономические проблемы. Достаточно сказать, что сейчас в вузах работает добрая половина всех ученых страны.

В своей речи на ноябрьском (1978 г.) Пленуме ЦК партии Л. И. Брежнев сказал: «Принципиально новые научные идеи и технические решения, концентрация сил на ключевых направлениях развития народного хозяйства — вот на чём должны сосредоточить усилия наши ученые...» Положение это имеет самое непосредственное отношение к ученым вузов.

Наш политехнический институт является сравнительно молодым высшим учебным заведением. В прошлом году он отметил, свое двадцатилетие. Для него годы девятой пятилетки стали началом превращения в учебно-научный комплекс. Процесс этот далеко не закончен. Хотя уже сегодня более сорока процентов преподавателей вуза являются учеными со степенью и званием. Научные исследования ученых института имеют большое народнохозяйственное значение. Результаты многих из них уже внедрены в производство и дают ощутимый

экономический эффект. За три последних года он составил более десяти миллионов рублей.

В настоящее время общепризнано, что смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются обязательным элементом технологического обеспечения операций механической обработки деталей при высоком качестве продукция. Подсчитано, что примерно 30 процентов всего роста производительности современных металлорежущих станков обеспечивают СОЖ. Наша кафедра «Технология машиностроения» уже много лет ведет исследования в области разработки высокоэффективных составов и техники применения таких жидкостей.

Выполненные исследования внесли определенный вклад в создание базового ассортимента отечественных СОЖ для обработки металлов резанием. Последние находят применение более чем на ста предприятиях страны. Общий годовой экономический эффект от внедрения в народное хозяйство результатов научно-исследовательских работ этого направления, в выполнении которых принимали участие ученые нашего института, составляет пять миллионов рублей.

Весьма актуальны исследования в новой области, развиваемые кафедрой в последние три-четыре года.

Приборостроение в настоящее время является важнейшей отраслью народного хозяйства. В области создания приборов для измерения самых различных физических величин достигнуты огромные успехи. Однако возникают значительные трудности при проектировании приборов для тяжелых условий эксплуатации, например, на подвижных объектах.

Естественно, что оптимальное проектирование приборов можно осуществить только с помощью цифровых вычислительных машин. В лабораториях нашего института впервые в отечественной практике разработаны методы и созданы программы оптимального проектирования приборов на ЦВМ. Эти методы уже применяются на предприятиях

Министерства приборостроения СССР и позволяют создавать приборы с заданными характеристиками; значительно сократить время проектирования и повысить качество приборов.

Впервые также нами разработаны методы диагностики конструкторско-технологических параметров приборов на этапах изготовления и сборки. Применение предложенных решений позволило значительно повысить качество, сократить брак и получить только в 1976—1977 годах экономический эффект в размере 730 тысяч рублей.

В лабораториях кафедры «Авиационное приборостроение» проводятся значительные работы по созданию приборов, основанных на новых физических эффектах.

Достижения наших ученых в теории и практике приборостроения позволили институту стать организатором комплексной программы вузов Российской Федерации «Преобразователи и приборы для нестационарных объектов». Программа уже объединяет 14 крупнейших вузов страны.

Учеными строительного факультета выполняется работа, имеющая особую актуальность для условий Ульяновской области. Речь идет о переводе производства заводов сборного железобетона на выпуск керамзитобетонных конструкций. Дело в том, что это, пожалуй, является единственным выходом, позволяющим отказаться от использования щебня, запасы которого в нашей области практически исчерпаны. Вместе с тем технико-экономические расчеты показывают, что замена тяжелого бетона на легкий снижает массу зданий на 30 процентов, расход стали — на 12—15 процентов и цемента на 5—7 процентов.

Заводы ЖБИ нашей области наращивают выпуск керамзитобетонных конструкций. Особенно успешно работает объединение «Железобетон» Главульяновскстроя. Заводы ЖБИ №1 и №3 этого объединения сегодня выпускают около 100 тысяч кубических метров несущих керамзитобетонных конструкций, что составляет примерно 30 процентов

производства этих конструкций по Министерству строительства СССР и 10 процентов по стране! В течение двух последних лет на заводах объединения «Железобетон» при активном участии ученых института освоено производство из керамзитобетона ряда конструкций промышленного и гражданского строительства, забивных свай. Годовой экономический эффект от внедрения этих конструкций составил более 300 тысяч рублей.

Опыт строительства в сельской местности малоэтажных домов и животноводческих помещений показал эффективность применения арболита, производство которого основывается на утилизации отходов древесины. По сравнению с другими материалами арболит позволяет получить меньшую толщину стен, снизить расход цемента, обеспечивает хорошие зоогигиенические условия в помещении. Еще в первые годы девятой пятилетки ученые нашего института совместно с коллективом Майнского деревообрабатывающего комбината начали вести активный поиск с целью определения технологии производства арболита не только на основе использования отходов хвойных пород, но, что особенно важно для наших условий, с использованием отходов лиственных пород.

Сейчас на комбинате уже налажено производство блоков из арболита. Однако возможности комбината ограничены. Производство сдерживается отсутствием утвержденных типовых проектов и серийного технологического оборудования. Вместе с решением этих инженерных вопросов необходимо продолжить научно-исследовательскую работу по совершенствованию технологии, по улучшению физико-механических свойств арболита.

Научная работа в институте является необходимым условием повышения качества подготовки специалистов. Она должна быть составной частью обучения. В нашем вузе около 60 процентов студентов являются активными участниками научной работы. Организационные

формы студенческой научной работы различны. Наибольшим авторитетом пользуется студенческое конструкторское бюро (СКБ). Его работы входят в координационный план секции по проблеме «Голография» Академии наук СССР. Студентами выполнено более ста курсовых и более тридцати дипломных проектов по тематике СКБ, сделано восемь заявок на изобретения, подано шесть рацпредложений. Одним из главных направлений в работе СКБ является «Разработка методов регистрации ультразвуковых голограмм с целью визуализации внутренней структуры медико-биологических объектов».

В нашем СКБ создан экспериментальный макет установки, позволяющей получать эхографическое изображение внутренней структуры биологических объектов, а также голограммы их сфокусированного изображения, что принципиально ново в практике отечественной медицины.

Здесь рассказано только о некоторых работах. Они в той или иной степени характеризуют состояние научной работы в нашем институте. Приведенные примеры говорят о научных успехах нашего коллектива. Между тем научный потенциал института используется далеко не полностью. Достаточно сказать, что объем научно-исследовательских работ по хозяйственным договорам с промышленными предприятиями и другими организациями в денежном исчислении не превышает сейчас 1,5 миллиона рублей. Это весьма скромная по современным масштабам сумма. Этого уровня институт легко достиг еще в 1973 году.

К сожалению, и эти средства расплывены по многим мелким темам. Происходит это потому, что промышленные организации в большинстве случаев заключают с институтом договоры на решение отдельных, частных задач производства. Более того, — при этом предприятия не хотят связывать себя никакими обязательствами по внедрению результатов

законченных работ в производство. Поэтому эффективность научных исследований оказывается скромной.

Такое положение является характерным для большинства вузов страны. Огромные потенциальные возможности — и вместе с тем незначительная доля участия вузовской науки в решении общегосударственных научно-технических и социально-экономических проблем. Объясняется это, по-видимому, рядом причин. Во-первых, некоторой автономностью вузовской науки, ее оторванностью от академических и отраслевых НИИ, оторванностью вузов друг от друга и от отраслевых министерств. Огромные научные силы распылены и слабоуправляемы. Во-вторых, наличием огромного разрыва между подавляющим числом вузов с одной стороны и незначительной частью вузов — с другой в уровне организации научной работы. В-третьих, недостаточным финансированием вузовской науки. И, в-четвертых, возможностью уклониться от активной научно-исследовательской работы в вузе.

В силу всего этого, а также из-за отсутствия собственной экспериментальной и производственной базы вузовская наука сталкивается с огромными трудностями, прежде всего с трудностями при внедрения законченных работ. Сейчас научно-технический прогресс со всей остротой ставит вопрос о разработке крупных комплексных проблем народного хозяйства. Наша партия и правительство рассматривают развитие науки в вузах как большой резерв ускорения научно-технического прогресса в стране. Совершенно очевидно, что настала пора использовать новые принципы планирования, новую систему управления вузовской наукой.

Центральный Комитет КПСС и Совет Министров СССР в апреле текущего года приняли специальное постановление «О повышении эффективности научно-исследовательской работы в высших учебных

заведениях». В октябре состоялось Всероссийское совещание ректоров и проректоров, которое обсудило задачи вузов РСФСР по выполнению этого постановления. Главное внимание на совещании было уделено вопросу организации работы хозрасчетного научного объединения Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР. Эта новая форма организации на деле поможет укрепить связи вузовской науки с академическими и отраслевыми НИИ, наладить должный научный контакт между самими вузами и между вузами и отраслевыми министерствами, будет способствовать широкой организации при вузах отраслевых научных лабораторий. Все это даст возможность осуществить в широких масштабах на практике программно-целевые методы планирования научной работы. Наш политехнический институт вошел в хозрасчетное научное объединение.

В связи с этим в плане общих задач объединения мы должны совместно с отраслевыми министерствами организовать ряд отраслевых научных лабораторий.

Есть все предпосылки для открытия отраслевой лаборатории по смазочно-охлаждающим жидкостям, в которой должны быть заинтересованы все предприятия объединения «АвтоУАЗ» и авиационно-промышленный комплекс, отраслевой лаборатории по измерительным преобразователям и приборам, научные разработки которой найдут применение на приборостроительных предприятиях и на авиационно-промышленном комплексе, отраслевой лаборатории по строительным конструкциям и материалам, коллектив которой будет решать многие насущные задачи городского и сельского строительства, лаборатории по вычислительной технике и голографии. Хотелось бы отметить хорошую инициативу приборостроительного завода, конструкторского бюро приборостроения, Главульяновскстроя, которые уже вошли в отраслевые министерства с предложением о создании в нашем институте отраслевых

лабораторий. Необходимо также добиться более тесных связей с Академией наук. В организации научной работы мы пока не можем рассчитывать только на свои силы. Нам нужна помощь ведущих вузов страны. Помощь эта необходима, прежде всего, в подготовке научных кадров. Институт имеет комплексные договора о сотрудничестве с рядом вузов. Сейчас в связи с созданием научного хозрасчетного объединения нужно принять меры к расширению и укреплению наших связей внутри объединения. Таким образом, речь идет о несколько ином, чем было до сих пор, подходе к организации научной работы в нашем вузе. О выдвигании на первый план более перспективных форм, которые позволяют и нам в самое ближайшее время более активно подключиться к решению комплексных научно-технических и социально-экономических проблем и тем самым резко повысить эффективность научной работы членов нашего института.

***В. АНДРЕЕВ, ректор УлПИ, профессор  
(Ульян. правда.-1978.-2 дек.)***

**СТАНОВЛЕНИЕ.  
ИНСТИТУТ НАКАНУНЕ 25-ЛЕТИЯ  
(интервью)**

***В. А. Андреев, ректор УлПИ в 1969-80 гг.***

*- Василий Андреевич, вы возглавляли коллектив более 11 лет. Расскажите, пожалуйста, чем жил институт в эти годы.*

- Предыдущими ректорами А.М. Алтуховым и В.В. Корниловым – было сделано очень многое по всем направлениям, в том числе и по началу строительства политехнического комплекса. Необходимо было решить вопрос о месте строительства, о разработке проектной документации, о

финансировании, о жилье для профессорско-преподавательского состава и студентов.

В центре внимания были также вопросы повышения качества подготовки специалистов, совершенствования учебного процесса, организации научной работы.

К началу 70-х годов вуз имел три дневных факультета (радиотехнический, механический, энергетический), вечерний и заочный факультеты. Было организовано 24 кафедры. Из профессорско-преподавательского состава 24% имели степени и звания. На дневных факультетах велась подготовка инженеров по семи специальностям.

Коллектив приобрел опыт воспитательной работы. Окрепились партийная, профсоюзная, комсомольская организации. Появились первые студенческие строительные отряды, коллективы самодеятельности, вырос авторитет студенческого самоуправления.

Ввели в эксплуатацию общежитие на 500 мест, спортивный корпус, котельную, строился учебный корпус РТФ и энергофака. Комплексные планы на 9 и 10 пятилетки предусматривали дальнейшее развитие материальной базы, открытие новых специальностей, решение сложных задач подготовки и комплектования научных кадров, дальнейшего совершенствования учебно-воспитательной работы и резкого увеличения объемов научных исследований

К концу 9 пятилетки завершилось строительство первой очереди института. Студенты получили дополнительно два общежития на 1100 мест, столовую на 540 посадочных мест, учебный корпус площадью 12 тыс. кв. м. В городе Димитровграде закончилось строительство комплекса факультета легкой промышленности, а на берегу Волги, в Старомайском заливе – студенческого спортивного лагеря.

10 пятилетка ознаменовалась началом строительства главного учебного корпуса. В 1981 году введена в эксплуатацию его первая очередь.

Большую помощь оказывали нам областной и городской комитеты партии, Минвуз РСФСР.

В 1970 году в Димитровграде был создан факультет легкой промышленности, который начал готовить инженеров по трикотажному производству, ткачеству, прядению натуральных волокон. За 10 лет он стал филиалом вуза, с 4 факультетами и 7 кафедрами.

Более 50% преподавателей имели ученые степени и звания.

В 1972 году была открыта аспирантура, а в 1973 году – организованы строительный факультет, кафедра экономики и организации производства, политэкономии, студенческое конструкторское бюро, в 1974 году - кафедра металлорежущих станков и инструментов, в 1976 году – кафедра охраны труда и базовая кафедра вычислительных машин при НИИ .были разделены ПГС и СХС, в 1978 году организована кафедра научного коммунизма.

Вопрос о росте кадров оставался одним из основных. Ведущие преподаватели - т.т. Л.В. Худобин, В.И. Белозерцев, М.И. Белый - защитили докторские диссертации. На должности зав. кафедрами были приглашены доктора наук Л.И. Волгин, И.В. Полканов, М.Г. Шадрин. Для подготовки кандидатов наук стала использоваться целевая аспирантура. Появились первые выпуски аспирантуры, особенно на кафедре технологии машиностроения. К концу 10 пятилетки более 45% преподавателей имели ученые степени и звания.

За 10 лет объем хоздоговорных работ увеличился более чем в 3 раза и к 1980 году достиг 1млн 500 тыс. руб. Повысилась эффективность научных исследований (более 2,5 руб. на 1 руб. затрат). Вуз стал участником ВДНХ. Получила развитие научной работы студентов. На многих кафедрах организованы кабинеты текущего контроля, создан общеинститутский вычислительный центр и его филиал на машфаке, аудитория УТВ.

Партком и ректорат уделяли большое внимание внеучебной, воспитательной работе со студентами, организации их быта. Открыт студенческий профилакторий, а в городе студенческая поликлиника. В институте организовано льготное питание.

Развивалась и художественная самодеятельность, среди коллективов появилась хоровая капелла, с успехом выступавшая вместе с Ульяновским симфоническим оркестром. По инициативе комсомольцев РТФ один из залов столовой был переоборудован в дискотеку.

*(За инж. кадры.- 1982 год. – 2 июня)*

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА**

Известно, что высшая школа должна готовить специалистов, способных к самостоятельной творческой работе, умело сочетающих теорию с практикой и способных не только полностью использовать современную технику, но создавать технику будущего.

Поэтому одной из самых важных проблем высшей школы является поддержание преподавания на современном уровне развития науки и техники. Совершенно очевидно, что возникновение и развитие высшего образования немыслимо без науки, но и без высшего образования невозможно непрерывное развитие науки. Это как две стороны одной медали.

Необходимость связи преподавания с научной деятельностью наиболее ярко выразил великий русский хирург, анатом и педагог Николай Иванович Пирогов. Он писал: «Отделить учебное от научного в университете нельзя... Научное без учебного все-таки светит и греет, а учебное без научного только блестит».

Из этого следует, что одним из главных условий успешной работы кафедры является активное участие всех ее преподавателей в научных исследованиях по профилю кафедры. Именно по профилю, т. к. студент должен получить представление о процессе формирования данной отрасли науки, о ее взаимодействиях и связях с другими отраслями научных знаний, и, наконец, о перспективах ее развития. Без этого нельзя подготовить широко образованного специалиста, способного к самостоятельной работе. Но это делать может только преподаватель, занимающийся научной работой, связанной с его преподавательской деятельностью. Однако у нас есть значительное число преподавателей, которые такую работу не проводят. Об этом говорят и результаты ежегодного проведения итогов научной активности профессорско-преподавательского коллектива. К сожалению, при подведении итогов не анализируется в какой степени научная работа того или иного преподавателя отвечает требованиям учебного процесса, профилю подготовки специалиста. Очевидно, в сведениях кафедр должна указываться конкретная дисциплина, при преподавании которой используются результаты научной работы.

При отсутствии такой связи «учебное без научного – по словам Н.И. Пирогова – только блеснит».

Необходимо указать и на то, что у нас сейчас наблюдается старение педагогических кадров и практически отсутствует рост числа преподавателей со степенями и званиями. Необходимо принимать меры по исправлению этого. У нас есть опыт подготовки кандидатов и докторов наук, накопленный, например, докторами Л.В. Худобиным, В.И. Шараповым и другими. Однако значительное число докторов и профессоров стоят в стороне от этого важного дела, хотя в соответствии с Положением «Высшей школы» подготовка научных кадров является их основной работой. Для повышения ответственности профессуры нужно

использовать систему рейтинга научной активности сотрудника. Доктор и профессор при любых баллах не могут быть лидерами научной активности, если они не выполняют своей основной работы.

Научный подход к подготовке инженерных кадров требует от кафедры и выполнения научных исследований по совершенствованию самого учебного процесса. Однако в перечне научных работ университета, да и в кафедральных планах, вы не обнаружите таких работ. Здесь важными являются, например, исследования организации самостоятельной работы студентов, которая проявляется двояко в виде самообразования и в процессе выполнения индивидуальных заданий, например, курсового проектирования.

Самообразование прежде всего характерно для заочной (дистанционной) формы обучения. Однако, цель высшего образования вообще – научить студента самостоятельно учиться. Только в этом случае после окончания вуза он сможет пополнять свои знания и осваивать новую технику. Ясными и твердыми являются только те знания, которые добываются самостоятельным трудом. Здесь можно сослаться на Николая Гавриловича Чернышевского, который, еще будучи студентом, решительно выступал за самостоятельное изучение наук. В деятельности профессора он считал главным на чтение лекций, а написание учебников, А великий русский педагог Константин Дмитриевич Ушинский назвал учебник «фундаментом солидного образования». К сожалению, за всю историю существования нашего университета было подготовлено и опубликовано центральными издательствами с грифом министерства всего четыре учебника и несколько учебных пособий.

Вторая форма самостоятельной работы студента связана с домашними заданиями, подготовкой к лабораторным занятиям, курсовыми и дипломными проектами, т.е. со всеми видами учебной работы. Они должны быть обеспечены методическими пособиями, разработанными

кафедрой. При этом объем заданий должен соответствовать отводимому времени на его выполнение. Это главное. К сожалению, объем задания, например, на курсовое проектирование в ряде случаев определяется произвольно преподавателем. Оно не увязывается ни с бюджетом времени, ни с заданиями по другим дисциплинам. В среднем на самостоятельную работу студенту отводится четыре часа в день. Вот эти часы и нужно распределить между всеми дисциплинами не административным путем, а на основе научных исследований места и роли дисциплины в формировании специалиста.

С этого нужно начинать, а затем приступить к определению объема задания в соответствии с выделенным временем на его выполнение. На некоторых кафедрах Московского энергетического института предлагаемое задание детально обсуждается и его сначала выполняет сам преподаватель, а затем, на основе анализа трудозатрат студентов, вносятся окончательные коррективы в объем задания. У нас же в университете почему-то уклонились от обсуждения даже рукописи учебника, подготовленного к четвертому изданию. Основываясь на опыте Московского энергетического института, я провел работу со студентами при выполнении ими курсового проекта по релейной защите и обнаружил некоторую перегрузку студентов. Но это единичный случай такой работы. Поэтому научные исследования, направленные на обоснование объема задания должны получить у нас поддержку. Очевидно, должны быть общие методические указания по разработке и планированию заданий для самостоятельной работы студента. Теперь о самих методических пособиях. Безусловно, они должны быть откорректированы и периодически обновляться. Вместе с тем, нужно исключить выпуск пособий по работе, которая не предусмотрена учебным планом, например, по курсовому проектированию. Это только загружает нашу типографию и захламляет библиотеку, но почему-то повышает рейтинг преподавателя. В связи с

этим желательна периодическая информация библиотеки об использовании студентами наших методических пособий. Востребованность этих пособий – хороший показатель работы преподавателя.

Кафедра – это коллектив единомышленников. Чтобы это было так, необходим постоянный обмен знаниями и опытом работы в вузе. Особенно это важно для преподавателей с малым опытом работы в вузе.

Наиболее эффективными формами передачи опыта являются взаимные посещения занятий, семинара опытных преподавателей, консультации. Общие методическое руководство преподавателями конкретной дисциплины осуществляет лектор. Вспоминаю учебу в Московском энергетическом институте. Лекции по дисциплине «Электрические станции» читал известный в стране ученый Александр Александрович Глазунов. Вместе с нами его лекции посещал и преподаватель, который вел у нас лабораторные работы и руководил курсовым проектированием. К сожалению, некоторые заведующие кафедрами у нас считают, что все это ни к чему. Пусть каждый работает как может. При этом работа преподавателя часто оценивается субъективно, не по истинным знаниям студентов, а по оценкам, которые выставляет сам преподаватель. Этому способствует и отсутствие в ряде случаев единых требований на экзаменах. На основе исследований и опыта преподавателей желательно выработать и использовать наиболее эффективную форму проведения экзамена, которая позволила бы студенту показать глубину знаний, логику мышления, отношения к тем или иным научным идеям. Очевидно, программированный контроль знаний не может быть применен на экзаменах. Он может быть использован студентом для самоконтроля, когда достаточным является проверка формализованных знаний фактов, наименований, фамилий, дат.

Требуются научные исследования и выяснения, в чем и по каким дисциплинам программированное обучение может быть полезным.

Такая задача была поставлена еще в 1966 г. на Первой Всесоюзной конференции по программированному обучению.

Сейчас, в связи с компьютеризацией учебного процесса, работа эта тем более должна проводиться на научной основе. Научный подход к подготовке инженерных кадров требует координации всех видов методической работы. Для этой цели в Казанском авиационном институте наряду с методическими комиссиями факультетов создан научно-методический совет института. Руководит им проректор по учебной работе. Задача совета - устанавливать структурно-логические связи изучаемых дисциплин, устранять дублирование, устанавливать перечень методических пособий. Совет организует систематический контроль за состоянием учебно-методической работы и качеством учебной работы. Это способствует укреплению дисциплины и ответственности преподавателей за результаты своей работы. Думается мы можем использовать опыт Казанского авиационного института. Нужно также разработать положение, которым следует пользоваться при проверке кафедр. Сказанное здесь в той или иной степени желательно отразить в этом положении.

***В.А. АНДРЕЕВ, доктор технических наук,  
профессор.***

***(Университет. панорама - 2004 год -29 сентября.).***

## **ВЫСТУПЛЕНИЕ**

**проф. Андреева В. А. на Совете института в 1985 г.**

### **«ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПУСКА УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ»**

В планировании и организации выпуска учебной литературы для высших учебных заведений страны продолжают иметь место недостатки. Устранение этих недостатков и совершенствование всей работы по выпуску учебников, по нашему мнению, должно идти по пути максимального обеспечения учебниками дисциплин, предусмотренных в учебном плане; научного обоснования объема учебника и более полного его соответствия учебному плану и учебной программе; значительного сокращения сроков их выпуска; повышения ответственности учебно-методических советов и комиссий за планирование и организацию выпуска всей учебной литературы.

1. Отсутствие учебников по многим, прежде всего, специальным дисциплинам можно показать на примере специальности 0303 – «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства». Подготовка инженеров по этой специальности организована более 20 лет назад. Однако, до сих пор большинство специальных дисциплин не обеспечено учебниками, и студентам рекомендуется учебная литература, написанная для других специальностей. Ни по объему, ни по содержанию эта литература не соответствует учебному плану и учебным программам. За 20 лет существования специальности подготовлено и выпущено всего лишь два учебника. Один по дисциплине "Электроснабжение", другой - по "Релейной защите, автоматике и телемеханике систем электроснабжения". Приведенный пример подтверждает необходимость изучения обеспеченности учебниками не

отдельных дисциплин, а специальности в целом. Это позволит исключить ошибки в планировании и организации выпуска учебной литературы.

2. Сроки переиздания учебников, особенно по специальным дисциплинам, должны быть упорядочены и значительно сокращены. Это необходимо в связи с быстро растущим потоком научно-технической информации. Сейчас Минвуз СССР, сообразуясь с темпами научно-технического прогресса, каждые пять лет утверждает новые учебные планы. Такая периодичность, очевидно, оптимальна. К сожалению, с такой частотой обновляются только учебные планы и программы. Сроки же переиздания учебников обычно превышают пять лет. Для общенаучных и общетехнических дисциплин такое положение можно считать нормальным. Что касается учебников по специальным дисциплинам, то они должны переиздаваться так, чтобы новому учебному плану и новым программам соответствовали и новые издания учебников, т.е. сроки переиздания не должны превышать пяти лет. Сейчас это положение не выдерживается. Поэтому, строго говоря, только в редких случаях специальные дисциплины подкрепляются соответствующими учебниками, удовлетворяющими требованиям программы. Сократить сроки переиздания учебников можно, прежде всего, за счет уменьшения времени от момента заключения договора до момента выпуска учебника. Сейчас в издательстве "Высшая школа" это время определяется обычно четырьмя годами. В ряде случаев из-за отсутствия бумаги сроки удлиняются. Так, например, произошло с учебником по дисциплине "Релейная защита, автоматика и телемеханика систем электроснабжения". Договор с автором заключен в декабре 1980 года. Учебник должен выйти в 1984 году. Однако, из-за отсутствия бумаги из плана выпуска он снят. Таким образом, для того, чтобы следовать за учебными планами и программами, необходимо принимать меры к сокращению времени от момента заключения договора

до момента выпуска учебника, или сразу же после выхода учебника заключать договор на его переиздание.

3. Объем учебника должен быть научно обоснован. Сейчас Минвуз СССР и издательство "Высшая школа" при определении объема учебника исходят только из общего числа часов по дисциплине. При этом не учитываются характер и особенности дисциплины, отраженные в учебной программе. Такой подход нельзя считать объективным. Показать это можно на примере сопоставления дисциплин учебного плана по специальности "Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства". Таким образом требуется дальнейшая научно-методическая работа по отысканию критериев оценки объема учебника.

4. Соответствие учебников учебным планам и программам - необходимое условие интенсификации учебного процесса. Такое соответствие может быть достигнуто, если к разработке новых учебных планов и составлению учебных программ будут привлекаться и авторы учебников. Это позволит избежать недоразумений, которые имели место в варианте учебного плана специальности "Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства», разработанным МЭИ. В этом плане, без должного обоснования, было предложено изменить название ряда дисциплин. По одним из них имеются учебники, изданные сравнительно недавно, а по другим - учебники с прежним названием дисциплин находятся в производстве.

При Минвузе СССР имеются учебно-методические советы, в состав которых входят и комиссии по специальностям. По нашему мнению, авторитет и возможности этих совещательных органов при министерстве используются пока не полностью. Учебно-методические советы и комиссии должны с большей активностью и ответственностью подключиться к работе по формированию авторских коллективов,

планированию выпуска всей учебной литературы, добиваться единства между учебниками, учебными планами и программами.

**АНДРЕЕВ В. А. “РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
И АВТОМАТИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ”**

**Учебник для вузов по спец. «Электроснабжение». — 3-е изд., перераб.  
и доп. М.: Высшая школа, 1991. — 496 с.**

При подготовке инженеров по электроснабжению одной из основных дисциплин является релейная защита и автоматика, формирующая знания в области комплексной автоматизации систем электроснабжения. Рецензируемый учебник является единственным по указанной дисциплине.

Одические принципы, положенные в основу первого издания учебника и определившие его форму и содержание, получили дальнейшее развитие во втором и третьем изданиях. В частности, впервые реализована идея о целесообразности совместного рассмотрения релейной защиты и автоматики как единого комплекса применительно к конкретному элементу системы электроснабжения: линии, генератору, трансформатору, электродвигателю и др. Это важно, поскольку при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения инженер имеет дело с конкретной электроустановкой и ее устройствами защиты и автоматики, которые тесно связаны между собой, дополняют друг друга, влияют на выбор параметров схемы. Пятнадцатилетний опыт использования первого и второго изданий учебника подтвердил высокую эффективность такого изложения материала. В связи с этим совершенно оправдано сохранение автором этой принципиальной особенности учебника и в третьем его издании.

Устройства релейной защиты и автоматики состоят из функциональных элементов. Поэтому нельзя не согласиться с автором, что принципы действия этих устройств, их выполнение, выбор параметров

можно понять, изучив предварительно общие принципы работы, характеристики и способы реализации функциональных элементов. Исходя из этих посылок, весь материал учебника весьма удачно расположен в трех разделах: элементы устройств релейной защиты и автоматики; защита и автоматика линий электропередачи; защита и автоматика элементов станций, подстанций и потребителей электроэнергии. Дисциплина релейная защита и автоматика является общей для всех специализаций специальности 1004. Поэтому в учебнике изложены, прежде всего, ее основы, единые для всех специализаций. Наряду с этим показаны и особенности устройств в различных системах электроснабжения, дается большой перечень литературы. Это — достоинство учебника, так как его можно использовать совместно с другой учебной литературой в процессе преподавания специальной дисциплины для соответствующей специализации.

В отличие от предыдущего издания рецензируемый учебник кардинально переработан. Объединены, в частности, второй и третий разделы. В связи с этим изменен порядок изложения материала, при котором лучше обеспечиваются общие логические требования. Более удачным в этом отношении является и последний раздел.

В области релейной защиты и автоматики систем электроснабжения в последние годы произошли существенные изменения, которые достаточно полно отражены в учебнике. Так, основой этих устройств стала полупроводниковая элементная база. В связи с этим автором коренным образом переработан первый раздел и значительно расширена его глава, посвященная полупроводниковым элементам, а в соответствующие главы других разделов включены сведения о современных устройствах защиты и автоматики, выполненных на основе микроэлементной базы.

В подготовке высококвалифицированных специалистов первостепенное значение имеет интеграция учебной и научной работы.

Научная работа в области релейной защиты и автоматики, проводимая многие годы автором и его учениками, тесным образом связана с профилем подготовки инженеров по специальности «Электроснабжение». Поэтому результаты этой работы органически вошли в содержание учебника. Так, в первом разделе использованы результаты исследований, обосновывающих необходимость создания управляемых и жидкометаллических предохранителей как устройств защиты элементов системы электроснабжения, изложены возможные принципы управления и рассмотрены конструкции управляемых предохранителей напряжением 0,4—110 кВ, в основу которых легли изобретения автора.

Во втором разделе учебника использованы сведения, опубликованные в статьях, изложенные в авторских свидетельствах и сборниках научных трудов о защите городских замкнутых сетей, комплексной защите от всех видов повреждений в системах сельского электроснабжения, усовершенствованной защите, устанавливаемой на автоматических выключателях, обладающей повышенной чувствительностью к однофазным к.з., и результаты исследований режимов работы сетей до 1 кВ, на основе которых разработаны эти защиты.

Известны трудности достижения необходимых чувствительности, селективности и быстродействия токовых защит в системах сельского электроснабжения напряжением 6—20 кВ. В учебнике использованы результаты исследования переходных процессов в этих сетях и рассмотрена токовая защита, действие которой определяется содержанием третьей гармонической в токе повреждения. В таких сетях часто повреждаются трансформаторы напряжения для контроля изоляции. В связи с этим ценным является включение в учебник результатов исследования путей устранения указанного недостатка. Предложена защита трансформатора напряжения, а также даны сведения о возможных

устройствах бестрансформаторного контроля изоляции. Во втором разделе учебника отражены также исследования, связанные с совершенствованием поперечных дифференциальных защит двух и трех параллельных линий.

В третьем разделе результаты исследований использованы при рассмотрении защиты трансформаторов и подстанций без выключателей со стороны высшего напряжения. Определена область применения плавких предохранителей. Показана необходимость при выборе номинальных токов плавких вставок учитывать АПВ и дана методика этого учета. Обоснована целесообразность применения для защиты трансформаторов управляемых предохранителей. Показано, что для подстанций без выключателей на стороне высшего напряжения, например в системах сельского электроснабжения, достаточно иметь простейшие устройства телемеханики, способные эффективно работать в сочетании с различной аппаратурой высокочастотной связи, и рассмотрен один из разработанных вариантов такого устройства.

В качестве устройства защиты и коммутации электродвигателей напряжением до 1 кВ широко применяются магнитные пускатели в сочетании с плавкими предохранителями. Рассматривая защиту электродвигателей, автор справедливо указывает на некоторые недостатки такого устройства, в частности, на наличие контактной системы и создание неполнофазных режимов при нарушении цепи плавкой вставки одного из предохранителей. Исследования автора и его учеников позволили создать тиристорный пускатель с жидкометаллическими самовосстанавливающимися предохранителями без указанных недостатков. Принцип действия, принципиальная схема и выбор параметров одного из вариантов такого устройства рассмотрены в учебнике.

В целом учебник является примером широкого использования результатов научных исследований автора в учебном процессе. В нем в соответствии с программой на основе предложенной методики

осуществлено теоретическое обобщение сведений о современных устройствах защиты и автоматики систем электроснабжения, обоснована необходимость и отмечены тенденции совершенствования этих устройств.

**АРЗАМАСЦЕВ Д. А., ПОЛЯКОВ В. Е.,**  
*доктора техн. наук*  
*Свердловский политехнический институт.*  
*(Журнал «Пром. энергетика». – 1992. - № 8-9.)*

**СОСТОЯЛАСЬ ПРЕЗЕНТАЦИЯ УЧЕБНИКА ПРОФЕССОРА  
В. А. АНДРЕЕВА**



**Василий Андреевич Андреев**

Заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный гражданин Ульяновской области, действительный член Международной энергетической академии, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» Ульяновского государственного технического университета. Автор нескольких учебников, монографий и учебных пособий, среди них учебники «Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения» (1985) и «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения» (третье издание, 1991); монография «Исследование, разработка и внедрение устройств комплексной автоматизации систем электроснабжения – единый процесс учебной и научной работы» (1998); учебное пособие «Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах» (2001).

**В.А. Андреев**

**Релейная защита  
и автоматика  
систем  
электроснабжения**

Издание четвертое,  
переработанное и дополненное

*Допущено Министерством образования  
и науки Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Электроснабжение»  
направления подготовки «Электроэнергетика»*



Москва  
«Высшая школа»  
2006

**8 июня в читальном зале Научной библиотеки УлГТУ состоялось  
исключительно значимое для нашего университета событие -  
презентация четвертого издания учебника профессора В. А. Андреева  
“Релейная защита и автоматика систем электроснабжения”.**

Много замечательных слов было сказано в тот день в адрес учебника, и, конечно же, его автору - Василию Андреевичу Андрееву. Открыл презентацию проректор по учебной работе С. Я. Королев, выступили проректор по научной работе Н. Г. Ярушкина и профессор Л. В. Худобин, бывшие аспиранты Василия Андреевича, а ныне доценты кафедры “Электроснабжение” А. Л. Плиско и В. П. Свиридов, от имени бывших студентов сказал свое слово заместитель главного энергетика “Авиаастара” Л. В. Ефимов. Автора поздравляли не только бывшие ученики и специалисты. Вышли к трибуне С. Т. Гончар, председатель профкома, полковник Л. С. Ямпольский, начальник военной кафедры, Т. М. Смирнова, директор научной библиотеки, В. В. Носов, преподаватель кафедры “Физвоспитание” и другие.

Что касается оценки учебника, то сначала сообщим мнение официального рецензента Н.И. Овчаренко, доктора технических наук, профессора кафедры “Релейная защита и автоматизация электротехнических систем” Московского энергетического института. Вот что он пишет: «Профессор Андреев В.А. еще при первом издании учебника, поставивший задачу создания по существу нового в методологическом и учебно-методическом отношениях курса лекций по органически сочетаемым взаимодействующим устройствам релейной защиты, автоматики и телемеханики системы электроснабжения, отражающего современные научные разработки, полностью справился с ней уже во втором издании».

Оригинальное, отличающееся от известных отдельных учебников и учебных пособий по релейной защите, автоматике и телемеханике, изложение и методологические обобщения принципов действия, способов технического выполнения и расчетов параметров настройки взаимодействующих автоматических устройств управления и защиты

систем электроснабжения, показали учебно-методическую целесообразность с точки зрения эффективности для учебного процесса постановки такого обобщенного курса лекций и создания по нему учебника. Весьма полезным в указанном смысле явилось, хотя и краткое, но органически вписывающееся в общий стиль учебника рассмотрения основных функциональных элементов автоматических устройств.

В третьем издании учебника, выпущенного издательством “Высшая школа” в 1991 году, исключены сведения о телемеханики в соответствии с требованиями программы по дисциплине “Релейная защита и автоматика систем электроснабжения”, но учебник дополнен функциональными элементами и автоматическими устройствами, выполненными на современной аналоговой микроэлектронной элементной базе, и намеченной перспективой развития цифровых микропроцессорных автоматических устройств. Степень обоснованности методологических и научных положений, выводов и рекомендаций автора, изложенных в учебнике, подтверждаются длительным его использованием вузами России и других государств СНГ как по существу единственного и основного в учебном процессе, подтверждается экспериментально опытом эксплуатации устройств, разработанных автором или с его участием. Необходимость четвертого издания учебника вызвана, прежде всего, появлением значительного числа новых устройств защиты и автоматики на основе аналоговых и цифровых интегральных микросхем, а также программных устройств защиты и автоматики на основе микропроцессорной элементной базы и микро-ЭВМ.

В связи с этим потребовалось коренным образом переработать все три раздела учебника. Так, в первом разделе, переработана и значительно дополнена третья глава - полупроводниковая и микропроцессорная элементная база. Второй раздел завершается новой главой -

микропроцессорные комплектные устройства релейной защиты, управления и автоматики линий электропередачи напряжением 6-10 кВ. В третий раздел включены параграфы о микропроцессорных комплектных устройствах синхронных генераторов, трансформаторов, асинхронных и синхронных электродвигателей. Имеются и другие дополнения. Так, например, в введении дополнены сведения об электрических сигналах, второй раздел дополнен материалами о выборе измерительных трансформаторов тока и новыми сведениями о защите от замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью. Учебник содержит уточненные и более обоснованные автором методики расчетов параметров настройки автоматических устройств, рекомендации по выбору их параметров.

Научная новизна четвертого издания учебника состоит не только в изложении новейших разработок устройств релейной защиты и автоматики ведущих электроэнергетических научно-исследовательских организаций, но, главное, в ее насыщенности теоретическими и практическими материалами, отображающими, в том числе, результаты собственных научных исследований и разработок автора. Что касается практической ценности четвертого издания учебника, то он, как и прежде практически остается единственным для специальности “Электроснабжение” многочисленных вузов страны.

Содержание полностью соответствует образовательной программе по дисциплине “Релейная защита и автоматика систем электроснабжения”, входящей в учебный план, разработанный на основе Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению инженерной подготовки 650900 “Электроэнергетика” специальности 100400 “Электроснабжение”.

Выступавшие на презентации подтвердили справедливость оценки профессора Н. И. Овчаренко - это учебник, равного которому в этой

области не было, и пока не предвидится (до тех пор, пока Василий Андреевич не выпустит пятого), и объяснили причину такого успеха.

Первая причина: до 1965 года для преподавания дисциплин релейная защита и автоматика систем электроснабжения использовались учебники по релейной защите и по автоматике, написанные для специальности “Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем”. В. А. Андреев уже в первом издании рассматривал их в комплексе. Жизнь подтвердила правильность такого решения - на современном этапе развития техники, когда в релейной защите используются цифровые технологии, преимущества такого подхода очевидны.

Второе: главный принцип работы над учебником - обеспечение единства научного и учебного процесса. Творчески воплощая его, В. А. Андреев использовал в качестве учебного материала самые современные разработки в этой области, в том числе - результаты своей научной работы, работы ученых кафедры “Электроснабжение”, которыми он руководил, что и обеспечило актуальность и огромную практическую ценность четвертого издания.

Другая важная особенность учебника: логичность структуры, доступное изложение материала. Здесь не просто дается материал, который можно выучить и сдать, - автор добился того, чтобы студент и после окончания университета смог самостоятельно пополнять свои знания. Поэтому и после защиты диплома учебник В. А. Андреева остается настольной книгой для любого специалиста, работающего по этому профилю.

Это классический российский учебник советской школы, который вот уже более сорока лет занимает лидирующее положение в этой отрасли, возглавляет списки литературы по специальности и является одним из наиболее востребованных в нашей библиотеке.

Неудивительно, что этот учебник издается в четвертый раз. Даже одно переиздание - серьезная проверка на прочность, что же говорить о четвертом? Ни один из ученых УлГТУ (а среди них немало таких, чьи имена широко известны не только в России, но и за рубежом) не может похвастаться таким рекордом: созданием учебника, который сорок лет остается единственным для целой специальности во всех вузах страны.

Выход нового издания - это огромный вклад одного из ведущих ученых нашего университета в развитие учебного процесса и крупнейшее событие в сфере издания учебной литературы.

***А.М. ЛОБИН***

***(Университет. панорама. - 2006. - 16 июня.)***

## **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА – ЭТО ПОЭМА (НОСТАЛЬГИЯ ЭКС-СТУДЕНТА ПО ALMA MATER)**

Итак, друг мой, наступил тот судьбой назначенный день, с которого жизнь моя потекла по руслу, строго перпендикулярному тому направлению, которое было спланировано заранее, день, когда у меня открылись глаза, а может быть окончательно закрылись, и все встало с головы на ноги, а может быть наоборот - день экзамена по релейной защите. Стоит ли говорить, ваш покорный слуга прибыл на ристалище во всеоружие; при шпорах, с бомбами различной мощности за пазухой и с верным путеводителем за поясом - учебником, собственноручно написанным человеком, перед которым и приходилось держать экзамен, профессором Андреем Васильевичем Васильевым. («Шпоры», «бомбы» - мощное оружие, помогающее опытному студенту выйти победителем из любой, самой ожесточенной битвы с преподавателем). Этот многодумный муж, широко известный в узких научных кругах, уже тогда слыл поэтом среди профессоров и профессором среди поэтов. Поговаривают даже, что

Андрей Васильевич собирался прибегнуть к ямбам и хорям, дабы изложить поэтической строкой содержимое учебника по релейной защите в его втором издании, и лишь закоренелый консерватизм академических кругов не позволил поступить ему столь дерзновенно.

- А! Входи, юноша, - высокий голос профессора пронзил меня насквозь и отбросил на дверной косяк, едва я проник в аудиторию - Я слышал, что ты считаешься пиитом среди студентов. Так, порадуй старика, не томи слух печальной прозой. Но облачи в сладкозвучные рифмы свои познания в области релейной защиты, - усмешка тронула его губы.

- Позвольте, профессор, - смутился я. - Я балуюсь иногда рифмами, дабы занять свой досуг во время лекций или сочинить легкую эпиграмму, но коснуться блудливым пером высокой науки мне и в голову не приходило. Воля ваша, профессор, я в смятении.

- Вот и опиши свое смятение, - засветился от предвкушения удовольствия Андрей Васильевич, порядком утомившись выслушивать псевдоученый бред моих лишенных поэтического дара соратников, и не забудь увековечить в стихах своего товарища Курбана, который не вникнув в суть билетных вопросов, трудолюбиво законспектировал не одну главу из моей последней книги.

В следующий миг я уже пил из рук своей Музы золотистый мускат чудеснейших рифм.

- Ну, что готово? - вернул меня к реальности профессор.

- О, да, - в поэтическом экстазе заорал я, повергнув в трепет своих бедных сокурсников, и, представ пред очи этого чародея реле времени и четырехстопного ямба, впери в него безумный взгляд.

- Ну что же, сын мой, ответь мне по существу на вопросы твоего билета.

Я бессвязно и торопливо выплеснул все скудные познания в области релейной защиты, спеша перейти к основной части.

- А теперь стихи, - проронил профессор с нарочитой скукой, за которой скрывался напряженный интерес мастера к юному дарованию.

*- Молчит учебник под одеждой.*

*Молчат безмолвные уста, - начал хриплым от волнения голосом.*

*Сижу без страха, без надежды,*

*Не поднимая глаз с листа.*

*Курбан, а что с тобой случилось?*

*Что вежды влагою полны?*

*К одной душа моя стремилась...*

*В одну с тобою мы влюблены -*

*В релейную защиту...*

- Bravo! - донесся чей-то тихий вздох среди восхитительной тишины, и я в изнеможении рухнул на стул.

- А ведь мне тоже на ум пришли несколько строк, которые я посвящал Вам, коллега! - влажным от нахлынувших чувств голосом сказал профессор после роскошной паузы. И отныне, где бы мне ни пришлось читать свои произведения, я буду говорить, что нижеследующие стихи я посвятил этому юному повесе...

Ах, друзья мои, я не помню тех стихов, я их не слышал, целиком погруженный в свершившееся у всех на глазах таинство рождения своей поэтической жемчужины из воздуха, из эфира, из ничего...

- Идите, - произнес профессор, протягивая мне зачетную книжку и пряча слезы... - ваш ответ достоин двойки, но художника обидеть легко, труднее помочь. Я вам поставил «удовлетворительно». Ну, ступайте, ступайте, - и он отвернулся к окну.

И тут я понял, что моя страсть к энергетическим наукам - мираж, дым, и он рассеялся: моя любовь к электрическим сетям - сладостная болезнь, и я выздоровел...

**ПАВЕЛ МИХАЙЛОВ**

P. S. По вполне понятным причинам все имена изменены, но узнаваемы.

### **Раскрывая инкогнито**

Конечно, редакция не очень долго думала и совещалась, чтобы высчитать, кто герой повествования о релейной защите. Известный профессор нашего института, активный автор вузовской многотиражки благосклонно отнесся к перспективе раскрытия его почти инкогнито. Василий Андреевич Андреев, любитель побаловаться озорным виршем подтвердил, что рассказ Михаила Павлова почти документален. Сам профессор описанный эпизод прекрасно помнит, и даже не забыл те стихи, которые написал тогда же на экзамене, в пару к виршам студента М. Павлова. Эпиграмма В. А. Андреева отражала невысказанные мысли экзаменуемого. Вот эти строки:

*Я весь дрожу. Чего же боле?*

*Я разучился говорить.*

*Теперь, я знаю, В вашей воле*

*Меня стипендии лишитъ.*

*Но я прошу Вас - не спешите!*

*Сначала взвесьте, что Вас ждет.*

*Меня стипендии лишите,*

*А Вам за это попадет.*

- И он был бы прав, честное слово, - рассмеялся профессор В.А.Андреев, завершив цитирование своей давней эпиграммы. - Тогда сильно заботились о проценте успеваемости... Но самодеятельность в те

времена была отменная! Одна капелла чего стоила! А инструментальные ансамбли! А конференсье! Действительно была массовая самодеятельность! И, по-моему, так было потому, что организовывали ее все сверху донизу, начиная с первого лица.

*М. МИХАЙЛОВА.*

*(«Ульян. политехник». – 1992. – 15 окт.)*

## **СТУДЕНЧЕСКИЕ СТРАДАНИЯ**

Мне релейная защита  
Не дает спокойно спать.  
Сколько времени убито,  
А конца все не видать.

Мудрость этого предмета  
Изучаем целый год –  
Дребедень сплошная эта  
Нас до ручки доведет.

И теперь мне не до смеха,  
Я не верю в чудеса.  
Пропадай моя телега –  
Все четыре колеса.

*(В.А. Андреев)*

## ПЛОДЫ ПРОСВЕЩЕНИЯ

*Контрольная работа по релейной защите в связи с самоаттестацией.*

*Студент Михаил Аранов, группа ЭД-42, 18 марта 1992 года.*

Поэзия - большая сила,  
И много в мире уж стихов.  
Про женщин, о цветах, о мире  
И уж, конечно, про любовь.  
Но нет стихов, и не ищите,  
Вы о релейной о защите.  
Так вот, томясь от мысли страстной,  
Труды Андреева прочтя,  
(И день тот был как раз прекрасный)  
На подвиг все ж решился я.  
Я расскажу Вам, не взыщите.  
Лишь о продольной, о защите  
В основе тут сравнение токов,  
Об этом знает даже Боков,  
В вопросе этом каждый дока,  
Здесь нужен трансформатор тока.  
Теперь реле одно берем.  
Соединяем все и ждем.  
И незачем нам здесь гаданье.  
Режим нормальный, все путем.  
Да и при внешнем замыкании  
Молчит защита ночью, днем.  
Да! Было много ахов, охов  
Секрет же прост - сравнение токов.

Когда же в зоне замыканье.  
То от источника питания  
В обмотке ток один течет,  
Второго нет, и он не в счет.  
Реле же тока тут как тут,  
И слышен лишь контактов стук.  
И, как корабль от мели,  
Защитой линию спасли.  
Когда ж питание с двух сторон,  
И вновь возникло поврежденье,  
Меняют токи направленье.  
А их суммарное значение  
Начнет уставку превышать,  
Реле сработает опять.  
Все это б было идеально,  
И для реле весьма похвально.  
Ну, а в защите все сложнеей.  
Ведь трансформаторы на ней  
Свои погрешности имеют,  
Поэтому ток небаланса есть,  
И это нужно нам учесть.  
Кто этого не понимает,  
Тот пусть учебник прочитает  
И сходу сразу все поймет,  
Коль хочет получить зачет.  
На этом кончу свой рассказ.  
Защита эта - просто класс.  
Не пропадет пусть скромный труд  
Мне, думаю, его зачтут.

## РЕЦЕНЗИЯ

Ты, ЭМ Арапов, молодец.  
За этот труд тебе награда  
Теперь защита, наконец,  
В стихах изложена, как надо.  
И сам Андреев спасовал.  
Не смог с тобой соревноваться,  
Его сразил ты наповал,  
Теперь ему не оклематься.  
Твои релейные стихи  
Войдут в историю науки.  
Ты искупил свои грехи,  
Изведав творческие муки.  
Твой опыт я б распространил  
На весь период обучения.  
Друзья! Не пожалеем сил,  
Освоим труд стихосложенья.

*Рецензент Профан. Д“РЕ.*

*(«Ульян. политехник». – 1992. – 9 апр.)*

## ПЛОДЫ ПРОСВЕЩЕНИЯ

*ВОДЕВИЛЬ В ОДНОМ ДЕЙСТВИИ.*

*АВТОР - ПРОФАН Д “РЕ.*

**Действующие лица:**

Пал Палыч - профессор,

Иванов - студент,

Петров - студент,

Сидоров и другие - студенты.

## *ДЕЙСТВИЕ ПЕРВОЕ И ЕДИНСТВЕННОЕ*

*Аудитория. Не менее 30 студентов в ожидании прихода Пал Палыча под руководством старосты разучивают гимн студентов энергетического факультета на мотив известной песни из кинофильма о летчиках Отечественной войны.*

*Гимн подготовлен патриотами факультета, в связи с предполагаемым его суверенитетом.*

*Студенты поют:*

-Мы, энергетики, гетики, гетики

Нам не страшны экзаменационные билетки.

Нас спросят раз и спросят два,

А нам все это трын-трава.

Пускай болит у деканата голова.

Припев:

Пора деканату

Начать скорее отрабатывать зарплату,

Чтоб наш энергофакультет

Добился всяческих побед.

А нам, студентам, сохранили студбилет.

Сейчас перестройка.

Мы не тщеславны, нас устроит даже тройка,

А чтобы тройку получить,

Не нужно ничего учить.

Нам ниже тройки не осмелятся всучить.

*Звенит звонок. Открывается дверь и пружинистой походкой  
входит Пал Палыч. Студенты прекращают пение и встают.*

*Пал Палыч:*

- Привет, друзья, прошу садиться  
Какие счета, что за честь.  
Теперь все это не годится,  
Теперь сочтут это за лесть.  
*Идет по проходу между рядами.  
Подходит к Иванову и протягивает ему руку.*

- Поверьте, для меня не бремя  
Любому руку потрясти.  
Спасибо, друг, нашел ты время  
Ко мне на лекцию прийти.

*Подходит к Сидорову. Благодарит и его.*

- Спасибо, друг мой, за вниманье.  
Ты это делаешь любя.  
Скажи, домашнее заданье  
Не очень мучает тебя?  
Возможно, что-нибудь не так?  
Так ты скажи, я вмиг исправлю.  
Не надорвись, не будь дурак.  
Ну, а зачет - зачет поставлю.

*Сидоров, прослезившись:*

- Вот это да! Вот перестройка!  
Теперь нам, братцы, можно жить!

Меня вполне устроит тройка.  
Когда с зачеткой приходите?

*Пал Палыч:*

- Вы, что, друзья, не обижайте.  
Я с радостью приду к вам сам.  
Вы только адреса мне дайте,  
И я пойду по адресам.

*Возвращается на кафедру:*

- Прошу высокое собрание  
Любезно выслушать меня.  
Настал мой срок переизбрания,  
Мне аттестация нужна.

И потому мне не до смеха.  
Дано вам право оценить,  
Гожусь ли я для политеха,  
Могу ли вообще учить.

Поэтому приступим к делу!  
Друзья, хочу вам рассказать.  
Зачем нужны нам децибелы,  
Что ими можно измерять.

*Студенты хором:*

- Пал Палыч! Где же перестройка!  
Студуправление, наконец  
На Вас вот импортная «тройка»  
И вы сегодня молодец.

И галстук просто загляденье!  
Где удалось его достать?  
Вот это - новое мышление!  
А лекцию!.. Зачем читать?

Ваш внешний вид интеллигента  
Нам импонировал всегда.  
Не бойтесь, друг, эксперимента,  
Не подведем Вас никогда

*Петров:*

- Пусть староста раздаст анкеты,  
И мы начнем аттестовать.  
Я предлагаю все ответы  
Коллегиально обсуждать.

*Зачитывает показатель, студенты хором отвечают:*

- За внешний вид? Ему отлично!  
- За милосердье? Тоже пять!  
- За чтение лекций? Неприлично  
Такой вопрос и задавать.  
Ну что ж! Итог весьма приличный  
Виват профессору. Ура!  
Пусть избирается вторично.  
Не забываем мы добра.

*Пал Палыч растроганно:*

- Друзья мои, нельзя словами  
Сказать, поведать, как я рад.

Настали дни, и между нами  
Не будет больше баррикад.

Идет братание студентов  
И профессуры. Это да!  
Друзья, таких экспериментов  
Не знали вузы никогда.

Да! Было время. Честь по чести  
Студент учился, я учил.  
Теперь мы учимся все вместе,  
И это придает нам сил.

Те дни давно канули в Лету,  
И нам не стоит вспоминать,  
Когда студента по билету  
Доцент мог день и ночь пытаться.

*Студенты хором:*

- Сейчас же все переменялось,  
Теперь в долгу у нас доцент.  
Ему такое и не снилось,  
Пусть здравствует экс-президент!

Мы, наконец, добились права  
Друг друга экзаменовывать.  
Мы на иных найдем управу,  
На тех, кто будет нам мешать.

*Пал Палыч:*

- Ну, что ж, друзья, я снова с вами

И этому безмерно рад...

Мы вместе факультет прославим,

Пусть здравствует наш деканат!

Консенсус, други, стопроцентный.

Я рад, я тронут, я польщен.

Такой триумф беспрецедентный.

Ну, что же, братцы, я пошел.

*Направляется к двери, потом останавливается и говорит так, как будто эта мысль пришла к нему сию минуту:*

- Зачем ходить мне по домам,

Зачем вам ждать меня часами.

Зачетку заполняйте сами,

Я это разрешаю вам.

*Студенты с ликованием поют, приплясывая:*

- Перестройка, перестройка.

Можно, братцы, сачковать.

Обеспечена нам тройка.

На учебу наплевать.

*Пал Палыч производит какие-то непонятные телодвижения и вторит студентам:*

- Вашу, братцы, аксиому

Я намерен поддержать.

Теперь можно сидеть дома,

И зарплату получать.

*Звонок. Все расходятся.*

***В.А. АНДРЕЕВ, профессор***

***(Ульян. политехник – 1992 – 20 февр.)***

## **О НАШЕМ КОЛЛЕГЕ**

Ко мне обратились с просьбой выступить на страницах институтской многотиражки. «Тема выступления?» - спросил я. «На ваше усмотрение», - был ответ. Над выбором темы задумываться не пришлось - я давно хотел рассказать о В.А.Андрееве. Поводов для этого много. Достаточно вспомнить только истекший 1993 год. В нем Василий Андреевич защитил докторскую диссертацию. На защиту было представлено 3-е издание его учебника «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения». Много лет было отдано работе над этим учебником. От одного издания к другому совершенствовалась методика подачи материала, шел поиск наиболее удачной очередности рассмотрения вопросов, наиболее доходчивого способа их изложения. И результаты этой работы налицо - успешная защита. О старом учебном плане специальности «Электроснабжение» мы говорили: только одна из специальных дисциплин этого плана обеспечена вузовским учебником, и это – учебник Василия Андреевича. В типовом плане бакалавров той же специальности «Релейная защита» как отдельная дисциплина не выделена, но в составленной Московским энергетическим институтом программе в дисциплине «Электроэнергетика» вопросам релейной защиты отведено значительное место, причем, перечень этих вопросов дословно повторяет содержание учебника В.А.Андреева.

С 1993 года кафедра «Электроснабжение» начала учебный процесс по дисциплине «АСУ систем электроснабжения». За работу над этой дисциплиной взялся Андреев. Соответствующего учебника или учебного пособия нет, и Василий Андреевич не отступает от своих традиций - читая студентам лекции по новой дисциплине, одновременно готовит учебное пособие по ней. Закончился семестр, и на кафедре уже есть рукопись этого пособия.

Новый год еще только начался, а Василий Андреевич приносит итоги своей январской работы - рукопись будущей статьи о выборе предохранителей для защиты высоковольтных трансформаторов. Так и думается, что свой день рождения (1 января) он встретил за рабочим столом, что он никогда не отдыхает. Но это не так. Свидетельство тому - увлечение поэзией, в чем не раз убеждались читатели нашей многотиражки.

Пожелаем в наступившем году Василию Андреевичу новых успехов во всех его делах.

***Е. БОНДАРЕНКО, заведующий кафедрой «ЭПП и Г».***

***(«Ульян. политехник». - 1994.- 3 февр.)***

## ИЗ ПОЭЗИИ В.А. АНДРЕЕВА

### «ВРЕМЕНА ГОДА»

#### ПРОФЕССОРА В.А. АНДРЕЕВА

Не думаю, что этого автора надо представлять: Василия Андреевича Андреева знают все в нашем университете. Знают как прекрасного преподавателя, ученого, как автора учебника по релейной защите, по которому до сих пор обучаются студенты не только нашего вуза, ну, и просто как хорошего человека.

Но, возможно, не все знают об одном удивительном даре Василия Андреевича - тяге к поэзии. Его стихи не раз за эти годы публиковала университетская газета. Это и разнообразные поздравления, стихи к праздникам, пожелания друзьям, сатирические строки на злобу дня. Естественно, не каждое слово ложится в ряд. Это и понятно. Ученый, инженер, педагог, многие годы ректор политехнического института - словом, очень серьезный человек. Но когда у человека есть душа, то она рано или поздно, так или иначе проявляется. У профессора В.А. Андреева - в стихах. Летом вышел отдельной книжкой сборник его стихов «Времена года». Сколько мягкого юмора, а порой и саркастической иронии, поэтической мечтательности и пафоса в стихотворениях, вошедших в авторский сборник. Вот вчитайтесь-ка в строки, когда два ректора - политеха и педа - В.А. Андреев и В.В. Наймушин - открывают ныне всем известную спортивную базу технического университета в Садовке на Старомайнском заливе.

*С утра был гром, был дождь с утра,*

*И лагерь присмирел.*

*А мы коптились у костра –*

*Котел на нем кипел.  
В обед был дождь, как из ведра,  
Но наш костер горел.  
И мы коптились у костра,  
И вновь котел кипел.*

Это рассказ поэта, это взгляд человека, который вдохновлен природой, любит ее. Хотя казалось бы, он - технарь, ученый-рационалист: что ему до этого рассвета, заката, разлива воды, света, небес? Но именно это чувство удивления, восхищения, природой, любви к ней Василий Андреевич и пытается сохранить в своих стихах.

Немало лирических стихотворений посвятил он и традиционной поэтической теме любви. Это и трогательные строки сокровенных признаний, и веселые, лукавые, ироничные строки саркастического аналитика.

*Наступит завтра Новый год,  
И к Вам в мирском круговороте  
Любовь желанная придет,  
И Вы, как роза, расцветете.  
Хочу, чтоб это было так,  
Хотя в любви я третий лишний.  
Стихи писать я не мастак,  
Зато поклонник Ваш давнишний.  
Но я для Вас совсем не То –  
Мне в Ваше сердце не пробиться,  
Останусь я Инкогнито,  
Чтоб издали на Вас молиться.*

Не чужд Василий Андреевич и сатирическому жанру. Темы автор черпает в окружающей жизни - перестройка высшей школы, сексуальная революция, политические перемены...

*Студент, пока ты полон сил,  
И ноги не болят,  
Ты б место деду уступил  
Он будет очень рад.  
Поверь, студент, пройдут года,  
Ты тоже станешь дедом.  
А потому ты никогда  
Не забывай об этом.*

Полагаю, что придирчивый критик, конечно, найдет способ раскритиковать то, что представлено в сборнике - никто от этого не застрахован. Но давайте, подойдем с другой точки зрения. Если бы каждый из нас хотя бы захотел, как говорил выдающийся поэт Востока Фирдуоси, «чекан души своей» отставить людям, то это было бы прекрасно. Полагаю, что Василий Андреевич Андреев сделал это с честью, как в вузовском учебнике, так и в стихах.

### **НЕ ТОЛЬКО ТОЧНЫЕ НАУКИ**

*Не только точные науки  
Определяют мою суть -  
Давно волнуют мою грудь  
И лиры сладостные звуки.  
Мне релейная защита –  
Как законная жена.  
Но и муза не забыта –  
Мне любовница она.*

**М. КОЗЛОВА**

**(«Университет. панорама». – 1997. – 15 окт.)**

## НИКТО НЕ ЗАБЫТ, НИЧТО НЕ ЗАБЫТО

### СКАЗ О МОЕМ ДЕДЕ

Когда мой дед еще был молодой,  
И силушка была, и кровь еще бурлила,  
Носил он лапти летом и зимой,  
В те годы бабка деда полюбила.

