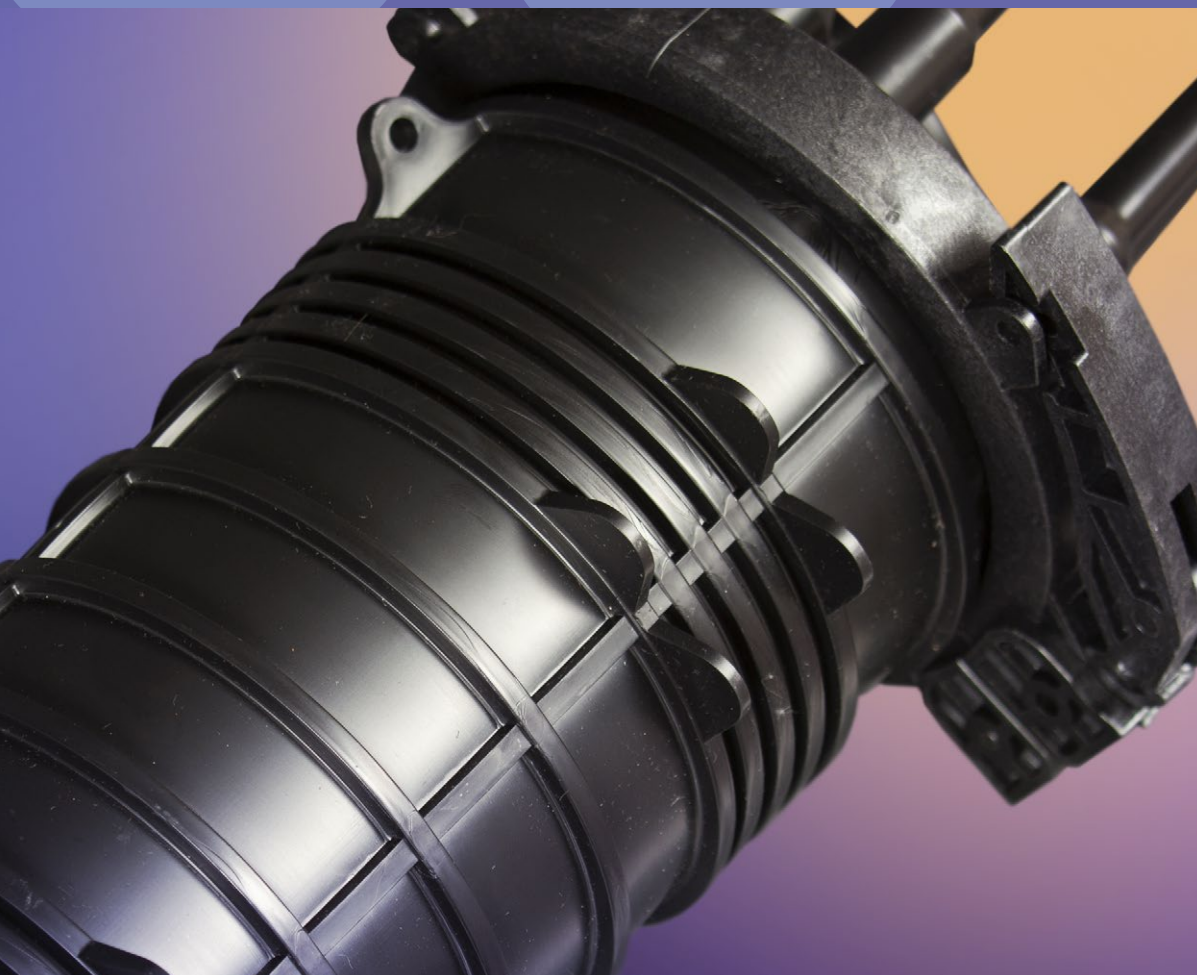


ЭнергоStyle

Наполним жизнь энергией!