Лаптишкам приходилось нелегко,  
Месил дед грязь, спеша к своей подруге,  
А бабка проживала далеко,  
В чужом селе, почти в другой округе.

В деревне той немало женихов,  
Чужих парней в село не допускали.  
Как следует, побьют, а иногда и псов  
Из подворотен многих выпускали.

И часто приходилось деду моему  
К зазнобе ночью пробираться,  
При этом удавалось ему  
Парням ни разу не попасться.

Такие рейды длились целый год,  
Уже потом, когда война придет,  
И дед в разведку фронтową попадет  
И будет по тылам врага охотиться за языком.

Он с грустью вспомнит отчий дом  
И то, как к милой он ходил,  
И как заслоны обходил,  
И как в глухую ночь тайком  
Увел зазнобу к себе в дом.

Всё пригодилось теперь,  
Когда в лесу не лютый зверь,  
А страшный для России Враг,  
И дед с напарником вдвоем  
Через болото и овраг  
Опять идут за «языком»,  
И так проходит день за днем.

Геройским был на фронте дед.  
Не сосчитать его медалей,  
Его с медалями портрет  
Не раз в газетах помещали  
Но, верно, фронтовых газет,  
Друзья мои, вы не читали.

Я вспоминаю, был рассказ  
О том, как находясь в разведке  
Он друга раненого спас  
В сорокоградусный мороз

Через передний край пронес,  
Попал под вражеский обстрел.

Был ранен сам, но все ж успел  
Его доставить в медсанбат,

И жив остался тот солдат,  
Он к деду привозил внучат  
Они в Москве теперь живут,  
Где тот окончил институт.

Войну дед начал под Москвой,  
А завершил ее в Бреслау,  
Дед был на фронте рядовой,  
Он защищал свою державу.

Теперь такой державы нет,  
И в этом нет, конечно, тайны.  
А фронтовой разведчик, дед,  
Сидит на печке в Старой Майне.  
Когда мой дед пришел с войны домой,  
Ему за двадцать пять едва перевалило,

Он всю войну не виделся с женой,  
Она его по-прежнему любила,  
Но далеко не все вернулись с фронтов,  
Погибли многие иль без вести пропали,  
А вместо них на имя вдов  
Шли похоронки и медали.

Но нужно было жить, воспитывать детей,  
Всем миром поднимать колхозы,

И снова, как в войну, и снова без мужей,  
И снова тяжкий труд, и нищета и слезы.

В те годы по желанью земляков  
Избрали деда председателем колхоза,  
А в том колхозе дюжина коров,  
Десяток лошадей да с трактора колеса.

Дед председательствовал целых тридцать лет  
Отстроилось село, повырастали дети,  
На председательском посту поизносился дед  
И стал работать в сельсовете.

Сейчас и сельсоветов нет,  
Все извратили, все сломали,  
И все, за что боролся дед,  
Облаяли и в грязь втоптали.

Но никому и никогда  
Не умалить нашу Победу,  
Снимите шляпы, господа,  
И низко поклонитесь деду.

**В. АНДРЕЕВ,**  
*профессор кафедры «ЭППиГ».*  
*(Университет. панорама. – 1994. – 15 ноября)*

## **ХУДОБИНУ Л.В. В СВЯЗИ С ИЗБРАНИЕМ АКАДЕМИКОМ ОТРАСЛЕВОЙ АКАДЕМИИ**

Струн вещей пламенные звуки  
До слуха нашего дошли.  
Худобин – корифей науки  
Стал академиком страны.

Теперь его мне не догнать,  
Кончаю марафон на этом.  
Мне академиком не стать.  
Но разве плохо быть поэтом?

*(В.А. Андреев, 1995 г.)*

## **ХУДОБИНУ Л.В. В СВЯЗИ С ЮБИЛЕЕМ**

Худобин, добрый мой приятель,  
Родился на Саратовской земле.  
Он не поэт и не писатель,  
Он их значительней вдвойне.

Ученый он, изобретатель,  
И тем известен всей стране.  
Твои научные труды  
Весь потрясли ученый мир.  
Наш институт прославил ты,  
Ты наша гордость, наш кумир.

И звания и ордена  
За это родина вручила.  
Была Советская страна,  
Она ученых труд ценила.

Тогда стихи я написал,  
Тебя с успехом поздравляя.  
Светилом в них тебя назвал,  
Стихи я эти прочитаю.

«Померкло дневное светило  
В сияньи успехов твоих,  
Но слава тебя не сгубила,  
Хороший пример для иных.

Для тех, кого кормит наука,  
Но кто не питает ее.  
Пример для любимого внука,  
Он дело продолжит твое.

Померкло ночное светило,  
Ты светишь и ночью и днем.  
Когда ж израсходуешь силы,  
Светите с Людмилой вдвоем.

Но сила твоя безгранична,  
И светишь ты сам без труда.  
Ты выглядишь просто отлично,  
Ты парень еще хоть куда!

Ты для нас для всех пример,  
Других примеров нам не надо.  
Ты в науке как Гомер  
В своей поэме «Илиада».

Таким продолжай оставаться.  
За это и выпить пора.  
Давайте же, чокнемся , братцы,  
И дружно воскликнем – УРА!»

Худобин и наш дорогой политех -  
Две стороны одной медали.  
Надеюсь, вы б не возражали  
Ее худобинской назвать?

И каждый год в Кремле вручать  
За выдающийся успех  
И докторам и кандидатам,  
Худобинским лауреатам.

*(В.А. Андреев, 2003 г.)*

# НАУЧНЫЕ РАБОТЫ

## ОСНОВОПОЛОЖНИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ УЛГТУ

Настоящий выпуск журнала «Научно-технический калейдоскоп» посвящен тепло- и электроэнергетике. Сегодня мы не мыслим наше существование без электричества, централизованного теплоснабжения, сложных систем автоматизированного электропривода. Энергетика является базисом экономики государства. Специалистов теплотехнических и электротехнических специальностей готовят четыре выпускающие кафедры энергетического и строительного факультетов Ульяновского государственного технического университета: «Электроснабжение», «Электропривод и автоматизация промышленных установок», «Теплоэнергетика», «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Электроэнергетическая и теплоэнергетическая научные школы нашего университета хорошо известны далеко за пределами Ульяновска. Об этом говорят, в частности, проводимые на базе энергетических кафедр Российские научные конференции, изданные специалистами-энергетиками УлГТУ монографии и учебники, полученные нашими сотрудниками престижные отечественные и международные научные награды за разработки в энергетике.

Одним из основоположников научных исследований в энергетической области в нашем университете и организаторов энергетического факультета является Заслуженный деятель науки Российской Федерации, член Международной энергетической академии, доктор технических наук, профессор Андреев Василий Андреевич.

1 января 2003 года Василию Андреевичу исполняется 80 лет. Крупный ученый в области релейной защиты и автоматики систем электроснабжения, талантливый педагог, один из первых организаторов

высшего технического образования в г. Ульяновске и в Киргизии, известный общественный деятель, участник Великой Отечественной войны, он и сегодня продолжает активно и плодотворно трудиться.

Общий стаж работы профессора Андреева В. А. в системе высшего образования - 47 лет, а в Ульяновском политехническом институте - Ульяновском государственном техническом университете - 39 лет. Здесь он беспрерывно в течение 17 лет работал проректором, а затем ректором института.

Это был период бурного развития в г. Ульяновске промышленных предприятий радиотехнического профиля, легкой промышленности, машиностроения, самолетостроения, энергетики. Развивалась и укреплялась строительная база, был организован Главульяновскстрой. Все это требовало подготовки инженеров соответствующего профиля. Поэтому это был и период становления Ульяновского политехнического института: расширения перечня специальностей, организации радиотехнического, энергетического, строительного, самолетостроительного факультетов и факультета легкой промышленности в г. Димитровграде, строительства учебной базы, организации новых кафедр, комплектования педагогического коллектива, формирования научных направлений, организации учебного процесса, комплектования библиотеки.

Наряду с этим успешно решались задачи, связанные с бытом, отдыхом и лечением студентов и преподавателей. К 1980 г. было завершено строительство первой очереди учебной базы, общежитий, столовой, спортивно-оздоровительного лагеря в Старо-Майнском районе, открыты профилакторий и студенческая поликлиника

К этому же времени в основном сложились кафедры и определились научные направления, некоторые из этих направлений вошли в целевые комплексные программы Минвуза РСФСР или региональные научно-технические программы. В институте организована аспирантура. На базе политехнического института стали проводиться республиканские научные

конференции и выставки-смотры научно-технического творчества студентов вузов России. Заключены договоры о сотрудничестве с Московским энергетическим и Львовским политехническим институтами. Получила развитие хоздоговорная форма научных исследований. Это позволило оснастить учебный процесс дорогостоящей вычислительной техникой. Существенно вырос процент преподавателей со степенями и учеными званиями.

Работа ректора Андреева В.А. неоднократно положительно оценивалась в приказах Минвуза РСФСР. Народно-хозяйственное и социально-культурное значение вуза, становлению и развитию которого Василий Андреевич отдал значительную часть своей жизни, трудно переоценить. Его выпускники стали организаторами и руководителями производства не только в России, но и в бывших республиках СССР, стали учеными и руководителями органов власти.

В Ульяновском политехническом институте Андреев В.А. организовал кафедру «Электроснабжение промышленных предприятий и городов» и бессменно руководил ею более 25 лет. В процессе формирования кафедры складывалась научная школа профессора Андреева с единым научным направлением «Повышение надежности и экономичности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования существующих, разработки и внедрения новых устройств защиты, автоматики и телемеханики», позволившим организовать аспирантуру и успешно готовить научные кадры. Основной состав кафедры это бывшие аспиранты профессора Андреева В.А. Работы, проводимые профессором Андреевым В.А. и его учениками в рамках единого научного направления, имеют важное народнохозяйственное и социально-культурное значение. Они являлись составной частью целевой комплексной программы на 1986-1990 годы «Разработка метода и средств экономии электроэнергии и повышения ее качества в электроэнергетических системах», а также региональной научно-

технической программы на 1986-1990 годы «Комплексное использование ресурсов Поволжья».

Имя проф. Андреева В.А. и его учеников широко известно в России и в странах ближнего зарубежья по работам в области совершенствования плавких предохранителей. Им принадлежат оригинальные разработки устройств релейной защиты для сетей 6-10 кВ и ВЛ-0,38 кВ, исследования и расчет режимов сетей до 1 кВ. Профессором Андреевым В.А. впервые высказана и реализована идея создания управляемых предохранителей. На их основе совместно с учениками разработаны устройства защиты и коммутации, не имеющие аналогов в мировой энергетике для различных электроустановок напряжением 0,4-110 кВ.

Под руководством Василия Андреевича теоретически обоснована и практически реализована возможность создания в нашей стране жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей. Впервые высказана и реализована идея использования этих предохранителей для защиты тиристорных пускателей и аппаратов, выполненных на их основе.

Впервые теоретически обоснована и практически подтверждена возможность использовать токи третьей гармонической составляющей для выполнения быстродействующей защиты линий 10 кВ.

Решен широкий круг задач в области совершенствования устройств релейной защиты и телемеханики распределительных электрических сетей, а также защиты, выполненной плавкими предохранителями и автоматическими выключателями.

Теоретически обосновано и разработано оригинальное быстродействующее устройство автоматического ввода резерва узлов нагрузки с крупными синхронными двигателями, обеспечивающее восстановление питания с сохранением динамической устойчивости этих двигателей.

Ему и его ученикам принадлежат оригинальные разработки камер гашения, позволяющих значительно повысить коммутационную способность выхлопных предохранителей.

По результатам научных исследований проф. Андреева В.А. и его учеников получены авторские свидетельства, созданы устройства защиты и коммутации. Разработки внедрены на промышленных предприятиях Москвы, Казани, Набережных Челнов, Ульяновска, а также отмечены медалями и дипломами ВДНХ. В основу предохранителей напряжением 35 кВ, выпускаемых отечественной промышленностью, положены разработки и авторские свидетельства Андреева В.А. и его учеников.

Многолетняя работа по совершенствованию предохранителей обобщена в единственной в своем роде монографии «Управляемые плавкие предохранители». Им опубликовано единолично и в соавторстве более 100 статей и получено 25 авторских свидетельств. Под руководством профессора Андреева В. А. подготовлено и защищено семь диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс и использованы проф. Андреевым В. А. при написании учебников и учебных пособий. Он более 40 лет успешно сотрудничает с издательством «Высшая школа». Под его руководством и при его непосредственном участии написаны учебники «Релейная защита распределительных электрических сетей» и «Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения». Он является также соавтором задачника по релейной защите. Ему принадлежит известный в России и странах ближнего зарубежья учебник «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения», третье издание которого вышло в 1991 году. В настоящее время он завершает работу над четвертым изданием этого учебника. Признание общественностью заслуг Андреева В. А. в области науки и техники неоднократно отмечалось в положительных рецензиях на его учебники в журналах «Известия вузов. Энергетика» и «Промышленная

энергетика», а также публикацией с поздравлением энергетиков к его семидесятилетию (журнал «Промышленная энергетика», 1993, № 5). Указом Президента ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Научно-педагогическая и организаторская работа Василия Андреевича всегда сочеталась с общественной деятельностью. Он был делегатом 24 съезда партии, более 10 лет входил в состав исполкома Ульяновского городского Совета народных депутатов и обкома партии, был председателем совета ректоров, членом научно-методической комиссии по электроснабжению Минвуза СССР. Является членом областного совета ветеранов войны и труда, председателем совета ветеранов университета. Более 25 лет возглавляет областной комитет защиты мира, входит в состав редакционного совета Книги Памяти Ульяновской области.

Организаторская, педагогическая, научная и общественная деятельность В. А. Андреева отмечена Орденом Трудового Красного Знамени, медалью «За трудовое отличие», знаком Минвуза СССР «За отличные успехи в работе», Почетной медалью Советского комитета защиты мира «Борцу за мир», Почетной медалью Советского фонда мира, медалью «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина».

За ратные подвиги в Великой Отечественной войне он награжден Орденом Красной Звезды, Орденом Отечественной войны второй степени и медалями.

От всей души желаем Василию Андреевичу крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов и долгих лет работы на благо нашего университета!

*Ульяновский государственный технический университет*  
*Ю.П. СВИРИДОВ, доцент, к.т.н.,*  
*В. . ШАРАПОВ, профессор, д. т. н.*  
*(Журнал «Научно – технический калейдоскоп». – 2002. - №3.)*

**АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И  
ОБЫЧНЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ**

**Андреев В.А., Кузнецов А.В., кандидаты техн. наук**

**Ульяновский политехнический институт**

В настоящее время в системах электроснабжения широкое распространение получили устройства, использующие тиристоры: пускатели, выключатели. К сожалению, перегрузочная способность тиристоров значительно ниже перегрузочной способности других элементов системы электроснабжения. В связи с этим возникает необходимость в защите самих тиристорных аппаратов от сверхтоков при перегрузках и внешних к. з. Для данной цели применяют, в частности, быстродействующие автоматические выключатели и предохранители с плавкими вставками из серебра. Однако из-за недостаточного их быстродействия приходится ограничивать токи к. з. специальными реакторами и согласующими трансформаторами с повышенным значением напряжения к. з., а номинальные токи самих тиристоров завышать. Это приводит к усложнению электроустановки, увеличению ее габаритов, излишнему расходу материалов, снижению коэффициента мощности и увеличению потерь электроэнергии в нормальном режиме. Таким образом, целесообразно совершенствовать защиту устройств, использующих тиристоры. Наиболее перспективно, по-нашему мнению, применение жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей (ЖСП).

Отличие указанных предохранителей от обычных заключается в том, что плавкая вставка у них выполнена из металла с низкой температурой плавления и расположена в капиллярном отверстии диэлектрической

штулки (рис. 1). К таким металлам можно отнести, например, ртуть, щелочные металлы и др. при протекании аварийного тока жидкометаллическая плавкая вставка испаряется. Пары металла обладают высоким сопротивлением, поэтому значение аварийного тока резко ограничивается. Возникающая электрическая дуга гасится после перехода тока через нулевое значение. Взрывоопасное повышение давления в канале диэлектрической штулки компенсируется при помощи демпфирующего устройства, представляющего собой цилиндр с подпружиненным поршнем или сифоном. Через непродолжительную бестоковую паузу (2-6 мс) пары металла остывают и конденсируются. Канал диэлектрической штулки вновь заполняется металлом, обеспечивая готовность ЖСП к повторному действию [1].

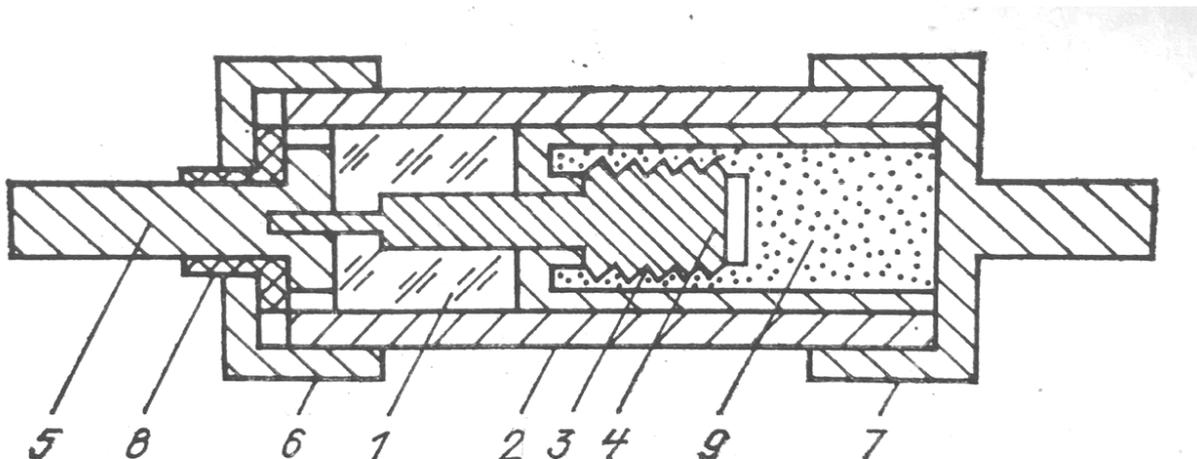
В нашей стране ЖСП пока не производятся. Исследования, выполненные в Ульяновском и Куйбышевском политехнических институтах. Московском энергетическом институте, ВНИИ Электроаппарате и некоторых других организациях, позволяют сделать вывод о принципиальной возможности создания и промышленного освоения у нас ЖСП с номинальными параметрами, соответствующими требованиям современных промышленных систем электроснабжения напряжением до 1000 В. Однако имеющихся сведений недостаточно, чтобы оценить возможности ЖСП как аппарата защиты потребителей от к. з. В частности, остается открытым вопрос о быстродействии ЖСП, что весьма важно для сравнения его с предохранителями, имеющими, например, серебряные плавкие вставки.

Быстродействие ЖСП при к. з., так же как и обычных предохранителей, оценивается значением интегрального отключения  $W_0$ . Чем ниже это значение, тем выше быстродействие. Интеграл отключения состоит из суммы преддугового интеграла  $W_{прд}$ , характеризующего степень теплового воздействия на защищаемый элемент системы

электроснабжения за время преддуговой стадии процесса  $t_{пред}$ , и интеграла дуги  $W_0$ , характеризующего воздействие тока к. з. во время горения дуги  $t_0$ :

$$W_0 = \int_0^{t_{пред}} i^2 dt + \int_{t_{пред}}^{t_{пред} + t_0} i^2 dt,$$

где  $i$  – значение тока в произвольный момент времени.



**Рис. 1. Жидкометаллический самовосстанавливающийся предохранитель:**

1 — диэлектрическая втулка из термостойкой керамики; 2 — корпус; 3 — сильфон; 4 — жидкий металл; 5 — контактный вывод; 6, 7 — накидные гайки; 8 — изоляционная втулка; 9 — сжатый газ, обеспечивающий подпружинивание сильфона

Для плавких вставок из любого металла, в том числе жидкого, преддуговой интеграл определяется следующим образом:

$$W_{пред} = AS^2, \quad (1)$$

где  $S$  — минимальное сечение плавкой вставки;  $A$  — постоянная величина для данного материала плавкой вставки.

В общем случае расчетное выражение постоянной  $A$  имеет следующий вид:

$$A = \frac{C_1 Y_1}{\rho_0 \alpha} \ln \frac{1 + \alpha T_{пл}}{1 + \alpha T_0} + \frac{2 Y_1 H_{пл}}{\rho_1 + \rho_2} + \frac{C_2 Y_2}{\rho_2 \alpha} \ln [1 + \alpha (T_{кп} - T_{пл})] + \frac{Y_2 H_{пл}}{\rho_3}.$$

В это выражение входят величины: теплоемкость материала плавкой вставки в твердом  $C_1$  и жидком  $C_2$  его состояниях и соответствующие плотности материала плавкой вставки  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ ; температурный коэффициент изменения сопротивления  $\alpha$ ; удельная теплота плавления  $H_{no}$ ; удельное сопротивление материала плавкой вставки  $\rho_0$  при нулевой температуре и при температуре плавления  $T_{nl}$  для твердого  $\rho_1$  и жидкого  $\rho_2$  состояния материала плавкой вставки, а также для жидкого состояния  $\rho_3$  при температуре кипения  $T_{kn}$ ; температура окружающей среды  $t_0$ .

Первая составляющая постоянной  $A$  характеризует нагрев плавкой вставки до температуры плавления, вторая учитывает переход в жидкое состояние, третья соответствует стадии нагрева расплавленной вставки до температуры кипения, четвертая учитывает переход в газообразное состояние. Все составляющие имеют место, если температура плавления вставки выше температуры окружающей среды. Для плавких вставок ЖСП первая и вторая составляющие могут отсутствовать. Наши расчеты показали, что для калия, натрия, ртути значения  $A$  равны соответственно 5800, 18 000, 1300 Дж/(Ом•мм<sup>4</sup>).

На рис. 2 показана типовая осциллограмма тока в цепи ЖСП при его срабатывании. Полное время отключения равно 10 мс, что соответствует половине периода при частоте 50 Гц. За время  $t_{прд}$  ток через предохранитель изменяется по синусоидальному закону  $i = I_m \sin \omega t$ . Поэтому

$$W_{прд} = \int_0^{t_{прд}} I_m^2 \left( 0,5t_{прд} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t_{прд} \right). \quad (2)$$

Это выражение с учётом (1) получает вид:

$$0,5t_{прд} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t_{прд} - AS^2/I_m^2 = 0. \quad (3)$$

При известном сечении  $S$  трансцендентное уравнение (3) решается относительно  $t_{прд}$  численными методами.

Определив  $t_{\text{прд}}$ , можно вычислить  $W_{\text{прд}}$  и значение  $I_c = I_m \sin \omega t_{\text{прд}}$ , при котором происходит испарение плавкой вставки. Ток  $I_c$  необходимо знать для нахождения  $W_d$ . За время горения дуги  $t_d$  характер изменения тока не имеет строгого математического описания. Однако можно допустить, что ток, начиная с момента возникновения дуги до естественного перехода через нулевое значение, изменяется линейно:

$$i = I_c \left[ 1 - (t_{\text{прд}} - t) / t_d \right]$$

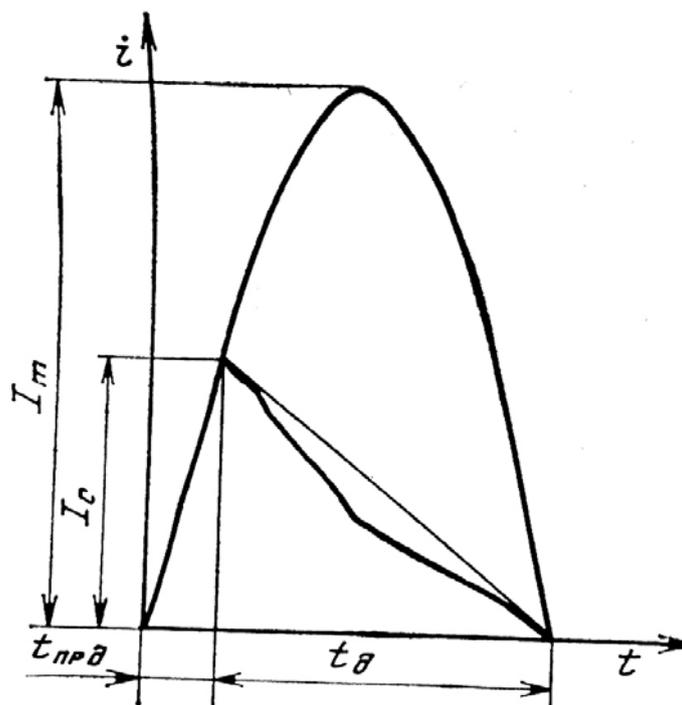


Рис. 2. Осциллограмма тока при срабатывании ЖСП:  
 $I_c$  — ток, при котором происходит испарение плавкой вставки;  
 $I_m$  — предполагаемая амплитуда тока к. з.

Это приводит к несколько завышенным расчётными значениям  $W_d$  и  $W_o$ . Из рис. 2 следует, что  $(t_{\text{прд}} + t_d) = 0,01$  с, поэтому интеграл дуги

$$W_d = \int_{t_{\text{прд}}}^{0,01} i^2 dt = \frac{1}{3} I_c^2 (0,01 - t_{\text{прд}}). \quad (4)$$

Таким образом, для нахождения  $W_{\text{прд}}$ ,  $W_d$ ,  $W_o$  и оценки быстродействия ЖСП необходимо знать сечение плавкой выставки, которое определяет ее

номинальный ток. Очевидно, сечения плавких вставок, имеющих один и тот же номинальный ток, но выполненных из разных металлов, различны.

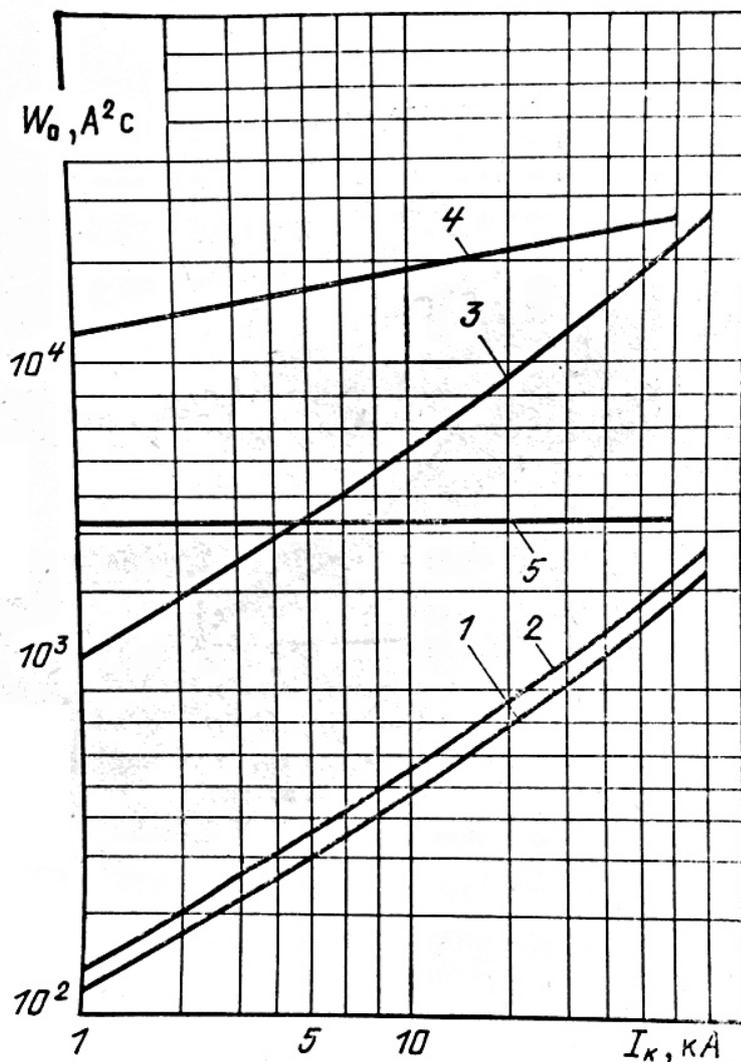
Определение сечения плавкой вставки аналитическим путём требует решения уравнения теплопроводности с учетом отдачи тепловой энергии в окружающую среду. Решение таких уравнений связано с необходимостью использовать коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и другие, которые зависят от температуры, состояния поверхности и т. д. Неопределённость этих коэффициентов и сложные краевые условия вынуждают принимать различного рода допущения. В итоге даже при рассмотрении стационарного теплового процесса результат расчёта оказывается далеким от действительного. В связи с этим сечение плавких вставок на различные номинальные токи определяют экспериментально.

В нашем случае для ЖСП применялась втулка (рис. 1) с диаметром суженной части (диаметр плавкой вставки) 0,7 мм, что соответствует сечению 0,385 мм<sup>2</sup>. В качестве жидкого металла использовалась ртуть. При этом номинальный ток плавкой вставки для указанного сечения оказался равным 63 А. Сечения плавких вставок из других жидких металлов на этот же номинальный ток определялись расчётом, исходя из равенства сопротивлений вставок.

Значение сечений плавких вставок позволяет вычислить интеграл отклонения  $W_0$ . Значения  $W_0$  полученные для ЖСП на номинальный ток плавких вставок 63 А, выполненных из ртути, калия и натрия, приведены на рис. 3. Здесь же показаны значения  $W_0$  для предохранителя с плавкой вставкой из серебра и перегрузочная характеристика тиристора Т25. Быстродействие предохранителей с плавкими вставками из меди, цинка и алюминия ниже, чем предохранителю с плавкой вставкой из серебра. Поэтому зависимости  $W_0 = f(I_k)$  для них на рисунке не показаны.

Из рис. 3 следует, что ЖСП оказываются более быстродействующими, чем предохранитель ПП-57 с плавкой вставкой из серебра, применяемый

для защиты тиристорных аппаратов. Наибольшее быстродействие имеет ЖСП с плавкой вставкой из калия. В отличие от предохранителя ПП-57 он надёжно защищает тиристор Т25.



**Рис. 3.** Зависимости интеграла отключения предохранителей с плавкими вставками из различных материалов на номинальный ток 63 А и защитного показателя тиристора Т25 от тока к. з. (действующее значение):

1—3 — зависимости для ЖСП с плавкой вставкой из калия, натрия, ртути; 4 — то же для предохранителя ПП-57-380/100 с плавкой вставкой из серебра; 5 — перегрузочная характеристика тиристора Т25

Таким образом, при замене обычных предохранителей жидкометаллическими отпадает необходимость ограничивать токи к. з. и завышать номинальные токи тиристорov. Представляется также целесообразным использовать ЖСП вместо трансформаторов тока и

измерительных органов в схеме защиты по управляющему электроду [2]. Преимуществом ЖСП является его способность самовосстанавливаться и действовать многократно. Этим преимуществом можно воспользоваться, если защитная характеристика ЖСП при многократных его срабатываниях ее изменяется. Однако коммутационные испытания макетного образца ЖСП с плавкой вставкой из ртути, проведенные нами в контуре с током 2,7 кА (ударное значение) и напряжением 450 В, показали, что защитная характеристика ЖСП крайне нестабильна.

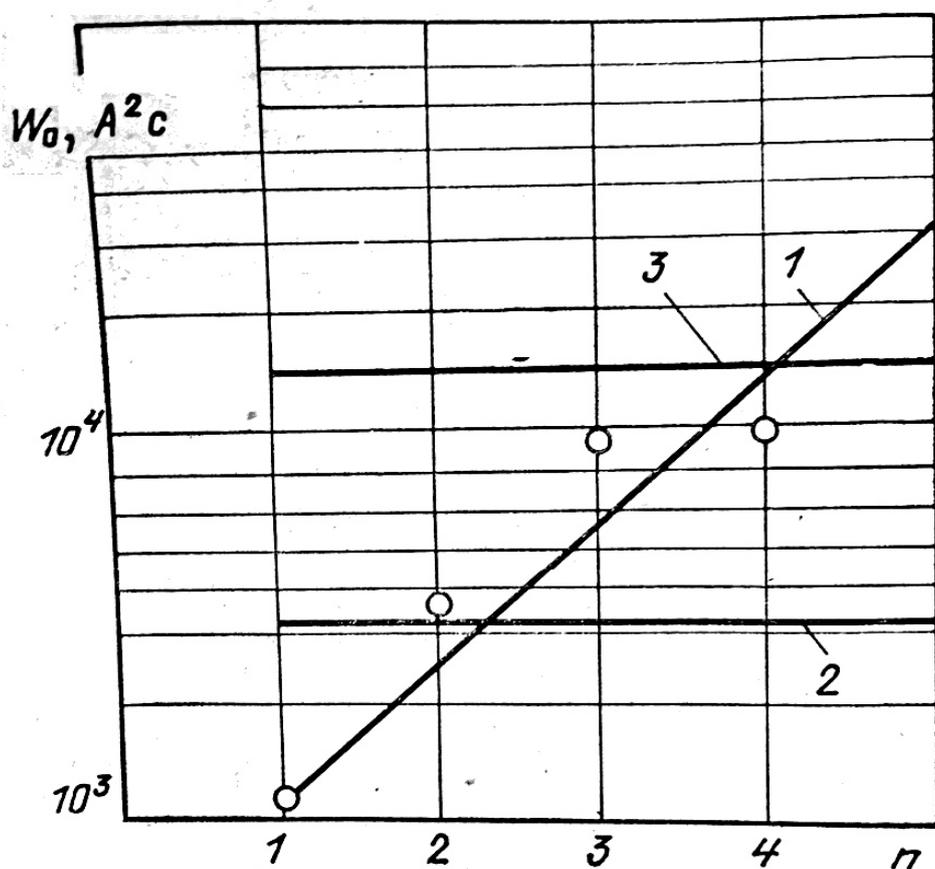


Рис. 4. Зависимости интеграла отключения предохранителей и защитного показателя полупроводникового прибора от числа коммутаций  $n$  при токе к. з. 2, 7 кА (действующее значение):

1 — зависимость для ЖСП с плавкой вставкой из ртути на номинальный ток 63 А; 2 — зависимость для тиристора Т25; 3 — зависимость для предохранителя ПП-57-380/100 с плавкой вставкой из серебра на номинальный ток 63 А

Результаты обработки осциллограмм показаны на рис. 4, из которого видно, что при первой коммутации значение интеграла отключения ЖСП

(зависимость 1) не превышает расчетного значения (см. рис. 3). При последующих коммутациях интеграл отключения возрастает и становится больше допустимого интеграла силовых полупроводниковых приборов, выбранных по расчетному току нагрузки в соответствии с номинальным током ЖСП (зависимость 2). Затем он достигает и превышает значение интеграла отключения обычного быстродействующего предохранителя (зависимость 3). Это связано с увеличением диаметра суженной части канала диэлектрической втулки в результате дуговой эрозии стенок диэлектрического канала. Возникает проблема стабилизации защитной характеристики ЖСП. Решить ее можно путём уменьшения степени эрозии канала диэлектрической втулки. В зарубежной практике это достигается двумя путями:

применением диэлектрических втулок из дорогих и дефицитных материалов, например, из сапфира, наиболее стойкого к дуговой эрозии [3];

шунтированием ЖСП низкоомным резистором [1].

Второе решение является предпочтительным. В этом случае условия работы предохранителя облегчаются по мере уменьшения сопротивления резистора. К сожалению, уменьшение шунтирующего сопротивления приводит к увеличению тока через защищаемый тиристор, и ЖСП начинает утрачивать свои токоограничивающие свойства. Указанное обстоятельство обуславливает необходимость поиска дополнительных средств стабилизации защитной характеристики ЖСП. В [4] показано, что ее стабильность может быть достаточно высокой за счёт расположения в суженной части канала диэлектрической втулки тугоплавкого электрода. Он является как бы частью плавкой вставки, которая не плавится при срабатывании ЖСП, его диаметр не изменяется в результате дуговой эрозии. Не изменяются скверик плавкой вставки и время срабатывания при к. з. Защитная характеристика ЖСП становится стабильной.

## ВЫВОДЫ

1. Для повышения быстродействия предохранителя целесообразно использовать плавкую вставку из жидкого металла. Наибольшее быстродействие обеспечивает плавкая вставка из калия.
2. Применение таких предохранителей прежде всего желательно в качестве защиты полупроводниковых аппаратов управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Turner H. W., Turner C. Japan chases exports and the permanent fuse. - Electrical Times, 1977, №4435 (12), July, 15.
2. Андреев В. А., Кузнецов А. В., Защита тиристорных аппаратов управления с помощью самовосстанавливающихся предохранителей. - Промышленная энергетика, 1990, №5
3. Schwartz F. C., Renton C. A., Rabinovici C. Fastacting Self-Healing Metallic Fuse. - Conference and Exhibition, 1971.
4. Кузнецов А. В. Повышение стабильности жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей. - Электротехника, 1986, №8.

УДК 621.315.1.052.333.027.2.001.24

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО №12, 1989**

### **ВЛИЯНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НУЛЕВОГО ПРОВОДА НА ТОКИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,38 КВ**

**Андреев В.А., канд. техн. наук,  
Дубов А.Л., инж., Шишкин В.Ф., инж.  
Ульяновский политехнический институт**

При выполнении расчетов режимов воздушных линий напряжением 0,38 кВ, особый интерес представляет вопрос влияния заземляющих устройств нулевого провода на распределение токов нулевой последовательности. На этот счет в литературе приводятся

противоречивые сведения. Так, в [1] говорится, что уменьшение тока в нулевом проводе за счет отсоса через повторные заземления составляет 25-30%.

Кроме того, здесь же отмечено, что на ток в нулевом проводе и земле влияет количество линий и количество заземлений нулевого провода на них. Согласно [2] при числе повторных заземлений на линии больше трех, лишь половина из них участвует в отсосе тока. В [3] сказано, что при замыкании “фаза-нуль” ток отсоса может достигать 30-40% фазного тока. По результатам одной из совместных работ Одесского ОКП Украинского отделения института “Сельэнергопроект” и Московского института инженеров сельскохозяйственного производства был сделан вывод, что отсос тока через повторные заземления в нормальном режиме составляет 1-2%, а в режиме однофазного к.з. на нулевой провод достигает 13%. Это соответствует линии, имеющей пять повторных заземлений при длине секции нулевого провода между ними 1 км. Здесь прослеживается ряд неточностей, а именно: согласно [4] расстояние между заземляющим устройством должно быть не более 200 м для районов с числом грозových часов в году до 40 и не более 100 м для районов с числом грозových часов в году более 40. Маловероятной является и длина линии, равная 5 км. Сами авторы указывают, что длина магистрали до наиболее удаленного участка составляет 0,3-0,8 км. Это подтверждается и нашим обследованием сельских электрических сетей РЭУ. Ульяновскэнерго, в результате которого определена наибольшая длина магистрали, равная 0,86 км. Необходимо отметить, что расчеты в [1-3] проводились без учета индуктивных сопротивлений проводов и сопротивления взаимоиндукции между ними. Учитывались только активные сопротивления.

Для выяснения влияния заземляющих устройств нулевого провода на токи нулевой последовательности нами рассмотрен график схемы нулевой последовательности линии при обрыве проводов, к.з. фазного привода на

нулевой и в нормальном режиме работы линии (рис. 1). При этом предполагалось, что ветви к.з. или нагрузок совпадают с местами подключения заземляющих устройств. Очевидно, результаты будут практически такими же и в случае к.з. на участке между заземляющими устройствами.

Расчеты однофазного к.з. на землю затруднительны из-за неопределенности условий данного вида к.з. и поэтому в настоящей работе не рассматриваются. Не учитывается также влияние повторных замыканий нулевого провода на распределение потенциала вдоль него.

График рассматриваемых повреждений для линии с распределенной нагрузкой приведен на рис. 1, где сплошными линиями изображены ветви заземляющих устройств (1, 2, ...,  $l+1$ ) и ветви нагрузок или однофазных к.з. на нулевой провод, а штриховыми – ветви фазных и нулевых проводов линии. При большом числе заземляющих устройств целесообразно производить расчеты в матричной форме. Это дает возможность применять полученные выражения для различного конструктивного исполнения линий и производить расчеты с использованием ЦВМ.

При указанной на рис. 1 нумерации контуров, контурное уравнение можно записать в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z}_I & \mathbf{Z}_{II} \\ -\mathbf{Z}_{II} & \mathbf{Z}_{III} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_N \\ 3\mathbf{I}_\Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{O} \\ \mathbf{E} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{Z}_I, \mathbf{Z}_{II}$  – квадратные подматрицы контурных сопротивлений порядка  $l$ ;  $\mathbf{I}_N$  – столбец токов на участках нулевого провода;  $\mathbf{E}$  – столбец контурных э.д.с. контуров  $l+1, \dots, 2l$ ;  $\mathbf{I}_\Phi$  – столбец токов на участках фазного провода;  $\mathbf{O}$  – столбец, содержащий  $l$  нулей.

Из равенства (1) получаем:

$$\mathbf{Z}_I \mathbf{I}_N + 3\mathbf{Z}_{II} \mathbf{I}_\Phi = \mathbf{O}, \quad (2)$$

откуда

$$\mathbf{I}_N = 3\mathbf{K}\mathbf{I}_\Phi, \quad (3)$$

где

$$\mathbf{K} = \mathbf{Z}_I^{-1} \mathbf{Z}_{IV}; \quad (4)$$

$$\mathbf{Z}_{IV} = -\mathbf{Z}_{II}. \quad (5)$$

Если принять, что номера контуров  $1, 2, \dots, l$  являются одновременно номерами участков линий, то для элементов матриц  $\mathbf{Z}_I, \mathbf{Z}_{IV}$  будем иметь следующие выражения:

$$\mathbf{Z}_{I,i,i} = R_i + R_{i+1} + R_{N,i} + jX_{N,i}; \quad (6)$$

$$\mathbf{Z}_{IV,i,i} = R_i + R_{i+1} + jX_{M,i}; \quad (7)$$

где  $i = 1, 2, \dots, l$ ;

$$\mathbf{Z}_{I,i,i+1} = \mathbf{Z}_{I,i+1,i} = -R_{i+1}; \quad (8)$$

$$\mathbf{Z}_{IV,i,i+1} = \mathbf{Z}_{IV,i+1,i} = -R_{i+1}, \quad (9)$$

где  $i = 1, 2, \dots, l-1$ .

Здесь: остальные элементы равны нулю;  $R$  – сопротивления заземляющих устройств;  $R_N, X_N$  – сопротивления участков нулевого провода;  $X_M$  – сопротивление взаимной индукции между фазным и нулевыми проводами на участках линии, принятое одинаковым для всех фаз.

Значения элементов матрицы  $\mathbf{K}$  позволяют судить о влиянии заземляющих устройств на токораспределение. Для схемы, представленной на рис. 1, при отсутствии заземляющих устройств эта матрица должна быть единичной. Чем больше ее отличие от единичной при наличии заземляющих устройств, тем, очевидно, сильнее их влияние на распределение тока нулевой последовательности. Для выяснения этого обстоятельства были выполнены расчеты матрицы  $\mathbf{K}$ .

В выражения (6), (7) входят индуктивные сопротивления проводов и сопротивления взаимоиндукции между ними. В литературе приводятся значения индуктивных сопротивлений воздушных линий, в которые входят вышеуказанные величины. В явном же виде данные о них

отсутствуют. Нами эти сопротивления определялись, соответственно, как индуктивное сопротивление уединенного провода и сопротивление взаимной индукции между параллельными проводами. Для наиболее часто применяемых в сельских воздушных линиях 0,38 кВ проводов получены значения сопротивлений, приведенные ниже:

Марка провода	A-16	A-25	A-35	A-50	A-70
Сопротивление, Ом/км	0,805	0,790	0,780	0,768	0,758

Значения сопротивлений взаимоиндукции были рассчитаны для различного возможного расположения проводов при применении деревянных и железобетонных опор. Диапазон изменения  $X_M = (0,478 \dots 0,435)$  Ом/км. В расчетах можно принять  $X_M = 0,458$  Ом/км, при этом отклонение значений  $X_M$  от расчетных не превышает 4,6%.

При распределении элементов матрицы **K** исследовался наиболее благоприятный случай для отсоса тока нулевой последовательности через заземляющие устройства, а именно расчеты производились для линии длиной 800 м (наибольшее значение), выполненной проводом A-16 (имеющим наибольшее сопротивление), при 20 заземляющих устройствах (максимально возможное количество для данной длины линии) сопротивлением каждое по 10 Ом. Сопротивление нейтрали трансформатора принималось равным 1 Ом.

В результате расчета на ЦВМ получена матрица, для которой диапазон изменения действительной части элементов главной диагонали составляет  $(0,9934 \dots 0,9630)$ , мнимой –  $(-0,0012 \dots -0,0040)$ . Здесь первые значения коэффициентов соответствуют головному участку линии, вторые – концу линии. Остальные элементы матрицы близки к нулю. Их действительная часть отрицательна и изменяется в пределах  $(-0,0013 \dots -0,0338)$ , мнимая –  $(-0,0031 \dots 0,0003)$ . Расчеты показывают, что максимальный отсос тока нулевой последовательности через заземляющие

устройства составляет 3,7%. Однако на практике расчетный случай не встречается. Так, согласно [5] максимальная длина линии, выполненной проводом А-16, равна 499 метров. С увеличением длины линии увеличивается сечение провода и соответственно уменьшается его удельное сопротивление, т.е. условия отсоса тока будут менее благоприятными по сравнению с расчетными. Очевидно, влияние заземляющих устройств других линий будет еще меньше. Это говорит о том, что при расчете режимов обрыва фазного провода или к.з. между фазным и нулевым проводами, а также нормального режима работы линии влиянием заземляющих устройств нулевого провода вполне возможно пренебречь. Для уточненных расчетов можно предложить приближенный способ учета этого влияния. Если пренебречь недиагональными элементами матрицы  $\mathbf{K}$ , то на основании (3) для каждого участка линии будем иметь:

$$\mathbf{I}_N = 3\mathbf{K}\mathbf{I}_\Phi, \quad (10)$$

где  $\mathbf{K}$  – соответствующий данному участку диагональный элемент матрицы  $\mathbf{K}$ .

Если принять, что сопротивления взаимной индукции между всеми проводами линии одинаковы, то выражения для падений напряжения на фазном и нулевом проводах участка линии с учетом (10) будут иметь вид:

$$\Delta U_N = 3I_\Phi Z_{N,0} \quad (12)$$

где

$$Z_{\Phi,0} = R_\Phi + j(X_\Phi + 2X_M - 3KX_M); \quad (13)$$

$$Z_{N,0} = KR_N + j(KX_M - X_M); \quad (14)$$

$R_\Phi$  и  $X_\Phi$  – сопротивления фазного провода данного участка линии.

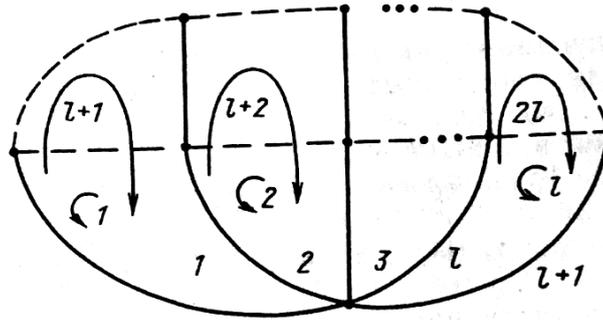


Рис. 1

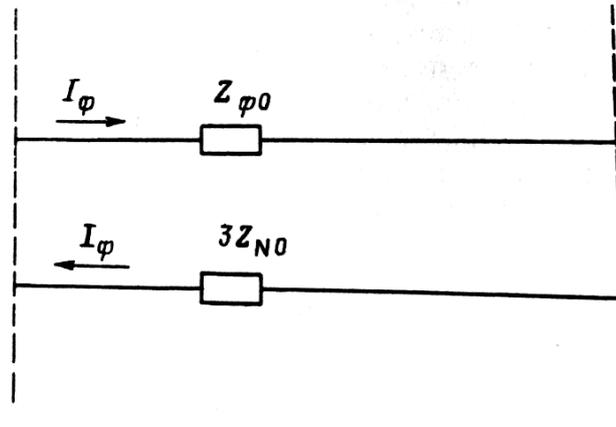


Рис. 2

Этим выражениям соответствует схема замещения нулевой последовательности участка линии, показанная на рис. 2.

Точную схему нулевой последовательности без индуктивных связей в общем случае получить невозможно.

Все записанные выражения справедливы и в том случае, если поперечные ветви (нагрузки или к.з.) имеются не во всех местах подключения заземляющих устройств, только матрица  $\mathbf{K}$  будет при этом не квадратная. Если промежуточных поперечных ветвей нет, т.е. нагрузка и, возможно, к.з. имеются только в конце линии, то матрица  $\mathbf{K}$  будет столбцом и схема нулевой последовательности получается точной. При расчете без учета влияния заземляющих устройств в выражениях (13) и (14) следует принять  $\mathbf{K} = 1$ .

## ВЫВОДЫ

1. Расчеты показывают, что вопреки данным [1-3] при обрыве проводов, однофазном к.з. на нулевой провод, а также нормальном режиме работы линии 0,38 Кв, имеющих распределенную нагрузку, заземляющие устройства нулевого провода практически влияния на распределение тока нулевой последовательности не оказывают, поэтому при расчете этих режимов методом симметричных составляющих в схему нулевой последовательности сопротивления заземляющих устройств можно не вводить.

2. При желании учесть влияние заземляющих устройств можно воспользоваться выражениями (13) и (14), определяя коэффициенты по (4).

3. Приведенные в статье значения сопротивлений  $X_M$  и  $X_N$  могут быть использованы в расчетах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин А.Ш., Фексон И.М. О выборе способов повышения чувствительности защиты от однофазных к.з. в сельскохозяйственных распределительных сетях. – Энергетика и электрификация, 1975.

2. Сукманов В.И. Исследование распределения токов нулевой последовательности в нормальном и аварийном режиме работы сельских сетей 0,38 кВ. – Тр./МИИСП, 1974, вып. 3.

3. Херсонский А.С. Обнаружение замыканий на землю сельских воздушных линий 0,38 Кв. – В кн.: Рациональная электрификация сельского хозяйства. М. МИИСП, 1984.

4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

5. Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – М.: Тяжпромэлектропроект, 1975, №6.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ  
ВОДОСНАБЖЕНИЕМ НА БАЗЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА “СИРИУС”**

**Свиридов Ю.П., инж.**

Муниципальное предприятие “Ульяновскводоканал”

Водоснабжение является одним из основных звеньев в системе жизнеобеспечения городов и населенных пунктов. В современных условиях особенно актуальна задача обеспечения бесперебойного снабжения водой городских потребителей при соблюдении наиболее экономичных режимов работы всех объектов системы водоснабжения: насосных станций, сооружений очистки питьевой воды, магистральных водоотводов, резервуаров запасов воды, распределительной водопроводной сети, а также повышения технико-экономических показателей предприятия в целом. Для выполнения этой задачи по заказу муниципального предприятия “Ульяновскводоканал” ассоциацией “Системкомплекс” и ГПКИ “Проектавтоматика” (Санкт-Петербург) разработан проект первой очереди АСУ водоснабжения Ульяновска.

В АСУ “Водоснабжение” реализуются следующие информационно-управляющие функции:

сбор данных и первичная обработка информации;

контроль отклонений параметров (давление, расходы, уровни воды в резервуарах и др.) от нормативных значений;

контроль работы оборудования (состояние насосных агрегатов, задвижек);

учет запасов и расходов воды;

контроль помещений с насосными агрегатами (сигнализация о несанкционированном доступе, понижении температуры, затоплении насосной станции);

контроль работы и диагностика технических средств комплекса;

телеуправление насосными агрегатами и задвижками на водоводах;

предоставление информации о режимах работы оборудования и водопроводной сети, технологических параметрах, потреблении энергии и других данных диспетчеру, руководству и основным службам предприятия.

В АСУ “Водоснабжение” предусматривается двухуровневая структура управления (см. рисунок):

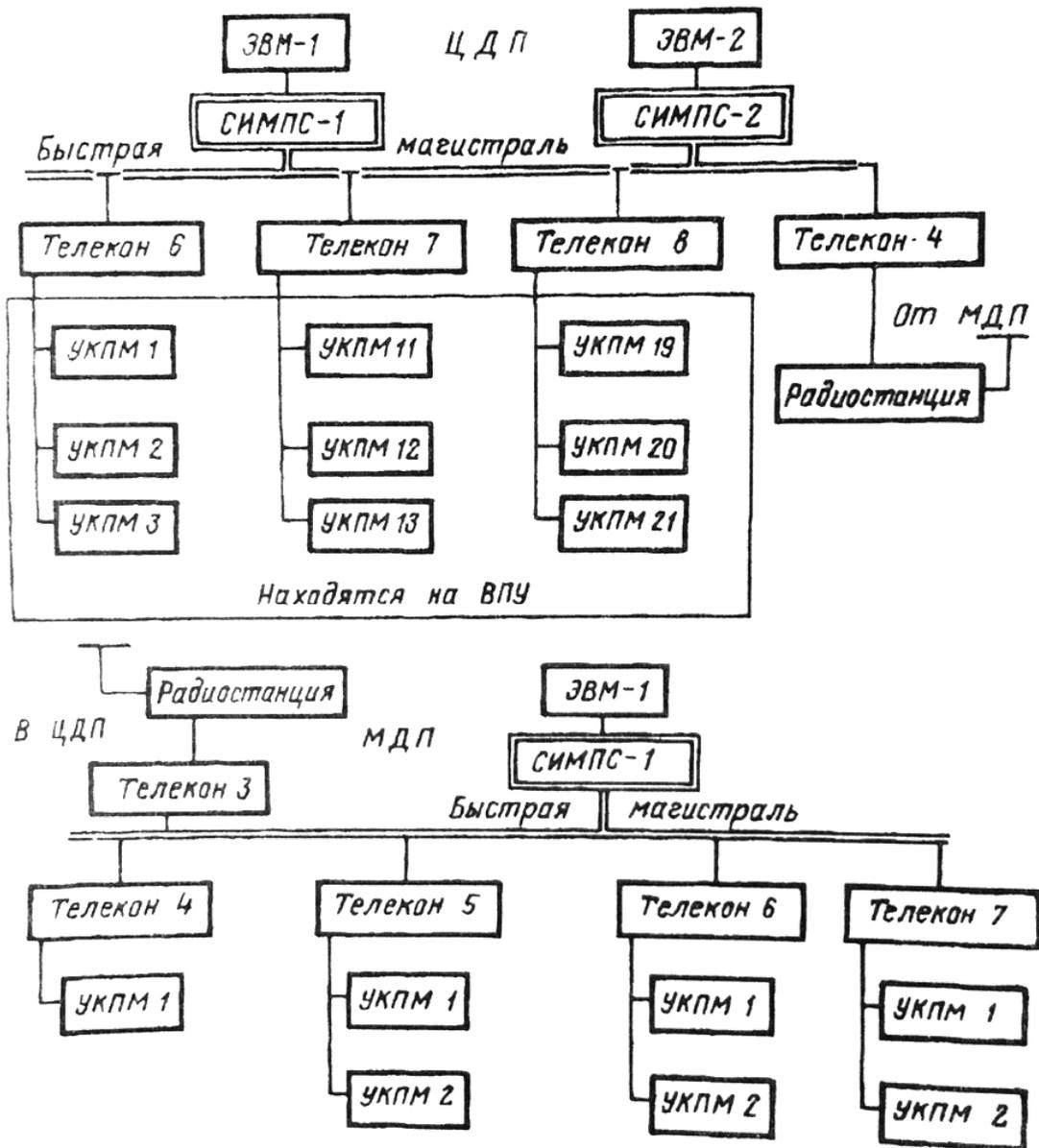
верхний уровень – центральный диспетчерский пульт ЦДП;

нижний уровень – местный диспетчерский пункт МДП.

Информация предоставляется: на дисплее – в виде фрагментов мнемосхем, графиков, таблиц; на печатающем устройстве – в виде рапортов, сводок. Она может передаваться также в виде файлов данных в АРМ автоматизированной системы управления производством.

В проекте для реализации функции контроля и управления использованы современные технические средства: телемеханический комплекс УВТК 120.2 (программно-технический комплекс “СИРИУС”) с персональными компьютерами, разработанный СП “Телетап” (Москва) и изготовленный ПО “Краснодарский ЗИП” и Новополюцким заводом “Измеритель”; датчики и преобразователи сигналов. Так, для измерения давления используются датчики давления “МИДА” разработки и производства предприятия “МИДА” (Ульяновск). Они имеют высокие потребительские свойства: малые габариты, низкое энергопотребление, стойкость к неблагоприятным условиям, относительно небольшая стоимость. Для измерения уровней в резервуарах будут применены

датчики уровня, разработанные и изготовленные Ульяновским КБ приборостроения.



**Структурная схема АСУ “Водоснабжение” г. Ульяновска:**

*СИМПС* – контроллер связи ПЭВМ и информационной магистрали (ретранслятор); *ТЕЛЕКОН* – блок обработки и связи между СИМПС и УКПМ (контроллер-порт); *УКПМ* – блок телеуправления, сбора и первичной обработки информации.

Информационно-управляющие функции реализуются с помощью типовых алгоритмов. Для задачи “Сбор и первичная обработка информации” используются следующие типовые алгоритмы:

проверка на достоверность информации, получаемой от датчиков аналоговых сигналов, осуществляется по граничным значениям рабочего диапазона изменения параметра;

при усреднении измеренных значений параметра используется формула скользящего среднего;

при интегрировании значений параметра выполняется приближенное вычисление интеграла.

Для задачи “Дистанционное управление насосными агрегатами и задвижками” применяются типовые электрические схемы управления. В дальнейшем МП “Ульяновскводоканал” планирует использовать для управления интегральные микросхемы, что существенно повысит надежность показатели системы.

В качестве операционной используется система MSDOS реального времени. Программное обеспечение содержит сервисные программы (графические и текстовые редакторы, компилирующие системы языков программирования, средства копирования конфигурирования и отладки) и предусматривает режим меню.

В 1995 г. в Ульяновске при активном участии фирмы “КОМПАС” (Москва) введена в эксплуатацию система телемеханического контроля и управления объектами водоснабжения 1-го этапа, выполненная на базе телемеханического комплекса УВТК 120.2. она позволяет реализовать телеконтроль и телеуправление 8 водопроводными повысительными узлами (ВПУ): 6 – в Засвияжском районе города, 2 – в Ленинском, а также контроль за давлением в водопроводной сети (ТИ и ТС) в 12 контрольных точках, причем контроль за состоянием водопроводной сети, а также контроль и управление ВПУ Ленинского района осуществляются

непосредственно на *ЦДП*, а контроль и управление ВПУ Засвияжского района – через *МДП*. С *МДП* Засвияжского района информация о состоянии насосных агрегатов и давлении в водопроводах ВПУ по радиоканалу автоматически передается на *ЦДП*.

Комплекс УВТК 120.2 пригоден для использования на водопроводах, в электрических и тепловых сетях и на других объектах коммунального хозяйства. Он имеет в своем составе интеллектуальные ПУ и КП с ПЭВМ IBM PC, а также интеллектуальные малогабаритные КП типа УКПМ. Использование в составе комплекса ПЭВМ IBMPC позволяет: создать АРМ операторов-диспетчеров, отвечающие современным функционально-эргономическим требованиям; выполнить *ЦДП* и *МДП* на базе одного комплекса, причем с возможностью взаимного резервирования функций; передавать информацию как по некомутируемым, так и по коммутируемым линиям связи. Достоинством комплекса являются также: наличие радиоканала, который может использоваться в целях резервирования каналов связи, и поставка с полным программным обеспечением под задачи данной системы, причем изготовителями являются заводы Российской Федерации, использующие современную элементную базу.

Информация на ВПУ собирается телемеханическим устройством УКПМ и передается по некомутируемым линиям связи или по радиоканалу в ПЭВМ *МДП* или в ПЭВМ *ЦДП* с периодичностью 5 с. Рабочий диапазон изменений значений параметров, регламентные границы вводятся с пульта ПЭВМ.

Собранная от датчиков аналоговых и дискретных сигналов информация подвергается первичной обработке, формируется в файлы, которые хранятся в базе данных и используются для решения задач управления и представления информации диспетчеру и руководству предприятия.

Информация в ПЭВМ от КП и команды ПЭВМ передаются через контролеры-порты *Телекон* и ретранслятор *СИМПС* путем частотного модулирования сигналов. Скорость передачи информации по быстрой магистрали – до 30 кбайт/с, количество абонентов в быстрой магистрали – до 60, скорость передачи информации от ретранслятора *СИМПС* к ПЭВМ – до 18,2 кбайт/с. Информационная емкость *УКПМ-2* составляет: ТИ – 16 каналов, ТС – 64, ТУ – 32, ТИИ – 8 каналов.

В системе имеются две базы данных: одна – в ПЭВМ *МДП* (малая база данных), вторая – в ПЭВМ *ЦДП* (большая база данных). Они обновляются входной информацией, поступающей от датчиков аналоговых и дискретных сигналов с управляемых объектов и вводимой с пульта ЭВМ. К этой же информации относится условно-постоянная информация: рабочий диапазон изменений значений параметров, регламентные границы.

Информация в ПЭВМ *ЦДП* поступает двумя путями: часть – от датчиков аналоговых и дискретных сигналов ВПУ и контрольных точек, другая часть – из ПЭВМ *МДП* и *ЦДП* (по радиоканалу).

В ходе реализации 1-го этапа первой очереди АСУ водоснабжением Ульяновска и в процессе наладки по замечаниям эксплуатационного персонала, а также на основании пожеланий заказчика разработчиком программно-технического комплекса УВТК 120.2 был внесен ряд изменений в функциональные блоки и программное обеспечение системы. В результате этих доработок была повышена стабильность функционирования системы телемеханического контроля и управления, практически исключены сбои в ее работе, повысились скорость передачи информации по радиоканалу и ее достоверность, появилась возможность вести обмен информацией по проводной линии связи и по радиоканалу без дополнительной переналадки. Обмен информацией между *МДП* и *ЦДП*

стал осуществляться в автоматическом режиме без участия оператора МДП.

Опыт внедрения АСУ водоснабжением Ульяновска на базе программно-технического комплекса УВТК 120.2 “СИРИУС” показал, что система устойчиво функционирует в условиях, характерных для объектов водопроводов крупных городов. Она может быть использована также для контроля и управления электрическими и тепловыми сетями и другими системами коммунального обеспечения.

## **ЭЛЕКТРИКА №4, 2005**

### **О РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

**В.П. Шингаров**

МУП “Ульяновские городские электросети”

Определение себя как потребителя в условиях осуществляемой реструктуризации электроэнергетики привело крупные промышленные предприятия, компании, холдинги к созданию собственных энергоснабжающих предприятий. Идет процесс восстановления, модернизации собственных генерирующих мощностей, строят новые. На фоне несомненного отказа “большой” энергетики от провозглашенного и десятилетиями отстаиваемого принципа “дойти до каждой розетки и коровника” (хотя желание руководить всем электроснабжением, вплоть до отдельного приемника – осталось), что можно предложить для мини- и мелких предприятий и организаций, для населения городов и поселков, бюджетной сферы и сферы услуг? Изложим подход, реализуемый МУП “Ульяновские городские электросети”.

В мировой практике организации электроснабжения федеральные функции заканчиваются на границе федеральной транспортирующей организации ( в России – ФСК), на границе высокого (ВН) и среднего (СН)

напряжения, т.е. там, где по условиям функционирования розничного рынка электрической энергии (продиктованы для стран-участниц Евросоюза в “Директиве 96.92.ЕС Европейского парламента и Совета от 19 декабря 1996 года относительно общих правил для внутреннего рынка электроэнергии”) начинается региональный розничный рынок. Логика рынка в этом документе построена на создании максимума интереса к разрозненным тысячам и тысячам мелких городских потребителей (в том числе и населению), в первую очередь, путем демонополизации. Федеральный закон “Об электроэнергетике” также содержит основы демонополизации структуры отрасли.

Самая важная и значительная, с экономической и политической точек зрения, часть жилого коммунального комплекса – это муниципальная энергетика. Во всем мире она называется муниципальной, или коммунальной (за органическую связь с городским или поселковым коммунальным хозяйством ей на роду написано быть в его составе).

Говоря о том, с кем дальше быть коммунальной энергетике, нужно кроме диалоговых проблем перед монопольным поставщиком не забыть главное. А главное в том, что коммунальную энергетику от так называемой “большой” энергетики отличает совершенно особый менталитет. Мы подчас настолько несовместимы с “большими” во взглядах на проблемы, в выводах и принимаемых решениях, что такая диаметральность помогает обеим структурам лучше адаптироваться в сложнейших ситуациях, которыми так богата теперешняя энергетика.

Надо признать, что некоторые противоречия (в основном того же ментального происхождения) заставляют обе стороны единого процесса электроснабжения быть по разные стороны баррикад, а значит – быть более собранным. Может, в этом и проявляется конкуренция на региональном рынке электроэнергии?

Нельзя отрицать, что общность коммунальной энергетики с интересами общегородскими, т.е. потребительскими, объективно дистанцирует ее от “большой” энергетики, особенно принимая во внимание, что на границе с коммунальной энергетикой функционально заканчивается транспорт энергии и начинается поставка электроэнергии тысячам мелких городских потребителей и населению. Именно здесь начало тех функций, которые в директиве Европарламента и Евросоюза называют дистрибуцией (по отношению к оптовому рынку эта функция консолидированного потребителя).

Предприятия Ульяновских городских электросетей в теперешнем их виде с их структурой потребителей (более 80% общей реализации приходится на население и бюджетные организации), согласно изложенным в законе “Об электроэнергетике” признакам, являются гарантирующим поставщиком (ГП), т.е. субъектом оптового рынка. С такой нашей трактовкой роли и места коммунальной энергетики не согласны идеологи перестройки “большой” энергетики, пытающиеся, в частности, целым комплексом приемов помешать предприятию электросетей в Ульяновске выйти на федеральный оптовый рынок и построить свою АСКУЭ по центрам питания 110/6(10) Кв.

Здесь нельзя не коснуться создания единой российской коммунальной системы (РКС). Уже сейчас совершенно очевидно, что вариант развития коммуналки по пути РКС нарушает условия антимонопольного законодательства. Россия пока еще не испила эту горькую чашу, но весь мир знает и боится такого объединения субъектов на рынке товаров и услуг, которое, к сожалению, никогда и нигде не происходит в интересах потребителей. Не противоречит ли это ст. 8 Закона “О конкуренции в ограничении монополистической деятельности на товарных рынках”?

Зачем нужны новые эксперименты в такой деликатной сфере как ЖКХ, если в мире уже существуют опробованные рыночным хозяйствованием механизмы управления жилищным и коммунальным хозяйством на муниципальных территориях, и нигде (!) нет схемы, предусматривающей механизм федерального присутствия в управлении региональным ЖКХ. Наличие большой доли населения в составе прямых абонентов горсетей делает наши приемы работы резко отличными от приемов работы “больших” энергетиков. Работа с населением сегодня – сфера наиболее сложно решаемых проблем, присущих только коммунальным энергетикам и непонятных “большим”.

Работая с населением по вопросам неплатежей, мы сделали два вывода: нельзя допускать накопления долга (для чего мы должны форсировано переходить на немецкую технологию расчетов); состояние платежа зависит от платежеспособности населения. Поэтому нужен алгоритм расчета максимальной экономически обоснованной величины коммунального тарифа с учетом совокупного семейного дохода. Алгоритм позволит определить возможную планку повышения тарифов (при ее повышении планируемые доходы будут идти фактически не от населения, а через систему субсидий, т.е. из бюджета, что будет означать экономическую нецелесообразность такого превышения). Кроме того, расчет позволил бы объективно определить величину трансферов в межбюджетных отношениях на компенсацию дотаций населений.

“Большие” энергетики на этот счет имеют свое мнение – “всесильный рубильник”. Мы же этот прием в отношении объектов жилья не используем, считая, что это не только ухудшает платежи из-за внутреннего протеста людей против несправедливости наказания рубильников, но и (что очень важно) разрушают и без того слабые нити взаимодействия между энергетиками и населением, между населением и властью, пока, к

сожалению, не способной обеспечить справедливый порядок на территории совместного проживания граждан.

Ульяновскими городскими электросетями подготовлен новый проект договора с населением, на который мы возлагаем большие надежды. Он предусматривает немецкий принцип расчетов за электроэнергию, основанный на объеме потребления за предыдущий год. Уже несколько лет мы ведем статистику потерь электроэнергии в зависимости от двенадцати варьирующих условий (температуры наружного воздуха, температуры теплоносителя, наличия или отсутствия ГВС, этажности, наличия газа и др.). Накоплен статистический материал, который мы используем для программы прогнозов доходов и потерь при обслуживании населения, что особенно важно для работы на оптовом федеральном рынке.

Интересным представляется опыт организации приема платежей от населения нового ульяновского района – Авиастара (230 тыс. жителей), где мы использовали автоматизированную систему сбора и разности платежей. В качестве материальной части в единой программе и режиме on-line с расчетной ПЭВМ работают кассовые машины (из серии фискальных регистраторов). К сожалению, техника используется только для расчетов за электроэнергию, что не позволяет получить максимальный экономический эффект (наши комплексы позволяют на треть сократить расходы на сбор платежей и коммунальные услуги).

Ново-Сельдинский район Ульяновска отличается тотальными неплатежами и хищениями электроэнергии. При приеме его абонентов и сетей на баланс УльГЭС мы использовали ряд технических и организационных новинок. Все сети 0,4 кВ вплоть до контакта со счетчиком построены самонесущими изолированными проводами фирмы “Симель”, не допускающими обычных приемов хищения. В качестве публичного договора мы применили упомянутый договор с немецкой

организаций расчетов с населением, а для обнаружения хищений поставили потенциально неблагонадежным абонентам новосибирские счетчики (с “детектором лжи”), позволяющие дистанционно получать сведения о состоянии электропотребления. Мы также намерены для уличного освещения (практически это освещение придворовых территорий) установить счетчики со смарт-картой, работающие по принципу ограниченного кредитования.

Мы не поддерживаем идеологию обращения наших долгов основному поставщику электроэнергии на муниципальную собственность в форме энергетических объектов. Думается, что банковски воспитанный корпус “больших” энергетиков совершает ошибку, делая ставку при создании РКС и реструктуризации ЖКХ на действия с собственностью, а не на лучшие мировые технологии.

Мы не согласны и с идеологией “больших” энергетиков в решении проблемы потерь. Как известно, их предложение состоит в том, чтобы в отсутствии приборов учета закрыть брешь за счет бюджетных средств (например, по административному району потери от воровства доходят до десятков миллионов рублей в год); на этом фоне оплата хотя бы половины бюджетными средствами решила бы проблему. Мы считаем, что проблема безучетности должна быть решена принципиально другим способом: необходимо принять региональный закон, дающий независимым владельцам коммерческих средств или систем измерения право на получение своей доли в тарифе. Такая законодательная норма дает возможность инициироваться инвестиции в эту сферу; более того, системы коммерческого учета и баланса смогут, наконец, объективно показать потери на всех уровнях и во всех сферах использования энергоресурсов (и не только в электроснабжении).

Основание для такой идеологии развития средств и систем учета существует – это п. 3 ст. 23 ФЗ “Об электроэнергетике”. По нашему

мнению, для запуска такого проекта городскому Законодательному собранию достаточно принять два региональных закона: “О гарантиях владельцам средств и систем коммерческого учета электроэнергии” и “О реестре средств и систем коммерческого учета электроэнергии”. Создание института независимого поставщика коммерческой информации позволит сдвинуть с места одну из самых “бородатых” проблем – безудержную компенсацию потерь за счет потребителя – и станет примером по-настоящему конструктивного технологического (а не банковского) подхода к общероссийской проблеме.

Есть различия и в идеологии разделения коммуналки и “больших” энергетиков. К примеру, чтобы показать, как упрощаются взаимоотношения в электроснабжении, когда центр питания находится не в составе городской сети, была принята промышленная подстанция 110/6 кВ, половину мощности которой предприятие отпускало в городские электросети Ульяновска.

Следует отметить, что такое направление диверсификации в энергетике не является проявлением местного чванства“. Идея целесообразности функциональной принадлежности центров питания к городским энергетическим объектам имеет арбитражный прецедент в Германии: в судебном процессе между горэлектросетью Крефельда и Рейн-Вестфальской энергетической компанией была доказана целесообразность функционального единства центров питания 110/10 кВ в составе городского электрохозяйства, снабжающего городских потребителей. В течение 15 лет после судебного процесса город приобрел, построил, реконструировал до современного уровня все 18 городских центров питания, принадлежащих АО городской электросети Крефельда.

Мы глубоко убеждены, что сфера муниципального энергоснабжения должна быть в ведении региональной власти. Региону нужна единая система хозяйственно-административных отношений на его территории,

обеспечивающая эти функции. Власть должна отвечать и управлять всем жизненно важным комплексом, от тарифообразования до баланса между потребностями и возможностями. По структуре управления система должна быть холдингом электроэнергетических распределительных акционированных предприятий; в переходный период перед акционированием такое объединение возможно в форме управляющей компании.

Сложен вопрос с перекрестным субсидированием. Проблема возникла, когда в стране было нарушено существовавшее соотношение между тарифом на электроэнергию для населения (4 коп./кВтч) и вдвое меньшим тарифом для промышленности. В результате ущербным оказалось рыночное развитие коммунальной среды электроэнергетики.

Обратимся к структуре затрат по функциональным уровням в системе электроснабжения. И в энергетике СССР, и в мировой практике, и в начале реформы экономики в России соотношение затрат (себестоимость) характеризовалось следующими показателями, в %:

Генерация (в зависимости от вида генерирующего источника) ..	20-28
Транспорт по системообразующим ЛЭП .....	3-6
<i>Итого поставка в региональный рынок .....</i>	<i>34</i>
Транспорт и распределение по региональным сетям:	
высокого напряжения .....	7-12
среднего и низкого напряжения .....	20-28
Расчеты с потребителями (в зависимости от количества потребителей на 1 млн руб. дохода) .....	20-26
<i>Итого затрат в регионе .....</i>	<i>66</i>
<b>Всего затрат .....</b>	<b>100</b>

За годы перестройки эти соотношения резко изменились: сфера дистрибуции (сбыта, транспорта по среднему и низкому напряжению, распределения) сократились более чем в 2 раза. По Ульяновскому региону

она составляет всего 22% от совокупных расходов. Зато пропорционально увеличились расходы на транспорт и распределение по региональным сетям ВН, на треть – по системообразующим ЛЭП.

На практике такое искажение структуры тарифообразования означает естественное ухудшение состояния дел в коммунальной энергетике. А последняя находится в прямом контакте с населением, бюджетными организациями и организациями сферы жизнеобеспечения населения, т.е. коммунальными и жилищными городскими предприятиями, которые в большинстве регионов России сегодня все еще не сбалансированы по разнице между себестоимостью и величиной тарифа – со всеми вытекающими последствиями, отрицательно влияющими на экономику коммунальных электросетевых предприятий.

Приведенный анализ состояния тарифного обеспечения дистрибуции необходим для понимания сложившейся проблемы перекрестного субсидирования населения в электроэнергетике. С выходом постановления правительства РФ от 22.08.2003 г. № 516 “О предельных уровнях тарифов на электрическую и тепловую энергию на 2004 год” и постановления ФЭК от 25.08.2003 г. № 66-э/1 фактически зафиксирована невозможность прекращения перекрестного субсидирования. Дело в том, что при установлении тарифов для населения использованы принципы индексации предельного их повышения “для потребителей, получающих электроэнергию от иных поставщиков”.

В отличие от региональных АО-энерго, по которым постановлением ФЭК установлены предельные уровни тарифов (следует заметить, что установлены не средневзвешенные тарифы для регионов, а тарифы только для потребителей, получающих электроэнергию от предприятий региональных акционерных обществ энергетики и электрификации), “иные поставщики” как раз и снабжают энергией, тарифы на которую все еще находятся в пределах 70-80% себестоимости и не обходятся без

пресловутой перекрестности. Перекрестность, в свою очередь, входит в баланс общих коммунальных платежей и связаны уже с другими законами и стандартами. Именно поэтому принцип установления тарифа для населения, который предполагает предельную индексацию от тарифа для промышленности, даже арифметически “навечно” фиксирует невозможность первого тарифа догнать второй. Так что изменить сложившееся соотношение в “электрических” платежах, не трогая всю нависшую глыбу несообразностей в сфере доходов и расходов населения, без общего дирижирования со стороны государства, видимо, невозможно.

Процесс деления РАО “ЕЭС России” сопровождается увеличением затрат. Поскольку деление началось с верхних уровней “пирамиды” РАО, то и вносимые искажения в структуру совокупной себестоимости электроэнергии имеют высшие приоритеты, что с учетом постановления ФЭК № 66-э/1 еще больше обостряет проблему перекрестного субсидирования.

Как показала практика исполнения постановления Правительства РФ от 26.09.1997 г. № 1231 “О поэтапном прекращении перекрестного субсидирования в электроэнергетике и доведении уровня тарифов на электрическую энергию для населения до фактической стоимости ее производства, передачи и распределения”, решение проблемы продвигается далеко не в заданном Правительством темпе. Поскольку в электроэнергетике определенный “базис” сложился не в пользу дистрибуции, очевидно, что решение проблемы перекрестности должно быть перенесено в другие сферы. Эти сферы обозначены в различных документах правительства РФ и нормативных документах ФЭК и могут быть классифицированы на две группы:

- 1.) перенос объекта перекрестного субсидирования на бюджет;
- 2.) физическое выделение схемы электроснабжения населения для снижения себестоимости поставляемой электроэнергии за счет всех

функциональных звеньев – от максимально эффективной генерации до максимального сокращения потерь на транспорте энергии.

На первом варианте не стоит останавливаться, так как этот прием достаточно точно охарактеризован известным народным изречением “хрен редьки не слаще”. Более того, о ряду регионов его реализация будет означать, что все лето из-за отсутствия бюджетных средств на компенсацию тарифной разницы население города будет лишено, помимо горячей воды, еще и света. Особый практический интерес представляет второй вариант, который позволяет не фиксировать сложившееся искажение соотношения в структуре затрат, а наоборот, разрешить эту проблему посредством более глубокого дифференцирования затратного механизма применительно к населению.

На основании постановления ФЭК от 05.12.1997 г. № 125/2 в качестве мер по снижению фактической стоимости электроэнергии для населения необходимо предусматривать возможность использования “различных источников энергии по их фактической стоимости” (ФОРЭМ, АО-энерго с отдельным учетом стоимости теплофикационной и конденсационной выработок, блок-станции или другие независимые поставщики) с целью минимизации затрат на ее приобретение. В Ульяновске в качестве альтернативы следует рассматривать поставку электроэнергии с оптового рынка и от местных ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2.

Здесь важна методика расчета затрат на транспорт электроэнергии по выделенному участку электросетей. Расчет экономически обоснованного размера платы за услуги по передаче электроэнергии по “Методическим указаниям по расчету тарифов на электроэнергию” предусматривает определение двух ставок: за содержание электросетей и технологический расход (потери) электроэнергии на ее передачу по сетям соответствующих уровней напряжений. Отметим, что в Порядке оплаты за услуги по передаче электроэнергии предусмотрено не взимать плату с потребителя

(покупателя, другой электроснабжающей организации), подключенного непосредственно к шинам генераторного напряжения. Исчисление платы возможно по отдельным выделенным участкам электрической сети. При этом расчет по выделенным участкам сети должен учитывать только те расходы сетевой компании, которые необходимы для поддержания этих участков и компенсации платы за технологические потери на них.

Между тем в практике взаимоотношений поставщиков и потребителей не использованы возможности сокращения платежей за счет выделения участка сетей, несмотря на существенные преимущества такого метода для потребителей, расположенных вблизи генерирующего источника. Это объясняется, во-первых, отсутствием методики выделения участка питающих и распределительных сетей высокого, среднего и низкого напряжения, а также расчета параметров, влияющих на стоимость транспортировки электроэнергии по уровням напряжения; во-вторых, невозможностью из-за монополизма в электроэнергетике развития рыночных принципов (в том числе и дифференциации общих расходов на транспорте электроэнергии) и включения механизмов сокращения расходов транспортирующей организации (особенно в части сокращения потерь, значительно возросших в сетях 220 и 110 кВ за последние два года; из-за п. 33 разъяснений ФЭК РФ к Методическим указаниям от 31.07.2002 г. № 49-э/8 по ряду АО-энерго повышение произошло в 4-5 раз).

В связи со значительностью доли платежей за транспорт в общих платежах (вплоть до превышения стоимости генерации электроэнергии), а также в связи с выделением с 01.01.2005 г. функции транспортирования в самостоятельную сферу, становится особо актуальной задача выработки метода и приемов минимизации расходов на транспорт (в первую очередь, за счет потерь). По существу, потребуется определить аналитическую зависимость между величинами платежей за технологический расход по передаче электроэнергии, полученными по общей расчетной схеме и по

выделенной схеме поставки электроэнергии группе потребителей (находящейся по критериям транспорта в зоне экономической эффективности по отношению к генерирующему источнику). С экономической точки зрения, возможно получение эффекта в размере около 200 млн руб. в год (для баланса выработки и потребления от оптового рынка в соотношении 50 на 50, при общем объеме потребления около 5 млрд кВтч и тарифах 2004 г.). В социальном плане это позволит прекратить перекрестное субсидирование населения, что, в свою очередь, предотвратит задержку по срокам реализации программы реформирования электроэнергетики. Расчет по выделенной схеме, приобретая “прозрачность”, даст возможность упростить расчет технических потерь (не позволяя применять на этом участке допущения, разрешенные “Методическими указаниями” для корректировок расчетных величин потерь поправочным коэффициентом, технологически необоснованно повышающим потери на транспорт в разы).

Ульяновская область по балансу электроэнергии является дефицитным регионом: фактическая собственная выработка составляет около 50% от потребностей. При условии же максимальной загрузки установленного генерирующего оборудования ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 имеется возможность покрытия около 80% спроса. В 2004 г. размер платы за услуги по передаче электроэнергии на стороне 110 кВ составлял 22,2 коп./кВтч (в 2001 г. – 1,46); потери электроэнергии – 14,5 % (в 2001 г. – 4,4); конечный среднеотпускной тариф для населения в 2004 г. – 64 коп./кВтч (в 2003 г. – 54) без НДС.

Предполагается приоритетное удовлетворение потребности населения и жизнеобеспечивающих сфер города на основе выработки электроэнергии на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, которая становится базисом в региональном энергетическом балансе. Дефицитная часть баланса заполняется за счет выхода на оптовый рынок электроэнергии крупных промышленных

предприятий. Технологическая схема предусматривает физическое перераспределение потоков электроэнергии по существующим линиям электропередачи высокого напряжения (ЛЭП 110 кВ), от ближайших источников – ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 (при условии их работы в проектных режимах), а не от федеральных электростанций из соседних областей и регионов России. При этом предприятие, осуществляющее транспорт энергии в городе, фактически будет являться дистрибьютером электроэнергии городски тепловых электроцентралей. Особо подчеркнем: за счет значительного сокращения сетей, участвующих в процессе передачи электроэнергии, будут снижены технические потери электроэнергии, что в итоге позволит уменьшить расходы на транспорт и сбыт на ступенях ВН и СН.

Ожидается, что себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, будет ниже цен оптового рынка. Но даже без этой разницы по расчетам эксплуатационные затраты (соответственно и плата за услуги транспорта) будут составлять 3,2 коп./кВтч; технологические потери электроэнергии на ступени высокого напряжения по всей схеме электроснабжения составит 2,5%.

При построении внутреннего рынка по изложенным принципам себестоимость электроэнергии будет снижена на величину перекрестности, что позволит снять препятствия для выхода на оптовый рынок крупных промышленных предприятий (всего по Ульяновску порядка 250 МВт, соответственно электропотребление около 800 Млн кВтч в год). Это даст возможность при неизменных конечных тарифах высвободить средства для инвестирования (например, через энергосберегающую компанию) в развитие и реконструкцию собственных генерирующих мощностей региона. Сужение сферы интегрирования при расчете эксплуатационных затрат на транспорт по ВН и СН обеспечит прозрачность расчетов в соответствии с требованиями закона “Об электроэнергетике” и ст. 4 Закона

от 14.04.1995 № 41-ФЗ “О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации”.

Итак, для законодательной защиты потребителя и предоставления ему возможности действовать в соответствии со своими экономическими интересами необходима “добрая воля” трех субъектов: Администрации региона (города), Правительства РФ и РАО “ЕЭС России”. У каждого из субъектов свои проблемы: у первого – взаимоотношения с населением, дефицит бюджета, у второго – ответственность за завершение реформы ЖКХ без социально-политических обострений, у третьего – снижение себестоимости и потеря достигнутых паритетов внутри структуры совокупной себестоимости. Хотя, с другой стороны, этот третий субъект не может не понимать, что огласить факт снижения тарифа для населения за счет участия в рыночной торговле вовсе не означает снизить себестоимость; кроме того, снижение или повышение (иными словами – регулирование) тарифов на территории – это функция регулирующего органа, а не энергоснабжающей организации. И, сэкономив на рыночном механизме, можно всю экономию “спалить” на потере транспорте энергии, если такими темпами, как это происходит сейчас повсеместно, повышать потери.

Мы уже давно и с нетерпением ждем появления правительственного решения по созданию института гарантирующих поставщиков. На мой взгляд, было бы логичным в составе приоритетов этой системы, являющейся по сути “социальной ночлежкой в электроэнергетике”, назвать использование такой схемы электроснабжения потребителей, которая обеспечивала бы минимизацию затрат (от выбора наиболее экономичных генерирующих источников до минимизации транспорта, распределения и поставки энергии по выделенной схеме). При этом дефицит вырабатываемой энергии в регионе может для промышленных предприятий покрываться закупкой на федеральном рынке по

общерасчетной транспортной схеме с соответствующими потерями. И этот прием, по сути, представляет собой продолжение политики обеспечения требований “прозрачности” расходов электроснабжающих организаций, что является основным условием экономического обоснования тарифов в пределах регулируемой территории.

## **О ЗАВЫШЕНИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, В СВЯЗИ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

**А.В. Кузнецов, Ю.П. Юренков, И. Лапин**

Одним из приоритетных направлений научно-технологического развития РФ является переход к ресурсосберегающей энергетике. Это напрямую связано со снижением инвестиций в электроэнергетический комплекс РФ, в частности в системы транспортировки и распределения электроэнергии (СТРЭ), с развитием технологий создания энергосберегающих СТРЭ, отмеченных Указом Президента РФ №899 от 7 июля 2011 года как критические технологии в РФ. Для решения задачи необходимо создание технологий, обеспечивающих передачу электроэнергии по пути наименьшего электрического сопротивления. Очевидно, что при этом возрастают токи короткого замыкания. Этому способствует увеличение плотности нагрузок и сокращение расстояний для транспортировки электроэнергии, внедрение интеллектуальных СТРЭ (Smart Grid) [1], интеллектуальных сетей с гексагональной топологией [2], применение дополнительных источников генерации электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии, повышение номинального напряжения электрических сетей и т.п. В ряде случаев при объединении силовых трансформаторов на параллельную работу токи короткого замыкания могут превышать токи предельной отключающей способности

существующей коммутационной аппаратуры, что ограничивает возможности использования таких решений.

Важнейшим требованием к системам транспортировки и распределения электроэнергии является высокая надежность, в том числе при возникновении аварийных ситуаций, связанных с возможностью возникновения коротких замыканий. Токи короткого замыкания могут достигать значительных величин и оказывают разрушающее воздействие на все технологическое оборудование систем транспортировки и распределения электроэнергии. Для сохранения работоспособности системы технологией предусмотрено отключение поврежденного участка, которое осуществляется устройствами защиты, включающими в себя средства релейной защиты и коммутационные электрические аппараты. Технические характеристики устройств защиты должны позволять защитить неповрежденные элементы от разрушающего теплового воздействия.

За период времени от начала возникновения тока короткого замыкания до его отключения температура элементов технологического оборудования повышается. Ее значение зависит от величины тока короткого замыкания и длительности этого периода, т.е. времени действия релейной защиты и электрического аппарата. Задача в данном случае сводится к тому, чтобы не допустить нагрев до критической температуры, при которой нарушается работоспособность технологического оборудования защищаемого участка системы транспортировки и распределения электроэнергии. К сожалению технические средства не всегда могут обеспечить защиту элементов защищаемой сети выбранных по номинальным параметрам. Для проводников это длительно допустимый ток, для полупроводниковых приборов это предельный ток, для коммутационной аппаратуры это предельная отключающая способность. При больших токах короткого замыкания и длительности воздействия

термическая и динамическая стойкость защищаемых элементов оказывается ниже, чем возможное тепловое и динамическое воздействие тока короткого замыкания. В этой связи нормами проектирования предписано выполнять поверку выбранных сечений проводников, выбранных силовых полупроводниковых приборов, и других элементов защищаемой сети на термическую и динамическую стойкость в соответствии с утвержденными методиками как в России [3] так и за рубежом[4,5].

Если окажется, что температура защищаемых элементов достигает критических значений, то проектное решение сводится к завышению номинальных параметров элементов технологического оборудования (завышение сечений проводников и кабелей, увеличение номинальных токов защищаемых элементов) до уровня при котором температура новых элементов не будет достигать критических значений. Завышение номинальных параметров защищаемых элементов систем транспортировки и распределения электроэнергии связано с излишним расходом материалов: меди, алюминия, драгоценных и полудрагоценных металлов. Это увеличивает металлоемкость сети, приводит к необходимости применять усложненные конструкции коммутационных аппаратов на участках защищаемой сети.

Ученые разных стран мира трудятся над совершенствованием устройств защиты и ее составных элементов. Совершенствуются конструкции плавких предохранителей [6], контактных электрических аппаратов [7], аппаратов на основе силовых полупроводниковых приборов [8], Имеются сведения о разработке макетных образцов так называемых жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей и устройств защиты на их основе [9,10,11,12,13,15].

На сегодняшний день результаты исследований таковы, что технические характеристики применяемых устройств защиты в ряде

случаев не обеспечивают защиту элементов электрической сети, выбранных по номинальным параметрам. В результате:

- завышение инвестиционной составляющей в системы транспортировки и распределения электроэнергии напряжением до 1 кВ по отношению к общим затратам на производство и передачу электроэнергии достигает 2,7% [10,14];

- ограничивается возможность развивать технологии создания энергосберегающих систем транспортировки и распределения электроэнергии.

Избежать этого возможно за счет применения устройств защиты разумно сочетающих в себе токоограничивающие свойства и быстроедействие. Однако предварительные исследования показывают, что аппараты подобного типа в мировой практике отсутствуют.

На кафедре «Электроснабжение» Ульяновского государственного технического университета ведутся работы по созданию токоограничивающих устройств защиты на основе, так называемых жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей [10,11,12,13,15,16]. Предварительные результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что их применение может обеспечить снижение инвестиционной составляющей в системы электроснабжения [10,14].

### **Литература**

1. F. Possemato, M Paschero, L. Livi, A. Rizzi, A. Sadeghian “On the impact of topological properties of smart grids in power losses optimization problems”, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 78, pp. 755-764, 2016.

2. Лоскутов, А.Б. Интеллектуальные распределительные сети 10-20 кВ с гексагональной конфигурацией / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов, Д.В. Зырин // Промышленная энергетика. 2013.-№12.-С.3-7], применение дополнительных источников генерации.

3. ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. М.: Стандартинформ, 2007

4. IEC 60865-1:2011.Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods.

5. IEC TR 60865-2:2015. Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 2: Examples of calculation.

6. Constantinos, S. Psomopoulos. Recycling potential for low voltage and high voltage high rupturing capacity fuse links/Constantinos S. Psomopoulos,Dimitrios A. Barkas,Stavros D. Kaminaris,George C. Ioannidis,Panagiotis Karagiannopoulos//Waste Management.— Dec.2017. — Vol.70. — С. 204-211 doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.018>.

7. Gyu Cheol Lim, T. Damle, L. Graber, "Optimized contact geometries for high speed disconnect switches", Electrical Insulation and Dielectric Phenomenon (CEIDP) 2017 IEEE Conference on, pp. 537-542, 2017 DOI: 10.1109/CEIDP.2017.8257488.

8. Григорьев,А. А. Создание нового поколения низковольтных гибридных аппаратов с бездуговой коммутации для специальной электротехники/ А.А. Григорьев, М.А. Ваткина//Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева.—2013.— С. 49-57.

9. H. Wu, X. Li, M. Zhang, D. Stade, H. Schau, "Analysis of a liquid metal current limiter", IEEE Trans. Compon. Packag. Technol., vol. 32, no. 3, pp. 572-577, Sep. 2009; H. He et al., "Study of Liquid Metal Fault Current Limiter for Medium-Voltage DC Power Systems," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 8, no. 8, pp. 1391-1400, Aug. 2018. doi: 10.1109/TCPMT.2018.2791435.

10. Кузнецов А.В. Жидкометаллические предохранители и инвестиционная привлекательность их разработки./ А.В.Кузнецов - М: Энергоатомиздат, 2006 – 297 с.

11. Патент №2242818 (RU), МКИ<sup>3</sup> 7Н01Н 87/00. Жидкометаллический самовосстанавливающийся ограничитель тока / А. В. Кузнецов (RU), И. В. Сычева (RU) – №2003122171/09; Заявл. 15.07.03; Опубл. 20.12.04 , Бюл. 35. – 4 с..

12. Патент №2254636 (RU), МКИ<sup>3</sup> 7Н01Н 87/00. Ограничитель тока / П.В. Кузнецов (RU), А.В. Кузнецов (RU) – №2004106226; Заявл.02.03.04; Опубл.20.06.05, Бюл.17. – 4 с..

13. Ограничитель тока: пат. 2614389 Рос. Федерация: Н01Н87/00 / А. В. Кузнецов, Р. Ф. Тимиргазин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВП "Ульяновский

государственный технический университет" – № 2015152652; ; заявл. 8.12.15; опубл. 27.03.17, Бюл. № 27 (II ч.) . – 3 с. : ил.

14. Кузнецов, А.В. Повышение эффективности функционирования устройств управления передачей электроэнергии в системах электроснабжения потребителей / А.В. Кузнецов, Л.Т. Магазинник. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 151 с.

15. Yurenkov, Yu.P. CURRENT-LIMITING EQUIPMENT BASED ON LIQUID METAL SELF-HEALING FUSE (LMSF)/Yu.P.Yurenkov, Yu.V.Zhukova, R.F. Timirgazin, P.V. Trepalin //Вестник современных исследований.— 2018. — №5.1(20). — С. 566-568.

16. Кузнецов, А.В. Математическая модель для исследования токоограничивающих свойств жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей/А.В. Кузнецов, Ю.П. Юренков, И.Г. Лапин//Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы IX международной научно-практической конференции.– Саратов, 2018.– С. 83-85.

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД КОРДНОЙ ЛИНИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ**

**Р.Н. Ганиев**

Особое внимание при использовании промышленных электроприводов в производстве автомобильных шин уделяется вопросу повышения КПД и энергоэффективности технологических установок. Одним из энергоемких процессов шинного производства является изготовление корда – основы протекторного покрытия шины.

Процесс изготовления корда состоит в пропитке кордной ткани специальным раствором - латексом с последующей двухсторонней обкладкой ткани резиной, что происходит на многовалковых каландрах. В качестве кордной ткани используют хлопчатобумажные, вискозные и полиамидные ткани со свойствами нейлона. В отличие от червячных машин, каландры состоят из механизмов, приводимых в движение реверсивными многоквadrантными электроприводами с меняющимся знаком скорости и момента.[3]

Поскольку в процессе каландрования меняется объем подаваемой резиновой смеси, что влечет изменение момента нагрузки, необходимо обеспечивать регулирование момента привода. При этом скорость кордной ткани при заправке должна составлять 3-5 м/мин при рабочей скорости ткани в пределах 20-45м/мин. Отсюда диапазон регулирования скорости привода должен быть не менее (1:15) [2].

Согласно технологии производства резины на линии для пропитки кордной ткани электроприводу предъявляются следующие требования:

- согласование скоростей каждого из механизмов;
- задание и стабилизация натяжений на различных участках кордной линии обеспечение устойчивой работы;
- частота вращения в установившемся режиме должна поддерживаться с точностью до  $\pm 5\%$ , а при изменении статического момента - от 0,25 до 1,00 номинального момента двигателя;
- статические и динамические моменты должны компенсироваться;
- технологический процесс должен быть непрерывен, степень заполнения компенсатора при замене рулонов в электроприводах раскатывающих и закатывающих устройств должен быть постоянным;
- разгон и торможение должны осуществляться плавно;
- время аварийного торможения валков должно быть ограничено (не более чем  $\frac{1}{4}$  длины окружности валка);
- реверсирование.

Электроприводу кордной линии требуется обеспечивать определенные режимы работы:

1. Режим – «рабочая скорость»:

- плавный пуск;
- плавное изменение скорости линии во время работы;
- последовательное управление соотношением скоростей секций и возможность оперативного изменение этого соотношения;

2. Режим – «заправочная скорость»:

- устойчивая работа электропривода на заправочной скорости;
- режим «Реверсирование» (после останова секций на заправочной скорости для уборки брака);

3. «Наладочный режим»:

- пуск, останов и регулирование отдельных электроприводов системы.

4. Режим – «аварийный» останов линии.

Требования по точности поддержания заданных параметров следующие:

- максимальное установившееся отклонение рабочей скорости линии в статических режимах – не более  $\pm 1 \%$  от номинального значения рабочей скорости при статических изменениях напряжения питающей сети трёхфазного тока на  $+10\%$ ,  $-15\%$ , частоты сети на  $\pm 1 \%$ , температуры окружающей среды на  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

В схеме электропривода обязательно должны быть следующие элементы:

- цифровая индикация скоростей каждого приводного двигателя;
- необходимые блокировки и сигналы со стороны АСУ ТП.

При работе электропривода для его контроля необходимо предусмотреть видеотерминальную станцию ВТС с программируемым контроллером и видеопультотом.

Степень защиты электрооборудования нужно подбирать с учётом наличия в помещении токопроводящей пыли и сажи.

В настоящее время каждый двигатель кордной линии питается индивидуально от преобразователей частоты. Для электроснабжения электроприводов используют единый трёхобмоточный силовой трансформатор, выходное напряжение вторичной обмотки которого

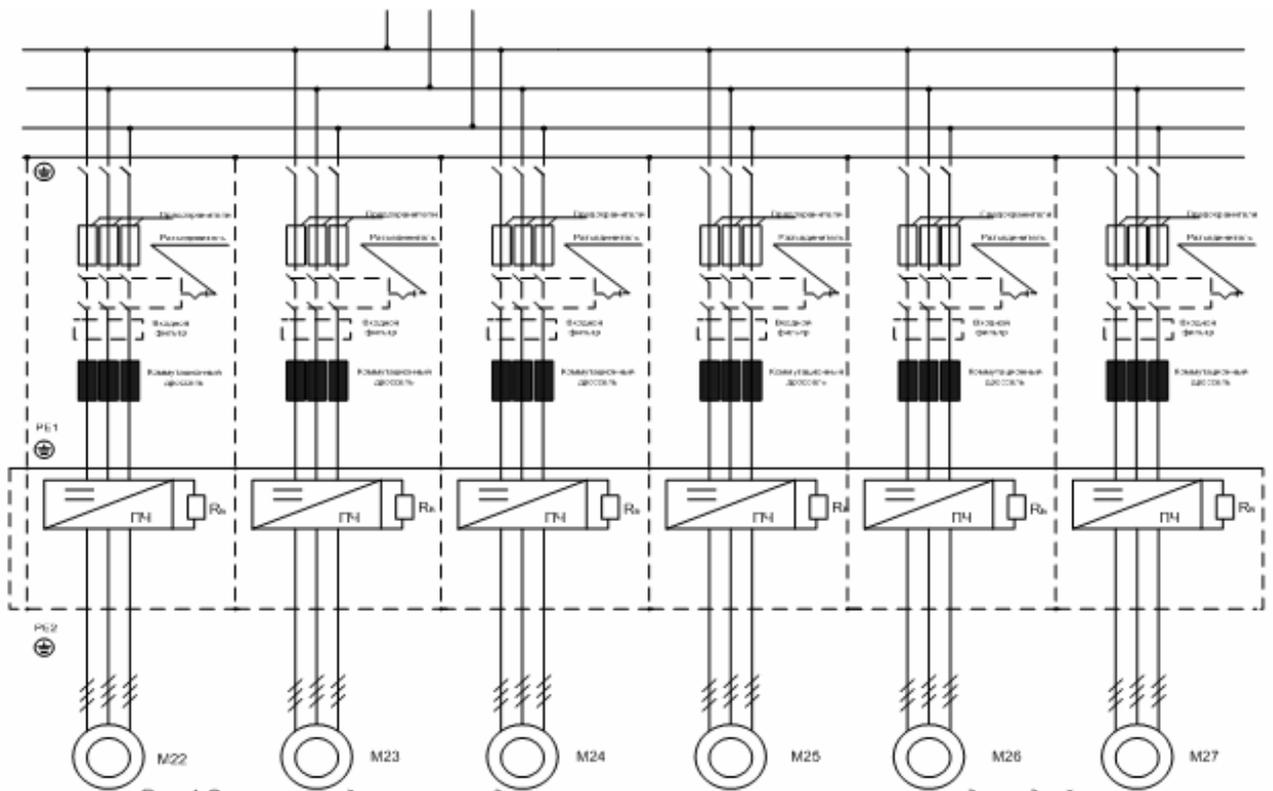
подключается на вход преобразователей частоты. На рис. 1 представлена общая схема подключения преобразователей частоты.

Для проведения дальнейших исследований выбираем два электропривода оборудования «КАМА-3»: позиции М20, который является электроприводом натяжного валика, и М70, который является электроприводом раскатывающего устройства, один из которых питается от преобразователя частоты Mitsubishi FR-A741-22k, а второй запитан от преобразователя частоты Mitsubishi FR-A740-00620 EC.

При исследовании режимов работы электроприводов кордной линии, было зарегистрировано повышение напряжения в звене постоянного тока электропривода натяжного валика в момент разгона технологической линии. Определено, что скорость линии опережает заданную частоту вращения ротора электродвигателя натяжителя, а скорость вращения ротора начинает превышать скорость вращения электромагнитного поля статора, и двигатель переходит в генераторный режим.

Для питания электродвигателя используется преобразователь частоты с возможностью рекуперации Mitsubishi FR-A741. Рекуперированную энергию электропривода натяжного валика можно использовать для питания другого электропривода позиции М70. Объединение преобразователей с общей шиной постоянного тока позволит решить проблему использования энергии рекуперации.

Частотный преобразователь FR-A741 для низких и средних диапазонов мощностей представляет собой инвертор со встроенной функцией возврата (рекуперации) запасенной энергии от двигателя в сеть. Идея совместить обычный инвертор (например, серия частотных преобразователей Mitsubishi FR-A740) с устройством возврата энергии позволит отказаться от тормозных резисторов и значительно уменьшить время останова привода.



Для исследования приняты два преобразователя частоты с возможностью рекуперации энергии. Схема подключения с общим звеном постоянного тока этих преобразователей представлена на рисунке 2.

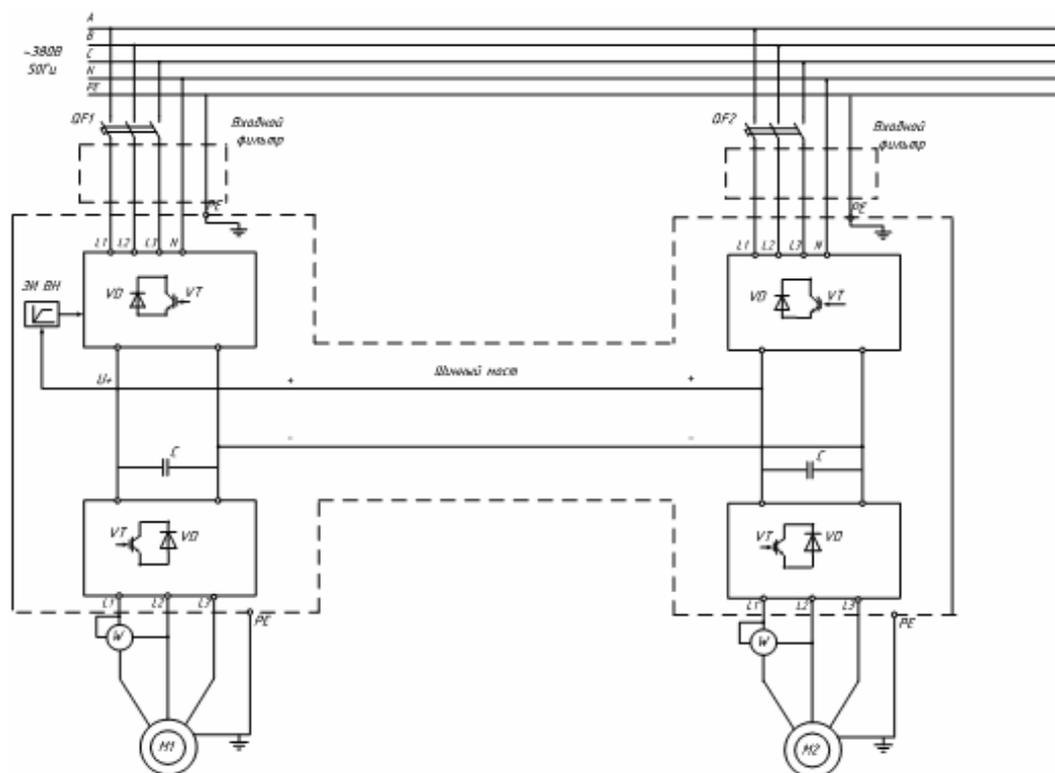


Рис. 2 Экспериментальная схема исследования

Схема должна работать следующим образом: в тот момент, когда  $M1$  ( $M2$ ) работает в режиме торможения, а  $M2$  ( $M1$ ) в режиме разгона, то энергия, запасенная в  $M1$  ( $M2$ ) будет поступать в  $M2$  ( $M1$ ), соответственно, энергия из сети будет потребляться в меньшем количестве, что возможно будет наблюдать с помощью ваттметров, установленных на выходе ПЧ. В случае, когда оба двигателя будут работать в тормозных режимах, энергия будет рекуперировать в сеть. Задатчик интенсивности (ЗИ) выполняет функцию регулятора для перевода выпрямителя в режим инвертора при повышении напряжения на шинном мосту звена постоянного тока в случае одновременной работы обоих электродвигателей в генераторном режиме.

В программе Matlab Simulink была спроектирована рабочая модель электропривода. Схема спроектирована с целью исследования генераторного режима по схеме «Сеть – вторичный источник питания – силовой полупроводниковый преобразователь – электрическая машина». Модель изображена на рисунке 3.[1,4].

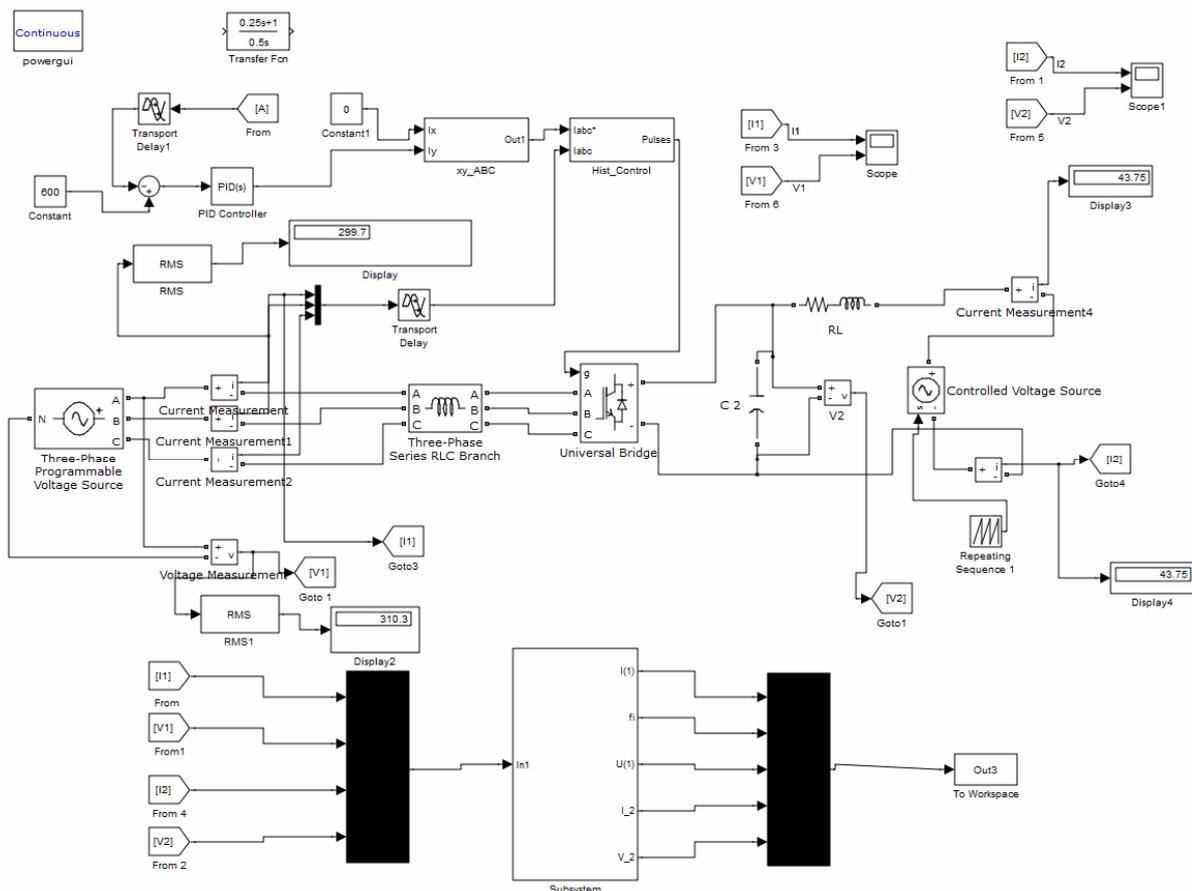


Рис. 3 Модель вторичного источника питания с рекуперацией энергии в сеть

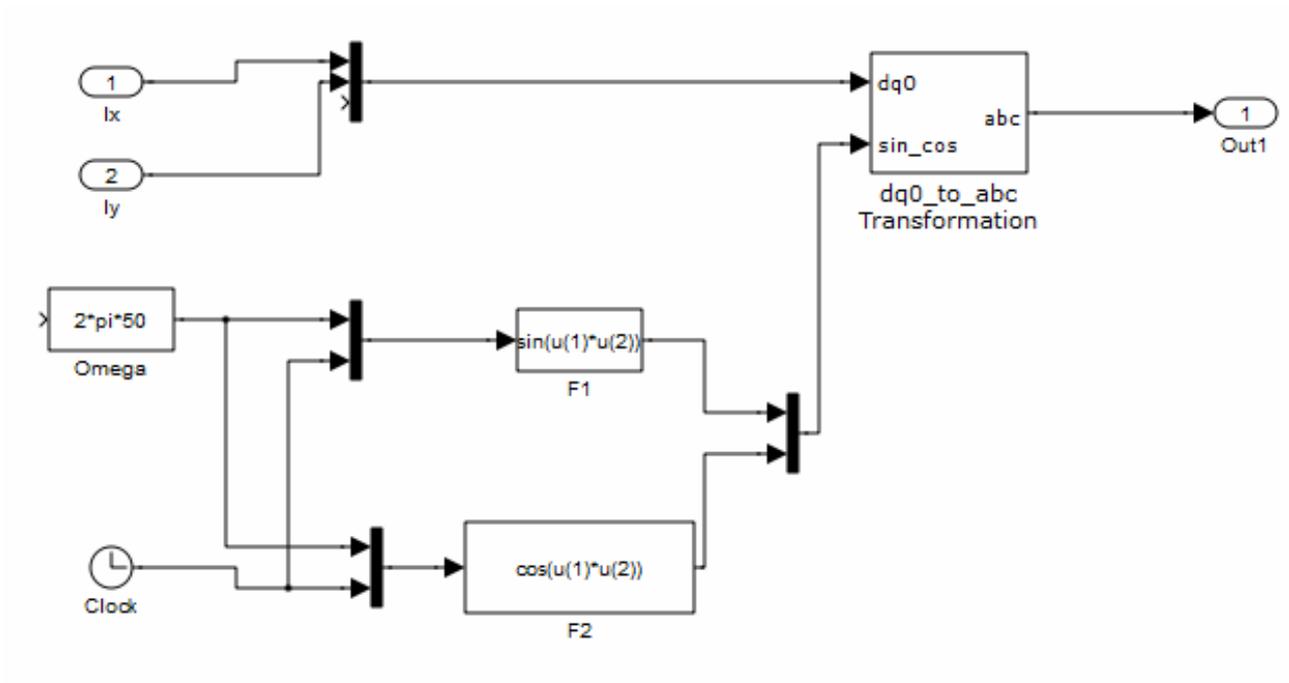


Рис. 4 Модель подсистемы  $x_u\_ABC$

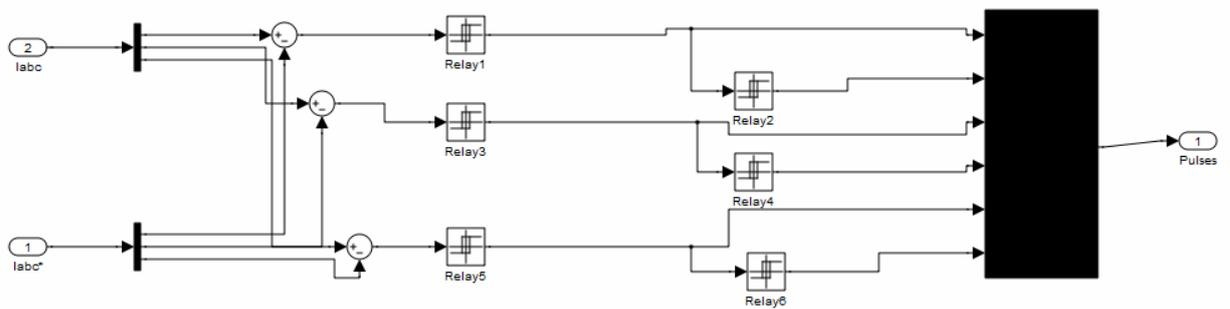


Рис. 5 Модель подсистемы Hit\_Control

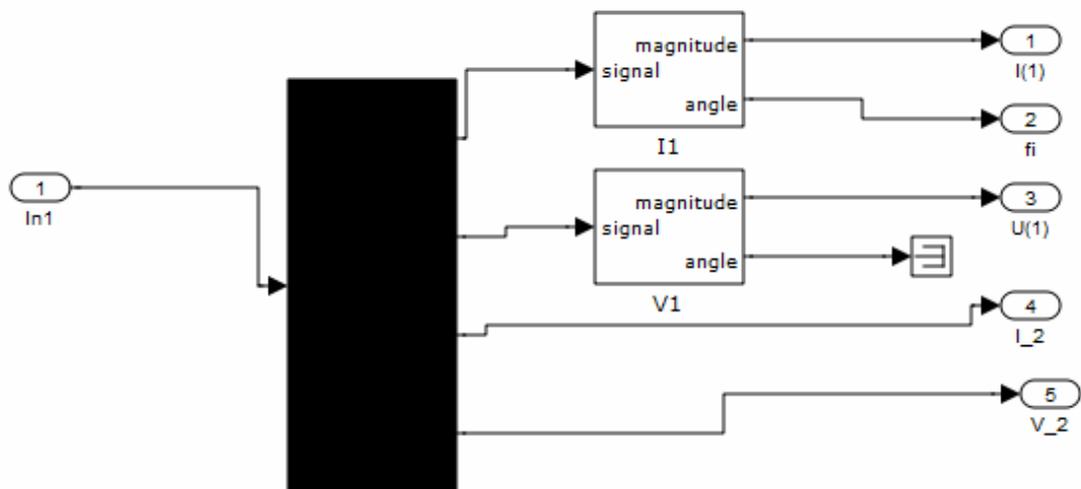


Рис. 6 Модель измерительной подсистемы Subsystem

В смоделированной схеме силовой преобразователь и машина представлены в виде звена постоянного тока и обозначены как R, L и управляемым источником ЭДС. В данном случае у нас используется система переменного тока с АИН, но данная замена может использоваться и в системе постоянного тока в ШИП. После вторичного источника питания необходимо подключать конденсатор, который будет выполнять роль емкостного фильтра. Математическое дифференциальное уравнение для расчета тока нагрузки:

$$L \left( \frac{di_H}{dt} \right) + Ri_H = U_d - E(t) \quad (1)$$

Если электрическая машина, подключенная на выходе преобразователя будет работать в двигательном режиме, то напряжение  $U_d$  на конденсаторе будет превышать противо-ЭДС  $E(t)$  и ток нагрузки будет положительным. В данном случае энергия будет направлена от сети в сторону электрической машины. Если же электрическая машина работает в генераторном режиме, то противо-ЭДС  $E(t)$  превышает напряжение  $U_d$  на конденсаторе. В этом случае ток будет отрицательным и энергия будет направлена от электрической машины в сторону питающей сети.

Моделирование осуществлялось с помощью структурно-функциональных (пакет Simulink) и виртуальных (пакет расширения SimPowerSystems) моделей. Для настройки основных параметров в каждом из этих блоков имеются соответствующие окна. В блоке x, y — ABC (рис. 4) осуществляется преобразование вращающихся координат в неподвижные. Преобразование идет согласно формулам:

$$u_\alpha = u_x \cos(\omega_1 t) - u_y \sin(\omega_1 t) \quad (2)$$

$$u_\beta = u_y \cos(\omega_1 t) + u_x \sin(\omega_1 t) \quad (3)$$

$$u_A = u_\alpha \quad (4)$$

$$u_B = -0,5u_\alpha - \sqrt{0,865}u_\beta \quad (5)$$

$$u_C = -0,5u_\alpha + \sqrt{0,865}u_\beta \quad (6)$$

Блок Hist\_Control состоит из трех релейных регуляторов, необходимых для формирования «токового коридора» в инверторе. По оси  $x$  ( $I_x$ ) принимается равным нулю для того, чтобы из сети не было потребление реактивной энергии. Для стабилизации напряжения звена постоянного тока, контур регулирования тока по оси  $y$  делаем подчиненным контуру стабилизации напряжения. В контуре стабилизации напряжения устанавливаем ПИД-регулятор. В смоделированной схеме ток нагрузки изменяется с течением времени моделирования вследствие изменения противо-ЭДС. На рис. 5 изображена модель подсистемы ху\_АВС. На рис. 6 изображена модель подсистемы Hit\_Control. Модель подсистемы Subsystem предназначена для измерений, она изображена на рис. 7. В этой модели присутствуют входные и выходные порты и два блока гармонического анализа( библиотека SimPowerSystems ExtrasMeasurement).[1,4]

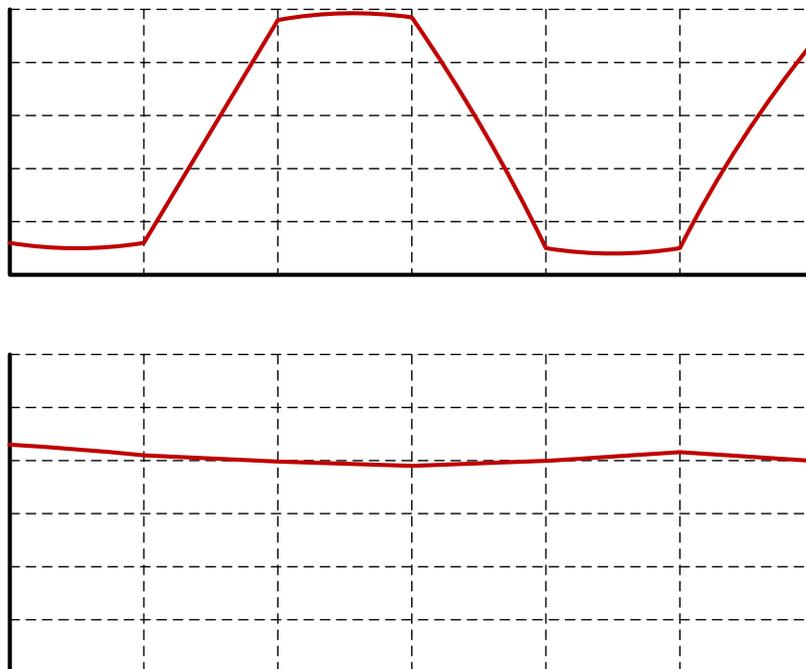


Рис. 7 Электромагнитные процессы в ВИП с рекуперацией энергии электропривода в сеть

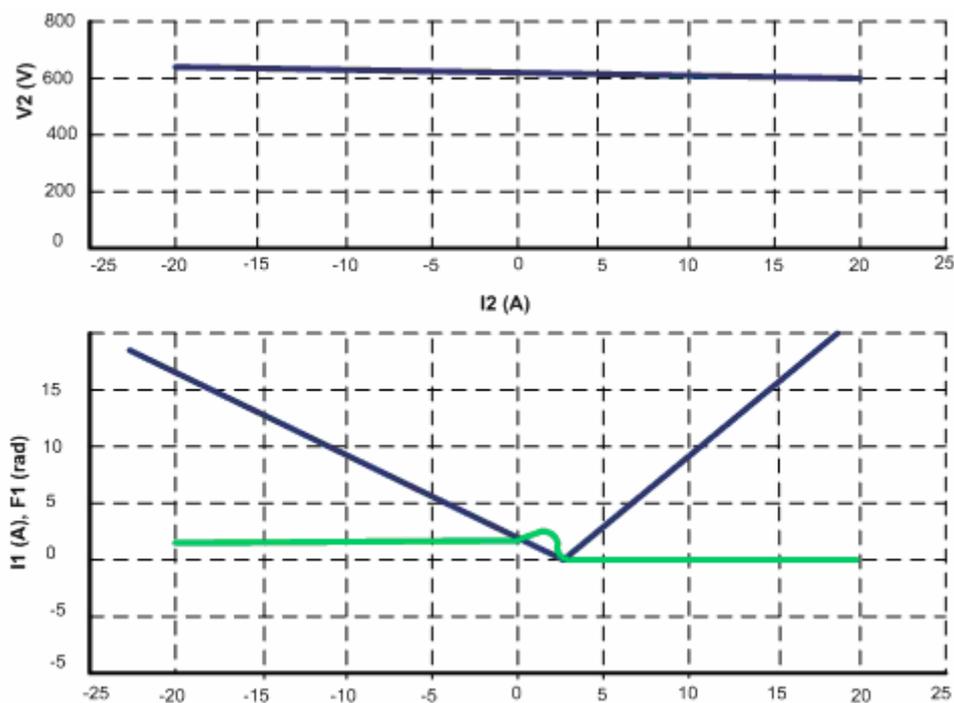


Рис. 8 Электромагнитные характеристики ВИП с рекуперацией энергии электропривода в сеть

На рисунке 8 изображен момент времени изменения тока на выходе ВИП по трапециадальному закону. Система работает в установившемся режиме при постоянном токе нагрузки (двигательный при положительном токе, генераторный – при отрицательном). Переходный режим будет наблюдаться во время изменения тока по линейному закону.

В установившемся режиме будут такие электромагнитные процессы, которые изображены на рис. 8. Для получения электромагнитных характеристик во время изменения тока нагрузки надо формировать линейно изменяющийся сигнал. Данный сигнал формируется в блоке *RepeatingSequence*. Для генераторного режима будет соответствовать отрицательное значение тока. Для двигательного режима – положительное значение.

Ток  $I_1$  в сети будет увеличиваться по мере роста тока нагрузки ВИП независимо от режима работы системы. Режим работы системы электропривода. Это изображено на рис. 8. Режим работы электропривода определяется фазой тока относительно напряжения. Во время рекуперации

фаза тока относительно напряжения будет равна  $180^\circ$ , а во время потребления электроэнергии из сети -  $0^\circ$

Во время передачи энергии из сети в сторону нагрузки активная мощность будет положительной (режим выпрямителя). Во время рекуперации активная мощность будет с отрицательным знаком.