№ 1 (57) март 2022



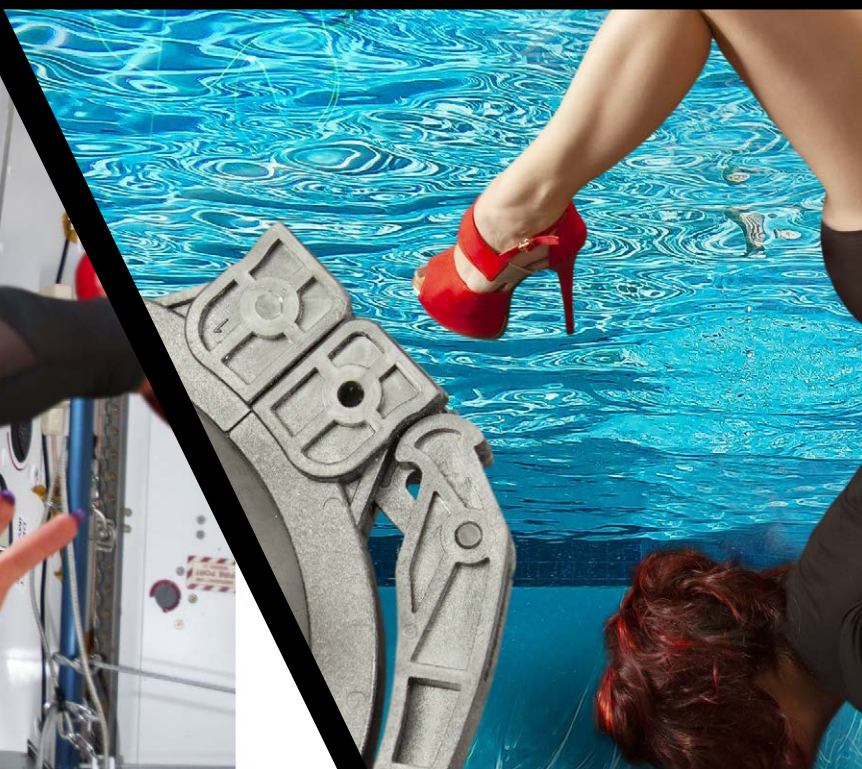
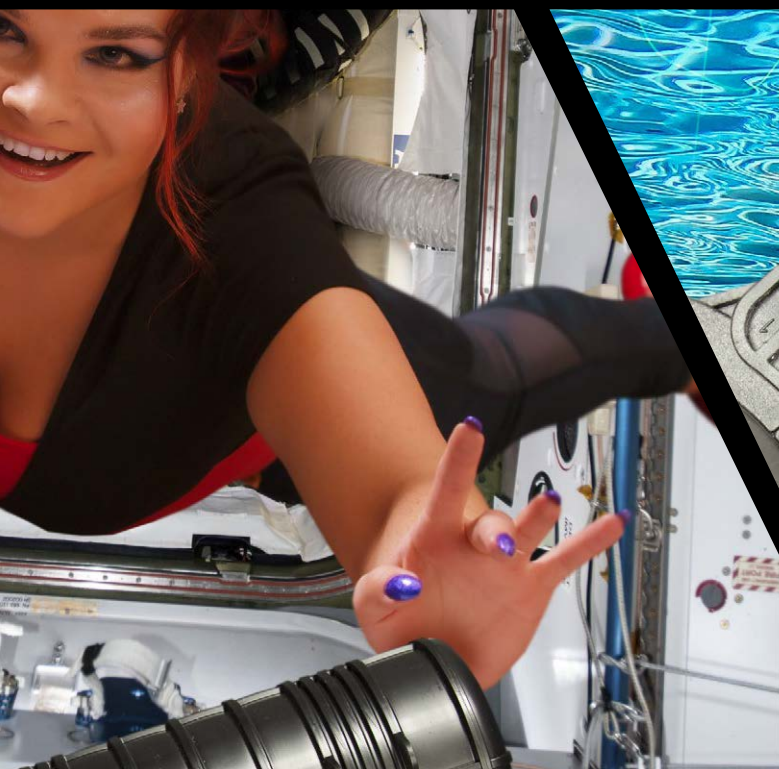
Исследовательский центр в области ВИЭ

Разработки сверхпроводниковых устройств

Стандартизация маркировки оптических кабелей

Метаморфозы: муфта для оптического кабеля

ЭнергоStyle



Содержание

- 3 стр. **News**
- 6 стр. **Актуально**
Ключевая проблема в энергетике РФ?
- 10 стр. **Альтернатива**
Национальный исследовательский
демонстрационно-испытательный центр
в области возобновляемых
и альтернативных источников энергии
- 16 стр. **Автоматизированные
системы**
Система расчета показателей состояния
объектов и субъектов энергетики
- 22 стр. **Стандарты**
Унификация и стандартизация
маркировки оптических кабелей
в России
- 28 стр. **Подробности**
Ограничители перенапряжения
для ВЛ до 1000 В
- 30 стр. **Инновации**
Опыт разработок
«НТЦ Россети ФСК ЕЭС»
сверхпроводниковых устройств
для электроэнергетики
- 42 стр. **Метаморфозы**
Фотосессия. Муфта для оптического
кабеля
- 50 стр. **Электроистории**
Якоби — Сименс. Партия на бильярде
- 54 стр. **Что. Где. Когда**
Мир энергетики в экспозиции
- 56 стр. **Культпросвет**
Альтернативная энергия искусства
Б.У. Кашкина