Данный опыт проведен на лабораторно-промышленном комплексе со всеми возможными потерями для двух электроприводов с преобразователем частоты Mitsubishi FR-A741 с  $P_{ном}=22 \text{ кВт}$  с двигателем АДЧР160М4У3  $P_{ном}=18,5 \text{ кВт}$  питаемым преобразователем частоты Mitsubishi FR-A741  $P_{ном}=37 \text{ кВт}$ , и с двигателем АДЧР180М4У3  $P_{ном}=30 \text{ кВт}$  при объединении цепей звена постоянного тока. АДЧР160М4У3 будет работать в генераторном режиме, а АДЧР180М4У3 в двигательном (таблица 1).

Результаты моделирования представленные на рисунке 9 подтверждают возможность рекуперации при разгоне и торможении линии (ток  $I_2$  меняет свое направление).

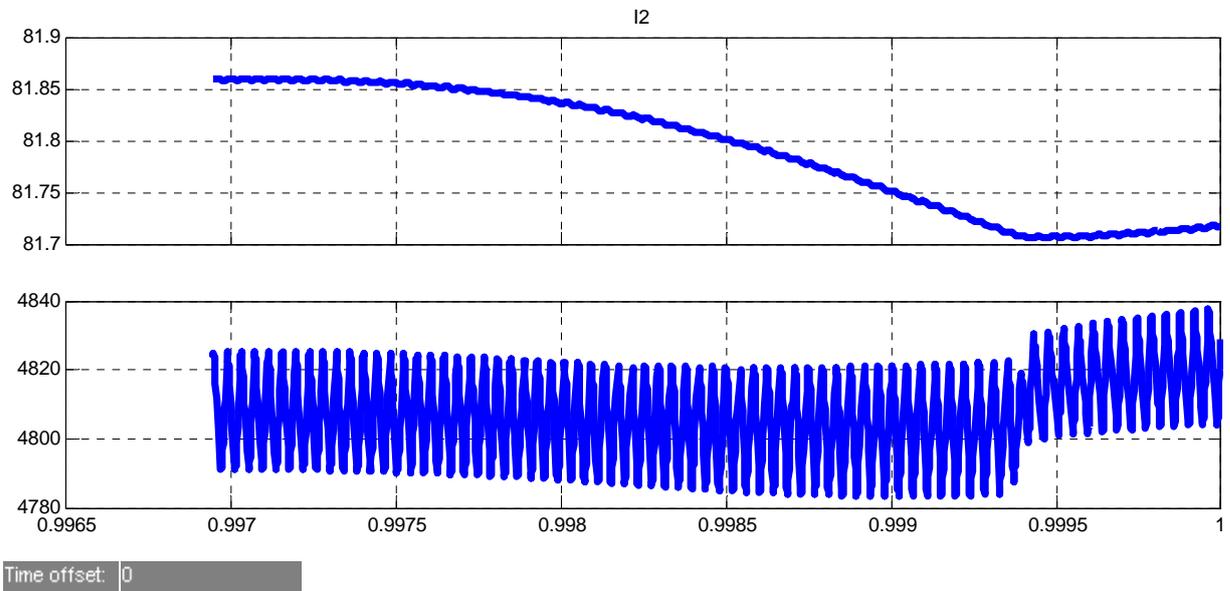


Рис. 11 Характеристики на выходе системы ( верхний график – ток, нижний – напряжение)

Таблица 1. Параметры используемых двигателей

Типоразмер двигателя	$P_{ном}$ , кВт	$n$ , об/мин	$I_n$ , А	$M$ , Н·м	$s$ , %	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	$M_{max}/M_{ном}$	$M_{п}/M_{ном}$	$I_{п}/I_{ном}$	$n_{max}$	$J$ , кг·м <sup>2</sup>
АДЧР160М4У3	18,5	1450	37,7	122	3,2	90	0,83	2,7	2,4	6,8	4500	0,087
АДЧР180М4У3	30	1470	57,3	195	3,0	91,5	0,87	2,6	1,7	7,0	4500	0,2

Экономические расчеты показали, что в случае реализации данной схемы потребляемая энергия из сети снижается на *5652,14 Вт* и будет составлять *26386,54 Вт*. Приблизительная экономия электроэнергии будет составлять *25787,9 кВт·ч* в год.

#### Литература

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / С.Г. Герман-Галкин – СПб.: Корона, 2001. – 320 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Моделирование устройств силовой электроники. Урок 10. Вторичный источник питания полупроводникового электропривода с рекуперацией энергии в сеть. // Силовая Электроника, № 4, 2009. СПб.: 2009. С. 102 – 107. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.power-e.ru/2009\\_4\\_102.php](http://www.power-e.ru/2009_4_102.php)
3. Рагулин, В.В. Технология шинного производства / В.В. Рагулин, А.А. Вольнов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1981. – 264 с.
4. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для вузов/В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия. 2005. – 302 с.
5. Тумаева, Е. В. Модернизация системы управления диагонально-резательного агрегата на базе оборудования «Mitsubishi Electric» [Текст]/Е. В. Тумаева Вестник технологического университета. - 2017. - Т.20, № 16. - С. 96-98
6. Тумаева, Е. В. Применение метода частотных характеристик для определения параметров регулятора скорости частотно-регулируемого асинхронного электропривода [Текст]/ Е. В. Тумаева, Р. Н. Ганиев // Вестник технологического университета. - 2016. - Т.19, № 23. - С. 112-113.
7. Частотно-регулируемые электроприводы в технологиях шинопроизводства / Р.Н. Ганиев, Н.И. Горбачевский, В.Н. Дмитриев, С.Н. Сидоров / Под ред. Н.И. Горбачевского. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 223 с.

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

**В.С. Романов, В.Г. Гольдштейн, Н.С. Васильева**  
Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

**Аннотация:** Состояние и уровень качества эксплуатации погружного электрооборудования (ПЭО) нефтяных месторождений напрямую зависит от безаварийного и надежного функционирования составляющих элементов оборудования скважины. Статистика отказов показывает, что в отрасли сохраняется и прогрессирует повышенная аварийность, в первую очередь на ПЭО скважины, в особенности это относится к погружным электродвигателям (ПЭД). В работе предложена методика повышения эксплуатационной эффективности электротехнических комплексов нефтедобычи с погружными электродвигателями (ЭКПЭД) в основу которой положен структурно-функциональный анализ и математическое моделирование ПЭД.

**Ключевые слова:** погружное электрооборудование, погружные электродвигатели, нефтедобыча, эффективность эксплуатации, структурно-функциональное моделирование ПЭД, ресурс оборудования, вероятность отказа ПЭД.

Нефтедобывающая отрасль является одной из важнейших составляющих экономик ряда стран, в связи с чем вопросы повышения эффективности нефтедобычи, повышение качества эксплуатации остаются приоритетными на протяжении многих десятилетий. В последние годы особенно остро обстоит вопросы повышения эффективности эксплуатации механизированных способов добычи, а именно электротехнических комплексов нефтедобычи с погружными электродвигателями (ЭКПЭД)[1]. Стоит отметить, что в большинстве регионов России более

80% добычи нефти производится с помощью ЭКПЭД [2] и существующие проблемы обусловлены рядом факторов: критический износ электропогружного оборудования (в особенности ПЭД, как основного элемента ЭКПЭД, рост количества преждевременных отказов, высокие показатели аварийности, ухудшение геологотехнологической структуры запасов нефти, качества запасов (высокие обводненность, газовый фактор, давление насыщения и вязкость откачиваемой продукции) и усложнение географических условий добычи нефти [3].

Все эти факторы в совокупности с неопределенностью и/или недостоверностью исходной информации, увеличивающей риски при принятии управленческих решений, приводят к росту издержек при добыче нефти, в то время как именно этап добычи в существенной степени определяет эффективность функционирования нефтедобывающего комплекса в целом. Обозначенные роль и проблемы нефтяной отрасли свидетельствуют об актуальности решения задач, связанных с анализом технического состояния, разработке путей повышения эффективности эксплуатации и эксплуатационной готовности системы нефтедобычи, в частности ЭКПЭД и ПЭД, как наиболее ответственного и низконадежного узла ЭКПЭД [4].

Действующие методы оценки эксплуатационной эффективности и технического состояния ПЭД, основанные на использовании физико-статистических, вероятностно-статистических и структурных характеристик несовершенны и не могут в полной мере удовлетворять предъявляемым к ним требованиям. Среди основных недостатков можно выделить высокий уровень погрешности, вызванный низкой репрезентативностью статистических данных [5]. Поэтому актуальной и необходимой задачей является создание методов оценки эксплуатационной эффективности и технического состояния ПЭД с более точными результатами расчетов, в основу которых положен структурный анализ. К

ним можно отнести методологию, основанную на изучение свойств объекта на основе структурно-функционального моделирования. Стоит отметить, что в работе описана и представлена одна из составляющих решения комплексной проблемы повышения эксплуатационной эффективности ЭКПЭД – структурно-функциональное моделирование ПЭД на основе изучения свойств конструкции и видов связей в ПЭД [5, 6].

Анализ конструкции ПЭД позволяет выделить три основные группы элементов с однородными свойствами – детали, соединения различного вида и установочные геометрические параметры, учитывающие взаимное соответствие узлов и деталей.

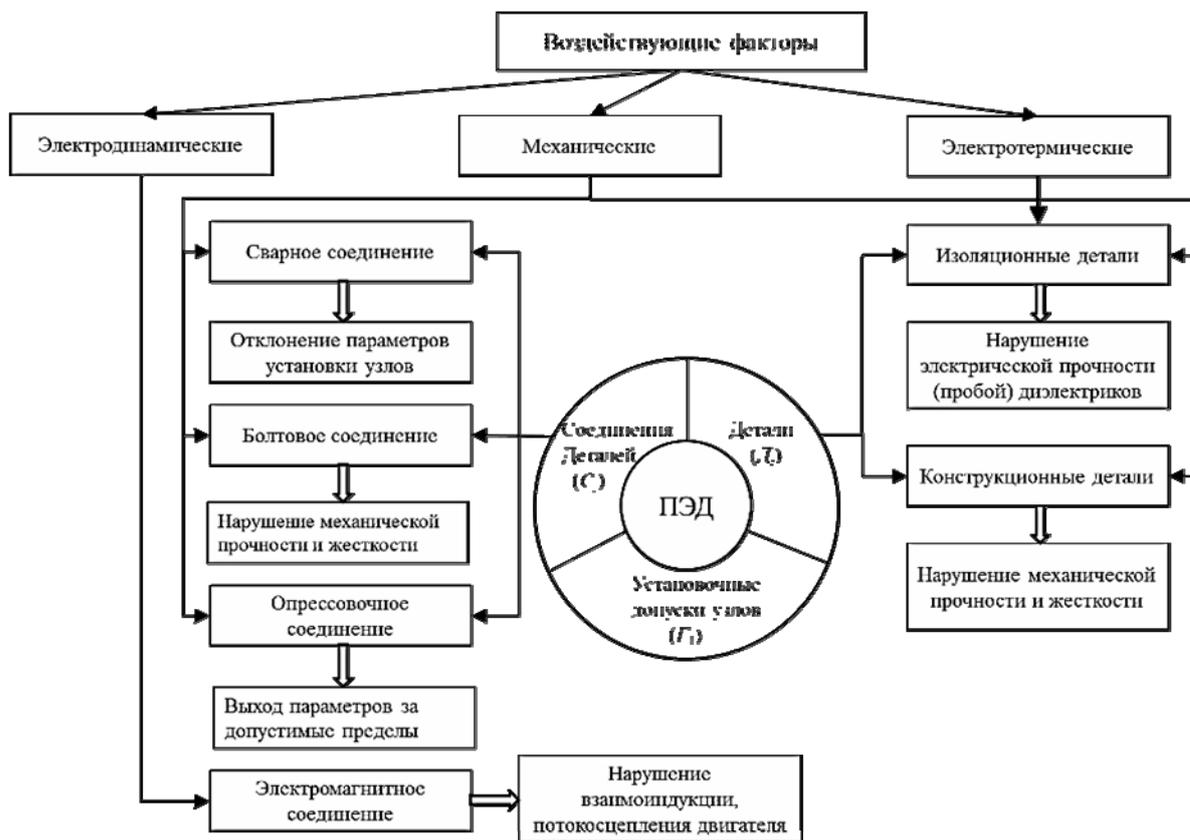


Рис. 1. Классификация элементов ПЭД и механизма отказов.

При эксплуатации ЭКПЭД и ПЭД нефтедобычи объективно происходит непрерывное снижение, либо полная потеря заложенных в них

при проектировании (в целом и по отдельным составляющим) свойств, характеристик и, как следствие, работоспособности. Это происходит под воздействием и влиянием энергии эксплуатационных физических воздействий (ЭФВ): электромагнитных [7], термических, механических, гидродинамических и др. Они определяются стационарными и переходными эксплуатационными процессами [8]. На рис. 1 представлена блок-схема, отражающая взаимосвязь между элементами конструкции ПЭД и ЭФВ, влиянию которых подвержен ПЭД и его элементы во время эксплуатации. На данном рисунке в графическом виде представлена взаимосвязь влияния различного рода ЭФВ на причины отказов ПЭД в зависимости от рассматриваемого элемента конструкции.

Отметим, что в работе приняты допущения: схема возникновения технологических нарушений последовательная; система имеет конечное число элементов; любой из элементов системы с пренебрежимо малой ошибкой может быть адекватно описан стандартной функцией распределения [9].

В построение структурных схем ПЭД можно выделить ряд особенностей: во-первых – построение структурных схем выполняется на основе конструкционных параметров, так как каждый элемент конструкции строго выполняет свое назначение и отведенный функционал, заложенный при проектировании объекта [10]. В этом случае структурные схемы выполняются в виде замкнутых или разомкнутых не ориентированных контуров. В классическом исполнении они имеют направленную структуру элементов. Во-вторых, должно соблюдаться и учитываться исходное взаимное расположение конструкционных элементов (деталей), установленное геометрическими параметрами ПЭД [11]. При их нарушении система теряет свою работоспособность, либо происходит нарушение, ограничение функциональных возможностей объекта. В-третьих, следует учесть, что ПЭД, как сложная система, состоит

из множества деталей с различными физическими, тепловыми, химическими свойствами, соединенных между собой сварными, болтовыми, опрессовочными, паяльными, резьбовыми и пр. видами контактного соединения [4, 5]. Эксплуатационная эффективность всей системы напрямую зависит от качества выполняемого сопряжения деталей.

Сущность используемой методики заключается в представлении ПЭД в форме графа, ребра которого имеют не ориентированную форму построения и обозначают конструктивные связи между элементами, вершинами служат выделенные параметры – детали ( $D_i$ ), соединения ( $C_j$ ), геометрические установочные параметры ( $G_k$ ). Данная методика позволяет учесть влияние деталей, видов связей между ними (магнитные, механические, все виды контактных соединений) и установленных геометрических параметров ПЭД на эксплуатационную эффективность всей системы.

На рис. 2 представлена структурно-функциональная схема ПЭД с повышенным напряжением (НПЭД) как самого универсального варианта применения в условиях Поволжского региона [4, 6, 12], в которой представлены: узел токоввода, узел упорного подшипника, статор, ротор, узел нижнего основания. Эффективность эксплуатации любого узла определяется качеством и состоянием соединения элементов. Поэтому в подсистеме учтены параметры соединений, как важного фактора надежности [11, 13].

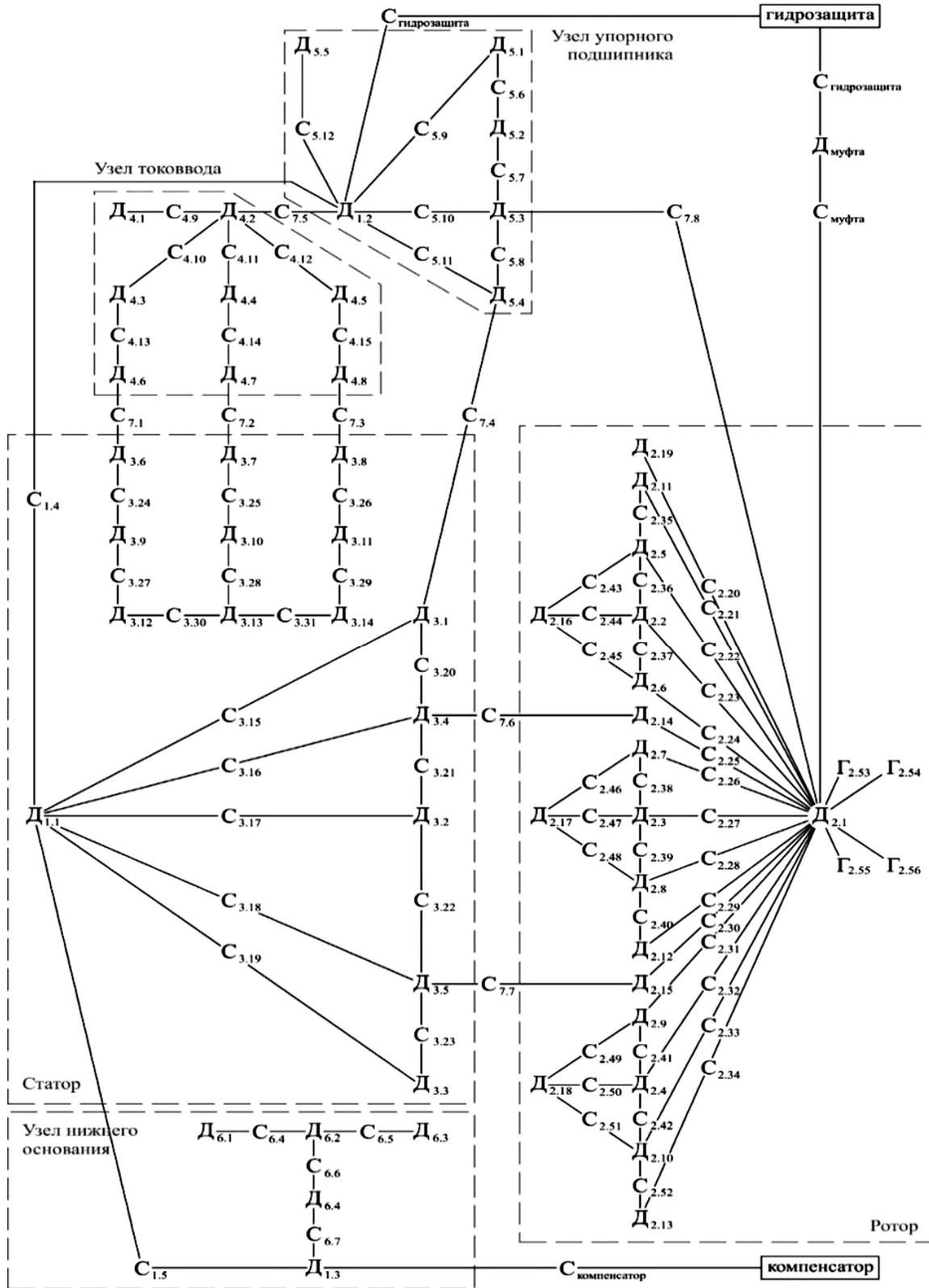


Рис. 2. Структурно-функциональная схема НПЭД.

Описание принятых обозначений:  $D_{1,1}$  – корпус НПЭД;  $D_{1,2} - D_{1,3}$  – «основания корпуса НПЭД – верхнее и нижнее»;  $D_{2,1}$  – «вал ротора»;  $D_{2,2} - D_{2,4}$  – «пакеты ротора НПЭД»;  $D_{2,5} - D_{2,10}$  – «стопорные кольца»;  $D_{2,11} - D_{2,13}$  – «упорные кольца»;  $D_{2,14} - D_{2,15}$  – «подшипники скольжения»;  $D_{2,16} - D_{2,18}$  – «белечья клетка»;  $D_{2,15}$  – «турбинка»;  $D_{3,1} - D_{3,3}$  – «пакеты статорного железа НПЭД»;  $D_{3,4} - D_{3,5}$  – «немагнитный материал статорного железа НПЭД»;  $D_{3,6} - D_{3,8}$  – «верхние лобовые части обмотки статора НПЭД»;  $D_{3,9} - D_{3,11}$  – «пазовые части обмоток статора НПЭД»;  $D_{3,12} - D_{3,14}$  – «нижние лобовые части обмотки статора НПЭД»;  $D_{4,1}$  – «крышка узла токоввода»;  $D_{4,2}$  – «колодка»;  $D_{4,3} - D_{4,5}$  – «гильзы»;  $D_{4,6} - D_{4,8}$  – «силовой кабель»;  $D_{5,1}$  – «крышка»;  $D_{5,2}$  – «пята основания»;  $D_{5,3}$  – «узел подпятника»;  $D_{5,4}$  – «резиновые изделия»;  $D_{5,5}$  – «обратный клапан»;  $D_{6,1}$  – «пробка»;  $D_{6,2}$  – «пуско-предохранительный клапан»;  $D_{6,3}$  – «обратный клапан»;  $D_{6,4}$  – «масляный фильтр»;  $D_m$  – «муфта».

Для каждого из описанных элементов конструкции НПЭД составлена математическая модель (ММ), позволяющая оценить вероятность возникновения отказа в работе ПЭД с учетом его структурных и функциональных связей, а также конструкционных особенностей. Ввиду ограниченности объема статьи целесообразно представить ММ одного из описанных узлов НПЭД, например - узел нижнего основания НПЭД. Составим аналитическое выражение вероятности возникновения отказа для контуров:

а) контур  $A_6^1 : D_{1,3} - C_{6,7} - D_{6,4} - C_{6,6} - D_{6,2}$

$$Q_{A_6^1}(T) = Q_{1,3} + (1 - Q_{1,3})Q_{6,7} + (1 - Q_{1,3})(1 - Q_{6,7})Q_{6,4} + (1 - Q_{1,3})(1 - Q_{6,7}) \cdot (1 - Q_{6,4})Q_{6,6} + (1 - Q_{1,3})(1 - Q_{6,7})(1 - Q_{6,4})(1 - Q_{6,6})Q_{6,2}$$

б) контур  $B_6^1 : D_{6,1} - C_{6,4} - D_{6,2}$

$$Q_{B_6^1}(T) = Q_{6.1} + (1 - Q_{6.1})Q_{6.4} + (1 - Q_{6.1})(1 - Q_{6.4})Q_{6.2}$$

в) контур  $C_6^1 : D_{6.2} - C_{6.5} - D_{6.3}$

$$Q_{C_6^1}(T) = Q_{6.2} + (1 - Q_{6.2})Q_{6.5} + (1 - Q_{6.2})(1 - Q_{6.5})Q_{6.3}$$

Тогда уравнение звена нижнего основания будет иметь вид:

$$A_6^\Sigma : A_6^1 - B_6^1 - C_6^1.$$

Математическая модель вероятности возникновения отказа для узла нижнего основания НПЭД определяется выражением:

$$Q_6^\Sigma(T) = Q_{A_6^1} + (1 - Q_{A_6^1})Q_{B_6^1} + (1 - Q_{A_6^1})(1 - Q_{B_6^1})Q_{C_6^1}. \quad (1)$$

В результате комплекса преобразований математических моделей узлов НПЭД получено выражение для вероятности возникновения отказа погружного электродвигателя в общей форме:

$$Q(E) = K \cdot Q \left\{ E_1(T) + \sum_{i=2}^5 \prod_{j=1}^{n_i} [1 - Q_{i,j-1} \{E_j(T)\}] \cdot Q_{i,j} [E_j(T)] \right\}, \quad (2)$$

где слагаемое  $Q[E_j(T)]$  представляет собой вероятность возникновения отказа для  $j$ -го узла [14],  $K$ - коэффициент, определяемый покрывым оценки остаточного ресурса ПЭД, разработанным и составленным автором в своих исследованиях [15].

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Предложена методика оценки эффективности эксплуатации сложных систем на примере ЭКПЭД и ПЭД, основанная на использовании структурно-функциональных схем, позволяющая оценивать эксплуатационную эффективность как всей системы, так и отдельных ее звеньев, что позволяет обнаружить «слабые» элементы конструкции ПЭД (ЭКПЭД) и внести соответствующие коррективы на всех этапах жизненного цикла системы.

2. В представленном подходе учтены недостатки, присущие «традиционным» двухполюсным схемам, что позволило принять в расчет

все разнообразие многофункциональных свойств системы и свести к минимуму погрешность в оценке характеристик эффективности эксплуатации объекта.

3. Составлены математические модели вероятности возникновения отказа для основных узлов ПЭД, а именно: упорного подшипника, токоввода и обмотки статора, ротора, магнитопровода статора, нижнего основания ПЭД, учитывающие влияние магнитных, электрических, механических, конструктивных факторов и связей на эксплуатационную эффективность ПЭД.

4. В результате комплекса преобразований математических моделей узлов ПЭД получено выражение вероятности возникновения отказа погружного электродвигателя в общей форме, позволяющее более информативно и качественно рассмотреть процесс эксплуатации ПЭД, внести коррективы в существующие подходы организации ТОиР и, как следствие, повысить управляемость добывающего фонда.

#### **Литература:**

1. Романов В.С. Обзор современного состояния погружных электродвигателей в нефтедобыче с выработкой рекомендаций по повышению энергоэффективности и надежности. Диспетчеризация и управление в электроэнергетике / В.Г. Гольдштейн, В.С. Романов: Мат. док XII мол. Науч.- практ.конф. – Казань: КГЭУ, 2015. с. 139 - 145.

2. Агеев Ш.Р. Высоконадежные центробежные установки для добычи нефти в осложненных условиях, отказы / Ш.Р. Агеев, П. Куприн, М. Мельников, О.М. Перельман, С.Н. Пещеренко, А.И. Рабинович // Бурение и нефть. – 2006. – № 4. – С. 11 – 15.

3. Мамедов О.Г. Научные основы повышения эксплуатационной надежности погружных электродвигателей: Монография. – Баку: изд-во «Элм», 2010 - 183 с.

4. Романов В.С. Методы динамического совершенствования повышения энергоэффективности и надежности погружных электродвигателей нефтедобычи / В.Г. Гольдштейн, В.С. Романов // Журнал «Динамика систем, механизмов и машин». Динамика электротехнических комплексов и систем. 2017. – Том 5. – № 3. – С. 96 - 100.

5. Гирфанов А.А. Структурно-функциональная модель погружных электродвигателей предприятий нефтедобычи / А.А. Гирфанов, С.А. Зайцев, А.А. Складчиков, К.А. Туренков // Материалы докладов 11-ой Всероссийской научно–

технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск. – 2005. – С. 90 – 93.

6. Замиховский Л.М. Техническая диагностика погружных электроустановок для добычи / Л.М. Замиховский, В.П. Калявин – Снятын: Прут Принт, 1999. – 234 с.

7. Альбокринов В.С., Гольдштейн В.Г., Халилов Ф.Х. Перенапряжения и защита от них в электроустановках нефтяной промышленности. Самара: СамГТУ, 1997. – 324 с.

8. Sushkov V.V. Specific of Ride Through Solutions for Electric Submersible Pumps with Adjustable Speed Drive / V. V. Sushkov. A. S. Martianov // Dynamics of Systems. Mechanisms and Machines (Dynamics). - Omsk: IEEE. 2014. - P. 1-4. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005681.

9. Мартьянов А.С. Обоснование технических решений для повышения динамической устойчивости установок добычи нефти с электрическими центробежными насосами / А. С. Мартьянов, В. В. Сушков // Омский научный вестник. - 2017. - № 6 (156). - С. 105-111.

10. Sukhachev I.S. Assessment dynamics of reliability and resource consumption of "cable - Submersible electric motor" system at West Siberia oil fields / I.S. Sukhachev, V.V. Sushkov // IEEE Conference 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. - Omsk. 2016. №7819090. DOI: 10.1109 / Dynamics.2016.7819090.

11. Гирфанов А.А. Электромагнитная совместимость погружного электрооборудования предприятий нефтедобычи и разработка комплекса мер по повышению надежности его работы: дисс ... канд. техн. наук: 05.09.03.- Самара, 2005.- 201 с.

12. Швецова Л. В. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса добывающей скважины с высоковязкой нефтью: дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – Самара, 2016. – 153 с.

13. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Швецова Л.В. Повышение эксплуатационно-энергетических характеристик электротехнического комплекса добывающей скважины при добыче вязкой и высоковязкой нефти // Промышленная энергетика. – 2015. – №8. – С.18 – 22.

14. Савченко А. А. Переходные процессы в элементах погружного электрооборудования / А.А. Савченко, А.Ю. Ковалев, Ю.З. Ковалев // Вестник Югорского Государственного Университета. – 2012. - №2 – С. 91 – 95.

15. Romanov V.S. The dynamic improvement methods of energy efficiency and reliability of oil production submersible electric motors / V.S. Romanov, V.G. Goldstein : IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. - Volume 944, №012099, conference 1, 2018.

# ПЕРВАЯ В РОССИИ КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ: ОТ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА ДО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

**В. В. Панкин, Е. Б. Соловьева**

*Обсуждается становление, развитие и современное состояние кафедры теоретических основ электротехники в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ», начинавшимся в Техническом училище Почтово-телеграфного ведомства и тесно связанного с развитием электротехники в России.*

*The history of the creation and development of the theoretical electrical engineering department in St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", which is closely linked with the development of electrical engineering in Russia, is described.*



Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет –  
ЛЭТИ им. В.И.Ленина

Недавно отмечалось 125-летие Санкт-Петербургского  
государственного электротехнического университета – ЛЭТИ им.

В.И.Ленина [1]. В 1886 году учебный план Технического училища Почтово-телеграфного ведомства включал курсы физики, химии и математики. Основателем физической школы будущего Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ» по праву признан О.Д.Хвольсон, автор классического курса физики, изданного в России, Франции и Германии.

Два тома из пяти томов этого труда посвящены электротехнике. Профессор по кафедре химии А.А.Кракау читал новый для России курс электрохимии, который вошел в первый отечественный учебник по теоретической электрохимии. На Первом всероссийском электротехническом съезде А.А.Кракау и П.Д.Войнаровский были официальными представителями теперь уже Электротехнического института (ЭТИ).

**Первые курсы электротехники.** Впервые курс электротехники появляется в учебном плане ЭТИ в 1891 году, когда вводится четырехлетний срок обучения. Такое решение было принято на заседании Государственного совета Российской империи. Важно отметить, что Г.К.Мерчинг (1860–1916) с 1888 года в рамках курса физики уже преподавал электротехнику и телеграфию (продолжая традиции Почтово-телеграфного ведомства).

Целью нового учебного плана было не только дать более полное образование по телеграфной специальности, но также передать будущим техникам и инженерам подробные сведения по применению сильных токов. Г.К.Мерчинг организовал в ЭТИ первый электротехнический кабинет. В 1891 году новый курс, который носил энциклопедический характер, начинает читать профессор М.А.Шателен (1866–1957).

Этот курс включал вопросы теоретической электротехники, электрических измерений, электрических машин и был тесно связан с научными вопросами телефонии и телеграфии. В 1893 году из курса

электротехники были выделены: 1) теоретическая электротехника, для преподавания которой приглашен профессор университета И.И.Боргман (1849–1914); 2) практическая электротехника, читаемая М.А.Шателеном; 3) электрические измерения и телефония, преподаваемые профессором П.Д.Войнаровским (1866–1913).

С 1893 по 1896 год М.А.Шателен превращает небольшой электротехнический кабинет в электротехническую лабораторию с отделениями электротехнических измерений и электромагнитного поля. Первый профессор первой в России кафедры электротехники составил ряд учебных пособий по общей электротехнике, переменным токам, электрическим измерениям.

В качестве учебника используется «Курс электричества» Э.Жерара (1856–1916), переведенный на русский язык М.А.Шателеном [2]. Богатое по тому времени оборудование лаборатории было получено еще в 1894 году по завещанию П.Н.Яблочкова. Выбор основного учебника был не случаен, ведь профессор физики Э.Жерар основал в 1883 году Электротехнический институт Монтефиори при университете в Льеже (Бельгия) – одно из первых в мире мест, где давали высшее электротехническое образование.

Институт в Льеже с отличием окончил П.Д.Войнаровский в 1893 году. Он же перевел в 1898 году на русский язык другой учебник Э.Жерара – «Электрические измерения» [3]. Электротехнические лаборатории института Монтефиори стали образцом при формировании лабораторий кафедры электрических измерений и кафедры электротехники ЭТИ.



И. И. Боргман

М. А. Шателен

П. Д. Войнаровский

С 1898 года в учебный план института включены самостоятельные курсы: «Теория электричества и магнетизма», «Теория переменных токов». Систематическое изложение основных вопросов теории переменных токов было сделано впервые в 1897–1899 годах, когда профессор П.Д.Войнаровский написал и издал «Теоретический и практический курс электротехники».

В развитии теоретической электротехники большую роль сыграл выдающийся российский ученый И. И. Боргман, работавший в институте и на кафедре с 1893 по 1914 год. Написанный им для Санкт-Петербургского университета фундаментальный двухтомный курс «Основания учения об электрических и магнитных явлениях» включал разделы, посвященные электростатике, постоянному току, магнетизму, электромагнетизму и электродинамике. Книга являлась основным учебником и для студентов ЭТИ, хотя, как отмечал М.А.Шателен, содержание книги И.И.Боргмана было значительно выше практической электротехники того времени.

Тогда электротехника считалась важнейшей дисциплиной, поскольку И.И.Боргман приглашался к преподаванию физики и электротехники в разные годы трем наследникам российского престола: Николаю, Георгию и Михаилу Александровичам, а также другим членам императорской фамилии.

И.И.Боргман возглавлял, что позднее никем не было повторено, всю петербургскую научную школу. Среди его учеников всемирно известные выпускники и преподаватели ЭТИ: изобретатель радио А.С.Попов, изобретатель телевидения Б.Л.Розинг, осуществивший первую в мире телевизионную передачу, М.М.Глаголев, В.К.Лебединский, В.Ф.Миткевич, Л.В.Мысовский, Д.А.Рожанский, Д.В.Скобельцын – будущий директор Санкт-Петербургского Политехнического института.

В 1895–1899 годах преподавал электротехнику В.Ф.Миткевич – будущий первый лауреат Ленинской премии среди физиков и электротехников (1927), академик АН СССР с 1929 года, один из разработчиков плана ГОЭЛРО. Им написаны учебники: «Курс переменных токов», «Магнетизм и электричество». При разработке плана электрификации В.Ф.Миткевич активно сотрудничал с уполномоченным ГОЭЛРО по Петрограду и Северной области профессором М.А.Шателеном, впоследствии награжденным тремя орденами Ленина и медалью «За оборону Ленинграда».

Кафедрой И.И.Боргмана, получившей название «Теория электричества и магнетизма», с 1914 по 1921 год руководил ученик и сподвижник А.С.Попова – профессор А.А.Петровский (1873–1942), учебник которого «Электромагнитные колебания и волны» издан в 1917г.

Учебные планы кафедры конца XIX – начала XX века отражают небольшую удельную долю часов на электротехнические дисциплины. Для получения диплома инженер-электрик должен был уметь не только спроектировать электростанцию, но и построить здание для этой станции, рассчитать и построить электрическую сеть и даже освещение отдельных зданий. Понятно, что фундаментальное рассмотрение электромагнитных явлений в книгах И.И.Боргмана, П.Д.Войнаровского, М.А.Шателена, В.Ф.Миткевича опережало свое время и поднимало планку для будущих пионерских приложений.

**Задачи ЭТИ от Почтово-телеграфного ведомства.** Первые тридцать лет практической и научно-исследовательской работы кафедры электротехники так или иначе связаны с задачами Почтово-телеграфного ведомства. В 1895 году преподавателем кафедры «телеграфным инженером» П.Д.Войнаровским составлен проект междугородной телефонной линии между Санкт-Петербургом и Москвой.

В рамках проекта создан макет линии связи в виде «значительных размеров ящика», содержащего «длинную линию». Воздушная телефонная линия вдоль железнодорожного пути, самая протяженная в Европе, была сдана в эксплуатацию 30 декабря 1898 года.

Для внутригородской телефонной связи, профессор кафедры с 1898, впоследствии заведующий, П.Д.Войнаровский рекомендовал использовать исключительно кабельные сети [4]. В 1901 году он подготовил расчеты температурного режима работы проводов и кабелей, в 1903 составил атлас чертежей и рисунков, отражающих различные способы укладки кабелей, в 1912 впервые изложил теорию электрического кабеля [5].

Профессор по кафедре электротехники А.А.Кузнецов (1875–1919гг.) преподавал в ЭТИ с 1898 по 1918 год и заведовал электротехнической лабораторией с 1914 по 1919 год. Здесь изготавливались радиостанции для Красной армии. А.А.Кузнецов участвовал в оборудовании первой в России высоковольтной лаборатории под руководством П.Д.Войнаровского, организовывал фотометрическую лабораторию совместно М.А.Шателеном.

А.А.Кузнецов построил в мастерской института прибор для измерения частоты переменных токов и прибор для измерения разности фаз (фазометр). С 1910 до 1948 год одну из аудиторий первого корпуса института освещала одна из первых в России газоразрядная лампа. Работа проводилась в рамках исследований электрических колебаний и разрядов в газах, начатых еще первым заведующим кафедрой И.И.Боргманом.

Проводились работы по уменьшению сопротивления углей при увеличении температуры, что было важным для изготовления прожекторов. Профессор И.И.Боргман создал также конденсатор оригинальной конструкции, отмеченный наградой на Всемирной электротехнической выставке в Париже.

**ЛЭТИ – учебный центр по электроэнергетике и научно-исследовательский центр по радиотехнике, приборостроению, автоматике.** После смерти И.И.Боргмана с 1914 года в преподавании курса «Теоретическая электротехника», наряду с профессором А.А.Петровским, участвует ученик И.И.Боргмана – профессор и завкафедрой (с 1921 года) С.И.Покровский (1872–1939).

С именем С.И.Покровского, проработавшего в институте 39 лет, связано дальнейшее развитие теоретической электротехники. Содержание курса все больше приближалось к потребностям инженерных электротехнических дисциплин. Лекции по курсу «Электричество и магнетизм», читавшиеся С.И.Покровским, дважды издавались литографским способом. В 1931 году, а затем в 1935 году под тем же названием лекции изданы в виде учебника.

Профессором С.И.Покровским при участии доцентов Д.В.Афанасьева и К.И.Крылова создана учебная лаборатория по физическим основам электротехники и теории электромагнитного поля. Учениками С.И.Покровского составлен и издан задачник по курсу «Электричество и магнетизм». С 1924 года С.И.Покровский работал по заданиям возглавляемой профессором ЭТИ И.Г.Фрейдзоном секции связи научно-технического комитета Рабоче-Крестьянского Красного Флота в области телеграфирования и пеленгации.

С.И.Покровский исследовал возможность обнаружения надводных объектов в ночное время по сравнению интенсивностей излучения в инфракрасном диапазоне. Прибор спроектировали раньше, чем появился

первый работоспособный отечественный радиолокатор. Эта работа получила продолжение на кафедре в 1970–80-е годы, но уже в другом диапазоне частот – для связи с подводными лодками в подводном положении.

До середины 1920 годов в институте развивались два направления: связь (телефония и телеграфия) и электрохимия. Затем усиливается энергетическое направление. К 1930 году ЛЭТИ становится не только основным учебным центром по электроэнергетике, но и мощным научно-исследовательским центром по всем разделам. В середине 1930 годов в институте открываются новые специальности: радиотехника, приборостроение, автоматика.

Развитие курса «Теория переменных токов» связано с именем профессора (с 1918) П.А.Щуркевича (1873–1942гг.), работавшего в институте с 1902 по 1942 год и руководившего кафедрой Теории переменных токов ЭТИ–ЛЭТИ (1918–1942гг.). Он опубликовал ряд учебников и пособий. Учебное пособие «Переменные электрические токи и теория круговых диаграмм» [6] включало весь курс теории переменных токов и являлось основным учебным пособием для студентов.

В 1933 году издан и в 1940 году переиздан учебник П.А.Щуркевича «Теория переменных токов» в двух томах с атласом круговых диаграмм [7]. Под его руководством создана лаборатория и написано руководство по переменным токам, содержащая 12 лабораторных работ по однофазным и 17 работ по трехфазным переменным токам [8]. Профессор П.А.Щуркевич умер в поезде (после транспортировки по льду Ладожского озера) при эвакуации из блокадного Ленинграда.

**На поводе специализации: объединения и размежевания кафедр электротехники.** В 1944 году для заведования кафедрой «Теоретическая электротехника», в которую объединились кафедры «Теория переменного тока» и «Теория электричества и магнетизма», приглашен заведующий

кафедрой ТОЭ Ленинградского Политехнического Института, профессор Л.Р.Нейман (1902–1975гг.). Впоследствии (с 1970г.) академик АН СССР обогатил содержание курса ТОЭ ЛЭТИ. Под руководством Л.Р.Неймана восстановлены, модернизированы и поставлены новые работы в лабораториях переменного тока, физических основ электротехники и электромагнитного поля.

В 1945 году после ухода Л.Р.Неймана кафедра «Теоретическая электротехника» с учетом предпочтений новых руководителей разделилась, образовав кафедры: «Физические основы электротехники» под руководством К.И.Крылова (1907–1992), и «Теория электромагнитных цепей» во главе с А.В.Берендеевым.

На кафедре «Физические основы электротехники» получил развитие курс теории электромагнитного поля (ТЭМП). Специализация института породила необходимость исследования электрических и магнитных полей в присутствии диэлектриков или магнетиков. Значительное развитие получили вопросы квазистационарных и волновых полей.

На электрофизическом факультете был поставлен курс электродинамики, по которому написан и издан конспект лекций. Получила развитие лаборатория ТЭМП. Выполнены научные работы по исследованию и моделированию электромагнитных полей в проводящих средах. Проводилась работа по электромагнитным методам измерения толщины плавающих льдов, включая горные ледники Кавказа и льды Антарктиды.

Курс теории электрических цепей развивался на кафедре «Теория электромагнитных цепей» под руководством профессора А.В.Берендеева (1902–1955гг.). Это выпускник ЛЭТИ, работавший в нем с 1922 года до последних дней. В 1934–1935 годах велась работа по исследованию и созданию методов расчета электрических цепей с переменными параметрами.

Основные выводы, полученные в результате теоретических разработок, нашли свое отражение в известном фундаментальном учебнике по курсу переменных токов, написанном профессором П.А.Щуркевичем [7]. По инициативе А.В.Берендеева учебный курс «Теория переменных токов» преобразован в курс «Теория электромагнитных цепей» (ТЭМЦ).

В новом курсе получили развитие методы расчета переходных процессов в линейных электрических цепях, анализ нелинейных элементов и цепей. Поставлены лабораторные работы, отражающие новые разделы курса. Изданы пособия к лабораторным работам и сборник задач по разделу ТЭМЦ.

Для более глубокого понимания ТОЭ и повышения квалификации преподавателей профессором А.В.Берендеевым был организован научно-методический семинар по ТЭМП. Этот семинар создал почву для последующего повторного объединения кафедр «Физические основы электротехники» и «Теория электромагнитных цепей».

К изучению электрических цепей с переменными параметрами А.В.Берендеев возвращается в послевоенные годы. Завершением этих работ явилась весьма лаконичная докторская диссертация «Применение тензорного исчисления в прикладной электротехнике». Глубокое знание тензорного исчисления (редкое даже среди математиков) позволило А.В.Берендееву внести ясность в идеи «тензорного исчисления Г.Крона».

В декабре 1955 года временно исполняющим обязанности заведующего назначен доцент С.И.Куренев (1901–1972гг.). В это время С.И.Куренев преподавал в Военно-морской академии. Это птенец ЛЭТИ выпуска 1931 года, который защитил кандидатскую диссертацию в 1936 году и преподавал на кафедре ТЭМЦ до января 1942 года.

Служба С.И.Куренева в кадрах Военно-морских сил была связана с размагничиванием кораблей. К решению этой проблемы во время войны

были привлечены и другие сотрудники кафедры. В послевоенное время параллельно с основной работой в Академии С.И.Куренев преподавал на кафедре ТЭМЦ.

С.И.Куренев, сохраняя сложившиеся традиции преподавательского состава по «размежеванию и объединению» и на волне завершения своей докторской диссертации, осуществил в 1956 году объединение кафедр «Теория электромагнитных цепей» и «Физические основы электротехники» в кафедру «Теоретические основы электротехники».

**«Теоретические основы электротехники»: к современным методам анализа и синтеза цепей.** Четверть века (1959–1984гг.) кафедрой заведовал профессор П.Н.Матханов [9], который полностью переработал курс теории электрических цепей. В результате осмысления и использования достижений электро-, радиотехники, вычислительной техники и теории управления им была создана современная электротехническая школа СПбГЭТУ «ЛЭТИ». П.Н.Матхановым написаны три уникальных учебника, в которых заложены основы переработанного курса теории электрических цепей [10–12].

Научная работа на кафедре традиционно велась по двум основным направлениям: ТЭМЦ и ТЭМП. Под руководством профессора Л.В.Данилова разработаны методы численного анализа линейных и нелинейных цепей. Значительное внимание уделялось перспективным и интенсивно развивающимся разделам теории, связанным с проблемами проектирования электротехнических устройств, разрабатывались методы синтеза нелинейных цепей. В рамках международного сотрудничества с Высшей Технической школой г. Ильменау (Германия) издавались совместные статьи и монографии.

Под руководством профессора В.Н.Рудакова были созданы и усовершенствованы методы неразрушающего контроля в СВЧ диапазоне для задач медицины и геологии. Разработаны методы неразрушающего

контроля качества керамических пластин тепловой защиты космического корабля «Буран». Началась работа с Государственным Русским музеем: «Применение неразрушающих методов контроля в процессе реставрации древнерусской станковой темперной живописи».

**Кафедра ТОЭ сегодня.** С 1984 года по 2008 год кафедру ТОЭ возглавлял профессор Ю.А.Бычков, при котором методически завершилось новое прочтение курса теории цепей, сочетающее физический смысл, доступность и высокий математический уровень. Произошло разделение дисциплины на классические фундаментальные разделы и современные приложения. Началось создание триады – учебник-задачник-справочник – по теоретической электротехнике, что является оригинальным в преподавании ТОЭ.

С 2008 года кафедру ТОЭ возглавляет профессор Е.Б.Соловьева, под руководством которой создан многофункциональный учебно-лабораторный комплекс. Здесь объединены методы реального исследования электрических цепей в классической лаборатории с современными методами компьютерного моделирования, анализа и синтеза аналоговых и дискретных, линейных и нелинейных цепей.

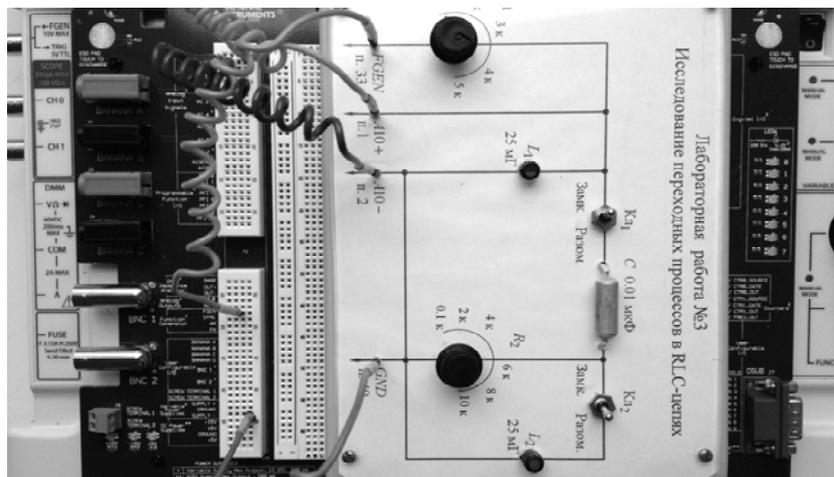
Многофункциональный учебно-лабораторный комплекс включает Центр компьютерных технологий (24 рабочих места) и четыре лаборатории: 1) классическую лабораторию с реальными приборами и электрическими цепями (24 рабочих места); 2) стендовую лабораторию с цифровой обработкой сигналов электрических цепей (10 рабочих мест); 3) лабораторию моделирования электронных устройств на базе информационно-измерительного комплекса ELVICE (5 рабочих мест); 4) лабораторию по ТЭМП с разными работами для каждой группы студентов (6 рабочих мест).



Рабочее место в классической лаборатории



Стендовая лаборатория



Макет для информационно-измерительного комплекса ELVICE

В настоящее время кафедра ТОЭ – общеобразовательная кафедра в составе Института фундаментального инженерного образования (ИФИО) СПбГЭТУ «ЛЭТИ», обеспечивающая базовую подготовку по

теоретической электротехнике бакалавров 2-го и, частично, 3-го (на нескольких факультетах) курсов дневной, вечерней и заочной форм обучения по всем техническим направлениям и специальностям.

Цель обучения – предоставить студентам фундаментальные знания по теоретической электротехнике, как основы для последующего успешного обучения студентов на старших курсах, а также высокой мобильности специалистов в профессиональной области. Сочетание традиционных методов обучения с новыми формами, основанными на применении вычислительной техники и информационных технологий, позволяют обеспечить качественную подготовку будущих специалистов.

Кафедра участвует в совместной образовательной программе Технологического университета г. Сючжоу (Китай) и СПбГЭТУ «ЛЭТИ», открытой с целью обучения китайских бакалавров по направлениям: «Автоматизация и управление», «Мехатроника». Преподаватели кафедры читают англоязычные дисциплины «Modelling and synthesis of robotic system non-linear elements» и «Mathematical modelling of linear and non-linear systems» для иностранных магистров, обучающихся по англоязычным программам специализаций: 13.04.02 – Electroenergetics and Electrical Engineering, 09.04.01 – Computer science and engineering.

Сотрудники кафедры публикуют современную и востребованную учебную литературу по теоретической электротехнике для технических вузов России. Среди трудов можно выделить учебные издания (триада учебник-задачник-справочник, учебник для бакалавров), совокупность которых в своей полноте является единственной в России [13–16].

В продолжение 50-летней традиции преподаватели кафедры ежегодно организывают и проводят внутривузовскую и региональную студенческие олимпиады по ТОЭ, готовят студенческие команды для участия в открытой Московской олимпиаде (МЭИ, г.Москва), а также во Всероссийской и Международной олимпиадах (ИГЭУ, г.Иваново).

Студенты СПбГЭТУ «ЛЭТИ» неизменно являются победителями и призерами указанных олимпиад. Успешные выступления на олимпиадах подтверждают высокий уровень подготовки по теоретической электротехнике студентов СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

### Список литературы

1. Панкин В.В., Соловьева Е.Б. К 125-летию первой в России кафедры электротехники // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международн. сб. науч. тр.–Ульяновск:УлГТУ, 2016.–Вып.13.– С.246–258.
2. Жерар Э. Курс электричества. / Пер. М.А.Шателена. Под ред. А.И.Садовского, 2 тома. – СПб.: Изд. Ф.В.-Щепанского, 1893–1894.
3. Жерар Э. Электрические измерения / Пер. и доп. П.Д.Войнаровский, инженер-электрик. – СПб.: Изд. Ф. В. Щепанского.– 1898.– XI.– 406 с.
4. Войнаровский П.Д. Элементарная теория телефонной передачи. – СПб, 1901.– 16 с.
5. Войнаровский П.Д. Теория электрического кабеля. – СПб, 1912, 200 с.
6. Щуркевич П.А. Переменные электрические токи и теория круговых диаграмм.– Ч.1: Однофазный ток. – Л.: КУБУЧ, 1931.– 363 с.
7. Щуркевич П.А. Теория переменных токов.–Л.:Судпромгиз, 1941.–652 с.
8. Щуркевич П.А. Переменный ток.: Пособие к лабораторным занятиям. – Л.: КУБУЧ, 1928.– 181 с.
9. Выдающиеся выпускники и деятели Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). 1886–2006: биографический справочник / под ред. Д.В.Пузанкова.– СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина), 2006. – 350 с.
10. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей: Линейные цепи. – Л.: Высшая школа, 1990.
11. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей: Нелинейные цепи. – Л., 1977.
12. Данилов Л.В., Матханов П.Н., Филиппов Е.С. Теория нелинейных электрических цепей. – Л., 1990.
13. Основы теоретической электротехники / Ю.А.Бычков, В.М. Золотницкий, Э. П.Чернышев, А.Н.Белянин. – СПб: Издательство «Лань», 2009.– 592 с.
14. Сборник задач по основам теоретической электротехники / Под ред. Ю.А.Бычкова, В.М.Золотницкого, Э.П.Чернышева, А.Н.Белянина, Е.Б.Соловьевой. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011.– 400 с.
15. Справочник по основам теоретической электротехники: Учебное пособие / Под ред. Ю.А. Бычкова, В.М. Золотницкого, Е.Б. Соловьевой, Э.П. Чернышева. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012.– 368 с.

16. Введение в теоретическую электротехнику: Курс подготовки бакалавров: Учебное пособие / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Е.Б.Соловьева, Э.П. Чернышев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016.– 288 с.

**Панкин Валерий Васильевич**, к.т.н., доцент кафедры ТОЭ,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
Адрес: 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5, СПбГЭТУ, кафедра  
ТОЭ. Тел.: (812) 346–17–96, [rankin.valeriy@mail.ru](mailto:rankin.valeriy@mail.ru)  
**Соловьева Елена Борисовна**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ТОЭ,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
Тел.: (812) 346–17–96, [esoloveva@etu.ru](mailto:esoloveva@etu.ru)

## СОЗДАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАЛАНСА

*«Если какое-либо понятие имеет персональное имя,  
то это – не имя первооткрывателя».*  
(Принцип Арнольда)

### И. В. Ерохов

В 1833 году английский физик Кристи (Samuel Hunter Christy) написал статью, которая была опубликована, но осталась незамеченной научной общественностью. Подробности его публикации остаются неизвестными, как и издание, в котором этот текст увидел свет. Известно, что в статье была впервые исследована схема электрического баланса, поэтому физики ее называли просто – «баланс Кристи». Попытаемся восстановить главное содержание статьи по работам его коллег и последователей.

В 1845 году студент Кёнигсбергского Университета Кирхгоф публикует статью, в заключительной части которой ставит перед собой задачу проверить справедливость, как ему казалось, главного соотношения, реализованного в балансе Кристи [1]. Кирхгоф применяет схему баланса для измерения сопротивления листа латуни,

Давайте обратимся к упомянутому источнику: «Чтобы иметь возможность наблюдать небольшие изменения сопротивления, я

использовал следующее устройство (рис. 1). Ток источника разделяется на два потока: ACB и ADB, узлы C и D соединены мультипликатором».

В ветвь AC включено измеряемое сопротивление, а в ветвь CB включен реостат. В ветви AD включен короткий толстый провод, в ветви DB – длинный тонкий проводник, а в ветви CD -- измерительный прибор.

Думается, что студент внимательно списал пропорцию (1) из статьи Кристи: «Если я установлю реостат так, чтобы ток через мультипликатор не шел, то должен получить (1), что и хочу доказать (сопротивления ветвей AC, BC,... обозначаем как  $(AC)$ ,  $(BC)$ ,...):

$$(AC):(BC) = (AD):(BD) \text{»}. \quad (1)$$

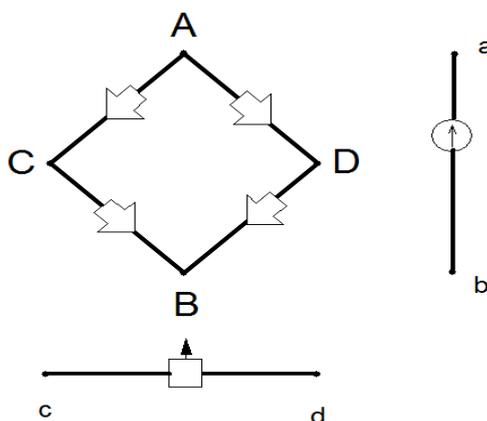


Рис. 1. Разделение потока исходящего от источника

Мало того, в оригинале статьи Кирхгоф говорит о разделении тока на две части, используя непривычные для научной статьи слова. Получается, что ток как река разделяется *на два рукава*. Для того чтобы вывести пропорцию (1), достаточно знать и применять понятие потенциала. Это понятие было введено английским физиком Г. Кавендишем (Henry Cavendish) как степень электрификации узла, использовалось М. Фарадеем (Michael Faraday). Кристи понимал, что в состоянии баланса схемы потенциалы узлов C и D равны, а, следовательно, равны напряжения: –  $U_{AC} = U_{AD}$ , где  $U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C$ ,  $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D$ .

Если номинал источника известен, то можно записать равенство напряжений следующим образом:

$$E \frac{R_{AC}}{R_{AC} + R_{BC}} = E \frac{R_{AD}}{R_{AD} + R_{BD}}. \quad (2)$$

Заметим, что напряжения на делителях, представленных в знаменателях равенства (2), отвечают следующим пропорциям, которые могли быть найдены экспериментально:

$$\frac{E}{R_{AC} + R_{BC}} = \frac{U_{AC}}{R_{AC}}; \quad \frac{E}{R_{AD} + R_{BD}} = \frac{U_{AD}}{R_{AD}}.$$

Из равенства (2) получаем выражение, содержащее только сопротивления:

$$R_{AC} (R_{AD} + R_{BD}) = R_{AD} (R_{AC} + R_{BC}).$$

Если в этом выражении произвести умножение и сократить подобные слагаемые, то получим

$$R_{AC} \cdot R_{BD} = R_{AD} \cdot R_{BC},$$

что легко записывается в виде пропорции

$$R_{AC} : R_{BC} = R_{AD} : R_{BD}. \quad (3)$$

Полученная пропорция (3) совпадает с выражением (1).

В своей статье [1] Кирхгоф выводит эту пропорцию, применяя уравнения своего имени. Отметим, что Кристи не мог знать этих уравнений, но этот пробел в знаниях не оказывает никакого влияния на возможность получить пропорцию (1) так, как было показано выше.

В английском журнале «Philosophy Transaction» за 1843 год вышла статья Чарльза Уитстона (Charles Wheatston), в которой был предложен дифференциальный метод измерения электрического сопротивления. В 1844 году эта статья была переведена на немецкий язык и опубликована в престижном научном журнале [2]. Поэтому 1843 год специалисты считают

датой рождения мостовой измерительной схемы, хотя баланс Кристи возник на 10 лет раньше.

В начале своей работы Уитстон сетует, что многим физикам закон Ома [3] либо неизвестен, либо не используется в практической работе. Уитстон же, в отличие от своих коллег, строит описание приборов и методов измерения сопротивления исключительно на основании закона Ома. Как доказательство сказанного в тексте приводится формула закона Ома (для участка цепи):

$$I = \frac{E}{R}, \quad (4)$$

где  $E$  – номинал источника эдс,  $R$  – величина сопротивления нагрузки;  $I$  – значение тока нагрузки.

Известно, что реальный источник эдс имеет внутреннее сопротивление, которое иногда трудно измерить. В этом случае закон Ома может помочь определить значение этого сопротивления. Введем в формулу (4) внутреннее сопротивление источника:

$$I' = \frac{E}{R + r}. \quad (5)$$

Разделим выражение (4) на выражение (5) и получим интересное соотношение

$$\frac{I}{I'} = 1 + \frac{r}{R},$$

откуда легко следует формула для расчета внутреннего сопротивления источника:

$$r = \frac{(I - I')R}{I'}. \quad (6)$$

Выражение (6) приведено по инициативе автора настоящей статьи, так как Уитстона интересовала другая физическая величина – сопротивление:

$$R = \frac{I'r}{I - I'}. \quad (7)$$

На всякий случай отметим, что все методы определения величины сопротивления, приведенные в статье [2], основаны на измерении значений тока.

Прежде, чем разбирать тот или иной метод определения сопротивления, стоит описать прибор для измерения значений тока, который использовал Уитстон. Измерительный прибор похож на крутильные весы Кулона, в которых неподвижный заряд заменен соленоидом, а подвижный заряд – ферромагнитным кольцом со стрелкой. При прохождении тока по обмотке соленоида возникает магнитное поле, которое действует на кольцо и оно совершает поворот на определенный угол. Значение угла можно прочесть по шкале, которую рассматривают через оптический прибор. Этот измерительный прибор назвали гальванометром.

Лабораторная установка для измерения величины электрического сопротивления представляла собой контур, в который входили: 1) гальванометр; 2) источник эдс; 3) реостат; 4) измеряемое сопротивление. Кроме того, измерительной схеме придавался магазин источников эдс.

Реостат представлял собой достаточно сложную конструкцию, главной деталью которой был деревянный цилиндрический корпус с винтовым желобком, в который укладывались витки обмотки. Конструкция позволяла перемещать скользящий контакт от витка к витку, а специальный указатель и шкала давали возможность узнать номер витка обмотки, на котором контакт находится в данный момент времени.

В основе метода определения электрического сопротивления лежит очевидное равенство (8):

$$\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}, \quad (8)$$

где  $n$  – число, величина которого больше единицы.

Все начинается с измерения величины тока при замкнутом реостате, когда в контуре, кроме источника и гальванометра включено только измеряемое сопротивление. Контурный ток создает магнитное поле вокруг соленоида гальванометра, и стрелка прибора отклоняется на определенный угол. Затем в контур включают дополнительный источник ЭДС, чтобы изменить значение напряжения питания, например, в два раза.

Формула (8) перестает быть равенством:

$$\frac{E}{R} \neq \frac{nE}{R}, \quad (9)$$

где  $n = 2$ .

Возрастает величина тока, и стрелка прибора отклоняется на угол, величина которого больше предыдущего значения. Затем с помощью реостата начинают процесс восстановления начального значения тока. Сопротивление контура возрастает, и значение тока уменьшается. Процесс восстановления величины тока в контуре завершается тогда, когда стрелка прибора достигает своего начального значения.

Допустим, что число витков, которые были включены в контур при восстановлении величины тока, равно  $m$ . Сопротивление одного витка известно, его легко получить расчетным путем –  $v$ . Тогда величина сопротивления, введенного в контур с помощью реостата, будет иметь следующее значение:

$$R_x = m \cdot v.$$

Благодаря введенному в измерительный контур сопротивлению формула (9) восстанавливается до равенства (10):

$$I = \frac{E}{R} = \frac{2E}{2R}. \quad (10)$$

Откуда заключаем, что в процессе измерения установлено: величины неизвестного сопротивления  $R$  и сопротивления реостата  $R_x$  равны:

$$2R = R + R_x.$$

Конечно, описание процесса измерения сопротивления, приведенное выше, несколько упрощено, так как не учитывались внутреннее сопротивление источника, гальванометра и соединительных проводов. Это сделано намеренно, чтобы облегчить понимание идеи измерения сопротивления. Уитстон рассматривал не только описанный выше порядок работы измерительного комплекса. Он различал еще четыре технологии измерений на одной и этой же установке. Кроме того, ученый обсуждал недостатки метода измерения, указывал на источники погрешностей.

Когда возникают трудности понимания текста статьи, то читатель, как правило, обращается за помощью к иллюстрациям. Однако и здесь он сталкивается с затруднениями. Например, рисунок установки, Taf. 2, Fig.16, не только трудно сопоставить с текстом, но, разбирая изображение, начинаешь просто испытывать ощущение беспомощности. Чтобы претензии к автору статьи [2] стали понятны читателю, приведем цитату из [4], где описывается указанная выше установка.

«Уитстон рассуждал приблизительно так: можно обыкновенным гальванометром с одной обмоткой пользоваться как дифференциальным с двойной обмоткой, стоит только от каждого полюса источника провести проводники одного сопротивления к каждому зажиму гальванометра ... ..Поэтому, если сопротивление двух ветвей, идущих от одного полюса источника, равны между собой, то третья состоит из реостата, а четвертая искомая, и изменением сопротивления реостата ток в гальванометре доводится до нуля».

На рис.2 изображена иллюстрация, о которой идет речь. Она плохо описана в тексте и отличается такой же графикой. Обозначения узлов пришлось буквально восстанавливать, надписи добавлены автором настоящей статьи.

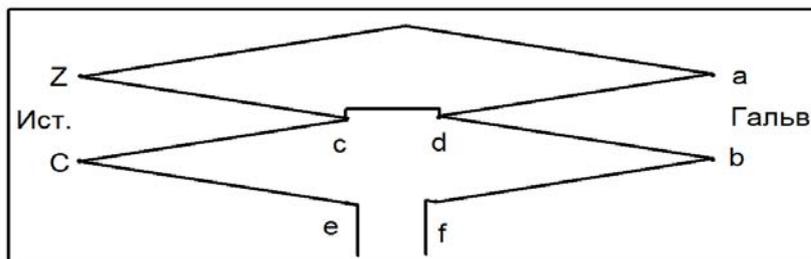


Рис. 2. Рисунок Taf. 2, Fig.16 из статьи Уитстона

Чтобы показать возможности обыкновенного гальванометра работать в качестве дифференциального приводятся следующие пути  $Z-b-a-C-Z$  и  $Z-a-b-C-Z$ , по которым к гальванометру проходят токи, имеющие противоположную направленность. Заметим, что отрезки  $c, d$  и  $e, f$  не упоминаются как части этих путей.

Очевидно, к клеммам  $e, f$  подключается реостат (его нет на рисунке). Клеммы  $c, d$  просто соединены отрезком провода, тогда в качестве измеряемого сопротивления должен выступать путь  $Z-a$ : «Если сопротивление включено в  $Zb$  или в  $Ca$ , то ток по пути  $ZabCZ$  перевешивает; если оно включено в  $Za$  или в  $Cb$ , то ток  $ZbaCZ$  сильнее».

Большой интерес представляет другой рисунок из статьи Уитстона под номером Taf. 2, Fig.17, где представлена коммутационная доска для формирования очередной измерительной схемы (рис.3). Здесь к клеммам  $C, Z$  подсоединяют источник питания, а к клеммам  $a, b$  – измерительный прибор. Реостат и измеряемое сопротивление подсоединяют к клеммам  $c, d$  и  $e, f$ . Коммутационный узел  $b$  показан условно.

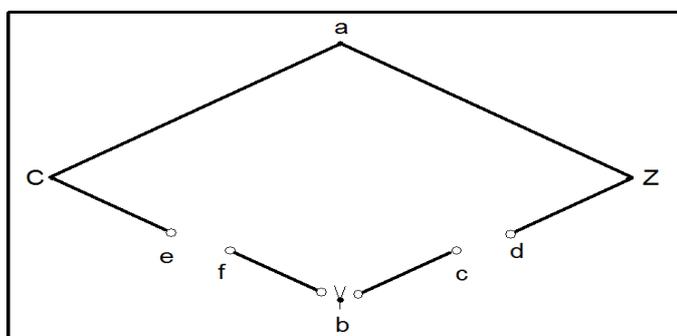


Рис. 3. Рисунок Taf. 2, Fig.17 из статьи Уитстона

Если узел соединяет три ветви, то мы получаем схему измерительного моста. Отметим, что ветви С-а и Z-а обладают сопротивлением, т.е. собранная схема готова к работе. Конечно, мы получаем схему баланса Кристи, но Уитстон так ее не называет и не стремится вывести знаменитую пропорцию баланса. Пропорция (1) является фундаментальным результатом, из нее следует формула для расчета измеряемого сопротивления.

В заметке [4] схема мостика Уитстона представлена значительно лучше, объясняется даже происхождение названия: «...ветвь, содержащая гальванометр, представляет как бы *мостик* между двумя рядом идущими дорогами, рис.1, по которым электричество переходит от одного полюса источника к другому».

Как видно из рис.4, в трех ветвях схемы включены магазины сопротивлений, что ближе к современной схеме моста Уитстона. Магазины удобнее реостата или набора сопротивлений, которые коммутируются вручную. Изменился и гальванометр, которым сравнивают потенциалы узлов. Конечно, через рамку гальванометра протекает определенный ток, но он небольшой, так как собственное сопротивление рамки довольно большое.

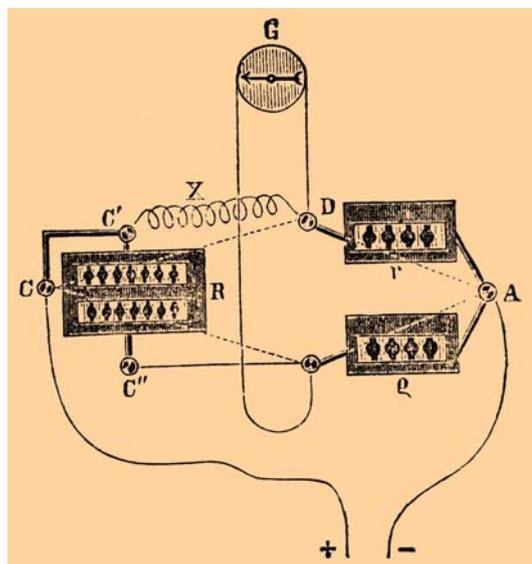


Рис. 4. Схема измерительного моста из [4]

Итак, в конструкции современного мостика реализуются измерения, которые характерны для баланса Кристи. Запишем фундаментальную пропорцию сопротивлений для схемы рис.4:

$$x : R = r : \rho . \quad (11)$$

Из пропорции (11) находим формулу для расчета измеренного сопротивления:

$$x = R \frac{r}{\rho} . \quad (12)$$

Кроме технических усовершенствований моста Уитстона, проходило его осмысление как измерительной схемы. С опытом измерений появилось предположение, что существуют оптимальные значения сопротивлений плеч моста для измерения каждого значения сопротивления. Эту задачу в 1873 году решил Оливер Хевисайд, предложивший оптимизировать значения сопротивлений плеч моста Уитстона [5]. Эта статья была замечена Максвеллом [6, с. 386].

Вот главный вывод из работы Хевисайда [5]: «Если  $\gamma$  – измеряемое сопротивление,  $a$  – внутреннее сопротивление батареи питания и  $\alpha$  – внутреннее сопротивление гальванометра, то наилучшие значения других сопротивлений получаются из выражений:

$$c = \sqrt{a \cdot \alpha} ; \quad b = \sqrt{a\gamma \frac{\alpha + \gamma}{a + \gamma}} ; \quad \beta = \sqrt{\alpha\gamma \frac{a + \gamma}{\alpha + \gamma}} . \quad (13)$$

Итак, порядок величины измеряемого сопротивления рассматривается как данность, а значения других плеч моста вычисляются по формулам (13). Расположение плеч моста можно установить по рис.5 [6, с. 381].

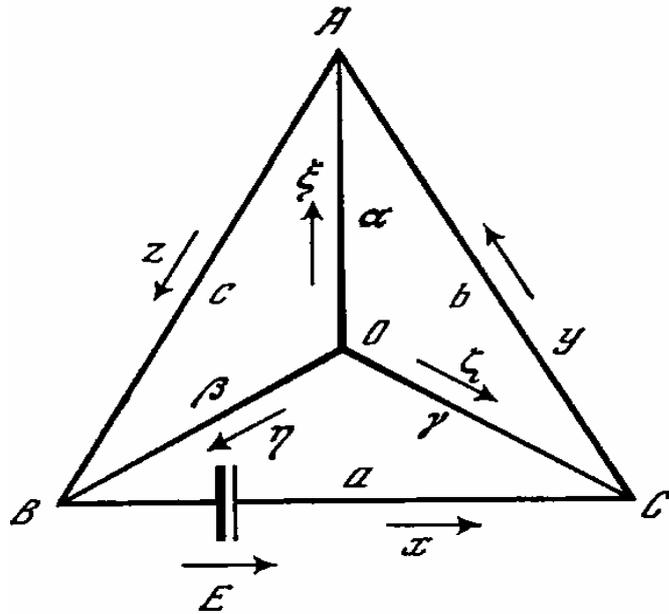


Рис. 5. Схема моста Уитстона по Максвеллу

В заключение статьи хочется привести цитаты, в которых говорится о судьбе изобретения измерительной мостовой схемы. «Каждому старшекласснику известен «мостик Уитстона» - электрическая схема, широко используемая для измерения сопротивления и других, связанных с ним величин. Но, как ни парадоксально, именно этого прибора, в названии которого увековечено его имя, ученый никогда не изобретал. Описание мостика содержалось в обширном докладе Уитстона, представленном им Лондонскому королевскому обществу в 1843 году. В докладе недвусмысленно подчеркивалось, что мостик изобрел другой английский физик, С. Кристи. Однако, как это иногда бывает, история распорядилась по-своему» [7].

Вот как современные специалисты оценивают роль Уитстона в создании схемы электрического баланса [8]: «Понимая важность измерений сопротивления, Уитстон стал искать наиболее простые и точные методы таких измерений. ... Уже в 1840 г. Уитстон нашел способ измерения сопротивления независимо от постоянства электродвижущей силы и показал свое устройство Якоби. Однако статья, в которой это

устройство было описано, и которую вполне можно назвать первой работой в области электротехники, появилась лишь в 1843 г. В этой статье дано описание знаменитого «мостика», названного затем в честь Уитстона. Фактически такое устройство было описано еще в 1833 г. Самюэлем Хантером Кристи и независимо от него в 1840 году Стефано Марианини. Оба они предлагали метод сведения к нулю, но их теоретические объяснения, при которых не учитывался закон Ома, оставляли желать лучшего».

Судьба изобретения схемы электрического баланса сложилась так, а не иначе по многим причинам. Главная из них состояла в том, что в 1833 году научная общественность не была готова к признанию схемы баланса Кристи в качестве дифференциального метода измерения электрического сопротивления. Интуитивно от публикации ученые требовали доказательств, подтвержденных математическими выкладками. Что подделаешь, Г. Ом своей книгой задал новую «моду» - электрическая цепь должна быть «математически обработана». Такие доказательства стали нормой для научных статей и книг, скажем больше, стали обязательными.

### **Список литературы**

1. Kirchhoff G. Ueber den Durchgang eines elektrischen Stromes durch eine Ebene, insbesondere durch eine kreisförmige // Ann. Phys. und Chem. 1845, Band 64, 4-te St., s. 497-514.
2. Wheatston Ch. Beschreibung verschiedener neuen Instrumente und Methoden zur Bestimmung der Constanten einer Voltaschen Kette // Ann. Phys. und Chem. 1844, Band 62, 4-te St., s. 499-543.
3. Ohm G.S. Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet // Т.Н. Riemann: Berlin, 1827. – 247 s.
4. Лермантов В. Мостик Витстона // Энциклопедический словарь, Т. 20. – С.-Петербург: Типо-Литография И.А. Ефрона, 1897. – С.22-23.

5. Heaviside O. On the best Arrangement of Wheatone's Bridge for measuring a given resistance with a given Galvanometer and Battery // Philosophical Magazine/- 1873 (Feb). – P. 114 – 120.

6. Максвелл Дж.К. Трактат об электричестве и магнетизме. – М.: Наука, 1989. – 416 с.

7. Недавно исполнилось 100 лет со дня смерти английского физика Чарльза Уитстона // Наука и жизнь,- 1976.- №5,- С.141.

8. Первые исследования сопротивления проводников // <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000008/st031.shtml>.

**Ерохов Игорь Васильевич** - проф., к.т.н., doc. phil., г. Запорожье, Украина.

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НУЛЛОРНЫХ ДЕРЕВЬЕВ И УЧЕТ НЕЯВНОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ**

**Г. В. Майко, О. Ш. Мамед, В. В. Филаретов**

*Рассмотрены преобразования нулляторных и нораторных путей в схемах с ориентированными нуллорами. Предложено переходить от неявного замыкания узлов к явному замыканию в виде параллельного соединения норатора и нуллатора. Для этого выполняется переключение норатора или нуллатора в пути из нораторов или нулляторов, замыкающем нуллятор или норатор. Реализация преобразования в программе символьного анализа CirSys показала многократное сокращение размера формируемых выражений и затрат времени.*

*Considered conversion norator and nullator paths in circuits with oriented nullors. It is proposed to move from the implicit shorting of nodes to an explicit shorting in the form of a parallel connection of the norator and the nullator.*

*This is done by switching norator or nullator in these paths on two nodes with nullator or norator. The implementation of the conversion in the CirSym symbolic analysis program has shown a multiple reduction in the size of the generated expressions and the time spent.*

**Об эквивалентных преобразованиях.** Эквивалентное преобразование электронных схем – это такое изменение структуры схемы или взаимного соединения её элементов, при котором характеристики схемы не изменяются [1–3]. Такие преобразования обычно связаны со структурой схемы, а не с изменением параметров элементов, поэтому называются топологическими [1].

Эквивалентность преобразований проявляется в том, что системы уравнений, описывающие электронные схемы до и после преобразования, не изменяются. Если матрицы проводимости электронных схем, представляющие системы уравнений, идентичны или имеют одинаковые определители миноров, то параметры и характеристики схемы, определяемые такими минорами, будут идентичными. В частности, при эквивалентных преобразованиях не изменяются передаточные функции электронных схем, определяемые как отношения миноров матрицы проводимости [4–6],

Система уравнений, описывающая электронную схему, всегда основывается на выбранной или заданной математической модели элементов схемы. Поэтому схемной модели оказывается достаточно для анализа схемы, а в формировании и последующем решении уравнений нет необходимости. Тем более что «расплатой» за составление уравнений служит избыточность формируемой матрицы схемы.

Например, в матрице проводимостей (которая преимущественно используется) параметр каждого незаземленного двухполюсного элемента одновременно учитывается в четырех клетках матрицы: 2 раза с

положительным знаком и 2 раза с отрицательным. Это приводит к образованию взаимно уничтожающихся слагаемых в формируемых выражениях схемных функций и откликов, дополнительной погрешности при численных расчетах.

На схемном уровне операции объединения двух строк (столбцов) эквивалентны подсоединению норатора (нуллатора) к соответствующим узлам. Чтобы матрица оставалась квадратной, необходимо равное количество нораторов и нуллаторов. Пара аномальных элементов – норатор и нуллатор – образует идеальный усилитель – нуллор, который широко используется в моделях активных компонентов для решения задач анализа и синтеза [2, 3].

Традиционный и наиболее часто используемый нуллор используется совместно с матричным методом, поэтому не имеет ориентации. При этом норатор и нуллатор указываются без направления, которое необходимо для топологического нахождения знака слагаемых определителя [7].

Лишенный избыточности метод схемных определителей (МСО) [8] предусматривает использование ориентированных нуллов. При этом знак алгебраических дополнений определяется непосредственно по исходной схеме и производным от нее схемам, минуя вычисления с номерами узлов (строк и столбцов матрицы).

Для использования МСО в моделях активных компонентов должны использоваться ориентированные и нумерованные нуллы (нулловые связи или управляемые источники). Поэтому для упрощения анализа, выполнения эквивалентных преобразований и топологического синтеза разрабатываются обобщения для ориентированных нуллов [9].

**От преобразования деревьев к неявному замыканию узлов.** Одним из эффективных способов порождения схем, эквивалентных заданной исходной схеме, являются преобразования нуллаторных и нораторных деревьев [2–7]. Неявным замыканием названо соединение [6], при котором

некоторый (исходный) норатор или нуллятор замыкается последовательностью других нуллаторов или нораторов.

Неявное замыкание двух узлов становится явным в результате применения преобразования нулляторного или нораторного дерева, соответственно, таким образом, чтобы один из нуллаторов (нораторов) пути оказался параллельным исходному норатору (нуллатору).

Через неявно замкнутые узлы также переносятся точки подсоединения элементов, что может привести к образованию новых объединений параллельных элементов. Параллельному соединению на схеме соответствует повторяющаяся сумма проводимостей в матрице проводимостей [6]. Известно, что дополнительный учет параллельного соединения элементов резко сокращает трудоемкость анализа и объем формируемых выражений.

Неявное замыкание двух узлов [6] становится очевидным (явным) после применения соответствующего преобразования нораторных или нулляторных деревьев. Идея неявного замыкания простая и основывается на свойстве соединения аномальных элементов придавать узлам одинаковые потенциалы, то есть замыкать некоторые узлы схемы накоротко без использования идеального проводника (рис. 1,а).

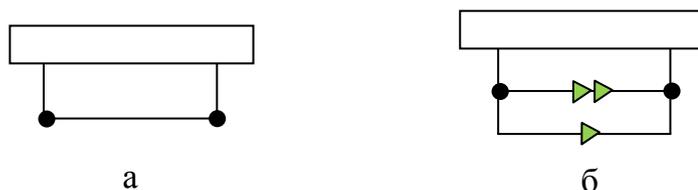


Рис. 1. Короткое замыкание: идеальным проводником (а) или параллельным соединением норатора и нуллатора (б)

В простейшем случае (рис. 1,б) параллельное соединение норатора и нуллатора эквивалентно идеальному проводнику, поскольку оно соединяет два узла одинакового потенциала (замыкает эти два узла). Такое замыкание можно назвать явным. Через параллельное соединение

норатора и нуллатора, подобно идеальному проводнику, можно переносить точки подсоединения элементов, что может привести к образованию новых объединений двухполюсных элементов.

Задача порождения ориентированных нулловых деревьев и соответствующих схем, эквивалентных по знаку определителя, поставлена и решена в [9]. Это важно не только при анализе схем, но и, например, в связи с возможностью правильного выбора полярностей входов операционных усилителей.

При переключении норатора или нуллатора для преобразования неявного замыкания в явное необходимо учитывать как направление, так и нумерацию (парность) нораторов или нуллаторов. В наиболее простом и практически важном случае однотипные аномальные элементы переключаются в контуре с тремя узлами, образуя 3 дерева с двумя аномальными элементами каждое. Эти 3 дерева названы триадой преобразования с нумерованными и ориентированными нораторами или нуллаторами.

**Два вида триад преобразования ориентированных аномальных элементов.** Ориентация нулловых деревьев должна выполняться одновременно с их «спариванием», то есть указанием соответствия нуллаторов или нораторов в различных деревьях триады, что выделяется нумерацией или цветом.

В [9] предложены по две триады для каждого типа аномальных элементов. Нораторная триада получается из нулловых триады заменой нуллаторов на нораторы. Для удобства использования приведем все четыре триады (рис. 2–5). На этих рисунках центральный (второй) элемент триады считается порождающим для первого и третьего элемента, что указано крупными стрелками.

Вместо нумерации нораторов и нуллаторов использована заливка цветом – один аномальный элемент окрашен, а другой – нет. Элементы триад пронумерованы римскими цифрами: I, II и III.

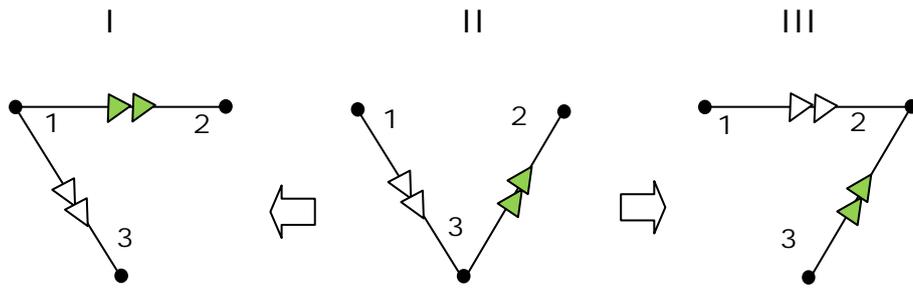


Рис. 2. Первая триада преобразования  
с номеррованными и ориентированными нораторами

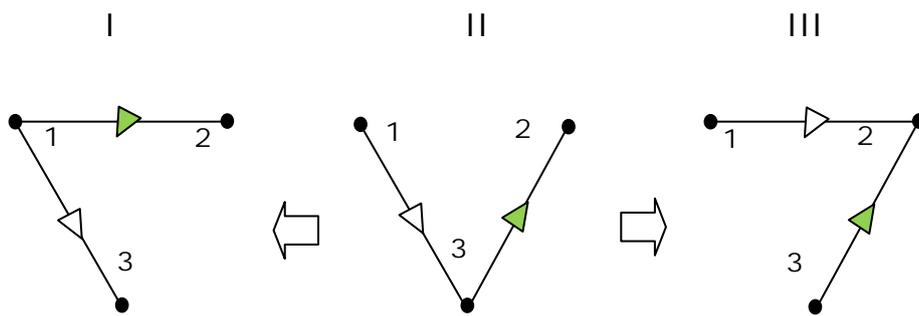


Рис. 3. Первая триада преобразования  
с номеррованными и ориентированными нуллаторами

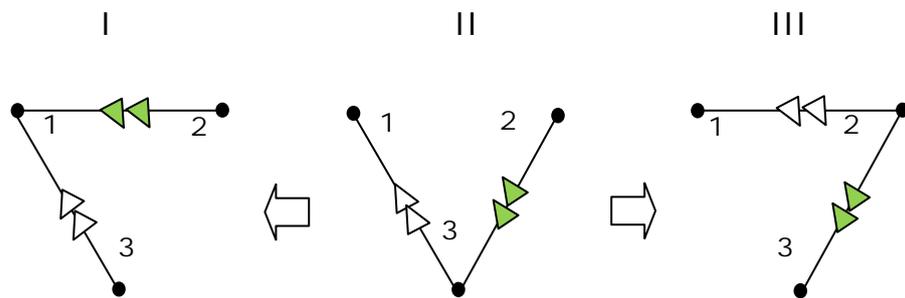


Рис. 4. Вторая триада преобразования  
с номеррованными и ориентированными нораторами

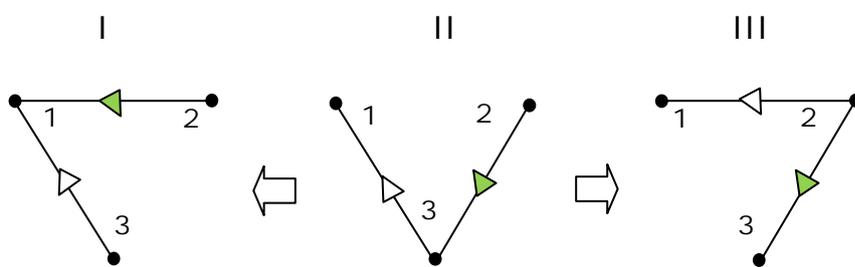


Рис. 5. Вторая триада преобразования  
с номеррованными и ориентированными нуллаторами

**Правило ориентации для сохранения знака определителя.** Можно видеть, что пары триад на рис.2 и рис.4 или рис.3 и рис.5 отличаются только взаимно противоположным направлением соответствующих наторов или нуллаторов. Два вида ориентации для любого типа аномальных элементов можно записать упорядоченными парами узлов: 1) 12\_13, 32\_13, 32\_12; 2) 21\_31, 23\_31, 23\_21.

Если считать порождающим центральный элемент триад, то любой аномальный элемент, переключаясь для получения триады I или III, оказывается включенным по направлению аномальных элементов триады II. Это положение может служить правилом ориентации, сохраняющим знак схемного определителя после переключения аномального элемента.

Следуя правилу ориентации, можно выбрать направление аномального элемента после переключения таким, чтобы не изменился знак определителя схемы до переключения. Возможны четыре варианта ориентации аномальных элементов центральной триады (рис. 6).

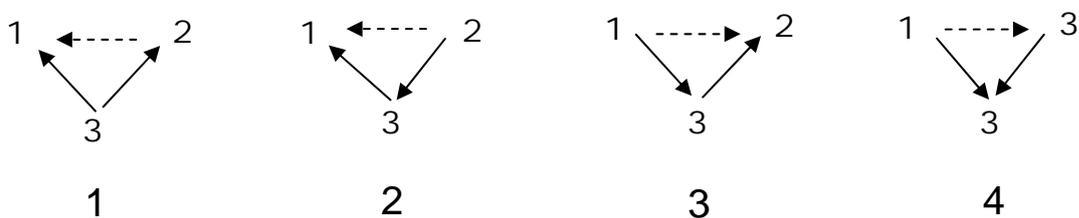


Рис. 6. Четыре варианта ориентации ветвей порождающей триады

Новое положение переключаемой ветви показано прерывистыми стрелками. Как следует из сравнения рис. 6 с порождающими (центральными) элементами триад на рис. 2–5 (обозначенными как II) второй и третий варианты ориентации соответствуют второй и первой триадам, поэтому не требуют доказательства.

Первый вариант ориентации доказывается сравнением с третьим вариантом. Третий вариант приводится к первому варианту изменением направления левой ветви, поэтому направление переключенной ветви

меняет направление. Аналогично доказывается четвертый вариант из второго варианта ориентации. Удобство использования и реализации предложенного правила заключается в возможности учитывать произвольную ориентацию двух порождающих ветвей в одной ветви.

На рис. 7–10 показано преобразования неявного короткого замыкания с двумя (рис. 7 и 8) или тремя (рис. 9 и 10) нуллорами. Аномальные элементы входят в состав произвольной схемы, обозначенной прямоугольником. Число нуллоров в неявном замыкании уменьшается до двух, если нуллятор или норатор между узлами 1 и 2 связан с норатором или нуллатором порождающего элемента триады (рис. 7 и 8).

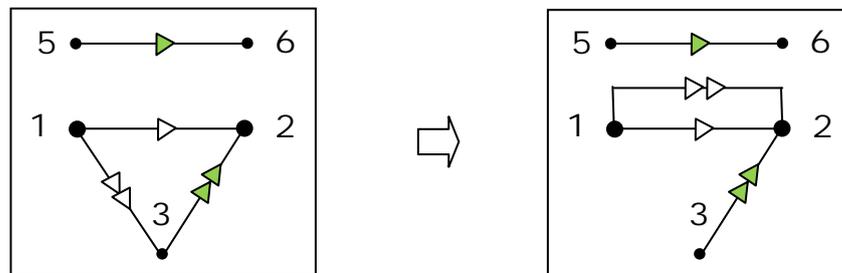


Рис. 7. Неявное короткое замыкание с двумя нуллорами и переключение норатора

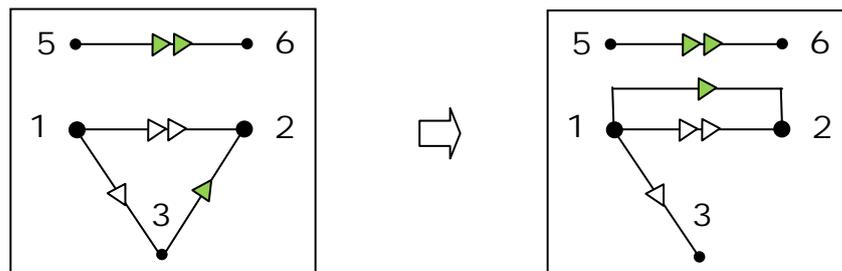


Рис. 8. Неявное короткое замыкание с двумя нуллорами и переключение нуллатора

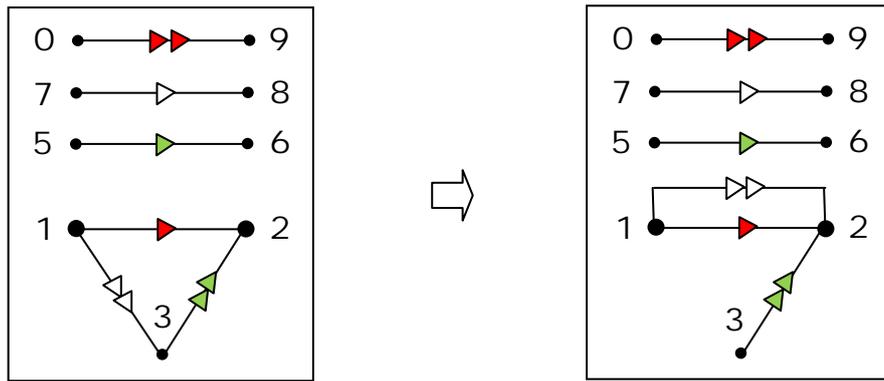


Рис. 9. Неявное короткое замыкание с тремя нуллорами и переключение норатора

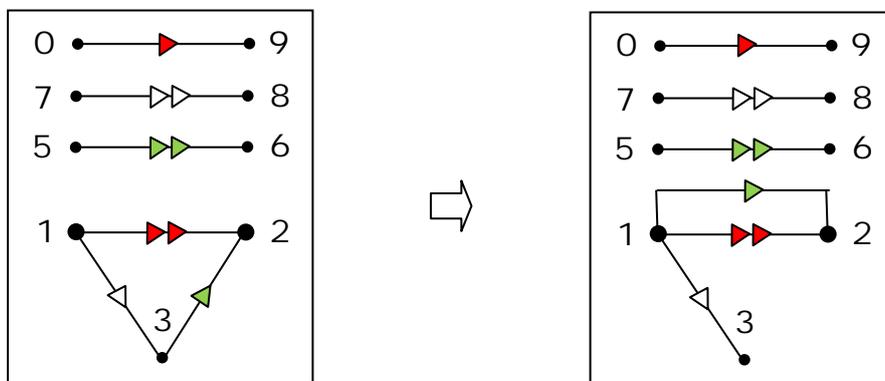


Рис. 10. Неявное короткое замыкание с тремя нуллорами и переключение нуллатора

**Реализация учета неявного замыкания в программе символьного анализа CirSym.** В новой версии программы CirSym [10] добавлена опция: The triangle of nullors (0 - no, 1 - yes), путем модификации функции `triangl`, которая выявляет последовательное соединение двух нораторов или нуллаторов и выполняет проверку вырождения при замыкании их до контура третьим норатором или нуллатором.

Теперь дополнительно проверяется замыкание пути из двух нораторов или двух нуллаторов третьим нуллатором или норатором. При наличии такого контура выполняется переключение одного из нораторов

(нуллаторов) для образования параллельного соединения с нуллатором или норатором, замыкающими контур.

При этом неявное замыкание на нуллатор или норатор конечных узлов пути из двух нораторов или двух нуллаторов становится явным (рис. 7–10). Ближайшее обращение к функция `degener` реализует объединение двух узлов с учетом знака параллельного соединения норатора и нуллатора. Знак будет положительным, если норатор и нуллатор направлены одинаково (противоположно) и имеют одинаковые (различные) номера. В двух других возможных случаях знак берется отрицательным.

Новая опция в положении 1 практически не замедляет работу по сравнению с предыдущей версией `CirSym`. Но, что также показывает следующий пример, учет в схеме неявных замыканий может привести к многократному сокращению длины формулы и времени генерации.

**Пример разложения определителя полной схемы с 11 узлами.** Требуется раскрыть определители полной схемы с 11 узлами (55 резисторов) в различных режимах короткого замыкания двух узлов с номерами 1 и 2. Режимы явного или неявного короткого замыкания обеспечивают два или три нуллора в соответствии с изображениями на рис. 7–10.

В полной схеме с узлами 0, 1, 2, ... 10 каждая пара узлов соединяется 55 резисторами с проводимостями  $g_i=i$  См, где  $i$  – порядковый номер ветви. `Cir`-файл полной схемы имеет вид:

```
g1 0 1 1 g2 0 2 2 g3 0 3 3 g4 0 4 4 g5 0 5 5 g6 0 6 6 g7 0 7 7 g8 0 8 8
g9 0 9 9 g10 0 10 10 g11 1 2 11 g12 1 3 12 g13 1 4 13 g14 1 5 14
g15 1 6 15 g16 1 7 16 g17 1 8 17 g18 1 9 18 g19 1 10 19 g20 2 3 20
g21 2 4 21 g22 2 5 22 g23 2 6 23 g24 2 7 24 g25 2 8 25 g26 2 9 26
g27 2 10 27 g28 3 4 28 g29 3 5 29 g30 3 6 30 g31 3 7 31 g32 3 8 32
g33 3 9 33 g34 3 10 34 g35 4 5 35 g36 4 6 36 g37 4 7 37 g38 4 8 38
```

g39 4 9 39 g40 4 10 40 g41 5 6 41 g42 5 7 42 g43 5 8 43 g44 5 9 44  
g45 5 10 45 g46 6 7 46 g47 6 8 47 g48 6 9 48 g49 6 10 49 g50 7 8 50  
g51 7 9 51 g52 7 10 52 g53 8 9 53 g54 8 10 54 g55 9 10 55.

Подключение нуллов выполняется в соответствии с рис. 7–10. Например, для схемы на рис. 9 слева три нуллора будут заданы в cir-файле так:

n1 3 2 5 6 n2 1 3 7 8 n3 0 9 1 2 .

В табл. 1 и 2 сведены показатели формул определителей полной схемы и время их генерации программой CirSym для короткого замыкания двумя и тремя нуллорами соответственно. Для схем с коротким замыканием двумя нуллорами найдено численное значение определителя  $\det_{an} = 9.9016156858255000e+15$ , а для схем с коротким замыканием тремя нуллорами:  $\det_{an} = 1.7094449190000000e+11$ .

Таблица 1. Количество символов и время формирования без учета (А) и с учетом (Б) неявного замыкания двумя нуллорами

Вид триады преобразования деревьев	Номер дерева в триаде нораторов или нуллаторов					
	I		II		III	
	А	Б	А	Б	А	Б
из нораторов	2404811 04.98 sec.	2404394 05.26 sec.	<b>10160552</b> <b>28.51 sec.</b>	2404394 05.20 sec.	2404811 05.07 sec.	2404394 05.04 sec.
из нуллаторов	2404811 05.97 sec.	2404378 06.20 sec.	<b>10160465</b> <b>35.70 sec.</b>	2404378 05.91 sec.	2404811 06.30 sec.	2404378 05.90 sec.

Таблица 2. Количество символов определителя и время формирования без учета (А) и с учетом (Б) неявного замыкания тремя нуллорами

Вид триады преобразования деревьев	Номер дерева в триаде нораторов или нуллаторов					
	I		II		III	
	А	Б	А	Б	А	Б
из нораторов	613164 02.29 sec.	612976 02.30 sec.	<b>1833100</b> <b>09.03 sec.</b>	612976 02.26 sec.	611968 02.26 sec.	611520 02.37 sec.
из нуллаторов	612952 02.32 sec.	612622 02.35 sec.	<b>1832822</b> <b>08.72 sec.</b>	612622 02.41 sec.	611968 02.27 sec.	611532 02.37 sec.

В табл. 1 и 2 жирным шрифтом отмечен столбец А (без учета неявного замыкания) с многократно большими размерами формул и временем генерации. Это означает, что предыдущая версия программы учитывает только явные короткие замыкания узлов (столбцы А для триад I и III), поэтому оказывается крайне неэффективной при наличии в схеме неявного короткого замыкания.

Эффективность новой версии программы CirSym повышается с увеличением числа узлов полной схемы. Например, для полной схемы с 12 узлами (66 резисторов) и неявном коротком замыкании тремя нуллорами: n1 5 6 3 2 n2 7 8 1 3 n3 1 2 0 9 длина результата сокращается с 23325096 до 6634171 символов, а время получения с 92 до 24 секунд.

Для полной схемы с 12 узлами и неявном коротком замыкании двумя нуллорами: n1 5 6 3 2 n2 1 2 1 3 длина результата сокращается с 124493216 до 28290388 символов, а время получения с 292 до 51 секунд.

Полные и квазиполные схемы сложны для символьного анализа, поскольку не делятся на части по небольшому числу узлов. Поэтому так важен учет «благоприятного» соединения нуллоров.

## **Выводы**

1. Исследованы триады преобразования ориентированных аномальных элементов. Для упрощения анализа электронных цепей предложено использование неявного замыкания узлов, при котором аномальный элемент включается параллельно не с одним дуальным аномальным элементом, а с последовательностью из аномальных элементов дуального типа.

2. Разработан и реализован в новой версии программы CirSym простой алгоритм переключения аномальных элементов для преобразования неявного замыкания в явное замыкание в виде параллельного соединения норатора и нуллатора.

3. На примерах анализа сложных полных схем с явным и неявным замыканием показано, что учет неявного замыкания может многократно уменьшить сложность формируемых выражений и сократить время вычислений. Реализация учета неявного короткого замыкания в программе CirSym практически не уменьшает быстродействие, поскольку для сохранения знака определителя используется предельно простое правило ориентации переключаемых аномальных элементов.

## **Список литературы**

1. Волгин Л.И. Топологические преобразования и синтез схем радиоэлектронных средств.– Тольятти: Изд-во Поволжского технологического ин-та сервиса.– 2000.– 173 с.

2. Wierzba G.M. Op-Amp Relocation: A Topological Active Network Synthesis // IEEE Trans. on circuits and systems.– 1986.– Vol. CAS-33, no. 5.–P. 469–475.

3. Haigh D.G. Analytic approach to nullor transformations for FET circuit synthesis: Part I - nullator-norator tree transformations // IEEE Proc. ISCAS.– 2006.– P. 5231–5234.

4. Майко Г.В., Филаретов В. В. Эквивалентные преобразования деревьев с нуллорными и зеркальными аномальными элементами в линейных электрических цепях // Синтез, анализ, диагностика электронных цепей: Международ. сб. науч. тр.– Ульяновск: УлГТУ, 2013.– Вып.11. – С. 17–38.

5. Mayko G., Filaretov V., Gorshkov K. Equivalent transformations of trees with nullor and mirror pathological elements // 2015 IEEE 3rd Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE).–2016.

6. Майко Г.В., Мамед О.Ш., Филаретов В.В. Неявное замыкание и параллельность в цепях с аномальными элементами // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международный сборник научных трудов.– Вып. 15. – Ульяновск : УлГТУ, 2018.– С. 4–17.

7. Braun J. Topological analysis of networks containing nullators and norators // Electron. Letters.– 1966.– Vol. 2, no. 11.– P. 427–428.

8. Филаретов В.В. Топологический анализ электронных схем методом выделения параметров // Электричество.– 1998.– № 5.– С. 43–52.– То же. Filaretov V.V. A topological analysis of electronic circuits by a parameter extraction method // Electrical technology Russia.– 1998.– N 2.– P. 46–61.

9. Майко Г.В., Филаретов В.В. Преобразования ориентированных деревьев с нулловыми и зеркальными аномальными элементами // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международный сборник научных трудов.– Вып. 12.– Ульяновск:УлГТУ, 2015.–С. 51–70.

10. Филаретов В. В. Программа символьного анализа CirSym: история создания, структура и функции // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международ. сб. научн. труд. – Ульяновск: УлГТУ, 2012.– Вып. 10.– С.158–171.

**Gennadiy Maiko (Майко Геннадий Владимирович)** – канд. техн. наук, Sr. Principal Engineer, Broadcom Corporation, USA. E-mail: [gmayko@gmail.com](mailto:gmayko@gmail.com)

**Охад Шмуэль Мамед** – студент Doherty Middle School, Andover, MA, USA

**Филаретов Владимир Валентинович** – доктор технических наук, ответственный редактор международного научного сборника «Синтез, анализ и диагностика электронных цепей» Ульяновского государственного технического университета. E-mail: [vvfil@mail.ru](mailto:vvfil@mail.ru)

# РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ УДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

**И. А. Шкуропат**

*Показано, что уравнение мощности трансформатора связывает геометрию его активной части (обмоток, сечения стержня магнитопровода) и электромагнитные нагрузки (амплитуду магнитной индукции в стержне, плотности номинальных токов). Предложена методика расчёта основных размеров и параметров активной части двухобмоточного трансформатора методом задания удельных электромагнитных нагрузок.*

*It is shown that the equation of the power transformer connects the geometry of its active parts (windings, a section of a core of the magnetic circuit) and electromagnetic load (the amplitude of the magnetic induction in the core, the density of the rated current). The method of calculating the basic dimensions and parameters of the active part of the two-winding transformer by setting specific electromagnetic loads is proposed.*

**Уравнение мощности и постоянная Арнольда.** К настоящему времени в области проектирования силовых трансформаторов предложено множество конструктивных исполнений. Например, трансформаторы с некруглой формой стержней магнитопровода. Требуются методики для расчёта новых конструкций. Поэтому формализация связи между конструктивными параметрами трансформаторов и их электромагнитными нагрузками не теряет своей актуальности [1, 2].

Расчёт трансформаторов включает, как правило, приближённую оценку выбора оптимального варианта и точные расчёты, служащие основанием для детального конструирования трансформатора. В [2] показано, что исходным для выполнения расчёта трансформатора является

уравнение мощности трансформатора, связывающее его основные размеры с электромагнитными параметрами активной части.

В трансформаторах электромагнитная энергия сосредоточена большей частью в межобмоточном канале рассеяния. Удельная плотность энергии, выражаемая через универсальную электромашинную постоянную Арнольда, определяется удельными электромагнитными нагрузками: амплитудой магнитной индукции и плотностями токов [1].

Постоянная Арнольда позволяет упростить расчет основных размеров электрических машин. Для этого, исходя из выражения электромагнитной (расчетной) мощности, определяется условный объём активной части, связанной с размерами, электромагнитными нагрузками и частотой.

**О взаимосвязи между мощностью трансформатора и электромагнитными нагрузками.** В [1, 2] показана в общем виде связь между мощностью трансформатора и электромагнитными нагрузками на активную часть. Удельные электромагнитные нагрузки:  $B_m$  – амплитуда магнитной индукции в стержне магнитопровода для холостого хода,  $J_{H1}$  и  $J_{H2}$  – плотности номинального тока в обмотках ВН и НН.

Основные размеры и параметры активной части трансформатора связаны через уравнение мощности (электромагнитного использования активного объёма) с номинальными данными и электромагнитными нагрузками на активные материалы. Основные размеры активной части двухобмоточного трансформатора представлены на рис.1.

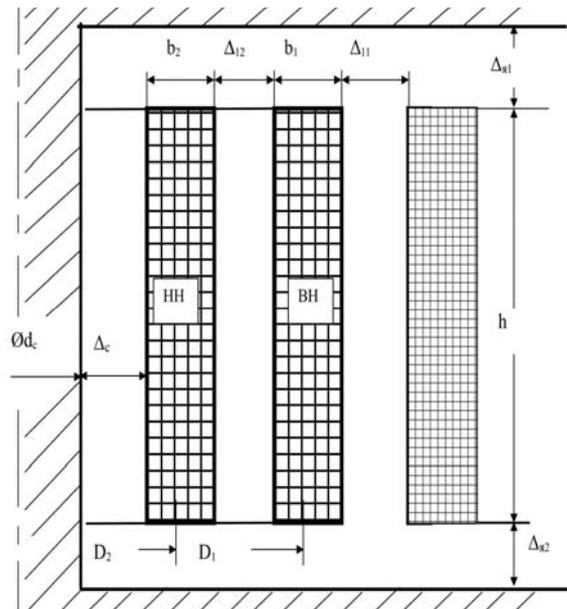


Рис. 1. Расположение обмоток в окне магнитопровода

При выборе значений исходят из накопленного опыта электромагнитных, электроизоляционных и тепловых расчетов трансформаторов определенных мощностей и классов напряжений. Изоляционно-конструктивные размеры, задаваемые в расчете на основании опыта проектирования трансформаторов с определённым классом напряжения изоляции [3], следующие (рис. 1):

$\Delta_{я1}$  – изоляционное расстояние между верхним ярмом и торцами обмоток по проводу,  $\Delta_{я2}$  – изоляционное расстояние между нижним ярмом и торцами обмоток по проводу,  $\Delta_c$  – изоляционное расстояние между стержнем и обмоткой НН;  $\Delta_{12}$  – изоляционное расстояние (ширина канала рассеяния) между обмотками ВН и НН,  $\Delta_{11}$  – изоляционное расстояние между наружными обмотками ВН соседних фаз.

Рекомендуемые значения изоляционных расстояний в зависимости от класса напряжения изоляции указаны в табл. 1.

Таблица 1 Изоляционные расстояния в трансформаторах

Изоляционное расстояние, мм	Обо- значе- ние	Класс напряжения изоляции,			
		6 – 10	15	20	35
между обмотками ВН разных	$\Delta_{11}$	10	15	20	30
между верхним ярмом и торцами обмоток по проводу	$\Delta_{я1}$	20			
между нижним ярмом и торцами обмоток по проводу	$\Delta_{я2}$	20			
между стержнем и обмоткой	$\Delta_c$	5			
между обмотками ВН и НН	$\Delta_{12}$	8.5			

**Фазные мощность и напряжения.** Номинальные величины трансформатора определяются геометрией активной части, принятыми удельными электромагнитными нагрузками и другими параметрами. Мощность трансформатора на фазу выражается следующим образом:

$$S_{н.ф} = S_n / m_\phi = U_{н1ф} I_{н1ф} , \quad (1)$$

где  $S_n$  – полная номинальная мощность трансформатора,  $m_\phi$  – число фаз,  $U_{н1ф}$  и  $U_{н2ф}$  – номинальные фазные напряжения обмоток ВН и НН соответственно,  $I_{н1ф}$  и  $I_{н2ф}$  – номинальные фазные токи обмоток ВН и НН соответственно.

Фазные номинальные напряжения обмоток ВН и НН, фазные номинальные токи обмоток ВН и НН прямо связаны с геометрией активной части трансформатора.

Номинальное фазное напряжение обмотки ВН:

$$U_{н1ф} = (\omega / \sqrt{2}) w_1 B_m S_c , \quad (2)$$

где  $\omega$  – круговая частота сети;  $w_1$  – число витков обмотки ВН;  $B_m$  – амплитуда магнитной индукции в стержне в режиме холостого хода;  $S_c$  – активное сечение круглого стержня. Здесь круговая частота сети  $\omega = 2\pi f$ , где  $f$  – частота сети.

Номинальное фазное напряжение обмотки НН:

$$U_{H2\phi} = (\omega/\sqrt{2})w_2B_mS_c, \quad (3)$$

где  $w_2$  – число витков обмотки НН.

**Параметры активной части трансформатора.** Активное сечение круглого стержня:

$$S_c = k_c k_{\text{геом}} (\pi/4) d_c^2, \quad (4)$$

где  $d_c$  – диаметр описанной окружности стержня магнитопровода,  $k_c$  – коэффициент заполнения пакетов магнитопровода электротехнической сталью, примерно  $k_c = 0.965$ ,  $k_{\text{геом}}$  – геометрический коэффициент заполнения кругового сечения стержня пакетами электротехнической стали, примерно  $k_{\text{геом}} = 0.925$ .

Если в трансформаторе ток холостого хода пренебрежимо мал, то магнитодвижущие силы (МДС) обмоток ВН и НН соответственно арифметически равны между собой:

$$w_1 I_{H1\phi} = w_2 I_{H2\phi}. \quad (5)$$

МДС обмоток связаны с геометрией обмоток следующим образом. МДС обмотки ВН:

$$w_1 I_{H1\phi} = w_1 S_{B1} J_{H1}, \quad (6)$$

где  $S_{B1}$  – площадь активного сечения витка обмотки ВН,  $J_{H1}$  – плотность номинального тока обмотки ВН.

Площадь активного сечения витка обмотки ВН:

$$S_{B1} = I_{H1\phi} / J_{H1}. \quad (7)$$

МДС обмотки НН, учитывая (5):

$$w_1 I_{H1\phi} = w_2 S_{B2} J_{H2}, \quad (8)$$

где  $S_{B2}$  – площадь активного сечения витка обмотки НН,  $J_{H2}$  – плотность номинального тока обмотки НН.

Площадь активного сечения витка обмотки НН:

$$S_{B2} = I_{H2\phi} / J_{H2}. \quad (9)$$

Площадь поперечного сечения обмотки ВН:

$$S_{o61} = k_{o61} w_1 S_{B1}, \quad (10)$$

где  $k_{o61}$  – коэффициент заполнения проводником перемычного сечения обмотки ВН.

Площадь поперечного сечения обмотки НН:

$$S_{o62} = k_{o62} w_2 S_{B2}, \quad (11)$$

где  $k_{o62}$  – коэффициент заполнения проводником перемычного сечения обмотки НН.

С учетом (2)-(8) фазная мощность трансформатора записывается:

$$S_{н.ф} = U_{н1ф} I_{н1ф} = (\omega/\sqrt{2}) B_m S_c w_1 I_{н1ф}, \quad (12)$$

**Определение параметров короткого замыкания и номинальных токов.** Полное сопротивление КЗ между обмотками ВН и НН состоит из индуктивной и активной составляющих:

$$Z_k = \sqrt{(X_k^2 + R_k^2)}, \quad (13)$$

где  $R_k$  – фазное активное сопротивление КЗ между обмотками ВН и НН;  $X_k$  – фазное индуктивное сопротивление КЗ между обмотками ВН и НН:

$$\begin{aligned} R_k &= k_{доб} \rho_{75} (\pi D_2 w_2 / S_{B2} + \pi D_1 w_1 / S_{B1}) = \\ &= k_{доб} \rho_{75} \pi \sqrt{2} (D_2 U_{н2ф} J_2 / I_{н2ф} + D_1 U_{н1ф} J_1 / I_{н1ф}) / (\omega B_m S_c), \end{aligned} \quad (14)$$

$$X_k = \omega (k_p \mu_0 w_1^2 S_{ск}) / h, \quad (15)$$

где  $k_{доб}$  – коэффициент добавочных потерь в обмотках трансформатора (отношение потерь короткого замыкания к основным потерям в обмотках), примерно  $k_{доб} = 1.15$ ,  $h$  – высота обмоток ВН и НН.

Полагая, что обмотки ВН и НН – равновысокие (рис. 1), находим их радиальные размеры. Фазные номинальные напряжения обмоток ВН и НН, фазные номинальные токи обмоток ВН и НН прямо связаны с геометрией активной части трансформатора.

Радиальный размер обмотки ВН, с учётом (7), (10), (12):

$$b_1 = S_{o61} / h = \sqrt{2} k_{o61} S_{н.ф} / (\omega B_m S_c J_{н1} h). \quad (16)$$

Радиальный размер обмотки НН, с учётом (9), (11), (12):

$$b_2 = S_{\text{об2}}/h = \sqrt{2}k_{\text{об2}}S_{\text{н.ф}}/(\omega B_m S_c J_{\text{н2}}h). \quad (17)$$

Номинальный ток определяется из (1) через параметры короткого замыкания – сопротивление КЗ и номинальное фазное напряжение [1]:

$$I_{\text{н1ф}} = S_{\text{н.ф}}/U_{\text{н1ф}} = (U_{\text{н1ф}}/Z_{\text{к}})(u_{\text{к}}/100). \quad (18)$$

где  $u_{\text{к}}$  – напряжение КЗ (в %) между обмотками ВН и НН.

Фазное индуктивное сопротивление КЗ между обмотками ВН и НН:

$$X_{\text{к}} = (\omega k_{\text{р}} \mu_0 w_1^2 S_{\text{ск}})/h, \quad (19)$$

где  $S_{\text{ск}}$  – эквивалентная поперечная площадь канала магнитного потока рассеяния между обмотками,  $k_{\text{р}}$  – коэффициент Роговского (коэффициент приведения реального магнитного поля к идеальному),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – универсальная магнитная постоянная.

Эквивалентная поперечная площадь канала магнитного потока рассеяния между обмотками:

$$S_{\text{ск}} = \pi D_{12} \left( \frac{b_2}{3} + \Delta_{12} + \frac{b_1}{3} \right), \quad (20)$$

где  $D_{12}$  – средний диаметр канала между обмотками ВН и НН (рис. 1).

Коэффициент Роговского:

$$k_{\text{р}} = 1 - (b_2 + \Delta_{12} + b_1)/(\pi \cdot h). \quad (21)$$

Для силового трансформатора можно пренебречь активным сопротивлением и принять:  $Z_{\text{к}} = X_{\text{к}}$ . Тогда фазная мощность трансформатора записывается следующим образом:

$$S_{\text{н.ф}} = (u_{\text{к}}/100)U_{\text{н1ф}}^2/X_{\text{к}}. \quad (22)$$

Отсюда следуют средние диаметры обмоток. Средний диаметр обмотки НН:

$$D_2 = d_c + 2\Delta_c + b_2. \quad (23)$$

Средний диаметр канала ВН – НН:

$$D_{12} = D_2 + b_2 + \Delta_{12}. \quad (24)$$

Средний диаметр обмотки ВН:

$$D_1 = D_2 + b_2 + 2\Delta_{12} + b_1. \quad (25)$$

**Уравнение электромагнитной мощности.** Структура уравнения мощности [2], выражающая однозначную связь между основными размерами и электромагнитными параметрами трансформатора, следующая:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{н.ф}} &= \frac{\omega B_m^2}{2\mu_0} \frac{S_{\text{mh}}}{k_p} \frac{S_c^2}{S_{\text{ок}}^2} \frac{u_{\text{н}}\%}{100\%}; & k_p &= 1 - \frac{b_1 + \Delta_{12} + b_2}{\pi h}; \\
 S_{\text{ок}} &= \pi D_{12} \left( \frac{b_1}{3} + \Delta_{12} + \frac{b_2}{3} \right); & & \\
 b_1 &= \frac{\sqrt{2} S_{\text{н.ф}}}{\omega B_m S_c l_1 h k_{\text{оф1}}}; & b_2 &= \frac{\sqrt{2} S_{\text{н.ф}}}{\omega B_m S_c l_2 h k_{\text{оф2}}};
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$D_2 = d_c + 2\Delta_c + b_2; \quad D_1 = D_2 + b_2 + 2\Delta_{12} + b_1; \quad D_{12} = D_2 + b_2 + \Delta_{12}.$$

Уравнение мощности трансформатора (26) связывает геометрию активной части (высоту и диаметры обмоток, площадь активного сечения стержня магнитопровода) и принятые электромагнитные нагрузки. Первое уравнение в системе (26) – основополагающее. Оно выражает запасаемую в межобмоточном пространстве индуктивную мощность.

Остальные уравнения (26) раскрывают первое уравнение. Для этого, исходя из выражения электромагнитной (расчетной) мощности, определяется условный объём активной части, связанной с основными размерами, электромагнитными нагрузками и частотой.

**Расчет конструкции активной части трансформатора.** Выполняется, исходя из численных значений электромагнитных нагрузок и величины фазной мощности. Постоянная Арнольда обуславливает методику расчёта двухобмоточного трансформатора.

Основные размеры и электромагнитные параметры, определяемые в ходе обобщенного расчёта варианта трансформатора: высота обмоток, высота окна магнитопровода, межосевое расстояние между стержнями магнитопровода, средний диаметр обмотки ВН, радиальный размер обмотки ВН, средний диаметр обмотки НН, радиальный размер обмотки

НН, число витков обмотки ВН, число витков обмотки НН, амплитуда магнитной индукции в стержне в режиме холостого хода; масса электротехнической стали магнитопровода.

Конструкция активной части выполняется на основе рекомендаций [3]. Магнитопровод – трёхстержневой, плоскошихтованный, с полным косым стыком (step lap). Сечения стержней и ярем – круглые ступенчатые. Электротехническая сталь. Марка и толщина листов – 3408, 0,30 мм. Плотность –  $\gamma_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$ . Обмотка НН – внутренняя, ВН – наружная. Обмотки равновысокие. Расположение на стержне – концентрическое.

Материал проводников обмоток: медь (плотность –  $\gamma_{пр} = 8900 \text{ кг/м}^3$ , удельное электрическое сопротивление при температуре  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\rho_{75} = 0,0210 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ); алюминий (плотность –  $\gamma_{пр} = 2700 \text{ кг/м}^3$ , удельное электрическое сопротивление при температуре  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\rho_{75} = 0,0342 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ). Конструкция обмоток следующая. Обмотка низкого напряжения (НН) – внутренняя, высокого напряжения (ВН) – наружная. Обмотки равновысокие, расположение на стержне – концентрическое.

Расчет трансформатора начинается с определения основных электрических величин – мощности на одну фазу и стержень, номинальных линейных и фазных токов на стороне ВН и НН, фазных токов и напряжений [3]. Номинальные фазные напряжения и токи в обмотках ВН и НН для трёхфазных трансформаторов рассчитываются исходя из линейных напряжений, токов и схем соединения обмоток согласно [3].

Сопротивление КЗ фазы трансформатора со стороны обмотки ВН:

$$Z_k = (u_k/100)U_{н1ф}^2/S_{н.ф.}$$

**Об обобщённом методе оценочного расчёта.** Для оценочного расчёта основных размеров активной части и параметров трансформатора применим обобщённый метод [3, 4]. Этот метод расчета основывается на

положениях общей теории трансформаторов и даёт достаточно простые и точные зависимости между заданными номинальными данными трансформатора, его геометрическими размерами и массой активных материалов. Обобщённый метод оценочного расчёта позволяет, не вдаваясь в детали, рассчитывать для трансформатора основные размеры магнитной системы и обмоток, массы активных материалов трансформатора [3, 4].

Обмотки полагаются сплошными цилиндрическими, поперечное строение обмоток по проводнику учитывается коэффициентами заполнения проводником площадей поперечного сечения обмоток ВН и НН, которые задаются исходя из опыта проектирования трансформаторов.

В зависимости от класса напряжения, уровня технологии и тепловых условий полагаются заранее известными и постоянными для трансформатора определённой мощности и класса напряжения некоторые коэффициенты. В том числе коэффициенты заполнения поперечного сечения обмоток ВН и НН проводником.

Коэффициент добавочных потерь равен отношению потерь короткого замыкания к основным потерям в обмотках. Также учитываются коэффициенты заполнения кругового сечения стержня магнитопровода электротехнической сталью и заполнения пакетами электротехнической стали круглого геометрического сечения стержня магнитопровода.

**Расчёт и определение размеров активной части трансформатора обобщённым методом.** Расчёт проводится в два этапа: предварительный (оценочный) расчёт и окончательный (детальный) расчёт. При выборе значений учитывают опыт электромагнитных, электроизоляционных и тепловых расчетов силовых трансформаторов определенных мощностей и классов напряжений, а также технологический уровень предприятия. Диаметр описанной окружности стержня  $d_c$  [3], которому соответствуют геометрическое сечение  $S_{\text{геом}}$  и активное сечение  $S_c$ , варьируется.

Фазные номинальные напряжения обмоток ВН и НН, фазные номинальные токи обмоток ВН и НН прямо связаны с геометрией активной части трансформатора.

Номинальное фазное напряжение обмотки ВН:

$$U_{н1ф} = (\omega/\sqrt{2})w_1B_mS_c, \quad (28)$$

где  $w_1$  – число витков первичной обмотки ВН.

Номинальное фазное напряжение обмотки НН:

$$U_{н2ф} = (\omega/\sqrt{2})w_2B_mS_c, \quad (29)$$

где  $w_2$  – число витков вторичной обмотки НН.

Отсюда получается число витков обмоток ВН и НН:

$$w_1 = U_{н1ф}\sqrt{2}/(\omega B_m S_c), \quad (30)$$

и

$$w_2 = w_1*(U_{н2ф}/U_{н1ф}). \quad (31)$$

По результатам расчета сечения стержня уточняется амплитуда магнитной индукции в стержне магнитопровода:

$$B_m = U_{н1ф}\sqrt{2}/(\omega w_1 S_c) \quad (32)$$

и другие параметры.

Основные размеры и параметры активной части трансформатора связаны через уравнение электромагнитной мощности (27) с номинальными данными и электромагнитными нагрузками на активные материалы.

**Расчет основных размеров трансформатора с номинальными данными через напряжения короткого замыкания.** Напряжение короткого замыкания в процентах между обмотками ВН и НН определяется через полное сопротивление короткого замыкания:

$$u_k = (I_{н1ф}Z_k/U_{н1ф})*100\% . \quad (33)$$

Входящие в это уравнение номинальные величины, определённые техническим заданием, связаны с геометрией активной части, принятыми электромагнитными нагрузками и другими параметрами.

Номинальное фазное напряжение обмотки ВН:

$$U_{н1\phi} = (\omega/\sqrt{2})w_1B_mS_c. \quad (34)$$

Магнитодвижущая сила (МДС) одной обмотки:

$$w_1I_{н1\phi} = w_2I_{н2\phi} = \sqrt{2}S_{н,\phi}/(\omega B_m S_c). \quad (35)$$

Если в трансформаторе ток холостого хода пренебрежимо мал, то магнитодвижущие силы (МДС) обмоток ВН и НН соответственно арифметически равны между собой:

$$w_1I_{н1\phi} = w_2I_{н2\phi}. \quad (36)$$

МДС обмотки ВН (НН), с учётом (3):

$$w_1I_{н1\phi} = \sqrt{2}U_{н1\phi}I_{н1\phi}/(\omega B_m S_c) = \sqrt{2}S_{н,\phi}/(\omega B_m S_c). \quad (37)$$

МДС обмоток связаны с геометрией обмоток следующим образом.

Активное сечение витка обмотки НН:

$$S_{в2} = I_{н2\phi}/J_{н2}, \quad (38)$$

где  $J_{н2}$  – плотность номинального тока в обмотке НН. К примеру, для алюминиевых обмоток НН обычно принимается [3]  $J_{н2} = 1.50 \text{ А/мм}^2$ .

Активное сечение витка обмотки ВН:

$$S_{в1} = I_{н1\phi}/J_{н1}, \quad (39)$$

где  $J_{н1}$  – плотность номинального тока в обмотке ВН. Например, для алюминиевых обмоток ВН обычно принимается [3]  $J_{н1} = 1.50 \text{ А/мм}^2$ .

Активное сечение обмотки НН по проводу, с учётом (3):

$$S_{об2} = w_2S_{в2} = w_1I_{н1\phi}/J_{н2} = \sqrt{2}S_{н,\phi}/J_{н2}/(\omega B_m S_c). \quad (40)$$

Активное сечение обмотки ВН по проводу, с учётом (3):

$$S_{об1} = w_1S_{в1} = \sqrt{2}S_{н,\phi}/J_{н1}/(\omega B_m S_c). \quad (41)$$

Основополагающими величинами при расчётах геометрии активной части трансформатора являются коэффициенты заполнения проводником

поперечного сечения, которые связывают электромагнитные и геометрические параметры трансформатора. Эти величины близки к 0.5, что существенно упрощает оценочные расчёты. Полагая, что обмотки ВН и НН – равновысокие по проводу (рис. 1), получаем: коэффициент заполнения проводником поперечного сечения обмотки ВН проводником:

$$k_{o61} = S_{o61}/(b_1 h) . \quad (42)$$

Радиальный размер обмотки ВН, с учётом (7), (10), (12) ), (42):

$$b_1 = S_{o61}/(k_{o61} h) = \sqrt{2} S_{н.ф}/(\omega B_m S_c J_{н1} k_{o61} h). \quad (43)$$

Коэффициент заполнения проводником сечения обмотки НН:

$$k_{o62} = S_{o62}/(b_2 h). \quad (44)$$

Например,  $k_{o61} = 0.40 \dots 0.60$ ;  $k_{o62} = 0.40 \dots 0.60$ . Радиальный размер обмотки НН, с учётом (9), (11), (12), (44):

$$b_2 = S_{o62}/h = \sqrt{2} k_{o62} S_{н.ф}/(\omega B_m S_c J_{н2} h). \quad (45)$$

**Расчёт и определение основных размеров активной части трансформатора.** Размеры пакетов пластин магнитопровода рассчитываются так, чтобы образуемая ими поперечная ступенчатая фигура вписывалась в окружность диаметром  $d_c$ . Диаметру стержня соответствуют:  $n$  – число его ступеней,  $b_{п1}$ ,  $b_{п2}$ ,  $b_{пn}$  – ширины пластин пакетов магнитопровода,  $S_{геом}$  – геометрическое сечение.

Форма поперечного сечения стержня показана на рис. 2. Размеры пакетов пластин магнитопровода следующие. Толщина первого пакета:

$$a_{п1} = \sqrt{(d_c^2 - b_{п1}^2)}. \quad (46)$$

Толщина второго пакета:

$$a_{п2} = \sqrt{((0.5d_c)^2 - (0.5b_{п2})^2)} - a_{п1} . \quad (47)$$

Толщина  $n$ -го пакета:

$$a_{пn} = \sqrt{((0.5d_c)^2 - (0.5b_{пn})^2)} - a_{п1} - a_{п2} . \quad (48)$$

Геометрическое сечение стержня заданного диаметра вычисляется следующим образом:

$$S_{\text{геом}} = b_{\text{п1}}a_{\text{п1}} + 2(b_{\text{п2}}a_{\text{п2}} + \dots + b_{\text{пn}}a_{\text{пn}}). \quad (49)$$

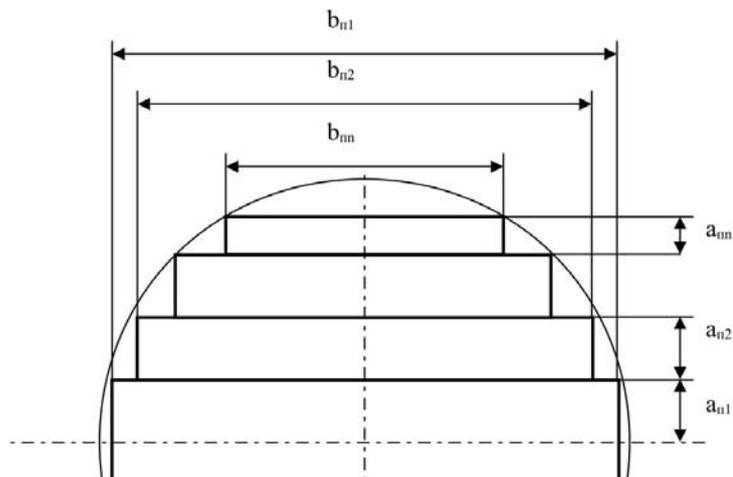


Рис. 2 Поперечное сечение стержня магнитопровода

**Разработка магнитной системы.** Высота окна магнитопровода:

$$h_{\text{ок}} = h + \Delta_{\text{я1}} + \Delta_{\text{я2}}. \quad (50)$$

Межосевое расстояние:

$$L_{\text{МО}} = D_1 + b_1 + \Delta_{11}. \quad (51)$$

Трёхстержневой плоский магнитопровод по своему строению подразделяется на стержни, ярма и углы. Ярмовое межосевое расстояние:

$$L_{\text{МЯ}} = h_{\text{ок}} + b_{\text{п1}}. \quad (52)$$

Длина стержня для 1-го пакета магнитопровода:

$$L_{\text{ст1}} = L_{\text{МЯ}} - b_{\text{п1}}. \quad (53)$$

Длина стержня во 2-ом пакете магнитопровода:

$$L_{\text{ст2}} = L_{\text{МЯ}} - b_{\text{п2}}. \quad (54)$$

Длина стержня для n-го пакета магнитопровода:

$$L_{\text{стn}} = L_{\text{МЯ}} - b_{\text{пn}}. \quad (55)$$

Длина ярма для 1-го пакета магнитопровода:

$$l_{\text{я1}} = 2L_{\text{МО}} + b_{\text{п1}}. \quad (56)$$

Длина ярма для 2-го пакета магнитопровода:

$$l_{\text{я2}} = 2L_{\text{МО}} + b_{\text{п2}}. \quad (57)$$

Длина ярма для n-го пакета магнитопровода:

$$l_{\text{ян}} = 2L_{\text{МО}} + b_{\text{пn}}. \quad (58)$$

**Расчёт массы магнитопровода.** Масса стержней магнитопровода:

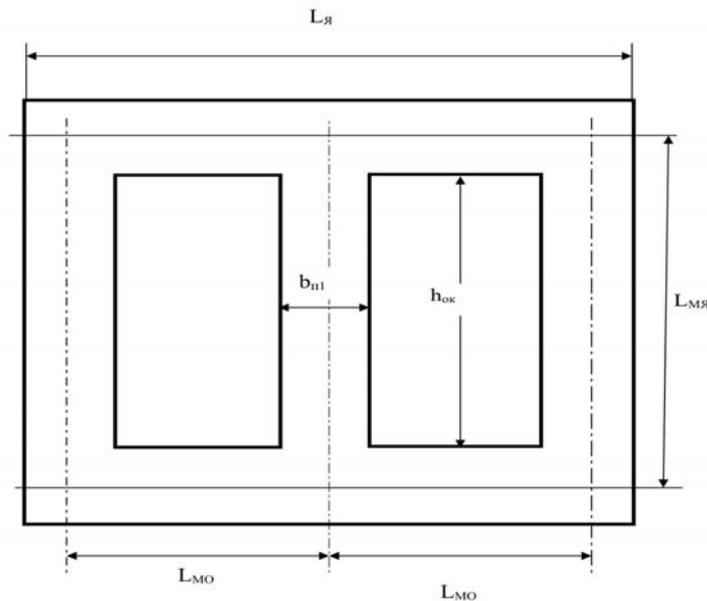
$$G_{CT} = \gamma_{CT} k_c m_{\phi} (L_{CT1} b_{п1} a_{п1} + 2L_{CT2} b_{п2} a_{п2} + \dots + 2L_{CTn} b_{пn} a_{пn}). \quad (59)$$

Масса ярем магнитопровода:

$$G_{Я} = 2\gamma_{CT} k_c (L_{Я1} b_{п1} a_{п1} + 2L_{Я2} b_{п2} a_{п2} + \dots + 2L_{Яn} b_{пn} a_{пn}). \quad (60)$$

Масса электротехнической стали магнитопровода:

$$G_c = G_{CT} + G_{Я} = \gamma_{CT} k_c m_{\phi} (L_{CT1} b_{п1} a_{п1} + 2L_{CT2} b_{п2} a_{п2} + 2L_{CTn} b_{пn} a_{пn} + 2(L_{Я1} b_{п1} a_{п1} + 2L_{Я2} b_{п2} a_{п2} + 2L_{Яn} b_{пn} a_{пn})). \quad (61)$$



**Рис. 3. Размеры магнитной системы (по 1-му пакету)**

**Расчёт потерь холостого хода.** Исходя из величины амплитуды магнитной индукции определяются по табличным зависимостям удельные потери в электротехнической стали  $p_{уд}$ :  $p_{уд} = f(B_m)$ . Для электротехнической стали 3408 - 0.30 мм зависимости удельных потерь (Вт/кг) от амплитуды магнитной индукции приведены в [7]. Удельные потери в электротехнической стали определяются по опытным зависимостям и величине амплитуды магнитной индукции  $p_{уд} = f(B_m)$ .

Зависимость удельных потерь  $p_{уд}$  для стали 3408-0,30 мм в рабочем диапазоне изменений амплитуды магнитной индукции,  $B_m$ : 1,60 – 1,80 Т с шагом 0,01 соответствует следующей последовательности значений

удельных потерь в Вт/кг: 0.961; 0.977; 0.994; 1.012; 1.032; 1.053; 1.076; 1.100; 1.125; 1.150; 1.178; 1.206; 1.235; 1.264; 1.294; 1.324; 1.355; 1.387; 1.419; 1.452; 1.485. Для расчёта промежуточных значений применяется линейная интерполяция.

Потери холостого хода рассчитываются по следующей формуле:

$$P_{xx} = k_{\text{тех}} p_{\text{уд}} G_c, \quad (62)$$

где  $k_{\text{тех}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь за счёт технологических факторов (наклёпы при резке пластин, механические воздействия при сборке и др.), определяемый по данным испытаний.

**Расчёт потерь короткого замыкания.** Потери короткого замыкания делятся на основные и добавочные. Основные потери в обмотках масляных трансформаторов рассчитываются по формуле омических потерь [4]. Расчётная температура, к которой приводятся потери КЗ: 75°C. Пересчёт удельных сопротивлений к расчётной температуре [4]:

$$\rho_{(t_2)}/\rho_{(t_1)} = (T + t_1)/(T + t_2). \quad (63)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – соответствующие температуры проводника,  $\rho_{(t_1)}$  и  $\rho_{(t_2)}$  – удельное электрическое сопротивление проводника при температурах  $t_1$  и  $t_2$  соответственно,  $T = 235^\circ\text{C}$  для меди и  $T=225^\circ\text{C}$  для алюминия.

### **Расчёт обмоточных данных обмотки НН.**

Длина провода обмотки НН:

$$L_{\text{пр}2} = \pi D_2 w_2. \quad (64)$$

Сопротивление обмотки НН постоянному току:

$$R_{02} = \rho_{75} L_{\text{пр}2} / S_{\text{в}2} = \rho_{75} w_2 \pi D_2 J_{\text{н}2} / I_{\text{н}2\phi}. \quad (65)$$

Масса провода обмотки НН без изоляции:

$$G_{\text{пр}2} = m_{\phi} \gamma_{\text{пр}} L_{\text{пр}2} S_{\text{в}2} = m_{\phi} \gamma_{\text{пр}} w_1 I_{\text{н}1\phi} \pi D_2 J_{\text{н}2}. \quad (66)$$

Основные потери в обмотках НН с учётом (12):

$$P_{\text{осн}2} = m_{\phi} I_{\text{н}2\phi}^2 R_{02} = m_{\phi} S_{\text{н.}\phi} \rho_{75} \sqrt{2} \pi D_2 J_{\text{н}2} / (\omega B_m S_c). \quad (67)$$

**Расчёт обмоточных данных обмотки ВН.** Длина провода обмотки ВН:

$$L_{\text{пр1}} = \pi D_1 w_1. \quad (68)$$

Сопротивление обмотки ВН постоянному току:

$$R_{01} = \rho_{75} L_{\text{пр1}} / S_{\text{в1}} = \rho_{75} w_1 \pi D_1 J_{\text{н1}} / I_{\text{н1}\phi}. \quad (69)$$

Масса провода обмотки ВН без изоляции:

$$G_{\text{пр1}} = m_{\phi} \gamma_{\text{пр}} L_{\text{пр1}} S_{\text{в1}} = m_{\phi} \gamma_{\text{пр}} w_1 I_{\text{н1}\phi} \pi D_1 J_{\text{н1}}. \quad (70)$$

Основные потери в обмотках ВН, с учётом (12):

$$P_{\text{осн1}} = m_{\phi} I_{\text{н1}\phi}^2 R_{01} = m_{\phi} S_{\text{н.}\phi} \rho_{75} \sqrt{2} \pi D_1 J_{\text{н1}} / (\omega B_m S_c). \quad (71)$$

Основные потери в обмотках трансформатора:

$$P_{\text{осн}} = P_{\text{осн2}} + P_{\text{осн1}} = m_{\phi} (S_{\text{н.}\phi} \rho_{75} \sqrt{2} \pi (D_2 J_{\text{н2}} + D_1 J_{\text{н1}})) / (\omega B_m S_c). \quad (72)$$

Полные потери короткого замыкания трансформатора:

$$P_{\text{к}} = k_{\text{доб}} P_{\text{осн}} = k_{\text{доб}} m_{\phi} (S_{\text{н.}\phi} \rho_{75} \sqrt{2} \pi (D_2 J_{\text{н2}} + D_1 J_{\text{н1}})) / (\omega B_m S_c). \quad (73)$$

Решение системы нелинейных уравнений (74) выражает связь между основными размерами и параметрами трансформатора и определяется заданием удельных электромагнитных нагрузок.

$$\begin{aligned} w_1 I_{\text{н1}\phi} &= \sqrt{2} S_{\text{н.}\phi} / (\omega B_m S_c); \quad Z_{\text{к}} = \sqrt{(X_{\text{к}}^2 + R_{\text{к}}^2)}; \quad X_{\text{к}} = \omega (k_{\rho} \mu_0 w_1^2 S_{\sigma}) / h; \\ R_{\text{к}} &= k_{\text{доб}} \rho \pi \sqrt{2} S_{\text{н.}\phi} (D_2 / J_{\text{н2}} + D_1 / J_{\text{н1}}) / (\omega B_m S_c); \\ k_{\rho} &= 1 - (b_1 + \Delta_{12} + b_2) / (\pi * h); \\ S_{\sigma\text{к}} &= \pi D_{12} \left( \frac{b_2}{3} + \Delta_{12} + \frac{b_1}{3} \right); \end{aligned} \quad (74)$$

$$D_2 = d_c + 2\Delta_c + b_2; \quad D_1 = D_2 + b_2 + 2\Delta_{12} + b_1;$$

$$b_1 = S_{\text{н.}\phi} (\omega B_m S_c J_{\text{н1}} k_{\text{об1}} h); \quad b_2 = S_{\text{н.}\phi} (\omega B_m S_c J_{\text{н2}} k_{\text{об2}} h);$$

$$P_{\text{хх}} = k_{\text{тех}} p_{\text{уд}} G_{\text{ст}}; \quad p_{\text{уд}} = f(\mathbf{B}_m);$$

$$L_{\text{МО}} = D_1 + b_1 + \Delta_{11}; \quad h_{\text{ок}} = h + \Delta_{я1} + \Delta_{я2}; \quad L_{\text{МЯ}} = h_{\text{ок}} + b_{п1};$$

$$L_{\text{ст1}} = L_{\text{МЯ}} - b_{п1}; \quad L_{\text{ст2}} = L_{\text{МЯ}} - b_{п2}; \quad L_{\text{стн}} = L_{\text{МЯ}} - b_{пн};$$

$$L_{я1} = 2L_{\text{МО}} + b_{п1}; \quad L_{я2} = 2L_{\text{МО}} + b_{п2}; \quad L_{ян} = 2L_{\text{МО}} + b_{пн};$$

$$G_c = \gamma_{\text{ст}} k_c [m_{\phi} (L_{\text{ст1}} b_{п1} a_{п1} + 2L_{\text{ст2}} b_{п2} a_{п2} + \dots + 2L_{\text{стн}} b_{пн} a_{пн}) +$$

$$+ 2(L_{я1}b_{п1}a_{п1} + 2L_{я2}b_{п2}a_{п2} + \dots + 2L_{ян}b_{пн}a_{пн})].$$

Расчёт трансформатора обычно начинается с выбора предварительной величины диаметра стержня магнитопровода [3]:  $\beta = \pi D_{12}/h$  — отношение средней длины окружности канала между обмотками к высоте обмоток. Значение  $\beta$  может варьироваться, как правило, в пределах 1.20 – 1.60 [3]. Используем формулы связи размеров обмоток и удельных электромагнитных нагрузок, полученные в [1]. Поэтому формула начального расчётного значения диаметра стержня магнитопровода, предложенная П.М. Тихомировым [3], уточняется:

$$d_c = 4.243 \sqrt[3]{A},$$

где  $A = (\Delta_{12} + 2\sqrt{2}k_{об1}S_{н.ф}/(3\omega B_m S_c J_{н1} h))S_{н.ф}\beta k_p / (k_c k_{геом} \mu_k \mu_0 \omega B_m^2)$ .

**Пример расчёта трансформатора по предложенной методике.** За основу возьмём пример из [7]. Трансформатор 630 кВА, ВН - 1000 В, НН - 400 В, схема и группа соединения обмоток Y/Y<sub>0</sub> -0.

**Принимается:** Обмотка НН – внутренняя, ВН – наружная. Обмотки равновысокие. Расположение обмоток на стержне – концентрическое. Материал проводников обмоток: медь. Изоляционные расстояния (рис. 1) одинаковые:  $\Delta_{я1}=15$  мм;  $\Delta_{я2}=15$  мм;  $\Delta_c=5$  мм;  $\Delta_{12}=10$  мм.

Следуя предложенной выше методике, получаются геометрические и электрические параметры трех вариантов трансформаторов (табл. 3).

Таблица 3. Параметры спроектированных вариантов трансформатора

Основные данные	Еди-ни ца изме- рения	Варианты		
		№ 1	№ 2	№ 3
Диаметр стержня $d_c$	мм	225	245	265
Активное сечение стержня $S_c$	м <sup>2</sup>	0.03503	0.04150	0.04850
Коэффициент заполнения стальной геометрический $k_{геом}$	–	0.917	0.917	0.917
высота обмотки $h$	мм	600	600	600

Межосевое расстояние $L_{MO}$	мм	435	435	435
Амплитуда магнитной индукции $B_m$	Т	1.649	1.430	1.191
Плотность тока в обмотке НН $J_{r2}$	А/мм <sup>2</sup>	2.406	2.406	2.406
Плотность тока в обмотке ВН $J_{r1}$	А/мм <sup>2</sup>	2.477	2.477	2.477
коэффициент заполнения обмотки НН $k_{об2}$	–	0.520	0.520	0.520
Коэффициент заполнения обмотки ВН $k_{об1}$	–	0.461	0.461	0.461
<b>Результаты расчётов</b>				
Число витков НН $W_2$	–	18	18	18
Число витков ВН $W_1$	–	450	450	450
средний диаметр обмотки НН $D_2$	мм	269.3	289.3	309.3
средний диаметр обмотки ВН $D_1$	мм	366.5	386.5	406.5
радиальный размер обмотки НН $b_2$	мм	34.3	34.3	34.3
радиальный размер обмотки ВН $b_1$	мм	38.9	38.9	38.9
Масса провода НН $G_{пр2}$	Кг	244.8	262.9	281.0
Масса провода ВН $G_{пр1}$	Кг	329.9	348.0	357.1
Масса магнитной системы $G_{ст}$	Кг	1140	1367	1021
Потери КЗ $P_{кз}$	Вт	9354	9913	10463
Потери ХХ $P_{хх}$	Вт	1491	1183	1021

Магнитная система выбирается плоской и трёхстержневой. Расчётно-конструктивные данные магнитопровода здесь не приводятся.

### **Выводы**

1. Уравнение мощности трансформатора связывает геометрию его активной части (высоту и диаметры обмоток, площадь активного сечения стержня магнитопровода) и электромагнитные нагрузки (амплитуду магнитной индукции в стержне, плотности номинальных токов).

2. Разработана методика расчёта основных размеров и параметров активной части двухобмоточного трансформатора методом задания удельных электромагнитных нагрузок.

### **Список литературы**

1. Шкуропат И.А. Александров Н.М., Мажурин Р.В., Радин П.С. Расчет параметров активной части трансформаторов и управляемых реакторов

трансформаторного типа методом задания удельных электромагнитных нагрузок // Новое в российской электротехнике.– 2018. – №10.– С.63–83.

2. Шкуропат И.А. Теория трансформаторов. Уравнение мощности и постоянная Арнольда двухобмоточного трансформатора // Электро.– 2016. №1.– С. 17–19.

3. Тихомиров П.М. Расчёт трансформаторов.– М.: Энергоатомиздат, 1985.

4. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчёты трансформаторов и реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1981.

5. РД 16 317 – 86. Трансформаторы силовые. Расчёт потерь и тока холостого хода.

6. ГОСТ 3484.1 – 88. Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний.

7. Дымков А.М. Расчёт и конструирование трансформаторов.– М., Высшая школа, 1971.

**Шкуропат Игорь Анатольевич** – кандидат технических наук, ЗАО ГК «Электрощит» - ТМ Самара», главный специалист по трансформаторам.

E-mail: [IShkuropat@electroshield.ru](mailto:IShkuropat@electroshield.ru)

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ БИСЕКЦИИ ПРИ СИМВОЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ**

**К. С. Горшков, П. В. Недорезов, В. В. Филаретов**

*Разработан простой и универсальный алгоритм для полиномиальной бисекции схемы по произвольному числу узлов. Результаты реализованы в новой версии программы CirSym, которая позволила сократить время формирования выражений полиномиальных коэффициентов с нескольких часов до нескольких минут.*

*A simple and universal algorithm for polynomial bisection of a circuit with arbitrary number of nodes is developed. The results are implemented in a new version of the program CirSym, which allowed to reduce the time of formation of expressions of polynomial coefficients from several hours to several minutes.*

**Автоматический вывод схемных функций в полиномиальной форме.** Этот вид представления схемных функций и откликов занимает

центральное место в проектировании электронных цепей [1, 2]. Тридцатилетие 20-го века (60-е, 70-е, 80-е годы) ознаменовалось активной разработкой методов, алгоритмов и программ формирования полиномиальных схемных функций [3–8]. Однако конкурировать с матричными (численными) программами [9] по сложности анализируемых схем удавалось только при численном задании параметров полиномов схемных функций [1, 5–8].

Только в начале 21-го века, благодаря реализации метода схемных определителей в программе CirSym [10], стало возможным получать полностью символьные выражения полиномиальных коэффициентов для схем в десятки узлов с разреженной структурой [11]. Версии программы символьного анализа CirSym свободно распространяются, с 2001 года. Online-сервис программы CirSym имеется на сайте <http://intersyn.net/cirsym.html>. О конкурентоспособных программах символьного анализа сообщают китайские источники [12, 13]. Однако анонсируемые там программы отсутствуют в открытом доступе.

До недавнего времени была немыслима генерация полиномиальных коэффициентов для интегральных схем в десятки-сотни элементов и узлов, с большим числом емкостей. Только в 2018 году очередная версия программы CirSym [14] позволила сформировать впервые полностью символьное полиномиальное выражение для 40-узловой схемы избирательного усилителя (тест Лаксберга).

Успех недавней модернизации программы CirSym был обеспечен: 1) унификацией учета нулловых и зеркальных аномальных элементов в алгоритме разложения многократных суммарных алгебраических дополнений без использования нумерации узлов для нахождения знака [15]; 2) переходом с двоичных векторов подсхем [16] на десятичные векторы (ДВ), что позволило заменить повторную генерацию двоичных векторов их компактным хранением в памяти [17]. Оба нововведения сократили текст программы на десятки процентов, упростили ее логику, доведение отдельных модулей и последующее развитие.

Однако известные версии CirSym требуют для формирования одного полиномиального коэффициента сложных схем замещения усилителей в дискретном и интегральном исполнении от нескольких минут до нескольких часов [14]. Эффективность программы в целом определяют

функции генерации формул полиномиальной бисекции, выполняющие перемножение полиномов и их упорядочение по степеням.

Целью данной статьи является обсуждение универсальной и более эффективной реализации функций генерации формул бисекции, как для комплексного режима (компактной свертки), так и полиномиального режима с выводом полиномиальных коэффициентов. При этом реализация полиномиального режима отличается введением дополнительного – полиномиального цикла в базовой комплексной реализации. Предлагаемые ниже улучшения касаются прежде всего полиномиального режима, отличающегося многократно большими затратами на вывод символьного решения.

### **О разложении полиномиального схемного определителя.**

Возможность реализации эффективной программы символьного анализа CirSym обеспечили рекурсивные вызовы. Первоначально эта идея Дмитрия Шеина (<http://intersyn.net/>) была использована для генерации компактных формул определителей графов проводимостей, то есть нахождения свернутого выражения для суммы произведений ребер, образующих дерева этого графа.

Код рекурсивной программы является предельно коротким, но сложным в отладке из-за необходимости отслеживать рекурсивные копии. Трудности отладки усугубляются динамической организацией памяти, без чего невозможен символьный анализ схем с более чем 10–20 узлами.

Основные рекурсивные функции: `gggf` (комплексный режим) и `gggp` (полиномиальный режим). Функция `gggp`, кроме таких же структур двухполюсников и управляемых источников, имеет параметры `pst` и `st_pln`: `gggp(int n,PASSIVE *matr,int act_n,SOURCE *act,int pln,int st_pln)`.

Структура `PASSIVE {char v1; char v2; int kol; char *reb;}` задает соответственно узлы подключения двухполюсника (`kol=1`) или двухполюсников (`kol>1`), а также идентификатор элемента. Структура `SOURCE {char v1; char v2; char v3; char v4; int kol; char *reb;}` дополнительно к управляемым узлам `v1` и `v2` задает управляющие узлы `v3` и `v4` управляемого источника. Переменные `n` и `act_n` хранят количества структур пассивных и активных элементов соответственно.

Специфическая для функции `gggp` переменная `pln` равна текущей степени полинома, достигнутой предшествующим подвыражением.

$pln \leq st\_pln$ , где  $st\_pln$  – искомая степень полинома. Очевидно, что  $pln=0$  в первом обращении к `gggr`.

Каждое подвыражение ветвящейся формулы добирается выделением емкостей и индуктивностей до разности  $st\_pln - pst$ . Если текущая степень равна искомой, то дальнейшее выделение реактивных элементов (емкостей или индуктивностей) прекращается путем нейтрализации емкостей и индуктивностей. Затем выполняется разложение определителя соответствующей производной резистивной схемы.

При выполнении условия  $pln < st\_pln$  необходимо включение в формулу реактивных элементов до выполнения условия  $pln = st\_pln$ , означающего достижение нужной степени. Если оказывается, например, при частных случаях выделения емкости или индуктивности, что  $pln > st\_pln$ , то следует вернуться назад – стереть часть формулы до начала формируемого подвыражения.

Итак, ключевыми параметрами полиномиальной рекурсии являются текущая степень данного рекурсивного вызова  $pln$  и искомая степень полинома  $st\_pln$ . Сравнением этих параметров задаются режимы разложения. При  $pln > st\_pln$  степень полинома превышена, поэтому из формулы удаляется предшествующее подвыражение до знака сложения, вычитания или до открывающей скобки.

При  $pln = st\_pln$  степень полинома достигнута, поэтому выполняется нейтрализация реактивных элементов (емкостных проводимостей и индуктивных сопротивлений). После этого выполняется разложение определителя резистивной схемы с использованием обычной бисекции (без передачи степеней и перемножения полиномов). Случай  $pln < st\_pln$  наиболее сложный, поскольку требует, наряду с выделением реактивных элементов и управляемых источников, выполнения полиномиальной бисекции.

Функция `gggr`, выполняет рекурсивное разложение определителя, осуществляя выделение параметров и произведений параметров, образующих общий множитель. Аналогичная обычная функция для резистивных или комплексных схем (не полиномиального режима) – `gggf` – вызывается из `gggr` для обработки производных схем, не содержащих емкостей и индуктивностей.

Функции бисекции вызываются внутри как gggf, так и gggr. Полиномиальная функция gggr обращается к функциям деления схемы на две подсхемы обоих типов: как к полиномиальным (bisec1p – bisec5p), так и комплексным (bisec1 – bisec5):

```
void gggr(int n,PASSIVE *matr,int act_n,SOURCE *act,int pln,int st_pln)
{
...
if (pln > st_pln) {frematr(n,matr); freact(act_n,act);}
else
if (pln==st_pln) { ...
// на счет резистивной схемы
/* деление на две подсхемы по одному узлу */
bisec1(n,matr,act_n,act,&fl); if (fl) return;
/* деление на две подсхемы по двум - пяти узлам */
if (flag_fsn && p1 > flag_fsn)
{ bisec2(n,matr,act_n,act,&fl,range2); if (fl) return; }
if (flag_fi3 && p1 > flag_fi3)
{ bisec3(n,matr,act_n,act,&fl,range3); if (fl) return; }
if (flag_fi4 && p1 > flag_fi4)
{ bisec4(n,matr,act_n,act,&fl,range4); if (fl) return; }
if (flag_fi5 && p1 > flag_fi5)
{ bisec5(n,matr,act_n,act,&fl,range5); if (fl) return;}
...
if (pln < st_pln) // степень полинома не достигнута
{// разложение определителя реактивно-резистивной схемы
if (yescL(n,matr))
{ // реактивная (полиномиальная) бисекция
if (flag_1) { // бисекция по одному узлу
bisec1p(n,matr,act_n,act,&fl,pln,st_pln); if (fl) return;}
if (flag_2 && p1 > flag_2) { // бисекция по двум узлам
bisec2p(n,matr,act_n,act,&fl,range2p,pln,st_pln); if (fl) return;}
if (flag_3 && p1 > flag_3) { // бисекция по трем узлам
bisec3p(n,matr,act_n,act,&fl,range3p,pln,st_pln); if (fl) return;}
if (flag_4 && p1 > flag_4) { // бисекция по четырем узлам
bisec4p(n,matr,act_n,act,&fl,range4p,pln,st_pln); if (fl) return;}

```

```
if (flag_5 && p1 > flag_5) { // бисекция по пяти узлам
    bisec5p(n,matr,act_n,act,&fl,range5p,pln,st_pln); if (fl) return;} ... }
```

Генератор полиномиальных формул бисекции `formp` получает параметры `pln` и `st_pln`, выполняет перемножение параметров двух подсхем для вывода слагаемых формулы бисекции. При этом искомой степенью является не `st_pln`, как в случае `gggp`, а  $st=st\_pln-pln=pln1+pln2$ , где `pln1` и `pln2` - степени полинома первой и второй подсхемы.

### Универсальный генератор полиномиальных формул бисекции.

Предыдущие версии программы `CirSym` в для комплексной и полиномиальной бисекции использовали по три специфические функции для объединения подсхем по одному, двум или более узлов. Теперь эти функции заменяет одна универсальная функция, с циклической структурой, показанной на рис. 1.

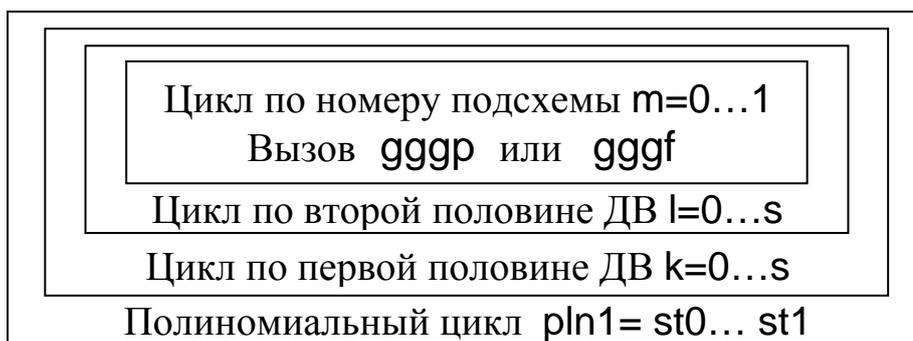


Рис. 1. Структура универсального генератора формул бисекции

Рекурсивное разложение схемного определителя предполагает наращивание формулы. Набранная к некоторому моменту строка характеризуется своей длиной в файле результата `out`:  $dl=leng+strlen(c)$ . Первое слагаемое равно числу символов, отправленных в файл, а второе слагаемое равно числу символов в строке `c`, находящейся в оперативной памяти.

Текущее значение `dl` соответствует некоторой производной схеме, определитель которой должен быть умножен на предыдущий сомножитель со степенью полинома `pln`, указанной в обращении к функции `gggp` вместе с искомой степенью `st_pln`. Таким образом, из текущего определителя необходимо выделить степень  $st=st\_pln-pln$ , а все другие степени стирать по мере их образования? А еще лучше не допускать их формирования вообще.

Этим отличается универсальный генератор полиномиальных формул бисекции с таким циклом по степеням полинома первой подсхемы:

```
for (pln1=st0; pln1<=st1; pln1++)
```

Соответствующие степени полинома  $pln2$  второй подсхемы вычисляются по формуле:  $pln2=st-pln1$ .

Второй, не менее важной, особенностью, определяющей эффективность предлагаемой версии CirSym является ограничение перебора в полиномиальном цикле через оценку предельной степени полиномов подсхем по максимальному числу реактивных элементов:  $cL1$  и  $cL2$ . При этом начальное и конечное значения полиномиального цикла вычисляются из условных операторов, указываемых перед этим циклом:

```
if (st<=cL2) st0=0; else st0=st-cL2;
if (st<cL1) st1=st; else st1=cL1;
```

Вероятно, точное определение максимальной степени полинома (с учетом емкостных контуров и индуктивных сечений [18]) ускорит работу программы и сократит размеры формируемых выражений. Конечно, методику [18] по сложности нельзя сравнить с просмотром списка двухполюсных элементов. Обнадешивает то, что точная оценка степеней полиномов двух подсхем требуется один раз (перед вложенными циклами).

Экспериментами с программой установлено, что упорядочение подсхем по числу реактивных элементов перед проведением объединения в формуле бисекции приводит к значительному сокращению длины выражения. При этом сомножитель подсхемы с большим числом реактивных элементов следует получать первым в слагаемых полиномиального коэффициента. Для упорядочения подсхем используется ключ – вектор  $key$ :

```
if (n1 > n2) // изменение порядка объединения подсхем.
    {key[0]=0; key[1]=1; cL1=n1; cL2=n2;}
else {key[0]=1; key[1]=0; cL1=n2; cL2=n1;}
```

Сокращает код и улучшает восприятие функции полиномиальной бисекции использование всего двух структур:  $a1$  – структуры двухполюсников и  $act1$  – структура управляемых источников для текущей подсхемы, которой становится одна из двух подсхем в цикле для двух значений  $m=0$  и  $m=1$ .

Для упрощения последовательной обработки подсхем используются еще два вектора из двух элементов для числа двухполюсников  $np$  и числа

управляемых источников  $na$ . Число элементов в подсхемах находится за пределами циклов – однократно:

```
fortest(num,n,ac,&n1,&act1_n,key[0]);
```

```
fortest(num,n,ac,&n2,&act2_n,key[1]);
```

Поэтому:  $nn[0]=n1$ ;  $nn[1]=n2$ ;  $na[0]=act1\_n$ ;  $na[1]=act2\_n$ ;

Количества управляемых источников в подсхемах пересчитывается перед самым внутренним циклом, поскольку они увеличиваются на число подключаемых к внешним узлам нуллов:  $na[0]+=on[k]$ ;  $na[1]+=next-on[k]$ ;

В вектор  $num$  занесены сначала двухполюсники, затем управляемые источники в том порядке, как они размещены в  $cir$ -файле. Для идентификации первой подсхемы первые узлы ( $v1$ ) её элементов заменены на символ «п». Модифицированные первые узлы хранятся в векторе  $ac$  и используются как для подсчета элементов в функции, так и для формирования структур подсхем:

```
fortrans(num,ac,n,matr,act,&n1,a1,&act1_n,act1,key[m]);
```

Число общих (внешних) узлов подсхем  $next$  не менялось с начала разработки  $CirSym$ , и может принимать значения от 1 до 5, что обусловлено разреженностью практических структур. Внешние узлы подсхемы хранятся в векторе  $ext$ , причем общий базисный узел (узел с номером 0) указывается в списке последним. Этот узел не имеет смысла неоднократно извлекать из вектора. Проще базисный узел один раз записать в выделенную переменную:  $o=ext[next]$  и уменьшить размерность вектора  $ext$  и переменную  $next$  на единицу.

Унификация функций для генерации формул бисекции требует учета бисекции по 1 и 2 узлам в десятичном шаблоне  $binvec(next,sn,on,nus,&s)$  для десятичных векторов (ДВ). Здесь содержатся матрица  $nus$  и два вектора ДВ: вектором  $on$  для числа элементов и вектором  $sn$  со знаками ДВ [14]. Первая размерность матрицы  $nus$ , размерности векторов  $on$  и  $sn$  изменяются от 0 до  $s$ , то есть в диапазоне кода половины ДВ.

Таким образом для обобщения функции десятичного шаблона на случай 1- и 2-узловой бисекции достаточно нарастить условный оператор, соответствующими двумя «гнездами»  $if$ :  $if (next==0) \{ *s=0; on[0]=0; \}$

```
else if (next==1) \{ *s=1; on[0]=0; on[1]=1; nus[1][0]=0; \}
```

В проверке учета отрицательного знака нужно добавить условие  $next > 1$ , поскольку при двухузловой бисекции оба слагаемых имеют положительные знаки:

```
if (next > 1 && (sn[k]+sn[l])%2) // учет отрицательного знака
    nuiall(o,o1,o2,o,&act1_n,act1); else nuiall(o,o1,o,o2,&act1_n,act1);
```

Опираясь на сделанные выше замечания, универсальный генератор полиномиальных формул бисекции реализуется функцией:

```
void formp(int num,char *ac,int next,char *ext,
    int n,PASSIVE *matr,int act_n,SOURCE *act,int pln,int st_pln) {
    char nus[16][5],sn[16],on[16],o,o1,o2;
    int
    i,k,l,m,n1,n2,nn[2],na[2],act1_n,act2_n,pln0,pln1,pln2,st,st0,st1,s,cL1,cL2,key[2
    ];
    unsigned long dl,dl1,dl2; PASSIVE *a1; SOURCE *act1;
    st=st_pln-pln; o=ext[next]; // подсчет реактивных элементов подсхем 0 и 1
    n1=n_cL(n,matr,ac,0); n2=n_cL(n,matr,ac,1);
    if (n1 > n2) // изменение нумерации подсхем.
    {key[0]=0; key[1]=1; cL1=n1; cL2=n2;} else {key[0]=1; key[1]=0; cL1=n2;
    cL2=n1;}
    fortest(num,n,ac,&n1,&act1_n,key[0]); fortest(num,n,ac,&n2,&act2_n,key[1]);
    nn[0]=n1; nn[1]=n2; na[0]=act1_n; na[1]=act2_n;
    dl2=leng+strlen(c); // вычисление текущей длины строки
    binvec(next,sn,on,nus,&s); // десятичный шаблон: ДВ и их знаки
    if (st<=cL2) st0=0; else st0=st-cL2; if (st<cL1) st1=st; else st1=cL1;
    for (pln1=st0; pln1<=st1; pln1++)
    { // k и l – код первой и второй половины ДВ
    for (k=0;k<=s;k++) for (l=0;l<=s;l++)
    if (on[k]==on[l]) { // ДВ совместны по числу элементов
    na[0]+=on[k]; na[1]+=next-on[k];
    for (m=0;m<2;m++) { // структуры для подсхемы key[m]
    a1=( PASSIVE *) malloc (nn[m]*sizeof(PASSIVE));
    act1=( SOURCE *) malloc (na[m]*sizeof(SOURCE));
    fortrans(num,ac,n,matr,act,&n1,a1,&act1_n,act1,key[m]);
        if (!m) { pln0=pln1; // степень pln1 первого сомножителя
```

```

dl=leng+strlen(c); // вычисление текущей длины строки
if (dl != dl2) strcat(b+,"+");// вывод в формулу знака сложения
if (k && next) { // добавление нуллов в первую подсхему
o1=ext[nus[k][0]]; o2=ext[nus[l][0]];
if (next>1 && (sn[k]+sn[l])%2) // учет отрицательного знака
nuiall(o,o1,o2,o,&act1_n,act1); else nuiall(o,o1,o,o2,&act1_n,act1);
for (i=1;i<on[k];i++) nuiall(o,ext[nus[k][i]],o,ext[nus[l][i]],&act1_n,act1); } }
else { pln0=st-pln1; // степень pln2=pln0 второго сомножителя: pln1+pln2=st
strcat(b+,"*"); // вывод в формулу знака умножения
for (i=0;i<next-on[k];i++) // добавление нуллов во вторую подсхему
nuiall(o,ext[nus[s-k][i]],o,ext[nus[s-l][i]],&act1_n,act1); }
if (n1+act1_n > 1) strcat(b+,"("); // вывод открывающей скобки
dl1=leng+strlen(c); // вычисление текущей длины строки
gggp(n1,a1,act1_n,act1,0,pln0); // вывод очередного множителя
free(a1); free(act1); // освобождение структур подсхемы
if (dl1>=leng+strlen(c)) {ster(dl); break;} // укорочение результата до dl
else if (n1+act1_n > 1) strcat(b+,")"); // вывод закрывающей скобки
} } } frematr(n,matr); freact(act_n,act); } // освобождение исходных
структур

```

**Пример формирования символьных полиномиальных коэффициентов.** Генерация коэффициентов знаменателя передаточной функции по напряжению избирательного усилителя [9, 14] выполнялась программой CirSym на процессоре 2,2ГГц (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные расчеты полиномиальных коэффициентов для тестовой схемы Лаксберга различными версиями программы CirSym

Сте- пень поли- нома	Показатели ранних версий Cirsym [14]		Показатели 37-й версии Cirsym (7.11.18)	
	Длина выражения, в символах	Время генерации, час мин сек	Длина выражения, в символах	Время генерации, мин сек
0	12418	00 00 00	12398	00 00
1	233952	00 00 03	228275	00 04
2	1359824	00 00 14	892273	00 09
3	2956837	00 00 29	2398659	00 20
4	6431513	00 01 04	4979758	00 39
5	11222660	00 01 07	8657583	01 08

6	17429529	00_01_45	13192821	01_46
7	24165657	00_03_22	18142787	02_33
8	31643412	00_08_26	23014325	03_24
9	37367782	00_12_49	27399560	04_19
10	31196251	00_06_07	31015070	05_18
11	43585812	00_10_20	33713385	06_20
12	45482515	00_12_35	35503780	07_13
13	47774786	00_32_04	36534444	07_57
14	48236621	00_32_47	37027112	09_05
15	48378097	00_52_49	37188036	10_13
16	48311042	00_58_18	37130067	10_33
17	47985696	01_06_06	36819612	10_59
18	47174058	01_14_01	36059843	11_18
19	45495002	01_28_21	34561901	11_45
20	42515278	06_54_26	32092118	10_36
21	37944870	01_51_58	28592301	10_51
22	31844989	02_07_15	24202855	09_46
23	24729111	02_23_16	19238829	09_23
24	24440823	01_39_28	14158409	08_14
25	14440308	01_53_12	9479422	07_32
26	7447958	02_26_33	5640203	06_35
27	17293194	00_47_16	2882992	05_41
28	1237826	04_51_25	1206677	05_21
29	366183	03_04_58	386323	04_20
30	77240	02_56_16	84861	03_24
31	9280	05_48_26	10139	05_21
32	486	03_35_03	537	01_46

Итак, новая версия программы CirSym с универсальным генератором формул бисекции стала самым эффективным – имеющимся в открытом доступе (<http://intersyn.net/cirsym.html>) – инструментом символьного анализа электронных цепей. Для сравнения версий выбрана наиболее сложная для символьно-полиномиального анализа схема замещения избирательного усилителя Лаксберга (40 узлов, 49 резисторов, 35 конденсаторов, 9 ИТУН). Это обусловлено большей плотностью размещения элементов и, как следствие, необходимостью применения сложных 4- или 5-узловых видов бисекций. Обычно для тестовых схем усилителей в интегральном исполнении ( $\mu A725$ ,  $\mu A741$ ) достаточно 2- и 3-узловой бисекции.

## Выводы

1. Разработан универсальный и простой алгоритм генерации формул бисекции схемы по произвольному числу узлов. Алгоритм сокращает перебор избыточных степеней при перемножении полиномов подсхем с учетом числа реактивных элементов в объединяемых подсхемах.

2. Предложенный алгоритм реализован в новой версии программы CirSym, которая позволила ускорить формирование полиномов передаточных функций для сложных схем замещения усилителей в дискретном и интегральном исполнении от нескольких часов до нескольких минут, а также сократить размер генерируемого результата на десятки процентов.

## Список литературы

1. Ланнэ А.А., Михайлова Е.Д., Саркисян Б.С., Матвийчук Я.Н. Оптимальная реализация линейных электронных *RLC*-схем.– Киев: Наук. думка, 1982.– 208 с.

2. Гридин В.Н., Михайлов В.Б., Шустерман Л.Б. Численно-аналитическое моделирование радиоэлектронных схем / Отв. ред. Е.В. Емельянова; Центр информ. технологий в проектировании РАН.– М.: Наука, 2008.– 339 с.

3. Дмитришин Р.В., Шаповалов Ю.И. Диакоптический алгоритм анализа сложных линейных цепей на ЭВМ // Автоматизация проектирования в электронике. – Киев: Техника, 1975. – Вып. 12. – С. 42–46.

4. Матвийчук Я.Н. Топологический метод определения характеристического полинома электронной схемы по частям // Теоретическая электротехника и машинное проектирование электронных цепей.– Киев, 1973.– С. 192–200.

5. Шаповалов Ю.И., Давидюк Р.Д. Особенности реализации метода топологического анализа схем в программе *AC13EC* // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника, 1983.– Т. 26, № 6.– С. 79–81.

6. Ястребов Н.И. Повышение эффективности декомпозиционных алгоритмов символьного анализа // Радиоэлектроника.– 1985.– № 6.– С. 102–104.

7. Starzyk J., Sliwa E. Upward topological analysis of large circuits using directed graph representation // IEEE Transactions on circuits and systems.– 1984.– N 4.– P. 410–414.

8. Дмитришин Р.В. Полиномиальные методы символьного анализа электрических цепей: Дис....докт. техн. наук: 05.09.05 (Теорет. электро-техника) / Гос. ун-т «Львовская политехника».– Львов, 1996.– 284 с.

9. Лаксберг Э.А. Частотный анализ линейных электронных схем с помощью ЭЦВМ на основе *у*-матрицы // Автоматизация проектирования в электронике.– Киев, 1973.– Вып. 8.– С. 22–32.

10. Курганов Д.С., Филаретов В.В. Алгоритм и программа формирования полиномиальных схемных функций электронных цепей.– 2008.– Вып. 6.– С. 152–164.

11. Филаретов В. В. Программа символьного анализа CirSym: история создания, структура и функции // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международ. сб. научн. труд. – Ульяновск: УлГТУ, 2012.– Вып. 10.– С.158–171.
12. Tan X.-D.and Shi C.-J.R. Hierarchical symbolic analysis of analog integrated circuits via determinant decision diagrams // IEEE Trans. Comput. Aided Des. Integr. Circuits Syst.– 2000.– Vol. 19, no. 4.–P. 401–412.
13. Shi G., Tan S.X.-D., Tlelo-Cuautle E. Advanced Symbolic Analysis for VLSI Systems-Methods and Applications.– New York: Springer, 2014.
14. Недорезов П.В., Филаретов В.В. Символьно-полиномиальный анализ линейных электронных цепей методом схемных определителей // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международный сборник научных трудов. – Вып. 15. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – С. 18+35.
15. Недорезов М.В., Филаретов В.В. Алгебраический анализ зеркально-нулловых схем на основе выделения аномальных элементов // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международ. сб. научн. труд. – Ульяновск: УлГТУ, 2016.– Вып. 13.– С. 33–46.
16. Филаретов В.В. Метод двоичных векторов для топологического анализа электронных схем по частям // Электричество. – 2001. – № 8.– С. 33–42.
17. Недорезов П.В., Филаретов В.В. Метод десятичных векторов для символьного анализа электронных схем по частям // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: Международный сборник научных трудов.– Вып. 15. – Ульяновск : УлГТУ, 2018.– С. 77+88.
18. Курганов Д.С., Курганов С.А., Филаретов В.В. Нахождение порядка сложности произвольной активной электрической цепи методом схемных определителей.– 2008.– Вып. 6.– С. 140–151.

**Горшков Константин Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем Санкт-Петербургского научно-исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО).

E-mail: [k.gorshkov@list.ru](mailto:k.gorshkov@list.ru).

**Недорезов Петр Владимирович** – студент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета – ЛЭТИ им. В.И.Ленина.

E-mail: [pyatakru@rambler.ru](mailto:pyatakru@rambler.ru)

**Филаретов Владимир Валентинович** – доктор технических наук, ответственный редактор международного научного сборника «Синтез, анализ и диагностика электронных цепей» Ульяновского государственного технического университета. E-mail: [vvfil@mail.ru](mailto:vvfil@mail.ru)

# ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗНОСТНОЙ ФОРМУЛЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

С. А. Курганов, М. В. Недорезов, В. В. Филаретов

*Предложена разностная формула для относительной чувствительности, отличающаяся от известных формул числителем, который представлен в виде разности двух определителей одного и того же многополюсника с различным подключением нуллов к его внешним полюсам.*

*A difference formula for the relative sensitivity is proposed, which differs from the known formulas by the numerator, which is represented as the difference between two determinants of the same multipolar with different connection of nullor to its external poles.*

**Формулы для символьного анализа относительной чувствительности.** Относительной чувствительностью называют отношение изменения схемной функции  $F$  к соответствующему изменению параметра  $W$  элемента схемы [1–7]:

$$S = \frac{dF}{F} \frac{W}{dW}. \quad (1)$$

**Формулы в виде отношения произведений двух пар определителей.** Такие формулы получаются из (1) с помощью теоремы Якоби. Для коэффициента  $K = U_3/U_1$  передачи напряжения  $Y$ -схемы с заземленными элементами (рис. 1,а) формула чувствительности приведена Боде [1]:

$$S_Y^K = -Y \frac{\Delta_{15} \Delta_{11,73}}{\Delta_{11} \Delta_{13}}, \quad (2)$$

где  $Y$  – варьируемая передаточная проводимость источника тока, управляемого напряжением (ИТУН);  $\Delta_{11}$ ,  $\Delta_{15}$ ,  $\Delta_{13}$ ,  $\Delta_{11,73}$  – алгебраические дополнения узловой матрицы проводимостей.

Достоинством формулы (2) является отсутствие в ней разностей определителей, что позволяет получить символьные выражения без

избыточных слагаемых – одинаковых выражений с противоположными знаками. В то же время формула вида (2) справедлива только для  $Y$ -схем с заземленными элементами и для дуальных  $Z$ -схем [1].

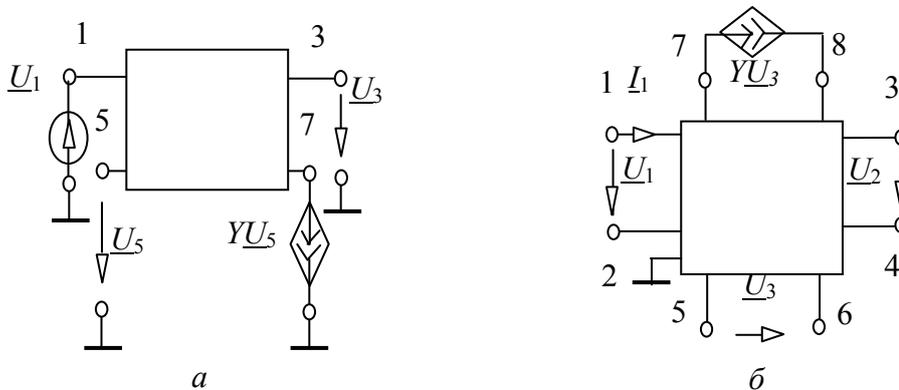


Рис. 1. Схемы для нахождения чувствительности по параметру ИТУН: с заземленными (а) и незаземленными (б) полюсами элементов

Обобщение формулы (2) для всех типов передаточных функций и электрических цепей с произвольными линейными элементами выполнено нами на основе многократных суммарных алгебраических дополнений (МСАД). Так, формула для чувствительности коэффициента передачи напряжения схемы на рис. 1,б по параметру  $Y$  незаземленного ИТУН имеет вид [8]

$$S_Y^K = -Y \frac{\Delta_{(1+2)(5+6)} \Delta_{(1+2)(1+2), (7+8)(3+4)}}{\Delta_{(1+2)(1+2)} \Delta_{(1+2)(3+4)}}, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – определитель исходной схемы;  $\Delta_{(1+2)(1+2)}$ ,  $\Delta_{(1+2)(3+4)}$  – определители числителя и знаменателя коэффициента передачи напряжения.

При выводе формулы (3) используется МСАД-формула выделения параметра ИТУН [8]

$$\Delta = Y \Delta_{(7+8)(5+6)} + \Delta^{Y=0}, \quad (4)$$

в которой второе слагаемое находится при  $Y=0$ .

Раскрытие МСАД-формул вида (3) и получение символьных выражений чувствительности выполняется методом схемных определителей (МСО), который в отличие от матричных методов не образует пар избыточных – равных по модулю, но противоположных по

знаку – слагаемых [8, 9]. Для экономии вычислительных операций и получения компактных выражений используется формула бисекции [9].

В то же время формулы вида (3) в отличие разностных формул [2–7] требуют нахождения не только определителей числителя и знаменателя исследуемой передаточной функции, но и дополнительных определителей, например,  $\Delta_{(1+2)(5+6)}$  и  $\Delta_{(1+2)(1+2), (7+8)(3+4)}$  в формуле (3).

**Разностные формулы чувствительности, содержащие разность отношений или произведений определителей** [2–7]. Эти формулы следуют непосредственно – без теоремы Якоби – из выражения относительной чувствительности (1). На их основе формируются символьные функции с разностью алгебраических выражений, содержащие избыточные одинаковые слагаемые с противоположными знаками. Их больше при операциях с расширенной узловой матрицей [7] и меньше в случае использования модифицированного графа Коутса [5].

Если в разностной формуле варьируемый параметр не представлен в явном виде, то для нахождения чувствительности по параметру элемента требуются частные производные по узловым проводимостям, которые умножают число избыточных слагаемых [5]. При этом функция чувствительности записывается в виде последовательной (вложенной) формулы [4,5], которая в отличие от дробно-рациональной функции [1,8–9] является трудоемкой для аналитического исследования.

**Разностные формулы чувствительности с явным выделением варьируемого параметра.** При явном выделении варьируемого параметра получают экономичные разностные формулы, предусматривающие раскрытие вместо четырех определителей в (3) только двух – числителя  $N$  и знаменателя  $D$  соответствующей схемной функции [2]:

$$S_W^F = W \frac{N_1 D - N D_1}{ND}; S_W^F = \frac{N D_2 - N_2 D}{ND}. \quad (6),(7)$$

В (6) и (7)  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $D_1$  и  $D_2$  – части числителя и знаменателя схемной функции, которые получают при выделении варьируемого параметра по формулам

$$N = WN_1 + N_2 \text{ и } D = WD_1 + D_2. \quad (8)$$

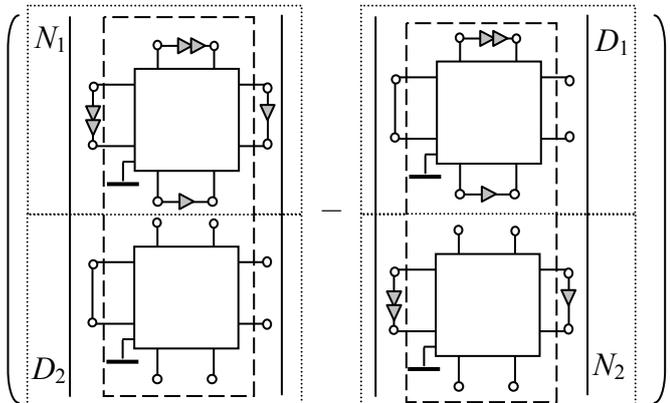
Недостатком формул (6) и (7) является наличие в них уже упомянутых характерных для разностных выражений одинаковых слагаемых с противоположными знаками, которые приводят к громоздким выражениям.

Можно уменьшить число избыточных слагаемых, если в числителе формулы (6) заменить  $N$  и  $D$  на выражения из формулы (8). После удаления образовавшихся одинаковых слагаемых с противоположными знаками получается следующее выражение для чувствительности [3]:

$$S_W^F = W \frac{N_1 D_2 - N_2 D_1}{ND}. \quad (9)$$

Числитель разностной формулы (9) содержит в несколько раз меньше взаимно уничтожающихся слагаемых, чем числитель исходной формулы (6). Однако для оптимизации параметров схемы желательно иметь выражение относительной чувствительности без избыточных слагаемых.

**Локализация избыточных слагаемых в виде пары одинаковых схемных миноров с противоположными знаками.** В числителе (9) представим каждое произведение определителей  $N_1 D_2$  и  $N_2 D_1$  в виде одного определителя, схема которого является одним и тем же многополюсником с различным подключением нуллов. В результате формула чувствительности коэффициента передачи напряжения схемы на рис. 1,б по параметру  $Y$  представляется в виде

$$S_Y^K = Y \frac{1}{(YN_1 + N_2)(YD_1 + D_2)} \left( \begin{array}{c} \left( \begin{array}{c} N_1 \\ \text{---} \\ D_2 \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} D_1 \\ \text{---} \\ N_2 \end{array} \right) \end{array} \right), \quad (10)$$


где многополюсник изображен штриховой, а определители частей числителя  $N_1$ ,  $N_2$  и знаменателя  $D_1$ ,  $D_2$  – точечной линией.

В (10) схемы частей числителя  $N_1$  и  $N_2$  получены из схемы на рис. 1,б путем подключения к полюсам 1, 2 и 3, 4 (в формуле нумерация полюсов не показана) норатора и нуллатора соответственно. В схеме  $N_1$  к полюсам 5, 6 и 7, 8 подключен нуллатор и норатор, а в схеме  $N_2$  удален ИТУН.

В схемах частей знаменателя  $D_1$  и  $D_2$  в отличие от схем  $N_1$  и  $N_2$  к полюсам 1, 2 подключен идеальный проводник, а полюсы 3, 4 остаются разомкнутыми. В схеме  $D_1$ , как в  $N_1$ , к полюсам 5, 6 и 7, 8 подключены нуллатор и норатор, в схеме  $D_2$  удален ИТУН.

Для локализации одинаковых слагаемых в виде схемных миноров предлагается выделять в каждом из схемных определителей (10) параметры многополюсника до его внешних полюсов. Порядок выбора элементов такой же, как и при формировании компактных и экономичных символьных выражений [10]. При этом необходимо отслеживать образование в определителях одинаковых схемных миноров, которые удаляются из формулы. Нуллары на внешних полюсах многополюсников выделяются в последнюю очередь.

Формула, аналогичная (10), может быть построена для чувствительности любой передаточной функции по параметру произвольного линейного элемента как двухполюсного сопротивления и проводимости, так и управляемого источника.

**Пример построения функции чувствительности для коэффициента передачи напряжения каскада активного фильтра.** Схема фильтра представлена на рис. 3 [7]. Операционный усилитель (ОУ)  $k_3$  моделируется с помощью источника напряжения, управляемого напряжением (ИНУН), с одноименным действительным коэффициентом передачи напряжения. Требуется получить функцию относительной чувствительности  $S_{R_{11}}^K$  коэффициента  $K = \underline{U}_{\text{вых}} / \underline{U}_{\text{вх}}$  передачи напряжения при варьировании сопротивления  $R_{11}$ .

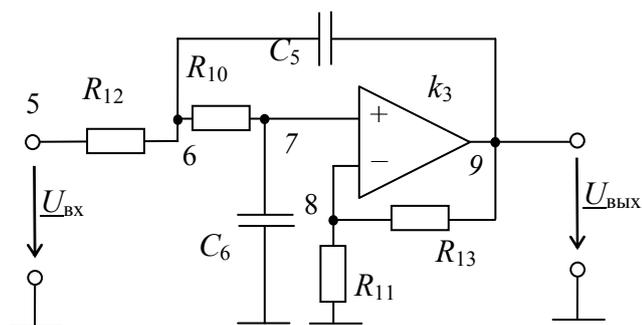
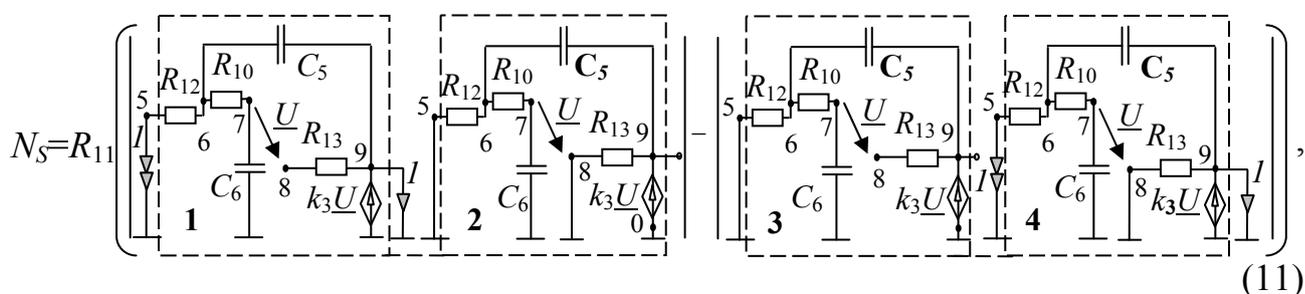


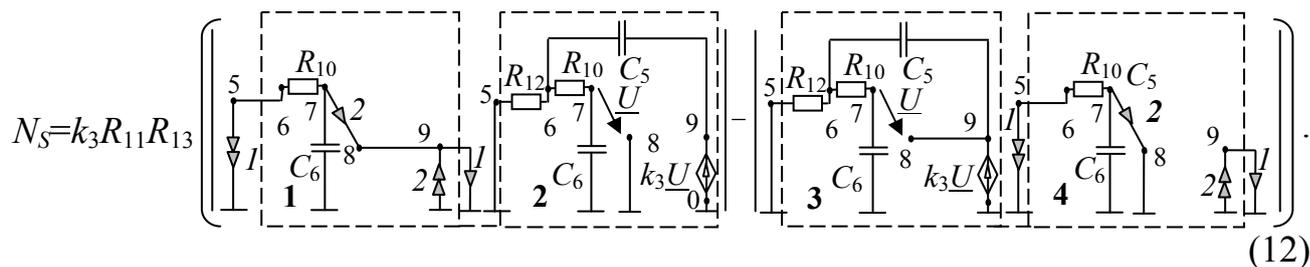
Рис. 3. Каскад активного фильтра нижних частот

Запишем числитель формулы (10) применительно к схеме на рис. 3, заменив предварительно ОУ на ИНУН:



где одинаковые многополюсники (пятипольсники) так же, как и в (10), обозначены штриховой линией, их части пронумерованы по порядку цифрами 1...4 прямым полужирным шрифтом.

Нейтрализуем в многополюсниках 1 и 4 – приравняем к нулю – сопротивление  $R_{12}$ , последовательное с норатором, нейтрализуем также сопротивление  $R_{13}$ , образующее сечение с приемником напряжения  $\underline{U}$  в схемах 1 и 3. Удалим проводимость конденсатора  $C_5$ , образующего в многополюсниках 1 и 4 контур из генераторов. Выделим и вынесем за скобку: 1) параметр ИНУН  $k_3$ , образующего контур с нуллатором в многополюсниках 1 и 4; 2) сопротивление  $R_{13}$ , образующее контур с ИНУН в многополюсниках 2 и 4. В результате получим



В многополюсниках 1 и 4 удалим конденсатор  $C_6$ , образующий контур с нуллаторами, стянем сопротивление  $R_{10}$ , последовательное с норатором. Определители этих многополюсников с учетом внешнего норатора оказываются равными 1. В многополюсниках 2 и 3 выделим параметр ИНУН  $k_3$ , при этом формула (12) приводится к виду

$$N_5 = k_3 R_{11} R_{13} \left( k_3 \left( \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} \text{Circuit 1} \\ \text{2} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{Circuit 2} \\ \text{2} \end{array} \right] - k_3 \left( \left[ \begin{array}{c} \text{Circuit 3} \\ \text{3} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Circuit 4} \\ \text{3} \end{array} \right] \right) \right) \right) \quad (13)$$

В (13) образовались два одинаковых схемных минора с противоположными знаками, которые удаляем (зачеркнуты) из формулы. Оставшиеся определители можно раскрыть без ограничений на выделение внешних нуллов, поскольку все слагаемые имеют одинаковые – отрицательные – знаки и, следовательно, формула не содержит избыточных слагаемых. Таким образом, числитель искомой чувствительности имеет вид

$$N_5 = -k_3^2 R_{11} R_{13} [R_{12} p C_5 + p C_6 (p C_5 R_{10} R_{12} + R_{10} + R_{12}) + 1]. \quad (14)$$

Выражение знаменателя для формулы чувствительности (10) следует из выражений (12)–(14), содержащих  $N_1$ ,  $N_2$  и  $D_1$ ,  $D_2$ :

$$N = k_3 (R_{11} + R_{13}); \quad (15)$$

$$D = (R_{11} + R_{13}) \left( \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} \text{Circuit 5} \\ \text{6} \end{array} \right] \right) + k_3 \{ R_{11} [p C_6 (p C_5 R_{10} R_{12} + R_{10} + R_{12}) + 1] - R_{13} R_{12} p C_5 \}. \quad (16)$$

После раскрытия схемного минора в (16) получаем символическое выражение знаменателя передаточной функции

$$D=(R_{11}+R_{13})[(R_{12}pC_5+1)(R_{10}pC_6+1)+pC_6R_{12}]+k_3\{R_{11}[pC_6(pC_5R_{10}R_{12}+R_{10}+R_{12})+1]-R_{13}R_{12}pC_5\}. \quad (17)$$

Подставив  $N_S$ ,  $N$  и  $D$  из (14), (15) и (17) в (10) и сократив дробь на множитель  $k_3$ , получим безызбыточное выражение чувствительности

$$S_{R_{11}}^K = -\frac{k_3 R_{11} R_{13} [pC_5 R_{12} + pC_6 (pC_5 R_{10} R_{12} + R_{10} + R_{12}) + 1]}{(R_{11} + R_{13}) D}. \quad (18)$$

Для получения функции (18) потребовалось раскрыть два определителя – числитель  $N$  и знаменатель  $D$  исследуемого коэффициента передачи напряжения.

**Сравнение схемно-минорной формулы чувствительности (10) с другими формулами.**

*По разностной формуле (9)* выражение чувствительности  $S_{R_{11}}^K$  содержит в числителе 10 избыточных слагаемых, которые эквивалентны двум одинаковым схемным минорам с противоположными знаками в формуле (13). Числитель и знаменатель искомой функции, как и в формуле (10), сокращается на множитель  $k_3$ .

*По обобщенной формуле Боде вида (3)* получается функция чувствительности  $S_{R_{11}}^K$ , совпадающая с безызбыточной функцией (18). При этом в числителе и знаменателе искомой функции также сокращается множитель  $k_3$ . Однако построение функции по формуле Боде является более трудоемким, поскольку требуется раскрыть не только определители числителя и знаменателя исследуемого коэффициента передачи напряжения, но и два дополнительных определителя в числителе формулы (3).

Расчет чувствительностей автоматизирован М.В.Недорезовым и В.В.Филаретовым в программе CirSym для символьного анализа электронных цепей в десятки-сотни узлов и всеми типами линейных

элементов, включая нулловые и зеркальные аномальные элементы. Программа реализует автоматический вывод полиномиальных выражений, что важно при аналитическом исследовании чувствительности. Online-сервис программы CirSym имеется на сайте <http://intersyn.net/cirsym.html>.

**Выводы. 1.** Рассмотрена классификация формул для относительной чувствительности схемных функций линейных электрических цепей. Формулы подразделяются по признаку наличия или отсутствия разностей, а также по избыточности (содержанию взаимно уничтожающихся слагаемых и сокращающихся множителей).

**2.** Предложена разностная формула чувствительности с числителем в виде разности двух определителей, схемами для которых является один и тот же многополюсник (состоящий из частей числителя и знаменателя исследуемой схемной функции) с подключенными к нему двумя нуллорами.

**3.** Для локализации и исключения избыточных слагаемых в виде схемных миноров с противоположными знаками предложено выделять элементы многополюсника до его внешних полюсов, при этом нуллары, подключенные к ним, выделяются в последнюю очередь.

**4.** Предлагаемая разностная формула чувствительности содержит только два определителя – числитель и знаменатель исследуемой схемной функции – в отличие от четырех по обобщенной формуле Боде, и в то же время позволяет получить компактные символьные выражения без избыточных слагаемых.

#### Список литературы

1. Боде Г. Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью: Пер. с англ.– М.: ГИИЛ, 1948.– 641 с.
2. Hoang S. Direct topological method in network sensitivity analysis// Archiwum Elektrotechniki.– 1975.– Т. 21, з. 4. – S. 767–784.
3. Тимкин Ю.В. Анализ электронных схем методом двунаправленных графов.– М.: Энергоатомиздат.– 1985.– 256 с.

4. Balik F., Rodanski B. Calculation of symbolic sensitivities for large-scale circuits in the sequence of expressions form via the transimpedance method // Analog Integrated Circuits and Signal Processing. – Vol. 40. – 2004. – P. 265–276.

5. Asenova I. N. Calculation of first-, second-order and multiparameter symbolic sensitivity of active circuits by using nullor model and modified Coates flow graph // International Journal of microelectronics and computer science.– Vol. 2, N. 4.– 2011. – P. 129–135.

6. Rodriguez-Chavez S., Palma-Rodriguez A.A., Tlelo-Cuautle E., Tan S. X.-D. Graph-based symbolic and symbolic sensitivity analysis of analog integrated circuits // Analog/RF and Mixed-Signal Circuit Systematic Design: Lecture Notes in Electrical Engineering.– Springer.–Vol.233.–2013.– P.101–122.

7. Mandache L., Iordache M., Dumitriu L., Sirbu I., Niculae D. Sensitivity analysis of analog circuits based on a modified nodal approach // International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, May 22-24, 2014, Moieciu, Romania.– P. 83–88.

8. Курганов С.А., Филаретов В.В. Обобщенные безызбыточные формулы для чувствительности схемных функций линейных электрических цепей // Электричество.– 2017. –№2.– С. 44–50.

9. Горшков К.С., Курганов С.А., Филаретов В. В. Оптимизация полиномиальных функций чувствительности линейных электрических цепей // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей: международ. сб. науч. тр. – Ульяновск: УлГТУ, 2017.– Вып.14.– С. 45–57.

10. Филаретов В.В. Синтез оптимальных формул схемных функций электрических цепей // Электричество.– 1995.– № 4.– С. 36–43.

**Курганов Сергей Александрович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение» Ульяновского государственного технического университета. 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. Тел. 8-8422-77-81-05. E-mail: sak@ulstu.ru.

**Недорезов Максим Владимирович** – аспирант факультета аэромеханики и летательных аппаратов Московского Физико-Технического Института. E-mail: nedmv@rambler.ru.

# ВОСПОМИНАНИЯ

## О НАШЕМ КОЛЛЕГЕ

*Е. БОНДАРЕНКО, заведующий кафедрой «ЭПП и Г».  
(«Ульян. политехник». - 1994.- 3 февр.)*

Ко мне обратились с просьбой выступить на страницах институтской многотиражки. «Тема выступления?» - спросил я. «На ваше усмотрение», - был ответ. Над выбором темы задумываться не пришлось - я давно хотел рассказать о В.А. Андрееве. Поводов для этого много. Достаточно вспомнить только истекший 1993 год. В нем Василий Андреевич защитил докторскую диссертацию. На защиту было представлено 3-е издание его учебника «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения». Много лет было отдано работе над этим учебником. От одного издания к другому совершенствовалась методика подачи материала, шел поиск наиболее удачной очередности рассмотрения вопросов, наиболее доходчивого способа их изложения. И результаты этой работы налицо - успешная защита. О старом учебном плане специальности «Электроснабжение» мы говорили: только одна из специальных дисциплин этого плана обеспечена вузовским учебником, и это – учебник Василия Андреевича. В типовом плане бакалавров той же специальности «Релейная защита» как отдельная дисциплина не выделена, но в составленной Московским энергетическим институтом программе в дисциплине «Электроэнергетика» вопросам релейной защиты отведено значительное место, причем, перечень этих вопросов дословно повторяет содержание учебника В.А. Андреева.

С 1993 года кафедра «Электроснабжение» начала учебный процесс по дисциплине «АСУ систем электроснабжения». За работу над этой дисциплиной взялся Андреев. Соответствующего учебника или учебного пособия нет, и Василий Андреевич не отступает от своих традиций: читая студентам лекции по новой дисциплине, одновременно готовит учебное пособие по ней. Закончился семестр, и на кафедре уже есть рукопись этого пособия.

Новый год еще только начался, а Василий Андреевич приносит итоги своей январской работы - рукопись будущей статьи о выборе предохранителей для защиты высоковольтных трансформаторов. Так и думается, что свой день рождения (1 января) он встретил за рабочим столом, что он никогда не отдыхает. Но это не так. Свидетельство тому - увлечение поэзией, в чем не раз убеждались читатели нашей многотиражки.

## **ВОСПОМИНАНИЯ И ВПЕЧАТЛЕНИЯ**

### ***З.В. Белянчикова***

Мне довелось познакомиться с Василием Андреевичем Андреевым в 1982 г.; он, будучи уже заведующим кафедрой «Электроснабжение», продолжил свою традицию (со времен ректорства) дарить конфеты женской половине Политеха на 8 марта, что было очень приятно. Более близко узнала Василия Андреевича, когда в институте ежегодно стали широко отмечать День Победы 9 Мая. Создавалась комиссия под руководством Председателя совета ветеранов Андреева В.А., в состав которой входили на постоянной основе Гончар Светлана Тихоновна, председатель профкома, Смирнова Тамара Михайловна, директор библиотеки, Белянчикова Зоя Владимировна, начальник управления

кадров, Айнуллова Дания Габдулхаметовна, главный бухгалтер.

Выплачивали материальное поощрение ветеранам войны, готовили праздничный концерт, проводили торжественный обед в «Зеленом острове». Сколько уважения, почтения, любви мы отдавали нашим ветеранам, и в первую очередь, Василию Андреевичу. Мы старались, и Василий Андреевич это понимал и ценил. С тех пор наши отношения сложились теплыми и доверительными. Василий Андреевич часто горделиво отмечал, какие кадры он брал на работу, имея в виду меня, и переубедить его, что принимал меня ректор Казаров О.В., было невозможно, оставалось только соглашаться.

Мне было очень дорого расположение Василия Андреевича. Он много рассказывал о становлении Политеха, о строительстве «Садовки», искренне переживал за все происходящее в университете. Ни один вопрос в повестке Ученого совета не оставался без его внимания. Издать историю нашего университета мог только Андреев В.А., и он это сделал. А ведь это титанический труд; он лично обзванивал, беседовал, требовал, собирал исторический материал. Мы, конечно, старались, помогали, но основной объем работы от решения и до издания «Истории Политеха» – заслуга Василия Андреевича.

Удивительно, что при всей своей занятости Василий Андреевич писал замечательные стихи. И опять-таки, свои стихи он посвящал родному Политеху, своим коллегам, друзьям, близким ему людям. Недавно, разбирая документы, обнаружила первые собственноручно написанные стихи Василия Андреевича, адресованные мне в 1991 году и в последующие годы. Когда Василий Андреевич в связи с болезнью перестал приходить в университет, он часто звонил, и мы долго разговаривали, и кто бы в это время не входил, присаживались и с уважением ждали окончания разговора.

Василий Андреевич был уважаем и любим в нашем коллективе. Его

память была уникальна, он помнил и людей, и события. Яркий, энергичный человек с юношеским задором, чувством юмора, Василий Андреевич притягивал к себе, с ним было интересно общаться. Он любил свой Политех, и Политех отвечал ему уважением, почтением и любовью.

Мне очень повезло в жизни, что судьба привела меня в Университет, в стенах которого я имела счастье работать с прекрасными учеными, такими как В. А. Андреев. В моей памяти навсегда останутся только хорошие, яркие воспоминания о долгих годах работы и общения с Василием Андреевичем.

### **«ЖЕНЩИНЫ ЗАСЛУЖИВАЮТ ВНИМАНИЯ И УВАЖЕНИЯ НЕ ТОЛЬКО В ЖЕНСКИЙ ПРАЗДНИК...»**

*Накануне праздника 8 Марта мы обратились с вопросами о роли женщины в жизни сильной половины человечества к одному из уважаемых людей нашего университета - Василию Андреевичу Андрееву, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ.*

1. Чем является для Вас день 8 Марта?
2. Кем является женщина в Вашем доме? Хранительницей очага, уюта, уборщицей, поварихой? Или она – помощница, сотоварищ, единомышленница? Реализуется ли у Вас библейская формула: «Духом и плотью едины»?
3. Существует мнение – «женщины – это не люди, а существа из иного мира». Что Вы скажете по этому поводу?
4. Вы уже поздравили с праздником хоть одну женщину?

Вот, что он ответил нашему корреспонденту:

1. Я в свое время об этом написал стихотворение. «Ты – Анна Керн, ты – Гончарова» – была в нем такая строчка. Я хотел ею сказать, что женщины

заслуживают всяческого внимания и уважения не только в Женский праздник. Но в жизни почему-то получается не так – все недосуг, захватывает круговорот дел, забот... И 8 Марта словно создано для того, чтобы напомнить нам об истинных ценностях, чтобы дать мужчинам возможность сказать представительницам прекрасной половины человечества хорошие слова, сделать для них что-то хорошее... Поэтому в этот день наряду с радостью я испытываю и некоторые угрызения совести.

2. Ну, я бы не стал так полярно формулировать вопрос. Женщина, особенно жена – это, конечно, хранительница дома, создательница уюта, хозяйка. Но не только. Она вдохновительница, ее слово может удесятить силы, поддержать в трудном начинании... Только сочетание этих качеств в женщине позволяет чувствовать, как говорят, «тепло родного дома». А что касается единства духа и тела, я стремлюсь к этому полвека, но оно, как абсолютная истина, желаемо и недостижимо.

3. Я не могу сравнивать женщину с неземным существом, потому что ни одного из них не встречал. Другое дело сопоставить с мужчиной. И тут, мне кажется, многое – в пользу женщины. Мне, по крайней мере, больше нравится женская психология, женская натура, женская доброта, ее материнская забота. Она - продолжательница рода. В этом смысле, все – от женщины, и мы тоже ее продолжение. И мне сегодня видится, что роль женщины в обществе весьма значима, весьма важна. Какие мы есть, зависит от нее. И жаль, что в России власть сосредоточена только в руках мужчин, и у женщин мало возможностей проявить себя в политической и общественной жизни. Это было бы благотворно.

4. Когда я был ректором политехнического института, я специально покупал на фабрике «Волжанка» коробки конфет, чтобы поздравлять

сотрудниц с 8 Марта. Сегодня я уже конфет коробками не дарю, но все-таки стараюсь «подсластить» их жизнь, всегда поздравляю их с Женским днем, особенно друзей-женщин. У меня их немало.

*(Университет. панорама.-1997.-5 марта)*

## **НЕЗАБЫВАЕМЫЙ ЧЕЛОВЕК**

***В.Р. Крашенинников***

Впервые я встретился с Василием Андреевичем Андреевым в 1970 году, когда поступал на работу в УПИ по распределению после окончания аспирантуры Казанского университета. Он сразу произвёл впечатление очень сильной личности и внимательного по отношению к другим человека. Эти впечатления в дальнейшем только усиливались. Его суждения и решения были пронизаны здравым смыслом и ясностью, он не терпел формализма. К его выступлениям внимательно прислушивались члены Учёного совета и когда он перестал быть ректором.

В 1972 году Василий Андреевич Андреев предложил мне стать заведующим кафедрой высшей математики. Он очень внимательно относился к этой моей новой работе, оказывая неоценимую помощь советом и делом. Не обошлось без забавных случаев. Однажды мне нужно было принять молодую женщину на должность секретаря кафедры. Андреев вникал во все детали жизни института, а в кадровые вопросы тем более. Так что пришлось идти к нему с её заявлением о приёме на работу. А он спросил, умеет ли она печатать на пишущей машинке. Ведь в те времена не было ПК, и все документы печатались на этих машинках. Если надо было много копий, то приходилось печатать по нескольку раз вручную. Тем более, что прилично выглядел только первый экземпляр, а остальные 2-4 копии были из-под копирки и не везде принимались. Эта

женщина умела печатать только «одним пальцем», то есть очень медленно, что Василию Андреевичу, конечно, не понравилось бы. Но на эту работу трудно было найти желающих. Пришлось мне ввести его в заблуждение и сказать, что она умеет неплохо печатать. Тут он даёт мне страничку какой-то своей рукописной записи и говорит, что «пусть она быстренько ему напечатает и принесёт». Так вот я сам отпечатал этот документ и послал её как бы с результатом выполненного задания к В.А. Андрееву. Приказ о её приёме на работу был подписан. Через некоторое время я рассказал Василию Андреевичу об этом случае, он только посмеялся, ибо чувство юмора было у него на высоте.

Василий Андреевич Андреев был очень одарённым и эрудированным человеком, был очень начитан, сам писал стихи, пел, был душой компании.

Посчастливилось мне заниматься с В.А. Андреевым научной работой, связанной с жидкометаллическими предохранителями. Он умел чётко ставить задачи, почти в точной математической формулировке, что очень редко встречается у «технарей». В данном случае нужно было найти оптимальные параметры функции данного вида для аппроксимации экспериментальных данных.

В те времена абитуриенты при поступлении в институт сдавали экзамены, подавая документы только в одно учебное заведение за год. Я несколько раз был председателем экзаменационной комиссии по математике. Нужно было составить вопросы и задачи к экзаменационным билетам. Василий Андреевич Андреев отлично знал школьную математику и придирчиво просматривал эти материалы, не пропуская слишком трудные задачи, а также выборочно контролировал проставленные на экзаменах оценки. Эта работа занимала всё лето с небольшими перерывами между экзаменами. Я отпросился на один из таких перерывов съездить на родину (на Каме), откуда привёз лещей горячего копчения

своего улова. Угостил Василия Андреевича Андреева и некоторых других работников института. И вдруг в этот раз 1 сентября на посвящении в студенты В.А. Андреев не появился. Я очень испугался, услышав, что он отравился какой-то рыбой. И действительно, через несколько дней, на одном совещании, когда его спросили, чем же он отравился, он сказал, что это была подаренная мною рыба. Но он тут же признал, что сам виноват, так как, несмотря на моё предупреждение, долго продержал её у себя в кабинете в жару, чего делать никак было нельзя. В моё оправдание было и то, что с другими отведавшими эту рыбу ничего плохого не произошло.

Ко всем своим должностям и общественной работе Василий Андреевич Андреев относился очень ответственно, с душой. Старался, чтобы и наш институт выглядел представительно. Будучи председателем областного комитета Защиты мира, он положительно отнёсся к возможности моего направления на преподавательскую работу в Нигерию, пожелав мне достойно представлять нашу страну и институт.

Неоценима его роль в развитии нашего института-университета. Нынешняя территория получена при нём, построены учебные корпуса, общежития, организованы факультеты и кафедры, многие из ныне работающих сотрудников приняты им на работу, создана «Садовка», многие работники получили бесплатные квартиры.

Благодарная память о Василии Андреевиче навечно останется в наших сердцах.



В.А. Андреев, ректор УПИ, возглавляет первомайскую демонстрацию,  
1979 г.

## ВОСПОМИНАНИЯ О В.А. АНДРЕЕВЕ

*С.Т. Гончар, выпускница УлГТУ 1971 г., доцент кафедры БЖД,  
председатель профсоюзной организации преподавателей и сотрудников  
УлГТУ с 1994 по 2012 годы*

Пока человека помнят, он жив. Память выхватывает множество картин из общения с Василием Андреевичем Андреевым, у которого я училась и под руководством которого работала многие годы.

50 лет прошло с тех пор, как я слушала лекции В.А. Андреева по электроснабжению. Яркое, свободное, наглядное повествование и даже стихотворная форма изложения материала о релейной защите оставили неизгладимое впечатление на всю жизнь. Талант оратора, хорошо поставленный голос, реальные примеры, демонстрация научных достижений делали его занятия незабываемыми.

Василий Андреевич Андреев был большим Человеком, Ученым, Учителем. Вся наша страна учится по единственному в своем роде учебнику «Релейная защита и автоматика». Помню его длительные разговоры с редакцией, его волнения, когда он работал над последним изданием книги. Как я рада была получить ее в подарок, да еще и с добрыми пожеланиями.

Лично меня также коснулось постоянное стремление Василия Андреевича воспитать, вырастить молодых преподавателей, ученых.

Во время конференции в МЭИ (1972 г.) Василий Андреевич представил меня зав. кафедрой и порекомендовал к поступлению в аспирантуру. То было интересное время. Я, как младший научный сотрудник, была ответственным исполнителем по хоздоговорной научно-исследовательской работе с Новоульяновским цементным заводом (руководителем темы был незабываемый Логинов Григорий Викентьевич). Мы вели эксперименты по автоматизации процесса контроля тонкости помола цемента. Доклад на конференции вызвал интерес, а Василий Андреевич высказал по поводу него ценные замечания.

Огромная жизненная энергия, ясные принципы, активная гражданская позиция способствовали тому, чтобы Василий Андреевич был замечательным руководителем, всегда впереди, в гуще событий, организатором многих мероприятий различного масштаба, душой университетских событий.

Такого активного председателя Совета ветеранов в университете раньше не было. Он проводил планомерную работу Совета: заседания, посещения больных, защита интересов ветеранов в коллективных договорах, помощь участникам и инвалидам Великой Отечественной войны. Было принято Положение о ветеране УлГТУ, а лицам, получившим такое звание, вручался Почетный знак и предоставлялись льготы по Коллективному договору.

А сколько души, энергии было вложено в создание оздоровительного лагеря «Садовка». Профессорам В.А. Андрееву и Л.В. Худобину нужно поставить памятник за такое чудесное приобретение, а профессора Л.И. Волгина поблагодарить за хлопоты по установке в «Садовке» финских бань из Таллина. А сколько сотрудников и их детей и внуков отдохнули в «Садовке»! Огромная благодарность организаторам отдыха, преподавателям кафедры «Физ. воспитание» и «ангелу-хранителю» – гл. врачу Яковлевой Т. С.

Будучи крупным ученым, обладая ярким талантом писателя, имея большой опыт руководства университетом, Василий Андреевич инициировал и возглавил работу по написанию книги «История УлГТУ» в связи с юбилейной датой – 50-летием университета в 2007 году. Благодаря тщательно разработанному плану, советам и настойчивому давлению на членов авторского коллектива с целью написания книги к сентябрю 2007 года получилось интересное объемное повествование о жизни университета с 1957 по 2007 годы.

Часто мы говорили с Василием Андреевичем о роли профсоюза. Будучи органом социальной защиты работников в организации, профсоюз выполняет эту роль в рамках согласованных мероприятий по Коллективному договору. При поддержке администрацией инициатив профсоюза получается неплохой результат (например, включение в Коллективный договор таких мероприятий для ветеранов, как бесплатные направления в СОЛ «Садовка» участников Великой Отечественной войны с выделением сопровождающего их члена профкома, выплаты ветеранам УлГТУ пособия в виде многократной заработной платы при уходе на заслуженный отдых).

Невероятно глубоким было чувство сопереживания, когда Василий Андреевич выступал на больших собраниях участников Великой Отечественной войны, ветеранов, преподавателей и студентов,

посвященных дню Победы. Совсем молодым он многое повидал сам на дорогах страшной войны. Для меня это были ассоциации и с рассказами моих родителей, прошедших всю войну и ставших инвалидами вследствие тяжелых ранений. Этим святым людям осталось совсем немного. Самым молодым участникам войны уже 91 год...

В воспоминаниях о великом Учёном и Педагоге нельзя не отметить то значительное влияние, которое и в последние годы оказывал Василий Андреевич на университет, на молодое поколение, на кафедру. Он был красивым, бодрым, принципиальным, оптимистичным человеком с твердыми убеждениями, очень любившим свою семью и заботившимся о ней. Василий Андреевич следил за своим здоровьем. Был очень рад, что после операции на глазу в таком почтенном возрасте восстановилось зрение. Он снова стал много читать. Но возраст брал своё. В последнее время болело сердце...

Благодарность и память о Человеке, являющемся исключительным примером для многих, живут в моем сердце.



День Победы! И как прекрасны ветераны - великие люди.



Отдыхаем все вместе в любимой «Садовке»



Ректор университета В.В. Ефимов, председатель Совета ветеранов В.А. Андреев и председатель профсоюзной организации С.Т. Гончар отвечают на вопросы делегатов Конференции



Заседание Ученого совета университета. Доктор технических наук, профессор В.А. Андреев принимал активное участие в его работе



На юбилее С.Т. Гончар В.А. Андреев вспомнил о письме ее родителей ему, ректору (1973 г.), с благодарностью за замечательных преподавателей, качественное обучение и правильное воспитание молодежи.

## ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ АНДРЕЕВ: КАКИМ ОН ОСТАЛСЯ В МОЕЙ ПАМЯТИ

*М.П. Волков, д-р ф. наук, профессор,  
зав. кафедрой философии УлГТУ*

Моя первая встреча с Василием Андреевичем произошла 26 декабря 1977 г., когда я, по окончании аспирантуры при кафедре естественных факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова, приехал устраиваться на работу на кафедру философии и научного коммунизма УлПИ. В Ульяновске я не был ни разу, но моим спутником был Юрий Николаевич Шувалов, уже отработавший в УлПИ 2 года и возвращающийся в УлПИ также по окончании аспирантуры.

Мы прибыли в город, занесенный снегом, и поехали на трамвае к Владимиру Ильичу Белозерцеву – заведующему кафедрой философии и научного коммунизма. Город произвел на меня, проведшего 8 лет в Москве, гнетущее впечатление. Радущие, с которым нас встретили Владимир Ильич и Валерия Ивановна Белозерцевы, скрасило первое неприятное впечатление.

А потом был путь от драмтеатра до корпуса на ул. Л.Толстого, где тогда располагался кабинет ректора. Признаюсь, я шел на эту встречу с легким мандражем. Дело в том, что мой приятель по аспирантуре, накануне моего отъезда из Москвы, вернулся из Пензы: там зав.кафедрой философии сразу же по прибытии развернул его обратно из-за... бороды. А как поведет себя ректор УлПИ со мной – обладателем бороды? Конечно, я был уверен, что Владимир Ильич заступится, если потребуется, но холодок на сердце был.

Кабинет и его хозяин расположили с первой минуты: печь, отделенная зелеными изразцами, высокие потолки и хозяин кабинета –

высокий, улыбчивый, с первых минут проявивший интерес к незнакомому человеку.

Начались распросы. Я ответил, что диссертация подготовлена и находится в специализированном совете, что защита назначена на ноябрь 1978 г., что в Москве заканчивает последний курс института легкой промышленности невеста. Василий Андреевич спросил, какое впечатление произвел город. Я замешкался с ответом, и он, уловив мое смятение, начал рассказывать, как красив город летом, какие богатые грибами леса, какие здесь отзывчивые люди. Лето 1978 г. подтвердило правоту его слов, сказанных по поводу красот города и богатств леса, а 41 год, проведенный в стенах УлПИ-УлГТУ – по поводу людей.

В конце аудиенции Василий Андреевич набрал номер проректора по АХЧ Ю.И. Апаршина и сказал: «Юрий Иванович, сейчас к тебе придет преподаватель философии, похожий на Чернышевского. К нему должна приехать невеста из Москвы, так ты подбери комнату в общежитии получше». Из кабинета ректора я уходил с легким сердцем.

Защита диссертации прошла успешно, подтверждение было получено в апреле 1979 г., и в конце 1980 г., как и было обещано Василием Андреевичем, я получил двухкомнатную квартиру.

Встречи с Василием Андреевичем случались и после того, как он оставил пост ректора УлПИ. Каждый год, накануне 9 мая, мне звонил А.Л. Дубов и просил выделить лекцию для встречи Василия Андреевича со студентами. После первой встречи Василия Андреевича со студентами, на которой присутствовал и я, эти согласия давались с легким сердцем. Василий Андреевич был отличным рассказчиком. Он говорил о предвоенном времени, о чувствах своих сверстников, приводил цифры, читал свои собственные стихи, и время представало живым.

Одна из наших встреч имела неожиданное продолжение. На этой встрече Василий Андреевич поведал историю «Садовки», которую я со

всеми известными мне подробностями пересказал Борису Бурляеву – брату известного актера Николая Бурляева. С Б. Бурляевым я познакомился в школе молодых философов под Звенигородом в 1983 г., где он, со своей партнершей Риной Даял, давал концерт: Рина исполняла индийские танцы, а Борис читал индийские стихи. Во время гастролей в Ульяновске они побывали у меня в гостях, и я пригласил их летом отдохнуть в «Садовке». Летом 1984 г. они приехали в «Садовку», выкроив неделю из своего гастрольного турне. «Садовкой» они были очарованы. Здесь я рассказал Борису о приключениях, пережитых Василием Андреевичем в ходе поиска места для спортивно-оздоровительного лагеря, его утверждения в высоких инстанциях и собственно строительства. Борис и Рина решили дать концерт, который и прошел в каменном доме. Открывая концерт, Борис сказал, что они посвящают его Василию Андреевичу, отыскавшему такое чудесное место на Волге и организовавшему появление в этом уголке рукотворной красоты. Концерт прошел с огромным успехом. Вернувшись из «Садовки», я рассказал о нем Василию Андреевичу. Он был растроган, долго расспрашивал о Борисе и Рине, просил передать им благодарности и пожелание успехов.

Подсчитано, что за свою жизнь человек сталкивается с несколькими десятками тысяч людей. Большинство из этих встреч проходят, как тени, некоторые оставляют глубокий след в судьбе, сознании. Василий Андреевич принадлежит к этим немногим.

## **ВОСПОМИНАНИЯ О МОЕМ НАУЧНОМ РУКОВОДИТЕЛЕ – АНДРЕЕВЕ ВАСИЛИИ АНДРЕЕВИЧЕ**

*Свиридов Юрий Павлович, доцент кафедры «Электроснабжение»,  
к. т. н.*

Я учился в Ульяновском политехническом институте по вечерней форме обучения без отрыва от производства. Профессор Андреев Василий Андреевич у нас занятий не проводил, поэтому познакомился я с ним только при подписании дипломного проекта.

Более близкое знакомство произошло значительно позже, когда я уже работал директором Ульяновской горэлектросети. Василий Андреевич был научным руководителем хоздоговорной работы по совершенствованию городской электросети.

Кроме того, он вел большую общественную работу: долгое время являлся членом исполнительного комитета городского Совета народных депутатов, был председателем областного Комитета защиты мира. Мы достаточно часто встречались на заседаниях горисполкома. Василий Андреевич производил впечатление очень дотошного равнодушного человека. В каждой ситуации он стремился разобраться детально, для него не было мелочей, особенно, когда дело касалось судьбы человека. А таких вопросов на заседаниях исполкома было достаточно много.

В начале 1995 года в отдел главного энергетика муниципального предприятия «Ульяновскводоканал», где я работал главным энергетиком, пришел профессор Андреев В. А. с предложением провести исследования на хоздоговорных началах с целью разрешения проблемных вопросов в системе электроснабжения предприятия, с привлечением преподавателей кафедры «Электроснабжение». После обсуждения было принято направление исследований – совершенствование релейной защиты и

автоматики системы электроснабжения водопроводно-канализационного хозяйства.

Василий Андреевич предложил мне оформиться соискателем ученой степени кандидата технических наук и принять непосредственное участие в этой работе.

Муниципальное предприятие водопроводного хозяйства в тот период было одним из крупнейших потребителей Ульяновской энергосистемы, и по объему потребления электроэнергии, по максимальной мощности было на втором месте после автомобильного завода. В эксплуатации в этом хозяйстве было более сотни крупных высоковольтных электродвигателей, большая часть из них были синхронными машинами.

Электродвигатели водопроводных и канализационных насосов являются в основном электроприемниками первой категории по надежности электроснабжения, но существующие на то время устройства аварийного ввода резерва (УАВР), которыми, в соответствии с Правилами устройства электроустановок, были оборудованы все распределительные устройства и подстанции насосных станций, во многих случаях не обеспечивали успешный самозапуск этих двигателей после действия УАВР. Как показывал опыт эксплуатации, действие этой автоматики во многих случаях приводило к развитию аварий и нарушению водоснабжения и работы канализации города.

Еще в моем дипломном проекте (в 1974 году) было показано на примере насосной станции первого подъема Волжских головных сооружений водопровода, что существующая в то время и проектируемые системы электроснабжения не обеспечивают самозапуск электродвигателей после действия АВР. Еще тогда мною предлагалось разработать для таких объектов быстродействующее устройство АВР.

Проведенные нами исследования показали, что динамическая устойчивость синхронных электродвигателей таких механизмов, как центробежные насосы водопровода и канализации, используемые в «Ульяновскводоканале», сохраняется только в том случае, если кратковременное нарушение электроснабжения не превышает 0,09-0,1 секунды.

Изучая публикации по этой теме, мы выяснили, что такой работой в России занимаются две группы: группа в ВЭИ им. Ленина совместно с Московским энергетическим институтом и группа в Санкт-Петербургском институте силовой электроники РАН, которая разрабатывает тиристорное быстродействующее устройство АВР.

У меня возникли серьезные сомнения в успехе нашего предприятия, коли такие гранды являются нашими конкурентами. Но Василий Андреевич ободрил меня, убедив, что в науке всегда есть несколько путей достижения нужного результата.

Он подсказал мне, что в отличие от указанных выше групп, нам нужно стремиться разработать быстродействующее устройство АВР на серийных выключателях с минимальными доработками. Рассмотрев все известные мне быстродействующие вакуумные выключатели и переговорив с главными конструкторами производителей этих выключателей, я пришел к выводу, что они без серьезной конструктивной доработки непригодны для наших условий. К такому же выводу ранее пришла и группа разработчиков ВЭИ им. Ленина, и они решили разработать динамическое усиление привода выключателя, чтобы обеспечить быстродействие.

Помог его величество случай. В технический университет к Андрееву Василию Андреевичу приехал главный конструктор Великолукского завода высоковольтной аппаратуры. Василий Андреевич познакомил меня с ним. В беседе с ним мы выяснили, что новая фирма

«Таврида электрик» разработала новый быстродействующий вакуумный выключатель, который по быстродействию может нам подойти.

Я запросил у этой фирмы информацию об их выключателях и оперативно ее получил. Эта информация меня очень разочаровала, так как быстродействие этого выключателя по параметрам в их проспекте оказалась хуже, чем у других вакуумных выключателей. Василий Андреевич и здесь дал очень ценный совет, чтобы я поехал на фирму и обсудил с разработчиками возможность доработки выключателя, что я и сделал.

Оказалось, чтобы увеличить быстродействие выключателя ВВ/TEL-10, достаточно увеличить напряжение на катушках включения, не меняя ничего в механике. Но, когда мне принесли результаты испытаний партии серийных выключателей, выяснилось, что быстродействие этих выключателей почти в два раза выше, чем указывалось в каталоге, что нас вполне устраивало.

Василий Андреевич посоветовал также отказаться от электромеханической элементной базы разрабатываемого устройства, а выбрать электронную аналоговую или цифровую. Окончательно после обоснования была выбрана цифровая элементная база быстродействующего устройства АВР.

Очень серьезную помощь Василий Андреевич оказал мне в написании текста диссертации. Мне казалось, что у меня достаточно опыта написания различных документов. Но Василий Андреевич многократно находил в моем тексте неточности или предлагал более удобные формулировки. В какой-то момент меня это начало даже злить, мне казалось, что доработкам не будет конца. Но, как оказалось, в диссертационном совете Чувашского государственного университета, где я защищал диссертацию, она была допущена к защите практически без замечаний.

## МОЙ УЧИТЕЛЬ

*А.Л. Дубов, декан ЭФ, к.т.н., доцент*

1 сентября 1977 года на площади Ленина ректор Ульяновского политехнического института Андреев В.А. приветствовал первокурсников, среди которых находился и я, поступивший на энергетический факультет после службы в Советской Армии. Василий Андреевич мне сразу понравился тем, с каким юмором он ответил на то, что ведущий этого мероприятия – председатель профкома Бажанов Сергей (ныне – Президент Международного банка Санкт-Петербурга) ошибочно представил его Василием Иванычем. В то время в ходу были анекдоты про Чапаева.

Затем, на 4 курсе Василий Андреевич читал нам дисциплину «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения». Надо сказать, что дисциплина довольно-таки сложная, потому что опирается на все предшествующие дисциплины. Он говорил: «Релейная защита как лакмусовая бумажка, она сразу покажет, какие предметы студент не изучил ранее. Ведь для того, чтобы защищать какой-либо элемент, надо знать его конструкцию, принцип действия, будь то электрические машины, трансформаторы, электросети и т. п.». Студенты с удовольствием слушали его. Василий Андреевич обладал высоким педагогическим мастерством. Наряду с материалом по предмету, он мог прочитать стихи собственного сочинения про релейную защиту, связать этот материал с производственными случаями из собственного опыта работы. Поражал его кругозор.

Запомнился первый экзамен у Василия Андреевича. Вместе с ним экзамен принимал Бондаренко Е.В. Я всегда брал билет первым из нашей группы. Конечно, проще было бы сдавать Евгению Васильевичу как человеку очень мягкому, где успешная сдача была гарантирована. Надо

сказать, что перед Василием Андреевичем студенты испытывали страх, ведь для нас ректор был на недостижимой высоте. Так вот, закончилось время подготовки по билету, и надо было идти отвечать. Я подумал, что если я пойду к Бондаренко Е.В., тем самым проявлю свою слабость, а во-вторых, это будет неуважительно по отношению к Василию Андреевичу. На ватных ногах я подошел к нему. Начал отвечать и страх постепенно прошел. Было спокойное обсуждение вопросов. Сдал на «отлично». Видимо, это побудило меня к тому, что в следующем семестре я стал работать в рамках хоздоговорной НИР на кафедре электроснабжения, которой руководил профессор Андреев В.А., а после окончания вуза остался на ней и поступил в заочную аспирантуру, руководимую им же.

Вначале я не понимал, что представляет собой обучение в аспирантуре и ждал, когда же меня начнут учить. Через пару месяцев вызывает меня к себе Василий Андреевич и спрашивает, куда же я продвинулся по диссертационным делам. Я со стыдом признался, что эти месяцы вел себя как нерадивый студент.

Тогда Василий Андреевич рекомендовал мне идти в читальный зал и по реферативным журналам подбирать статьи по релейной защите, изучать их и искать проблему, которую необходимо решить.

На это у меня ушло 8 месяцев. Нашел проблему. Тогда-то Василий Андреевич и научил меня, что не все то, что пишется в статьях – правда. Каждое утверждение требует осмысления и проверки. В результате выяснилось, что есть пробелы в методике расчета и защите линий электропередачи до 1000 В. Этим я и начал заниматься. Не могу не упомянуть Шишкина Валентина Федоровича, который занимался переходными процессами в электрических системах и с интересом подключился к совместному изучению режимов этих сетей.

Следующим уроком было написание журнальных статей. Поначалу приходилось по несколько раз переписывать их. Я злился от этого, нервничал. Не один раз хотелось все бросить.

Потом уже я понял, что в статье последующая мысль должна вытекать из предыдущей, чтобы совершенно несведущий читатель мог все понять.

Сейчас, когда я прошу студентов подготовить статью или тезисы докладов, я вспоминаю себя в том времени.

Перед окончанием работы над диссертацией надо было определяться с Диссертационным советом, ведь в нашем вузе такого не было. Выбор пал на Уральский политехнический институт. Поехал туда на месячную стажировку, во время которой сделал доклад на кафедре автоматизированных энергосистем. Отзыв был самым положительным – без всякой доработки выходи на защиту. Радостным я вернулся в Ульяновск. Однако Василий Андреевич сказал, что надо еще отшлифовать работу. На это ушел почти год, после чего защита прошла на высоком уровне. На все вопросы членов Диссертационного совета были даны исчерпывающие ответы.

В период руководства кафедрой Андреевым В.А. у каждого ведущего преподавателя был дублер, который мог заменить его в случае необходимости. Василий Андреевич начал готовить по своей дисциплине меня. Сначала это были лабораторные работы, затем – курсовое проектирование. Надо сказать, эти виды работ мы проводили вместе, как и принимали их. Затем он предложил мне читать пробные лекции. Помню, как мы обсуждали эти лекции на этапе подготовки, причем он сказал, чтобы я сразу читал их безо всяких шпаргалок (за все годы преподавания с 1983 года я ни разу не подглядывал в «шпору»). Василий Андреевич ходил ко мне на лекции, после чего мы с ним обсуждали, что я излагал не совсем понятно, давал ценные советы. Далее мы стали принимать вместе экзамены. Это тоже была для меня учеба.

Когда Василий Андреевич по состоянию здоровья вынужден был уйти из вуза, я стал вести дисциплину «Релейная защита и автоматика», чем и занимаюсь до сих пор, руководствуясь теми принципами, которым научил меня Василий Андреевич.

На этом наше сотрудничество с Андреевым В.А. не закончилось (он продолжал работать преподавателем-консультантом). Более того, оно переросло в дружеские отношения. Я приходил домой к Василию Андреевичу с учебными, научными и просто жизненными вопросами. Являясь ветераном Великой Отечественной войны, он очень беспокоился о том, чтобы подрастающее поколение знало о ней правду и не поддавалось на подлые уловки некоторых «писак», которые желают уменьшить роль советского народа в победе над фашисткой Германией. Мы вместе продумывали мероприятия к праздникам Победы, которые потом я проводил со студентами энергофака.

Я с гордостью считаю себя учеником Василия Андреевича и очень благодарен судьбе за то, что она свела меня с таким Человеком.

## **ПУТЕВКА В ЖИЗНЬ**

*Яковлева Т.И.,  
документовед энергетического факультета*

Я впервые встретила с Василием Андреевичем в 1988 году, когда пришла устраиваться на работу секретарем-машинисткой на кафедру «Электроснабжение», которой он заведовал. Зашла в кабинет, увидела солидного мужчину. Мне он сразу понравился тем, что говорил по сути, расспросил все про меня, попросил напечатать текст на машинке и в тот же день взял меня на работу.

Как раз в то время Василий Андреевич писал учебник по дисциплине «Релейная защита и автоматика», а печатать было некому, и мы начали

работать. Надо сказать, что работалось с ним легко, так как я печатала быстро и грамотно. Мы быстро подружились.

Многие, кто знал Василия Андреевича ранее, сетовали, как же я буду с ним работать, в связи с тем, что, по их мнению, он был очень требовательным и строгим. Тогда я не знала, что Василий Андреевич в течение 11 лет был ректором Политехнического института. Однако, как показала жизнь, Василий Андреевич был чутким человеком: не было дня, чтобы он не спросил у меня, как дела, чем живу, какие проблемы у меня, помогал советом и делами, по-отечески относился ко мне. Через год помог с жильем. Кстати, комнату, которую мне выделил вуз в доме на улице Гагарина по его просьбе, была также первым жильем и Василия Андреевича, когда он переехал в г.Ульяновск из Киргизии.

Еще он писал стихи про войну, про любовь, про жизнь, которые я все печатала. Я поражалась его знаниями во всех сферах деятельности, его юмором. Он был очень одаренным.

Вспоминаются мне наши чаепития на кафедре, когда я пекла торты и поздравляла мужчин с 23 февраля. Было весело и непринужденно.

Вскоре я перешла на работу в деканат энергетического факультета, но сотрудничество и дружба с Василием Андреевичем не прекратились. Даже тогда, когда он по состоянию здоровья не мог приходить в вуз, мы часто созванивались, неоднократно встречались у него дома, где наши чаепития продолжались. Говорили о работе, о делах, о жизни, о детях и внуках. Он всегда старался участвовать в жизни кафедры, факультета и вуза в целом. Очень переживал, когда в период перестройки начался развал системы образования.

Хочу сказать в завершение, что Василий Андреевич практически дал мне путевку в жизнь, которая определила мою дальнейшую судьбу.

## **ДАВАЙТЕ ГОВОРИТЬ ДРУГ ДРУГУ КОМПЛИМЕНТЫ!**

*О. В. Сечкин, советник ректората*

Прошлый век, 1963 год, я – студент 3 курса. В институте появился проректор по учебной и научной работе Василий Андреевич Андреев. Появился – это, наверное, самое подходящее определение. Появился в студенческом спорте, студенческой самодеятельности, в комсомоле... Как-то сразу – везде! Думаю, что в учебной и научной работе тоже, но вспоминаю только факты и события, участником которых был лично.

### **Ваза**

Однажды я как ответственный за художественную самодеятельность приношу ему в кабинет вазу – приз за выступление наших коллективов на городском смотре. Долго смотрит, расспрашивает: за что, кто выступал, что исполняли. Удовлетворен. Просит поставить вазу на сейф в углу, пусть украшает кабинет. Говорит: «Хвалиться буду, это ведь первая награда вуза». Сколько потом помню, эта китайская ваза зелено-бежевого растительного рисунка на резной сандаловой подставке ну очень долго украшала сейф Андреева.

Наверное, действительно хвалился, поскольку сейф перекрасили в тон вазе. Потом Василий Андреевич многие годы был бессменным председателем жюри на всех факультетских смотрах самодеятельности. Пестовал, опекал коллективы, интересовался репертуаром, исполнителями.

### **Ударник**

Вокально-инструментальные ансамбли (ВИА) росли в институте, как грибы. Талантливых ребят оказалось много, гитарами увлекались поголовно. Однако отдельные музыканты были «в дефиците». Например, хороший ударник в ритм-группе – это ого-го! На «счастье» руководителя оркестра «Тоника» появляется мальчишка – десятиклассник с Нижней

Террасы с замечательным чувством ритма. На весеннем концерте на него обращает внимание и Василий Андреевич. Спрашивает: «Куда поступать будешь?.. Давай к нам».

Вступительные экзамены. Ну, вроде все в порядке! Ан, нет. Знания по химии уступают высокому чувству ритма. На помощь приходит Андреев. Он предлагает экзаменаторам задать дополнительный вопрос, например, о структурной формуле воды. Абитуриент осторожно начинает обсуждать схему с двумя «барабанными палочками». Василий Андреевич перехватывает инициативу и дает восторженный отзыв на ответ. Мол, смотрите, поступающий не только знает основы химии, но и способен представить знания в креативном виде!

В итоге ударником обзавелись. Равиль Айнуллин, а это был он, в течение дальнейших лет представлял самодеятельное искусство политеха на всех и вся конкурсах и концертах.

### **Начальник**

Василий Андреевич, отлично представляя «художественный» уровень студентов, ввел традицию – при вручении «красных» дипломов выпускник исполняет что-то из своего репертуара: стихотворение, песню, инструментальный номер, тем самым как бы подчеркивая двойную «красноту» личных талантов.

Как правило, церемония проходила в областном драматическом театре. Наступил год, когда «красный» диплом получал Володя Минц. Василий Андреевич планировал двойной эффект, так как еще и заведовал кафедрой на энергофаке. Все должно было получиться в лучшем виде. Но кто такой Володя Минц? Это джазовый музыкант высочайшего класса!

Музыкальная общественность Ульяновска (в дальнейшем – Москвы, Ленинграда), включая рабочих сцены Ленинского мемориала, безоговорочно это признавала, так как только для него, единственного самодеятельного пианиста, на сцену выкатывался драгоценный рояль

«Steinway&Sons» без каких-либо дополнительных просьб с нашей стороны.

До начала вручения дипломов – 25 минут. Обнаруживаем, что на имеющемся пианино играть невозможно, «дрова» не играли лет пять, деревянный инструмент не настроен, издает звуки, не воспринимаемые ушами. Срочно, с комсомольским задором, опускаем «дрова» в оркестровую яму, закрываем щитами и драпировкой.

Иду встречать Василия Андреевича, докладываю об изменении сценария, так как фортепиано нет. «Как нет? Было же, сам видел... Церемонию задержать, инструмент для Минца привезти из института». До начала остается пять минут. Резко (в разговоре) предлагаю начинать.

*Диалог:*

*– Кто здесь начальник? Я!*

*– Нет, вы - в институте, здесь – я. Начинаем.*

*– Вернемся в институт, разберемся!*

Начали вовремя. Володя Минц вместо джазовой композиции произнес благодарственный стих в адрес преподавателей факультета. Все прошло хорошо. Вернулись в институт. Разборок не последовало...

Василий Андреевич никогда не припоминал мне этот эпизод. Никогда! А мог бы.

### **Мудрость**

Маленький сын Дима в импортном непромокаемом комбинезончике, застегнутом на все «молнии», стоит по колени в дворовой луже и, по моему, ждет, когда его начнут ругать. Но отец спокойно обсуждает со мной тематику нашей встречи. Моему удивлению нет предела. Василий Андреевич: «Не обращайтесь внимания, выйдет сам и никогда больше не полезет. Ничего интересного в луже-то нет».

## Перл

Андреев имел привычку (и способность, конечно) приветствовать встречного стихами, часто ожидая ответных стихов, как правило, безрезультатно. Я попадал в подобную ситуацию неоднократно. Но однажды иду по Центральному рынку. Издалека вижу спешащего навстречу Василия Андреевича. Возникает мысль – упредить, обязательно упредить! Концентрируюсь и выдаю перл:

*Двери распахнуты,*

*Флаги все реют,*

*Это по рынку*

*Ходит Андреев.*

От неожиданности ответных стихов от него не последовало, только: «Ну, вы даете!»... Сработало.

### Учебная работа («Зачистка»)

В общественной деятельности я вырос настолько, что мог поджидать Василия Андреевича и вне его кабинета. Стою на лестнице, жду. Идет Василий Андреевич (который, напомним, одновременно являлся и зав.кафедрой). Навстречу ему – заведующий лабораториями кафедры Николай Федорович Кодин с бланком строгой отчетности – заявка на 1,0 литр спирта-ректификата (требовалось высочайшее разрешение).

*Диалог:*

*– Это зачем?*

*– Контакты на лабораторных стендах промывать.*

*– Когда последний раз промывали?*

*– Не помню...*

*– Как обходились?*

*– Зачищали наждачной бумагой.*

*– Продолжайте зачищать!*

*– ???*

*– Не будешь разводить пьянство на кафедре, тем более в учебных лабораториях!..*

А свой вопрос я там, на лестнице, решил.

### **Наука**

В 70-е годы наука в Политехе развивалась достаточно устойчиво. Практически все выпускающие кафедры имели солидные договоры с предприятиями области и Союза. На кафедре у Василия Андреевича с хоздоговорами тоже все было в порядке. Он – научный руководитель. Объемы имеются. Работы полно. У Андреева, который к тому времени стал уже ректором, обходить все научные подразделения как-то не получалось, хотя все звали. Но случилось!

Одна из крупнейших вузовских лабораторий – «Голография» – провела тематический научный международный конгресс. США, Канада, Япония, вся Европа капиталистическая, соцстраны, начинающие ученые и основоположники – все собрались в Ульяновске. Когда завершилось, Василий Андреевич спрашивает: «Что же такое вы делаете, что они все слетелись?» – «А вы приходите, покажем».

Пришел. Показали. Рассказали. Накрыли стол с домашними разносолами, салом, картошкой. Подали пельмени собственного изготовления. Андреев был растроган. Пельмени он любил, а тут все приготовлено мужскими руками – ведь в лаборатории не было ни одной женской души. Искренне удивлялся – неужели сами, неужели? Поинтересовался, как готовили капусту, мариновали чеснок, откуда грибы и каков рецепт. Дошли до огурцов, – но тут он был дока (огурцы всегда солил и мариновал сам). В рецептах не сошлись, но научная дискуссия состоялась. Тост за науку, за голографию поднимали! Домашний яблочный сок при этом был просто великолепен.

## Эпилог

Ходить друг к другу в гости, с посиделками, ни у меня, ни у Василия Андреевича не получалось. Но тут вдруг зашел. (Может быть, мой сосед Евгений Ксенофонович Лазарев, бывший секретарь парткома, затянул). От застолий и прочих угощений отказался. Просто сел на скамейку во дворе. Потом встал, пошел к выходу, сказав: «Хорошо тут у вас».

Таким и запомнился - домашним, простым, человечным...

Жалею только об одном: мало сказал ему тогда теплых, восхищенных слов, которые нашлись для этой публикации. Давайте все-таки, как просил в своей песне Булат Окуджава, говорить друг другу комплименты! «Тем более что жизнь короткая такая»...

## СКАЖИ-КА, СЕЧКИН...

Скажи-ка, Сечкин, ведь не даром  
С тобою вместе с пылом, с жаром  
«Садовку» стали создавать?  
Теперь приятно вспоминать,  
Как домом были нам палатки,  
Как мы спартанские порядки  
Могли легко переносить,  
Как интересно было жить!

С тех пор минуло тридцать лет.  
Прошли года, теперь я дед,  
А ты за мной шагаешь следом,  
И тоже скоро станешь дедом...  
Ну, а «Садовка» процветает,  
Сюда на отдых приезжает

Теперь совсем другой народ.  
И так, мой друг, из года в год.

А нас никто не вспоминает,  
И по невежеству считает,  
Что это с неба голубого  
Свалилось, как подарок Бога.  
А мы с тобой первопроходцы,  
Не те, конечно, уже хлопцы,  
Но все же, парни хоть куда!  
Какие наши-то года!

*(В.А. Андреев, 2001 г.)*

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ТРУДОВ В.А. АНДРЕЕВА

## 1. КНИГИ. БРОШЮРЫ

1. **Андреев В. А.** Поперечные дифференциальные защиты параллельных линий : автореф. дис...канд. техн. наук / В. А. Андреев ; Моск. энерг. ин-т. – М., 1955. – 20 с. – Библиогр.: 14 назв.
2. **Андреев В. А.** Релейная защита распределительных электрических сетей : учебник для вузов / В. А. Андреев, В. Л. Фабрикант. – М. : Высш. шк., 1965. – 484 с. – Библиогр.: с. 477-481 (92 назв.).
3. **Фабрикант В. Л.** Задачник по релейной защите : учеб. пособие / В. Л. Фабрикант, В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко ; под ред. В. Л. Фабриканта. – М. : Высш. шк., 1971. – 608 с. – Библиогр.: с. 607 (14 назв.).
4. **Андреев В. А.** Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко ; под ред. В. А. Андреева. – М. : Высш. шк., 1975. – 375 с. – Библиогр.: с. 367-371 (111 назв.).
5. **Андреев В. А.** Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 391 с. – Библиогр.: с. 379- 383 (113 назв.).
6. **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 496 с. – Библиогр.: с. 485-491 (163 назв.).
7. **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : автореф. дис... д-ра техн. наук / В. А. Андреев ; Ульян. политехн. ин-т.– Новосибирск, 1993. – 45 с. – Библиогр.: с. 42-43 (48 назв.).

8. **Андреев В. А.** Управляемые плавкие предохранители / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин, А. Л. Плиско. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1995. – 202 с. – Библиогр.: с. 194-198 (66 назв.).
9. Живое слово о войне : (сб. стихов, прозы, воспоминаний, письма с фронта) / В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск : Симбир. кн., 1995. – 180 с. – Авт.: В. А. Андреев, Б. Н. Бызов, В. А. Егоров и др.
10. Они сражались за Родину : (1945 - 1995 гг. : 50 лет Победы) / отв. за вып. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 1995. – 108 с.
11. **Андреев В. А.** Короткие замыкания и перегрузки в сетях напряжением до 1 кВ и защита от них : учеб. пособие / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск : УлГТУ, 1996. – 87 с. – Библиогр.: с. 86 (19 назв.).
12. Мы как прежде в строю : (сб. стихов ветеранов войн и Вооруженных Сил) / [В. А. Андреев, Б. Н. Бызов, В. Е. Винокуров, А. Г. Гуревич, В. С. Емелин, Т. А. Калинин, Л. М. Постников]. – Ульяновск : Симбир. кн., 1996. – 162 с.
13. **Андреев В. А.** Времена года : (стихи) / В. А. Андреев. – Ульяновск : Симбир. кн., 1997. – 159 с.
14. Университетская панорама : поэтический альманах / В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск : УлГТУ, 1997. – 306 с. – Авт.: В. А. Андреев, Г. Ф. Афанасьев, А. А. Гужавин и др.
15. **Андреев В. А.** Исследование, разработка и внедрение устройств комплексной автоматизации систем электроснабжения – единый процесс научной и учебной работы / В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – 141 с. – Библиогр.: с. 132-139 (94 назв.).
16. **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учеб. пособие. Разд. 1 / В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 2000. – 283 с. – Библиогр.: с. 279-280 (29 назв.).

17. **Андреев В. А.** Расчет режимов и релейная защита воздушных линий электрических сетей напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск : УлГТУ, 2001. – 103 с. – Библиогр.: с. 96-102 (89 назв.).

18. **Андреев В. А.** Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах : учеб. пособие / В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 2001. – 164 с. – Библиогр.: с. 162 (14 назв.).

19. **Андреев В. А.** Пути совершенствования защиты электрических сетей с изолированной нейтралью / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск : УлГТУ, 2002. – 147 с. – Библиогр.: с. 143-147 (47 назв.).

20. Бойцы вспоминают минувшие дни, 1945-2005. 60 лет Победы / отв. за вып. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 2005. – 136 с.

21. **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с. – Библиогр.: с. 625-634 (223 назв.).

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

22. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : сб. лаб. работ / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлПИ, 1989. – 52 с. – Библиогр.: с. 51 (2 назв.).

23. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : метод. указ. к комплексному курсовому и дипломному проектированию / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – 100 с. – Библиогр.: с.93-94 (15 назв.).

24. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : сб. заданий и справ. материалы для курсовой работы студентов спец. 10.04 / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – 20 с.

25. **Андреев В. А.** Обучающая программа «РНТ-565» / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Макаров. – М. : ВНИИВО, 1992.

26. **Андреев В. А.** Программа определения сопротивлений воздушных линий напряжением до 1 кВ для расчета несимметричных режимов / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов. – М. : ВНИИВО, 1992.
27. **Андреев В. А.** Программа расчета режимов воздушных линий напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов. – М. : ВНИИВО, 1992.
28. Программа расчета токов однофазного КЗ на ВЛ - 0,38 кВ / В. А. Андреев [и др.]. – М. : ВНИИВО, 1992. – Авт.: В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин, Е. Денисова.
29. **Андреев В. А.** Методические указания и программа для определения параметров и характеристик асинхронного электродвигателя по каталожным данным / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – М.: ВНИИВО, 1994.
30. **Андреев В. А.** Методические указания и программа для определения параметров и характеристик синхронного электродвигателя по каталожным данным / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – М. :ВНИИВО, 1994.
31. **Андреев В. А.** Методические указания по расчету индивидуального выбега электродвигателя и программа для расчета на ЭВМ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – М. : ВНИИВО, 1994.
32. **Андреев В. А.** Методические указания по расчету переходного процесса в синхронном генераторе при 3-х фазном КЗ и программа для выполнения расчета на ЭВМ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – М. : ВНИИВО, 1994.
33. **Андреев В. А.** Основы автоматизированных систем управления электроснабжением : краткий цикл лекций / В. А. Андреев. – Ульяновск : УлПИ, 1994. – 65 с.

34. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : сб. лаб. работ : метод. указания / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 1997. – 48 с. – Библиогр.: с. 48 (2 назв.).

35. Основы автоматизированных систем управления электроснабжением : метод. указания : (краткий цикл лекций) / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 1997. – 75 с.

36. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : сб. заданий и справ. материалы для курсового проекта / сост. В. А. Андреев. – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – 24 с. – Библиогр.: с. 41 (2 назв.).

37. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : метод. указания к лаб. работам / сост. : В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, А. Л. Дубов. – 2-е изд. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. – 41 с. – Библиогр.: с. 41 (2 назв.).

### 3. СТАТЬИ

38. **Андреев В. А.** Влияние емкостной проводимости линий электропередач на зоны каскадного действия поперечных дифференциальных защит / В. А. Андреев // Труды Фрунз. политехн. ин-та. – Фрунзе, 1957. – Вып. 1. – С. 41-46. – Библиогр.: 4 назв.

39. **Андреев В. А.** Использование одноэлементного реле направления мощности в качестве пускового органа и органа направления в комплекте от междуфазовых замыканий поперечной дифференциальной направленной защиты двух параллельных линий / В. А. Андреев // Труды Фрунз. политехн. ин-та. – Фрунзе, 1957. – Вып. 1. – С. 47-53. – Библиогр.: 3 назв.

40. **Андреев В. А.** Комбинированная поперечная дифференциальная защита двух параллельных линий / В. А. Андреев // Труды ин-та энергетики и водного хоз-ва АН Кирг. СССР. – Фрунзе, 1957. – Вып. 4. – С. 207-213. – Библиогр.: 2 назв.

41. **Андреев В. А.** Балансная токовая защита трех параллельных линий / В. А. Андреев // Электричество. – 1958. – N 1. – С. 39-44. – Библиогр.: 6 назв.
42. **Андреев В. А.** О выборе момента балансного токового реле для защиты двух параллельных линий / В. А. Андреев // Сборник материалов третьей науч.-техн. конф. – Фрунзе : ФПИ, 1958. – С. 105-111. – Библиогр.: 3 назв.
43. **Андреев В. А.** Схемы поперечной дифференциальной защиты двух параллельных линий, обладающие селективностью при сложных повреждениях с обрывами / В. А. Андреев // Известия вузов. Энергетика. – 1958. – N 5. – С. 1-10. – Библиогр.: 3 назв.
44. **Андреев В. А.** Максимальная токовая защита с пуском напряжения обратной последовательности / В. А. Андреев // Сборник материалов четвертой науч.-техн. конф. – Фрунзе : ФПИ, 1959. – С. 12-14. – Библиогр.: 3 назв.
45. **Андреев В. А.** Рецензия на монографию: Фабрикант В. Л. Теория обмотки реле переменного тока (М., 1958) / В. А. Андреев // Электричество. – 1959. – N 1. – С. 94-95.
46. **Андреев В. А.** Некоторые особенности релейной защиты Чехословакии / В. А. Андреев // Энергетика - механика - физика - математика. – Фрунзе, 1962. – С. 7-14. – (Труды Фрунз. политехн. ин-та ; вып. 6).
47. **Андреев В. А.** Токовая защита, выполненная первичными реле прямого действия / В. А. Андреев // Энергетика - механика - физика - математика. – Фрунзе, 1962. – С. 89-105. – Библиогр.: 2 назв.
48. **Андреев В. А.** Сравнительный анализ пусковых органов поперечной дифференциальной направленной защиты двух параллельных линий / В. А. Андреев // Труды Фрунз. политехн. ин-та. – Фрунзе, 1964. – Вып. 10. – С. 3-19. – Библиогр.: 7 назв.

49. **Андреев В. А.** Устройство, исключющее столкновение электротягачей подвесных монорельсовых дорог / В. А. Андреев, Г. В. Логинов // Машиностроение, электроприборостроение. – Саратов, 1966. – С. 68-71. – Библиогр.: 2 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 3, вып. 1).
50. **Андреев В. А.** Автоматическое регулирование режима плавильной установки / В. А. Андреев, Г. В. Логинов, А. Б. Пантелеев // Машиностроение, электроприборостроение. – Саратов, 1968. – С. 142-158. – Библиогр.: 6 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 3, вып. 2).
51. **Андреев В. А.** К вопросу создания автомата обратной мощности / В. А. Андреев, В. С. Емельяненко, С. Г. Желателев // Машиностроение, электроприборостроение. – Ульяновск, 1968. – С. 196-199. – Библиогр.: 5 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 4, вып. 2).
52. О целесообразности применения управляемых предохранителей / В. Л. Фабрикант [и др.] // Электричество. – 1968. – № 8. – С. 66-69. – Библиогр.: 6 назв. – Авт.: В. Л. Фабрикант, В. А. Андреев, Я. Ф. Кузьмин, В. М. Блок, Г. В. Логинов, А. Я. Зотов.
53. **Андреев В. А.** Определение минимально допустимого коэффициента торможения балансной защиты / В. А. Андреев // Машиностроение, электроприборостроение. – Ульяновск, 1968. – С. 137-142. – Библиогр.: 1 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 3, вып. 2).
54. **Андреев В. А.** Пути повышения отключающей способности выключателя нагрузки типа ВН-16 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Машиностроение, электроприборостроение. – Ульяновск, 1968. – С. 190-195. – Библиогр.: 4 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 4, вып. 2).
55. **Андреев В. А.** Схемы автоматического управления подвесной монорельсовой дорогой / В. А. Андреев, Г. В. Логинов // Автоматические измерительные и регулирующие устройства : науч. тр. вузов Поволжья. – Куйбышев, 1968. – Вып. 4. – С. 288-299. – Библиогр.: 3 назв.

56. **Андреев В. А.** Управляемый предохранитель с механическим разрывом плавкой вставки / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Машиностроение, электроприборостроение. – Ульяновск, 1968. – С. 186-189. – Библиогр.: 5 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 4, вып. 2).
57. Автоматический выключатель на базе предохранителей типа ПСН-35 / В. А. Андреев [и др.] // Системы электропривода и автоматики. – Куйбышев, 1969. – С. 169-173. – Библиогр.: 2 назв. – Авт.: В. А. Андреев, А. Я. Зотов, Г. В. Логинов, Б. А. Збарский.
58. **Андреев В. А.** Использование рентгеновских лучей для исследования коммутационных процессов в патронах управляемых предохранителей типа УПСН / В. А. Андреев, Б. А. Збарский, А. Я. Зотов // Системы электропривода и автоматики. – Куйбышев, 1969. – С. 174- 178. – Библиогр.: 2 назв.
59. **Андреев В. А.** Особенности теплового режима управляемого предохранителя, выполненного на основе ПСН-35 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, Б. А. Збарский // Системы электропривода и автоматики. – Куйбышев, 1969. – С. 155-161. – Библиогр.: 1 назв.
60. **Андреев В. А.** Управляемый предохранитель в схемах подстанций без выключателей на высоком напряжении / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Системы электропривода и автоматики. – Куйбышев, 1969. – С. 162-168. – Библиогр.: 5 назв.
61. **Андреев В. А.** К вопросу об исследовании удельной повреждаемости выключателей / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, А. П. Федоров // Электрические станции. – 1970. – N 6. – С. 44-47. – Библиогр.: 5 назв.
62. **Андреев В. А.** Предохранитель-выключатель с фотомеханическим приводом на базе стреляющих предохранителей типа ПСН-35 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Машиностроение, электроприборостроение. – Ульяновск, 1970. – С. 105-106. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 5, вып. 1).

63. **Андреев В. А.** Испытание модели управляемого низковольтного предохранителя с механическим разрывом плавкой вставки / В. А. Андреев, В. К. Антонов, А. Л. Плиско // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 149-150.
64. **Андреев В. А.** К вопросу экономической эффективности и надежности сельских распределительных сетей с применением УПСН-35 кВ / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, А. П. Федоров // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 141-142.
65. **Андреев В. А.** Некоторые вопросы релейной защиты понизительных подстанций 35/10 кВ при применении УПСН-35 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 143-144.
66. О целесообразности применения управляемых предохранителей : (ответ авторов) / В. Л. Фабрикант [и др.] // *Электричество.* – 1971. – № 5. – С. 93-94. – Библиогр.: 6 назв. – Авт: В. Л. Фабрикант, В. А. Андреев, Я. Ф. Кузьмин, В. М. Блок, Г. В. Логинов, А. Я. Зотов.
67. **Андреев В. А.** Расчет некоторых характеристик дугогасящего устройства с автогазовым дутьем / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 148-149.
68. **Андреев В. А.** Теоретические предпосылки и опытное определение защитных характеристик УПСН-35 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, М. М. Наумов // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 138-139.
69. **Андреев В. А.** Теоретическое определение тепловых характеристик УПСН-35 / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, Л. Н. Мармер // *Материалы 6 науч.-техн. конф.* – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 145-146.
70. Аналитический метод выбора открытых плавких вставок / В. А. Андреев [и др.] // *Электрооборудование и автоматизация промышленных установок.* – Ульяновск, 1972. – С. 13-21. – Библиогр.: 2 назв. – (Труды

Ульян. политехн. ин-та ; т. 18, вып. 1). – Авт.: В. А. Андреев, Ф. Н. Гринин, А. Я. Зотов, А. П. Федоров.

71. **Андреев В. А.** Гашение дуги в гасительных камерах стреляющих предохранителей / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский, М. М. Наумов // Электрооборудование и автоматизация промышленных установок. – Ульяновск, 1972. – С. 3-6. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 18, вып. 1).

72. **Андреев В. А.** К вопросу гашения дуги в дугогасительных устройствах с автогазовым дутьем / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский // Приборостроение. – Ульяновск, 1972. – С. 49-53. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 16).

73. К вопросу о выборе типа секционирующего устройства в радиальной электрической сети / В. А. Андреев [и др.] // Электрооборудование и автоматизация промышленных установок. – Ульяновск, 1972. – С. 22-29. – Библиогр.: 3 назв. – (Труды Ульян. политехн. ин-та ; т. 18, вып. 1). – Авт.: В. А. Андреев, Ф. Н. Гринин, А. Я. Зотов, А. П. Федоров.

74. **Гринин Ф. Н.** Опыт эксплуатации управляемых предохранителей УПСН-35 / Ф. Н. Гринин, А. Я. Зотов, В. А. Андреев // Электрические станции. – 1972. – № 6. – С. 69-71. – Библиогр.: 3 назв.

75. Выбор и опыт эксплуатации плавких вставок новой конструкции для предохранителей ПСН-35 / В. А. Андреев [и др.] // Электрические станции. – 1973. – № 4. – С. 87-88. – Авт.: В. А. Андреев, Ф. Н. Гринин, А. Я. Зотов, А. П. Федоров.

76. **Андреев В. А.** Управляемый предохранитель УПСН-35 и экономическая эффективность его применения / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, А. П. Федоров // Электричество. – 1973. – № 5. – С. 86-88. – Библиогр.: 4 назв.

77. **Андреев В. А.** Защитная характеристика управляемого предохранителя УПК-10 / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин //

Приборостроение : межвуз. сб. статей. – Куйбышев, 1975. – Т. 9, вып. 1. – С. 52-57. – Библиогр.: 3 назв.

78. **Андреев В. А.** Об улучшении характеристик предохранителей для защиты маломощных трансформаторов / В. А. Андреев, А. В. Булычев, Ю. С. Крежевский // Электрические станции. – 1975. – N 2. – С. 62-63. – Библиогр.: 4 назв.

79. **Андреев В. А.** Управляемый кварцевый предохранитель и его применение / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин // Электрические станции. – 1975. – N 7. – С. 49-51. – Библиогр.: 4 назв.

80. **Андреев В. А.** К вопросу совершенствования управляемых предохранителей типа УПСН / В. А. Андреев, А. С. Енин // Известия вузов. Энергетика. – 1979. – N 4. – С. 37-40. – Библиогр.: 1 назв.

81. **Андреев В. А.** Выставка научного и технического творчества / В. А. Андреев // Вестник высшей школы. – 1980. – N 9. – С. 40-47.

82. **Андреев В. А.** Быстродействующая защита сельских линий напряжением 10 кВ / В. А. Андреев, Ю. М. Марулин // Известия вузов. Энергетика. – 1981. – N 7. – С. 16-20. – Библиогр.: 3 назв.

83. **Андреев В. А.** Устройство телесигнализации для сельских распределительных сетей / В. А. Андреев, А. А. Долгов, А. С. Енин // Известия вузов. Энергетика. – 1981. – N 6. – С. 29-32. – Библиогр.: 2 назв.

84. **Андреев В. А.** Области применения различных модификаций управляемых предохранителей на подстанциях упрощенного типа / В. А. Андреев, А. Л. Плиско // Известия вузов. Энергетика. – 1982. – N 7. – С. 86-88. – Библиогр.: 5 назв.

85. Повышение надежности распределительных сетей сельскохозяйственного назначения / В. А. Андреев [и др.] // Применение математических методов и вычислительной техники в энергосистемах : межвуз. сб. – Свердловск, 1982. – С. 111-116. – Библиогр.: 8 назв. – Авт.:

В. А. Андреев, В. А. Бабарушкин, В. П. Богданов, А. С. Енин, Ю. М. Марулин.

86. **Андреев В. А.** Рецензия на учебник «Элементы автоматических устройств» (В. Л. Фабрикант [и др.]. – М., 1981) / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко // Известия вузов. Энергетика. – 1983. – N 5. – С. 118-119.

87. **Андреев В. А.** Выбор плавких вставок стреляющих предохранителей и определение области их применения в качестве защиты трансформаторов / В. А. Андреев // Известия вузов. Энергетика. – 1984. – N 3. – С. 16-21. – Библиогр.: 6 назв.

88. **Андреев В. А.** О выборе материала диэлектрической втулки и жидкого металла для самовосстанавливающихся предохранителей / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский, А. В. Кузнецов // Известия вузов. Электромеханика. – 1984. – N 11. – С. 84-89. – Библиогр.: 3 назв.

89. **Андреев В. А.** Пути совершенствования систем телеотключения упрощенных подстанций / В. А. Андреев, А. А. Долгов, А. С. Енин // Известия вузов. Электромеханика. – 1984. – N 5. – С. 112-114. – Библиогр.: 2 назв.

90. **Андреев В. А.** Контроль изоляции в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью без использования трансформатора напряжения / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Л. С. Бондаренко // Известия вузов. Энергетика. – 1985. – N 4. – С. 8-13. – Библиогр.: 5 назв.

91. Световая система управления автогазовыми выключателями (управляемыми предохранителями) / В. А. Андреев [и др.] // Известия вузов. Энергетика. – 1986. – N 2. – С. 42-45. – Библиогр.: 4 назв. – Авт.: В. А. Андреев, А. С. Енин, А. Л. Плиско, И. У. Никоненко.

92. Бестрансформаторное устройство контроля изоляции / В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск : ЦНТИ, 1987. – 2 с. – (Информ. листок ; N 141-87). – Авт.: В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Л. С. Бондаренко, Ф. Н. Гринин.

93. **Андреев В. А.** Основные проблемы создания жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей и возможная область их применения / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – N 6. – С. 42-44. – Библиогр.: 5 назв.
94. **Андреев В. А.** Устройство защиты на основе самовосстанавливающихся предохранителей / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов. – Ульяновск : ЦНТИ, 1987. – 2 с. – (Информ. листок ; N 30-87).
95. **Андреев В. А.** Учить самостоятельности : (о статье Р. И. Борисова «Каким быть инженеру – электроэнергетику») / В. А. Андреев // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – N 9. – С. 124-125.
96. **Андреев В. А.** Сквозное комплексное курсовое проектирование – элемент перестройки учебного процесса по специальности «Электроснабжение пром. предприятий, городов и с.-х.» / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, В. Ф. Шишкин // Известия вузов. Энергетика. – 1988. – N 5. – С. 116-119.
97. **Андреев В. А.** Состояние, использование и пути совершенствования плавких предохранителей как устройств защиты / В. А. Андреев // Релейная защита и автоматика электрических систем : сб. науч. тр. – Рига, 1988. – С. 58-76.
98. **Андреев В. А.** Влияние заземляющих устройств нулевого провода на токи нулевой последовательности в воздушных сетях напряжением 0,35 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Электричество . – 1989. – N 12. – С. 54-56. – Библиогр.: 5 назв.
99. **Андреев В. А.** По поводу статьи «К вопросу о сопротивлениях нулевой последовательности ВЛ 0,4 кВ» / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Промышленная энергетика. – 1989. – N 7. – С. 52-54.
100. **Андреев В. А.** Защита воздушных линий напряжением 0,38 кВ от обрывов и замыканий между фазным и нулевым проводами / В. А. Андреев, А. Л. Дубов // Электроснабжение и электрооборудование

отраслей народного хозяйства : сб. науч. тр. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – С.52-56. – Библиогр.: 6 назв.

101. **Андреев В. А.** Защита тиристорных аппаратов управления с помощью самовосстанавливающихся предохранителей / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов // Промышленная энергетика. – 1990. – N 5. – С. 24-27. – Библиогр.: 2 назв.

102. **Андреев В. А.** Методика определения параметров схемы нулевой последовательности воздушных линий 0,38 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Промышленная энергетика. – 1990. – N 8. – С. 26-27. – Библиогр.: 6 назв.

103. **Андреев В. А.** Программа расчета режимов электрической сети напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск : ЦНТИ, 1990. – 2 с. – (Информ. листок ; N 31-90).

104. **Андреев В. А.** Симметрирование нагрузок в электрических сетях напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Электроснабжение и электрооборудование отраслей народного хозяйства : сб. науч. тр. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – С. 32-34. – Библиогр.: 1 назв.

105. **Андреев В. А.** Функциональная схема и расчет параметров защиты на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей для полупроводниковых аппаратов управления / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов // Повышение эффективности использования энергоресурсов Поволжья : межвуз. науч. сб. – Саратов, 1990. – С. 97-102. – Библиогр.: 5 назв.

106. **Андреев В. А.** Анализ быстродействия жидкометаллических и обычных предохранителей / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов // Промышленная энергетика. – 1991. – N 12. – С. 22-25. – Библиогр.: 4 назв.

107. **Андреев В. А.** Методика расчета режимов воздушных линий 0,38 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Промышленная энергетика. – 1991. – N 2. – С. 27-29. – Библиогр.: 9 назв.

108. **Андреев В. А.** Учет заземляющих устройств нулевого провода в расчетах токов однофазного КЗ ВЛ 0,38 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Известия вузов. Энергетика. – 1991. – N 3. – С. 15-20. – Библиогр.: 5 назв.
109. **Андреев В. А.** О двух монографиях по технике автоматического управления и защиты электроэнергетических систем / В. А. Андреев, Ф. Е. Темников // Электричество. – 1992. – N 9. – С. 68-69. – Библиогр.: 3 назв.
110. **Андреев В. А.** О целесообразности применения токовой защиты обратной последовательности на ВЛ 0,38 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Промышленная энергетика. – 1993. – N 4. – С. 31-33. – Библиогр.: 8 назв.
111. **Андреев В. А.** [Рецензия] / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко // Промышленная энергетика. – 1993. – N 3. – С. 51. – Рец. на кн.: Л. Т. Магазинник. Эксплуатация и монтаж электрооборудования электроснабжения. – Ульяновск, 1990.
112. **Андреев В. А.** Оптимизация защитных характеристик предохранителей на напряжение 35 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Промышленная энергетика. – 1994. – N 9. – С. 27-32. – Библиогр.: 3 назв.
113. **Андреев В. А.** По поводу статьи «Распределение токов нулевой последовательности в фидерах, отходящих от общего распределительного пункта, при замыканиях на землю» / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Промышленная энергетика. – 1994. – N 8. – С. 51-52.
114. **Андреев В. А.** О дистанционном замере токов в воздушных четырехпроводных линиях 0,4 кВ / В. А. Андреев, Л. Ф. Овсиенко // Промышленная энергетика. – 1995. – N 7. – С. 26-29. – Библиогр.: 6 назв.
115. **Андреев В. А.** Алгоритм процесса установившегося неполнофазного режима асинхронного двигателя / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л.

Дубов // Вопросы теории и проектирования электрических машин : сб. науч. тр. – Ульяновск : УлГТУ, 1996. – С. 149-153. – Библиогр.: 2 назв.

116. **Андреев В. А.** О новом ГОСТе 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ» / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Промышленная энергетика. – 1996. – N 11. – С. 31-36. – Библиогр.: 4 назв.

117. **Андреев В. А.** По поводу статьи «О поперечной защите параллельных линий» / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Промышленная энергетика. – 1996. – N6. – С. 40-44.

118. **Андреев В. А.** Повышение надежности и экономичности систем электроснабжения путем совершенствования устройств автоматики и защиты / В. А. Андреев // Вестник Ульяновского технического университета. – 1997. – Юбил. вып. – С. 42-59. – Библиогр.: 27 назв.

119. **Андреев В. А.** Быстродействующий цифровой пусковой орган устройства автоматического повторного включения (УАВР) / В. А. Андреев, Н. И. Овчаренко // Научно-технический калейдоскоп. Сер.: Энергетика и транспорт. – Ульяновск, 1999. – N 1. – С. 21-27. – Библиогр.: 6 назв.

120. **Андреев В. А.** Выбор пускового органа УАВР, обеспечивающего наибольшее быстродействие при потере питания синхронных электродвигателей / В. А. Андреев, Л. Ф. Овсиенко // Электроника, приборостроение, электроэнергетика : межвуз. сб. науч. тр. – Ульяновск : УлГТУ, 2000. – С. 10-13. – Библиогр.: 2 назв.

121. **Андреев В. А.** Из истории движения сторонников мира / В. А. Андреев // Мир и согласие. – М., 2000. – Спец. вып.

122. **Андреев В. А.** Обеспечение динамической устойчивости синхронных электродвигателей путем совершенствования устройства АВР / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Вопросы теории и проектирования

электрических машин : сб. науч. тр. – Ульяновск : УлГТУ, 2000. – С. 38-43. – Библиогр.: 2 назв.

123. **Андреев В. А.** Обоснование времени действия устройств автоматического включения резерва, установленных на подстанциях с синхронной нагрузкой / В. А. Андреев, Л. Ф. Овсиенко, Ю. П. Свиридов // Вестник Ульяновского технического университета. Сер.: Приборостроение, электроника, энергетика. – 2000. – N 1. – С. 46-51. – Библиогр.: 3 назв.

124. **Андреев В. А.** Цифровое направленное реле сопротивления прямой последовательности без мертвой зоны / В. А. Андреев, Н. И. Овчаренко // Электротехника. – 2001. – N 5. – С. 32-34. – Библиогр.: 2 назв.

125. **Андреев В. А.** Электрификация Ульяновской области и подготовка инженеров-электриков в Ульяновском государственном техническом университете / В. А. Андреев, М. А. Боровиков // Электротехника. – 2001. – N 5. – С. 1-2.

126. **Андреев В. А.** Проблемы повышения надежности электроснабжения потребителей напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев // Научно-технический калейдоскоп. – Ульяновск, 2002. – N 3. – С. 9-13. – Библиогр.: 13 назв.

127. **Андреев В. А.** К расчету чувствительности защит асинхронных электродвигателей от несимметричных режимов / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Вопросы теории и проектирования электрических машин. Математическое моделирование электромеханических процессов : сб. науч. тр. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. – С. 132-134. – Библиогр.: 3 назв.

#### **4. ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

128. **Андреев В. А.** К вопросу о создании автоматов обратной мощности / В. А. Андреев, В. С. Емельяненко // Материалы науч.-техн. конф., посвященной 50-летию Советской власти. – Ульяновск : УлПИ, 1967.– С. 47-48.

129. **Андреев В. А.** О путях создания управляемых предохранителей / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Материалы науч.-техн. конф., посвященной 50-летию Советской власти. – Ульяновск : УлПИ, 1967. – С. 46-47.
130. **Андреев В. А.** Пути создания управляемых предохранителей / В. А. Андреев, А. Я. Зотов // Тезисы докл. 1 респ. науч.-техн. конф. по энергетике, автоматике и электронике. – Алма-Ата, 1967. – С. 30.
131. **Андреев В. А.** Экономичность и надежность распределительных сетей 35-110 кВ при применении управляемых предохранителей / В. А. Андреев, А. Я. Зотов, А. П. Федоров // Материалы респ. науч.-техн. конф. по вопросу оптимизации, развития и эксплуатации энергосистем : тез. докл. – Павлодар, 1969. – С. 51-52.
132. **Андреев В. А.** Исследование возможности повышения отключающей способности предохранителей с автогазовым дутьем / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский // Тезисы докл. 7 науч.-техн. конф., посвященной 24 съезду КПСС. – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 152.
133. **Андреев В. А.** Управляемый низковольтный предохранитель и некоторые данные его испытаний / В. А. Андреев, В. К. Антонов // Тезисы докл. 7 науч.-техн. конф., посвященной 24 съезду КПСС. – Ульяновск : УлПИ, 1971. – С. 150.
134. **Андреев В. А.** Возможная область применения управляемого низковольтного предохранителя / В. А. Андреев, В. К. Антонов, Д. С. Александров // Тезисы докл. 8 науч.-техн. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1972. – С. 182-186.
135. **Андреев В. А.** Исследование возможности расширения диапазона отключаемых токов плавкими предохранителями типа ПК / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин // Тезисы докл. 8 науч.-техн. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1972. – С. 180-181.
136. **Андреев В. А.** Тепловой расчет стреляющего предохранителя / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский // Тезисы докл. 8 науч.-техн. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1972. – С. 181-182.

137. **Андреев В. А.** Повышение надежности электроснабжения путем применения самовосстанавливающихся предохранителей / В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский, А. В. Кузнецов // Эффективность и качество электроснабжения промышленных предприятий : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. семинара. – Жданов, 1983. – С. 236-238.

138. **Андреев В. А.** О повышении надежности и экономичности систем электроснабжения до 1000 В с тиристорными аппаратами управления путем применения жидкометаллических предохранителей / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов // Состояние и перспективы развития электротехнологии : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Иваново, 1985. – Т. 2. – С. 66-67.

139. **Андреев В. А.** Организация самостоятельной работы студентов четвертого курса спец. «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и с.-х.» по подготовке к лабораторным работам / В. А. Андреев, А. Л. Дубов // Проблемы повышения качества преподавания в техническом вузе : тез. докл. науч.-метод. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1987. – С. 82-83.

140. **Андреев В. А.** Сквозное комплексное курсовое проектирование – элемент перестройки учебного процесса по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и с.-х.» / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, В. Ф. Шишкин // Проблемы повышения качества преподавания в техническом вузе : тез. докл. науч.-метод. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1987. – С. 76.

141. **Андреев В. А.** Влияние заземляющих устройств нулевого провода на чувствительность защиты от однофазных КЗ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов // Научно-технический прогресс и инженерное образование : тез. докл. 24 науч.-техн. конф. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – Ч. 2. – С. 13-14. – Библиогр.: 2 назв.

142. **Андреев В. А.** Необходимость и пути совершенствования защиты от однофазных КЗ в сетях напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов //

Повышение эффективности и качества электроснабжения : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. (г. Мариуполь). – Киев, 1990. – С. 167-168.

143. **Андреев В. А.** Математическое моделирование режимов электрических сетей напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Региональные проблемы повышения качества и экономии электроэнергии : тез. докл. науч.-практ. конф. – Астрахань, 1991. – С. 83-85. – Библиогр.: 1 назв.

144. **Андреев В. А.** Методика расчета токов однофазного КЗ в электрических сетях напряжением до 1 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Кибернетика электрических систем : тез. докл. XII сессии Всесоюз. науч. семинара. Секция «Электроснабжение промышленных предприятий». – Гомель, 1991. – С. 129-130. – Библиогр.: 2 назв.

145. **Андреев В. А.** Совершенствование защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ как один из путей повышения надежности электроснабжения / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Региональные проблемы повышения качества и экономии электроэнергии : тез. докл. науч.-практ. конф. – Астрахань, 1991. – С. 128.

146. **Андреев В. А.** О возможных значениях сопротивлений электрической дуги и их влиянии на уровни токов однофазного КЗ на ВЛ-0,38 кВ / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Тезисы докл. 26 науч.-техн. конф. (февр. 1992 г.). – Ульяновск : УлПИ, 1992. – С. 115-116. – Библиогр.: 1 назв.

147. **Андреев В. А.** Исследование и отыскание путей бесконтактного контроля тока на ВЛ-0,38 кВ / В. А. Андреев, Л. Ф. Овсиенко // Тезисы докл. 28 науч.-техн. конф. (февр. 1994 г.). – Ульяновск : УлПИ, 1994. – Ч. 1. – С. 5.

148. **Андреев В. А.** Об оптимизации использования вычислительной техники в учебном процессе / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Тезисы докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Астрахань, 1995.

149. **Андреев В. А.** Особенности расчета несимметричных режимов асинхронного двигателя / В. А. Андреев, А. Л. Дубов, В. Ф. Шишкин // Тезисы докл. 29 науч.-техн. конф. (февр.). – Ульяновск : УлГТУ, 1995. – Ч. 2. – С. 3-4.
150. **Андреев В. А.** О новом ГОСТе по расчету токов короткого замыкания / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Тезисы докл. 30 науч.-техн. конф. (февр.). – Ульяновск : УлГТУ, 1996. – Ч. 2. – С. 69-70. - Библиогр.: 2 назв.
151. **Андреев В. А.** Исследование и расчет входных воздействующих величин пускового органа быстродействующего устройства АВР / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Тезисы докл. 31 науч.-техн. конф. (январь-февраль). – Ульяновск : УлГТУ, 1997. – Ч. 3. – С. 3-4. – Библиогр.: 6 назв.
152. **Андреев В. А.** Самостоятельная работа студентов как важный фактор учебного процесса / В. А. Андреев, Л. Т. Магазинник, А. Л. Дубов // Проблемы высшей школы в условиях рыночных отношений : тез. докл. науч.-метод. конф., 30-31 окт., 1 нояб. 1996 г. – Ульяновск : УлГТУ, 1997. – С. 63-66.
153. **Андреев В. А.** О пусковых органах устройств АВР синхронных электроприводов насосных агрегатов / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин // Проблемы автоматизированного электропривода : тез. докл. 2 Междунар. (13 Всерос.) науч.-техн. конф., 23-25 сент. – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – С. 151-152.
154. **Андреев В. А.** Пакет программ для расчета параметров, характеристик и переходных режимов асинхронных и синхронных машин / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин, А. Л. Дубов // Проблемы автоматизированного электропривода : тез. докл. 2 Междунар. (13 Всерос.) науч.-техн. конф., 23-25 сент. – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – С. 111-113.
155. **Андреев В. А.** Повышение динамической устойчивости электроприводов насосных агрегатов / В. А. Андреев, Ю. П. Свиридов //

Проблемы автоматизированного электропривода : тез. докл 2 Междунар. (13 Всерос.) науч.-техн. конф., 23-25 сент. – Ульяновск : УлГТУ, 1998. – С. 38-39.

156. **Андреев В. А.** Функциональная схема быстродействующего устройства АВР электропотребителей с синхронной нагрузкой / В. А. Андреев // Тезисы докл. 34 науч.-техн. конф., 24 янв.-4 февр. –Ульяновск : УлГТУ, 2000. – Ч. 1. – С. 3. – Библиогр.: 1 назв.

### **5. ПАТЕНТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ**

157. **А. с. 108027 СССР.** Балансное токовое реле защиты трех параллельных линий / В. А. Андреев. – Зарег. 19.07.57.

158. **А. с. 108028 СССР.** Защита трех направленных линий / В. А. Андреев. – Зарег. 28.08.57.

159. **А. с. 266887 СССР, МПК Н 01 Н 33/76.** Высоковольтный автогазовый выключатель / В. А. Андреев, А. Я. Зотов. – N 1248595/24-7 ; заявл. 11.06.68 ; опубл. 01.04.70, Бюл. N 12.

160. **А. с. 377907 СССР, МКИ Н 01 Н 33/70.** Дугогасительное устройство / В. А. Андреев, Б. А. Збарский, Ю. С. Крежевский. – N 1455512/24-7 ; заявл. 29.06.70 ; опубл. 17.04.73, Бюл. N 18.

161. **А. с. 395920 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Предохранитель-выключатель / В. А. Андреев, В. К. Антонов. – N 1618427/24-7 ; заявл. 01.02.71 ; опубл. 28.08.73, Бюл. N 35.

162. **А. с. 438060 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Предохранитель-выключатель / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин. – N 1790123/24-7 ; заявл. 29.05.72 ; опубл. 30.07.74, Бюл. N 28.

163. **А. с. 514367 СССР, МКИ Н 01 Н 33/04 ; Н 01 Н 9/30.** Дугогасительное устройство / В. А. Андреев [и др.]. – N 1911128/24-7 ;

заявл. 25.04.73 ; опубл. 15.05.76, Бюл. N 18. – Авт.: В. А. Андреев, Ю. С. Крежевский, Б. А. Збарский, Ю. С. Алексеев.

164. **А. с. 518821 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Предохранитель-выключатель / В. А. Андреев, В. К. Антонов, Л. И. Винокуров. – N 2004663/24-7 ; заявл. 18.03.74 ; опубл. 25.06.76, Бюл. N 23.

165. **А. с. 524249 СССР, МКИ Н 01 Н 85/50.** Высоковольтный предохранитель-выключатель / В. А. Андреев [и др.]. – N 2086044/24-7 ; заявл. 19.12.74 ; опубл. 05.08.76, Бюл. N 29. – Авт.: В. А. Андреев, А. В. Булычев, Е. В. Бондаренко, Н. Р. Лаушкин.

166. **А. с. 543038 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Плавкий предохранитель / В. А. Андреев, В. К. Антонов, Ю. С. Крежевский. – N 2190303/07 ; заявл. 19.11.75 ; опубл. 15.01.77, Бюл. N 2.

167. **А. с. 588577 СССР, МКИ Н 01 Н 85/02.** Высоковольтный предохранитель / В. А. Андреев [и др.]. – N 2081130/24-7 ; заявл. 03.12.74 ; опубл. 15.01.78, Бюл. N 2. – Авт.: В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин, А. В. Булычев, Е. В. Бондаренко.

168. **А. с. 604051 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36 ; Н 01 Н 85/12.** Предохранитель / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Н. Р. Лаушкин.– N 2101675/ 24-7 ; заявл. 28.01.75 ; опубл. 25.04.78, Бюл. N 15.

169. **А. с. 658620 СССР, МКИ Н 01 Н 85/02.** Высоковольтный предохранитель / В. А. Андреев, Н. Р. Лаушкин, Е. В. Бондаренко. – N 2478643/24-7 ; заявл. 25.04.77 ; опубл. 25.04.79, Бюл. N 15.

170. **А. с. 714537 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Предохранитель-выключатель / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов. – N 2597783/24-7 ; заявл. 03.04. 78 ; опубл. 05.02.80, Бюл. N 5.

171. **А. с. 736207 СССР, МКИ Н 01 Н 47/00.** Устройство для управления высоковольтным выключателем / В. А. Андреев, А. С. Енин. – N 2309185/24-7 ; заявл. 04.01.76 ; опубл. 25.05.80, Бюл. N 19.

172. **А. с. 743071 СССР, МКИ Н 01 Н 85/12.** ВысокОВОльтное предохранительное устройство / В. А. Андреев, Ю. М. Марулин, А. Л. Плиско. – N 2589798/24-7 ; заявл. 14.03.78 ; опубл. 25.06.80, Бюл. N 23.

173. **А. с. 769673 СССР, МКИ Н 02 Н 3/26; G 01 R 31/00.** Устройство для контроля и сигнализации состояния электрооборудования / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Н. Р. Лаушкин. – N 2647953/24-7 ; заявл. 24.07.77 ; опубл. 07.10.80, Бюл. N 37.

174. **А. с. 809428 СССР, МКИ Н 01 Н 85/04.** Инерционный предохранитель / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов. – N 2725394/24-7 ; заявл. 16.02.79 ; опубл. 28.02.81, Бюл. N 8.

175. **А. с. 884003 СССР, МКИ Н 01 Н 87/00 ; Н 01 Н 85/12.** Жидкометаллический предохранитель / В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Ю. С. Крежевский. – N 2895665/24-7 ; заявл. 18.03.80 ; опубл. 23.11.81, Бюл. N 43.

176. **А. с. 888242 СССР, МКИ Н 01 Н 85/36.** Предохранитель-выключатель / В. А. Андреев, А. В. Кузнецов. – N 2837887/24-7 ; заявл. 12.11.79 ; опубл. 07.12.81, Бюл. N 45.

177. **А. с. 890478 СССР, МКИ Н 01 Н 87/00 ; Н 01 Н 85/12.** Жидкометаллический предохранитель / В. А. Андреев [и др.]. – N 2889641/24-7 ; заявл. 06.03.80 ; опубл. 15.12.81, Бюл. N 46. – Авт.: В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Ю. С. Крежевский, А. Ф. Кузьмин, О. В. Петинoв, Г. В. Уфаев.

178. **А. с. 892520 СССР, МКИ Н 01 Н 87/00 ; Н 01 Н 85/12.** Жидкометаллический предохранитель / В. А. Андреев [и др.]. – N 2914676/24-7 ; заявл. 22.04.80 ; опубл. 23.12.81, Бюл. N 47. – Авт.: В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Ю. С. Крежевский, А. Ф. Кузьмин.

179. **А. с. 902100 СССР, МКИ Н 01 Н 87/00 ; Н 01 Н 85/12.** Жидкометаллический предохранитель / В. А. Андреев [и др.]. – N

2914675/24-7 ; заявл. 22.04.80 ; опубл. 30.01.82, Бюл. N 4. – Авт.: В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Ю. С. Крежевский, А. В. Кузнецов.

180. **А. с. 1065927 СССР, МКИ Н 01 Н 85/02.** Плавкий предохранитель / В. А. Андреев, В. К. Антонов, Е. В. Бондаренко.– N 3508870/24-7 ; заявл. 09.11.82 ; опубл. 07.01.84, Бюл. N 1.

181. **А. с. 1192023 СССР, МКИ Н 02 Н 7/10.** Устройство для защиты тиристора / В. А. Андреев [и др.]. – N 3676176/24-7 ; заявл. 17.10.83 ; опубл. 15.11.85, Бюл. N 42. – Авт.: В. А. Андреев, Е. В. Бондаренко, Ю. С. Крежевский, А. В. Кузнецов.

182. **А. с. 1417097 СССР, МКИ Н 02 Н 5/10.** Устройство для защиты линии электропередачи / В. А. Андреев [и др.]. – N 4181207/24-07 ; заявл. 12.01.87 ; опубл. 15.08.88, Бюл. N 30. – Авт.: В. А. Андреев, И. О. Карпов, А. Л. Дубов, Л. А. Буймистер.

## **6. ОТЧЕТЫ О НИР**

183. Исследование режимов работы характерных токоприемников и их защитных устройств в схеме электроснабжения до 1000 В Ульяновского автомобильного завода. Этапы 1-3 : отчет о НИР : 86/71 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. К. Антонов. – Ульяновск, 1973. – 57 с. – N ГР 71016788. – Инв. N Б326273.

184. Улучшение защитных характеристик и коммутационной способности защитных аппаратов распределительных сетей 0,4-110 кВ : (доработка предохранителей УПСН-10, УПСН-35 с улучшенными характеристиками) : отчет о НИР : 15-12/73 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. : В. С. Емельяненко [и др.]. – Ульяновск, 1974. – 77 с. – N ГР 73063752. – Инв. N Б422795.

185. Улучшение защитных характеристик и коммутационной способности защитных аппаратов распределительных сетей 0,4-110 кВ : отчет о НИР : 023 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. : Е. В. Бондаренко [и др.]. – Ульяновск, 1975. – 52 с. – N ГР 73063753.

186. Улучшение защитных характеристик и коммутационной способности защитных аппаратов распределительных сетей 0,4-110 кВ. Этапы 1-5 : отчет о НИР : 023 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. : Е. В. Бондаренко [и др.]. – Ульяновск, 1975. – 62 с. – N ГР 73063753.

187. Исследование возможности повышения селективности и отключающей способности коммутационных аппаратов в схемах электроснабжения : отчет о НИР (промежуточ.) : 15-01 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. С. Енин [и др.]. – Ульяновск, 1978. – 67 с. – N ГР 77074062.

188. Повышение селективности и коммутационной способности защитных аппаратов в схемах электроснабжения напряжением 0,4-220 кВ : отчет о НИР (промежуточ.) : 15-01 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. Я. Зотов [и др.]. – Ульяновск, 1978. – 52 с. – N ГР 73063753.

189. Исследование возможности повышения селективности и отключающей способности защитных устройств в схемах электроснабжения : отчет о НИР (промежуточ.) : 15-01 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн.: Ю. М. Марулин [и др.]. – Ульяновск, 1979. – 107 с. – N ГР 77074062.

190. Исследование возможности повышения селективности и отключающей способности коммутационных аппаратов в схемах электроснабжения : отчет о НИР (заключ.) : 15-01 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев. – Ульяновск, 1980. – 48 с. – N ГР 77074062. – Инв. N Б962452.

191. Исследование возможности создания самовосстанавливающихся предохранителей в коммутационных аппаратах. Разработка макета опытной конструкции. Изготовление макета. Испытание макета : отчет о НИР (заключ.) : 15-127/ 80 / Ульянов. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. Ю. С. Крежевский. – Ульяновск, 1980. – 26 с. – N ГР 80842286. – Инв. N Б911711.

192. Улучшение защитных характеристик и коммутационной способности защитных аппаратов распределительной сети 0,4-110 кВ : (доработка предохранителей УПСН-10, УПСН-35 с улучшенными характеристиками. Исследование вопросов повышения надежности распределительных сетей и разработка рекомендаций для практического использования) : отчет о НИР : 15-4/76 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. Ю. М. Марулин [и др.]. – Ульяновск, 1980. – 107 с. – N ГР 73063752. – Инв. N Б909791.

193. Анализ технико-экономической эффективности быстродействующей защиты распределительной сети 10 кВ и обеспечение опытно-конструкторской разработки : отчет о НИР (заключ.) : 15-20/81 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн.: Ю. М. Марулин, А. Л. Плиско, С. А. Скороходов. – Ульяновск, 1981. – 31 с. – N ГР 81099352.

194. Исследование возможности повышения селективности и коммутационной способности защитных устройств и надежности систем электроснабжения : отчет о НИР (промежуточ.) : 66-01 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск, 1981. – 84 с. – N ГР 81035813.

195. Исследование возможности создания самовосстанавливающихся предохранителей в схемах электроснабжения промышленных предприятий : отчет о НИР (заключ.) : 15-16/81 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. В. Кузнецов [и др.]. – Ульяновск, 1981. – 66 с. – N ГР 81010946. – Инв. N 0282.60008307.

196. Исследование возможности повышения селективности и отключающей способности коммутационных аппаратов в схемах электроснабжения : отчет о НИР (промежуточ.) : 66-01 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. Е. В. Бондаренко [и др.]. – Ульяновск, 1982. – 81 с. – N ГР 81035813.

197. Повышение надежности систем электроснабжения объектов Ульяновского механического завода путем совершенствования устройств защиты и автоматики : отчет о НИР (заключ.) : 15-51/82 / Ульян. политехн.

ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. Ю. М. Марулин [и др.]. – Ульяновск, 1984. – 34 с. – N ГР 01830000723. – Инв. N 0284.0081005.

198. Повышение надежности работы электроустановок до 1 кВ комбината имени Гимова. Анализ поведения защит и разработка усовершенствованных устройств защиты : отчет о НИР (заключ.) : 15-67/82 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. С. Енин [и др.]. – Ульяновск, 1985. – 91 с. – N ГР 01820076279. – Инв. N 0286.0030058.

199. Разработка комплексных мероприятий по повышению надежности сельских распределительных сетей : отчет о НИР (заключ.) : 15-7/81 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. Л. Плиско [и др.]. – Ульяновск, 1985. – 89 с. – N ГР 81010949. – Инв. N 0286/0039233.

200. Повышение надежности и экономичности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования существующих и разработка новых устройств автоматики, защиты и коммутации : отчет о НИР (заключ.) : 66-01 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск, 1988. – 66 с. – N ГР 0186.0061025. – Инв. N 029.10008479.

201. Разработка комплексных мероприятий по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Ч. 1. Разработка комплексных мероприятий по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей первой и второй категории Радищевского района Ульяновской области : отчет о НИР (промежуточ.) : 15-71/86 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. Л. Плиско. – Ульяновск, 1989. – 29 с. + прил. – N ГР 0186.0061024. – Инв. N 0290.0015369.

202. Разработка комплексных мероприятий по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Ч. 1. Разработка комплексных мероприятий по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей первой и второй категории Старокулаткинского района Ульяновской области : отчет о НИР (промежуточ.) : 15-71/86 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ;

исполн. А. Л. Плиско. – Ульяновск, 1989. – 24 с. + прил. – N ГР 0186.0061024. – Инв. N 0290.0015369.

203. Повышение надежности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования и разработки устройств защиты и коммутации : отчет о НИР (промежуточ.) : 66-01 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. Ф. Шишкин [и др.]. – Ульяновск, 1990. – 40 с. – N ГР 01860061025. – Инв. N 029.10018282.

204. Повышение надежности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования и разработки устройств защиты и коммутации : отчет о НИР (заключ.) : 66-01 / Ульян. политехн. ин-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск, 1990. – 71 с. – N ГР 01860061025. – Инв. N 029.10026813.

205. Повышение надежности и экономичности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования существующих и разработки новых устройств автоматики, защиты и коммутации : отчет о НИР (заключ.) : 301-3101 / Ульян. гос. техн. ун-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. А. Л. Дубов [и др.]. – Ульяновск, 1996. – 22 с. – Инв. N 02960006174.

206. Повышение надежности и экономичности систем электроснабжения путем оптимизации их схем, совершенствования существующих и разработка новых устройств автоматики, защиты и коммутации. Анализ существующих и разработка более совершенных устройств АВР для подстанций с синхронной нагрузкой : отчет о НИР : 301-3101 / Ульян. гос. техн. ун-т ; рук. В. А. Андреев ; исполн. В. А. Андреев [и др.]. – Ульяновск, 2000. – 7 с. – N ГР 01960008674. – Инв. N 02200104428.

## 7. ГАЗЕТНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

207. **Андреев В. А.** Школа – вуз – школа : [что показали вступительные экзамены в политехническом институте] / В. А. Андреев и др.// Ульяновская правда. – 1968. – 16 окт.

208. **Андреев В. А.** Важнейшее звено учебного процесса / В. А. Андреев // За инженерные кадры. – 1969. – 4 апр. ; 11 апр. ; 25 апр. ; 30 апр. ; 9 мая ; 16 мая ; 23 мая.
209. **Андреев В. А.** Вуз семидесятых годов / В. А. Андреев // Известия. – 1970. – 15 окт.
210. **Андреев В. А.** Каким быть специалисту-энергетику : [к заседанию науч.-метод. Совета по высшему электроэнергетическому образованию] / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1975. – 1 июня.
211. **Андреев В. А.** Во имя мира и безопасности народов / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1976. – 29 авг.
212. **Андреев В. А.** Готовить специалистов – первейшая задача / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1976. – 21 апр.
213. **Андреев В. А.** Технический вуз и производство / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1976. – 25 янв.
214. **Андреев В. А.** На страже мира : [о работе обл. Комитета защиты мира] / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1978. – 25 окт.
215. **Андреев В. А.** Повышать эффективности вузовской науки / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1978. – 2 дек.
216. **Андреев В. А.** Во имя мира / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1979. – 23 апр.
217. **Андреев В. А.** Твори, выдумывай, пробуй : [к открытию Поволж. зон. выставки науч.-техн. творчества студентов] / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1979. – 18 нояб.
218. **Андреев В. А.** Торжество ленинской политики мира / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1979. – 19 сент.

219. **Андреев В. А.** Форум советских сторонников мира / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1979. – 23 дек.
220. **Андреев В. А.** Программа мира – в действии / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1980. – 19 сент.
221. **Андреев В. А.** Четвертая Всероссийская / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1980. – 17 мая.
222. **Андреев В. А.** В сердцах людей / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1981. – 6 июня.
223. **Андреев В. А.** Сохраним мир на Земле / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1982. – 4 мая.
224. **Андреев В. А.** Становление : [к 25-летию УлПИ] / В. А. Андреев // За инженерные кадры. - 1982. – 2 июня.
225. **Андреев В. А.** За мир и жизнь против войны / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1983. – 18 мая.
226. Очень тонкая и сложная технология : [беседа с В. А. Андреевым о студенческой науке и подготовке специалистов] // Ульяновская правда. – 1985. – 3 окт.
227. **Андреев В. А.** Развеять образ врага / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1989. – 25 июня.
228. «Бойцы вспоминают минувшие дни...» / В. А. Андреев, В. М. Чеботарев, В. П. Кононченко // За инженерные кадры. – 1990. – 9 мая.
229. **Андреев В. А.** О проекте Устава Ульяновского политехнического института / В. А. Андреев // Ульяновский политехник. – 1992. – 9 янв.
230. **Андреев В. А.** Плоды просвещения : [стихи] / В. А. Андреев // Ульяновский политехник. – 1992. – 20 февр.

231. **Андреев В. А.** Ветераны совещаются и протестуют : [о совершенствовании работы Совета ветеранов] / В. А. Андреев // Ульяновский политехник. – 1993. – 9 дек.
232. **Андреев В. А.** Куда ведет новая Конституция? / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1993. – 1 дек.
233. **Андреев В. А.** Нельзя приспособливать под кого-то : [обсуждение проекта Конституции] / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1993. – 27 мая.
234. **Андреев В. А.** Золотая Книга Почета Ульяновской области : об утверждении Комитета... / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1994. – 27 окт.
235. **Андреев В. А.** «Не наломать бы дров» : обсуждение «Положения об оплате дополнительных занятий» / В. А. Андреев, М. Козлова // Университетская панорама. – 1994. – 20 дек.
236. **Андреев В. А.** Никто не забыт и ничто не забыто. Сказ о моем деде : стихи / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1994. – 15 нояб.
237. **Андреев В. А.** Как это начиналось : о создании Димитровградского филиала легкой промышленности / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1995. – 24 янв.
238. **Андреев В. А.** Университет готовится к полувековому юбилею со дня Великой Победы / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1995. – 28 марта.
239. **Андреев В. А.** Люди хотят жить в мире и согласии. Во имя этого мы и работаем : [о работе Рос. Комитета защиты мира] / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1996. – 8 мая.
240. **Андреев В. А.** Стихи к Дню Победы / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1996. – 6 мая.

241. **Андреев В. А.** Годы и люди : интервью : [у истоков вуза] / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1997. – 24 сент.
242. **Андреев В. А.** «Женщины заслуживают внимания и уважения не только в женский праздник...» / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1997. – 5 марта.
243. **Андреев В. А.** Еще раз о единстве учебной и научной работы и об оценке творческой активности преподавателя / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 1998. – 24 апр.
244. Ветераны вспоминают о войне / Ф. А. Зыкин, В. А. Андреев, А. И. Савватеев // Университетская панорама. – 1998. – 24 апр.
245. **Андреев В. А.** Агрессию и насилие поставить вне закона / В. А. Андреев // Ульяновская правда. – 1999. – 9 сент.
246. **Андреев В. А.** Некоторые предложения к Положению о конкурсе на «Лучшего преподавателя» / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 2000. – 18 апр.
247. **Андреев В. А.** Глава администрации области создал Совет старейшин / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 2004. – 4 окт.
248. **Андреев В. А.** Некоторые проблемы научной организации учебного процесса / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 2004. – 4 окт.
249. **Андреев В. А.** О рейтинге научной активности профессорско-преподавательского состава : [уточнение оценки] / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 2004. – 26 июня.
250. **Андреев В. А.** Точка зрения : [критические замечания об издании газеты «Университетская панорама»] / В. А. Андреев // Университетская панорама. – 2004. – 19 апр.

## 8. СТАТЬИ О В. А. АНДРЕЕВЕ И ЕГО КНИГАХ

251. Андреев В. А. : [к юбилею] // За инженерные кадры. – 1983. – 1 янв.
252. **Болотов А. В.** О книге В.А.Андреева «Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения» / А. В. Болотов // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – N 2. – С. 117-118.
253. **Кулумбегашвили Д. П.** Рецензия на учебник проф. В. А. Андреева «Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения» / Д. П. Кулумбегашвили // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – N 3. – С. 121.
254. К радости студентов энергофака : выпуск книги В. А. Андреева «Релейная защита» // Ульяновский политехник. – 1992. – 6 февр. – С. 3.
255. **Михайлов П.** Релейная защита – это поэма : ностальгия экс-студента по Alma Mater ; Раскрывая инкогнито / П. Михайлов, М. Михайлова // Ульяновский политехник. – 1992. – 15 окт. – С. 3.
256. Плоды просвещения : контрольная работа по релейной защите в связи с самоаттестацией : [ответ на стихи В. А. Андреева] / Арапов М. // Ульяновский политехник. – 1992. – 9 апр. – С. 4.
257. **Арзамасцев Д.А.** Рецензия на книгу В. А. Андреева «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения»/ Д.А. Арзамасцев, В.Е. Поляков // Промышленная энергетика. – 1992. – N 8/9. – С. 3.
258. **Бондаренко Е. В.** Так держать, профессор! / Е. В. Бондаренко [и др.] // Ульяновская правда. – 1993. – 20 февр.
259. Василий Андреевич Андреев : к 70-летию со дня рождения : [ветераны энергетика] // Промышленная энергетика. – 1993. – N 5. – С. 52.
260. Не пропустите уникальную возможность! : [о творческом вечере В. А. Андреева] // Ульяновский политехник. – 1993. – 25 февр. – С. 3.

261. Поздравления Андрееву В.А. – профессору УлПИ / Президиум Ульян. обл. Комитета защиты мира. Правление Ульян. обл. отделения фонда мира // Ульяновская правда. – 1993. – 2 янв.
262. Поздравления к юбилею [Андрееву В. А. – 70 лет] // Ульяновский политехник. – 1993. – 21 янв. – С. 3.
263. **Стафеева Н. И.** В жизни всегда есть место таланту : [о творческом вечере В. А. Андреева] / Н. И. Стафеева // Ульяновский политехник. – 1993. – 18 марта. – С. 3.
264. **Бондаренко Е. В.** О нашем коллеге : [В. А. Андреев] / Е. Бондаренко // Ульяновский политехник. – 1994. – 3 февр. – С. 3.
265. Наши поздравления : [В. А. Андрееву – 72 года] // Ульяновский политехник. – 1995. – 11 янв. – С. 1,2.
266. «Времена года» профессора В. А. Андреева : [презентация книги] // Университетская панорама. – 1997. – 15 окт. – С. 4.
267. Заслуженные награды : [награждения Т. М. Онодало и В. А. Андреева] // Университетская панорама. – 2002. – 26 янв. – С. 1.
268. **Свиридов Ю. П.** Основоположник энергетической научной школы УлГТУ : [В. А. Андреев] / Ю. П. Свиридов, В. И. Шарапов // Научно-технический калейдоскоп. – 2002. – N 3. – С. 4-8.
269. **Андреев В. А.** «Не только точные науки определяют мою суть» : интервью / В. А. Андреев // Народная газета. – 2003. – 19 марта. – С. 7.
270. Из истории университета : сведение о ректорах университета : [Андреев В. А. и др.] // Университетская панорама. – 2004. – 2 марта. – С. 4-6.
271. Как это было : [об участнике Великой Отечественной, проф. В. А. Андрееве] // Университетская панорама. – 2004. – 26 мая. – С. 5.

272. Спорт - это не только здоровье и мускулы : [о всерос. науч.-практ. конф. «Физическая культура, спорт и здоровье студенческой молодежи в современных социально-экономических условиях развития общества» и выступлении В. А. Андреева] // Университетская панорама. – 2005. – 9 марта. – С. 6.

## ФОТОАЛЬБОМ



Разведчики 359 стрелковой дивизии в первые дни мира  
(В.А. Андреев сидит слева). Германия, Бреслау, май 1945 г.



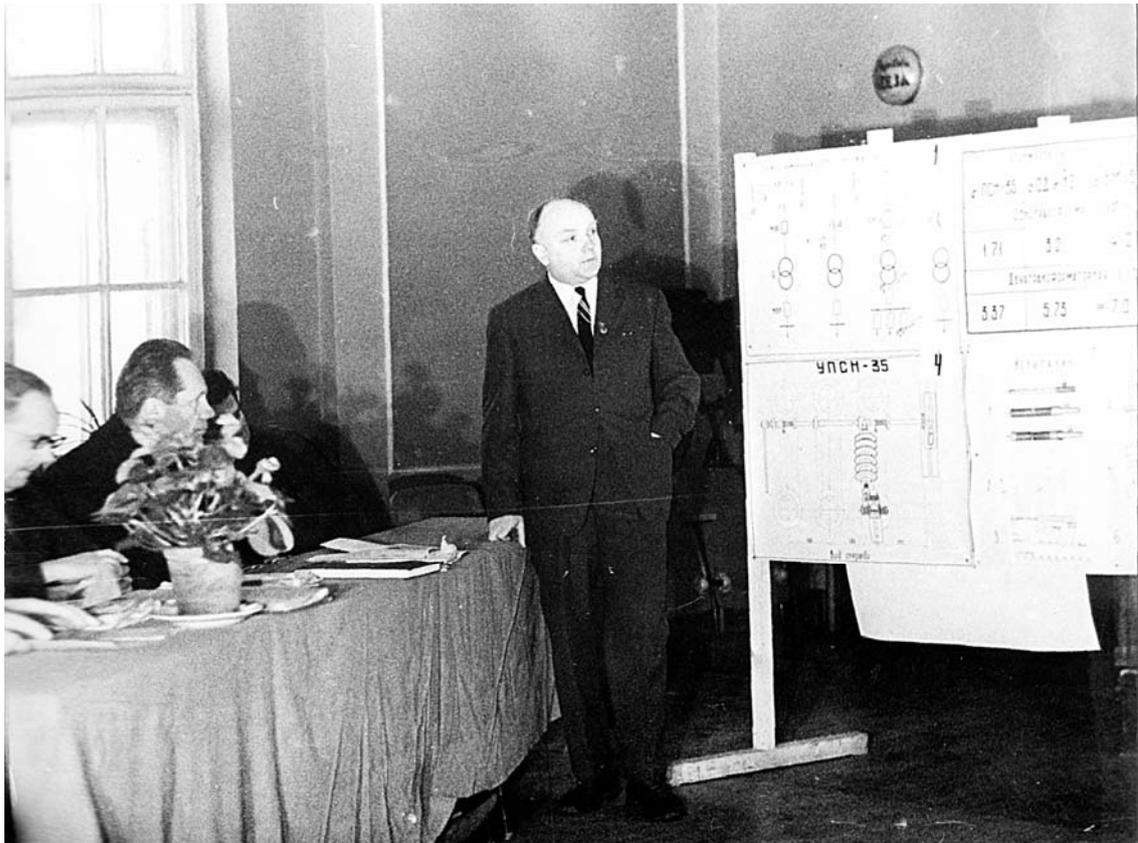
Работа над дипломным проектом, Москва, МЭИ, 1949 г.



В.А. Андреев и его «Москвич», г. Фрунзе, 1959 г.



Первомайская демонстрация. Приветствие находящимся на трибуне.  
г Фрунзе, 1961 г.



В.А. Андреев выступает на защите кандидатской диссертации своего аспиранта в его поддержку. г. Рига, 1967 г.



В.А. Андреев принимает экзамен у студента М. Наумова, г. Ульяновск, 1968 г.



Это спортивный лагерь «Садовка».  
Пока еще палатки. 1970 г.



В.А. Андреев – ректор  
Ульяновского политехнического института, 1975 г.



ФРГ, г. Мёльн, вместе с Уленшпигелем. 1979 г.



Швеция, Стокгольм. Русалка и В.А. Андреев, 1979 г.



Болгарская делегация сторонников мира на приеме у первого секретаря обкома КПСС Скочилова Анатолия Андриановича (он первый слева, В.А. Андреев рядом с ним). 1976 г.



Ветераны войны, сотрудники и преподаватели УПИ, в День Победы 9 мая 1982 г.



Космонавт Г. Гречко, сопровождавший активистов американской организации борцов за мир в Круизе мира по Волге и В.А. Андреев и В.М. Николаев в Речном порту г. Ульяновска. 1987 г.



Поэтический клуб «Вдохновение»



Ректор УлГТУ А.Д. Горбокoнeнко поздравляет В.А. Андреева  
в День Победы 9 мая 2002 г.



С отеческой любовью к родному вузу...

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Андреев В.А.** – д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, действительный член Международной энергетической академии, изобретатель СССР

**Васильева Н.С.** – ст. преподаватель кафедры «Инженерная графика», Самарский государственный технический университет

**Ганиев Р.Н.** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника и энергообеспечение предприятий» Нижнекамского химико-технологического института

**Гольдштейн В.Г.** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы», Самарский государственный технический университет

**Горшков К.С.** – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем Санкт-Петербургского научно-исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО).

**Дубов А.Л.** – канд. техн. наук, доцент, декан Энергетического факультета, Ульяновский государственный технический университет

**Ерохов И.В.** – профессор, канд. техн. наук, doc. phil., г. Запорожье, Украина.

**Кузнецов А.В.** – д-р техн. наук, зав.кафедрой «Электроснабжение», Ульяновский государственный технический университет

**Курганов С.А.** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение», Ульяновский государственный технический университет

**Лاپин И.** – магистрант кафедры «Электроснабжение», Ульяновский государственный технический университет

**Майко Г.В.** – канд. техн. наук, Sr. Principal Engineer, Broadcom Corporation, USA.

**Недорезов П.В.** – студент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета – ЛЭТИ им. В.И.Ленина.

**Недорезов М.В.** – аспирант факультета аэромеханики и летательных аппаратов Московского физико-технического института.

**Охад Шмуэль Мамед** – студент Doherty Middle School, Andover, MA, USA

**Панкин В.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры ТОЭ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

**Романов В.С.** – аспирант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы», Самарский государственный технический университет

**Свиридов Ю.П.** – доцент, канд. техн. наук, Ульяновский государственный технический университет

**Соловьева Е.Б.** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ТОЭ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

**Филаретов В.В.** – д-р техн. наук, ответственный редактор международного научного сборника «Синтез, анализ и диагностика электронных цепей», Ульяновский государственный технический университет

**Шарапов В.П.** – профессор, д-р техн. наук, Ульяновский государственный технический университет

**Шингаров В.П.** – директор МУП «УльГЭС»

**Шишкин В.Ф.** – ст. преподаватель кафедры «Электроснабжение», Ульяновский государственный технический университет

**Шкуропат И.А.** – канд. техн. наук, ЗАО ГК «Электрощит» - ТМ Самара», главный специалист по трансформаторам.

**Юренков Ю.П.** – аспирант кафедры «Электроснабжение», Ульяновский государственный технический университет

*Научное издание*

**IN MEMORIAM:  
ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ АНДРЕЕВ  
Сборник памяти Андреева В.А.**

Редакторы: А.Л. Дубов, М.П. Волков  
Технический редактор С.М. Зенкина

ЛР 020460 от 22.10.97.

Подписано в печать 25.12.2018. Формат 60x84/16.

Усл.печ.л. 17,44. Тираж 100 экз. Заказ 1130.

Ульяновский государственный технический университет  
432027, Ульяновск, Северный Венец, 32.  
ИПК «Венец» УлГТУ. 432027, Ульяновск, Северный Венец, 32.

Дата подписания к использованию 25.12.2018.  
ЭИ № 1234. Объем данных 6,2 Мб. Заказ № 1130.

Ульяновский государственный технический университет  
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.  
ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-113  
E-mail: [venec@ulstu.ru](mailto:venec@ulstu.ru)  
[venec.ulstu.ru](http://venec.ulstu.ru)