ЭнергоStyle

март 2022, № 1 (57)

Учредитель:

ООО «УРАЛПРОМ ПЛЮС»

Издатель:

ООО «УРАЛПРОМ ПЛЮС»

Адрес издателя:

620062, Екатеринбург, ул. Генеральская, 7, оф. 513
тел./факс: (343) 375-87-87, 375-88-06, 375-88-09

Главный редактор:

Мария В. Лупанова
m.lupanova@locus.ru

Корректор:

Полина Рожкова

Фото:

Евгений Ланкин

Дизайн, верстка:

Олеся Акулова
akulova_oa@mail.ru

Предпечатная подготовка:

Виталий Носкевич

Авторы:

Игорь Антоненко, Эдуард Блохин, Андрей Велижанин,
Дмитрий Гиберт, Михаил Дубинин, Александр Зигун,
Андрей Кашеев, Татьяна Мосунова, Владимир Паршуков,
Антон Рыжков, Виктор Сытников, Яков Щёлоков

Адрес редакции:

620062, Екатеринбург, ул. Генеральская, 7, оф. 412
тел./факс: (343) 375-87-87, 375-88-06, 375-88-09

Информация о журнале на www.locus.ru/zhurnal-energostyle

Отпечатано:

ООО «Типография»
620043, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 78, пом. 1
тел. +7 (343) 287-03-52

Периодичность выхода: 1 раз в три месяца

Тираж: 2000 экз.

Дата выхода в свет 15.03.2023

Распространяется бесплатно 16+



Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-49255

от 04 апреля 2012 г. выдано Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Перепечатка и цитирование материалов издания возможны только
с письменного разрешения редакции. Ссылка на журнал «ЭнергоStyle»
обязательна. За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет. Мнение авторов может не совпадать
с точкой зрения редакции. Журнал распространяется по всей
территории России.



Однажды в Неаполе наблюдала картину, которой до сих пор не нахожу объяснения. Человек на площади зарабатывал тем, что в позе лотоса висел в воздухе на высоте 1,5 м, опираясь, а точнее, едва касаясь одной рукой рядом стоящей палки. Мне сказали, возможно, это левитация. А может какая-то искусная иллюзия (хотя тень никаких дополнительных подпорок не выдавала). Сегодняшнее время вызывает такое же необъяснимое ощущение зависания. Будто случайно попал в невесомость. И ты вроде все тот же, и действуешь по инерции, как прежде, а «законы притяжения» уже другие. Многое медленно и плавно «проплывает» мимо, что-то вовсе скрылось за горизонтом или стало неважным, время будто пробуксовывает и «ковидная эпоха» превращается в какой-то день сурка, из которого, «не выучив урока», мы никак не можем выскочить. А сейчас еще новая напасть... Впрочем, по словам Альберта Эйнштейна, «жизнь — как вождение велосипеда, чтобы сохранить равновесие, ты должен двигаться».

Что ж, будем стараться. И думать о будущем, касается ли это совершенствования системы перспективного планирования в электроэнергетике, поиска и апробации новых технологических решений в области возобновляемых и альтернативных источников энергии, исследований и даже внедрения сверхпроводящих кабельных линий в электрических сетях. О настоящем тоже не забываем. Например, у российских энергетиков явно назрела необходимость в унификации и стандартизации маркировки оптических кабелей. Или потребность точно выбрать из огромного количества верные ограничители перенапряжения для ВЛ до 1000 В. Уже созданы инструменты визуализации и анализа, повышающие оперативность и эффективность управленческих решений и т. д. И еще понимаешь, что, занимаясь настоящим делом, противоостоишь абсурду реалий, чего всем и желаю.

Мария Лупанова, главный редактор



Российский электрогрузовик

В конгресс-центре «Технополис Москва» презентовали первый электрогрузомобиль, произведенный в России. «Это электро-мобиль полностью отечественного производства, который создан петербургской компанией «Электромобили Мануфэкчуринг рус» в сотрудничестве с УАЗ», — сообщил генеральный директор «Электромобили Мануфэкчуринг рус» Илья Рашкин. — «Силовая установка — синхронный электродвигатель и силовая электроника — российского производства, бортовая электроника и программное обеспечение собственной разработки».

Запас хода небольшого грузовика массой 3,5 т на одном заряде составит 300 км при скорости 80 км/ч, допустимая полезная нагрузка — 1 тонна. Вес двигателя минимальный в мире и составляет 50 кг. Экономия выброса CO₂ у одного электромобиля составляет до 10 т в год. Стоит машина 3,5 млн рублей, но в рамках СПИК каждый автомобиль будет просубсидирован на 950 тыс. рублей, так что фактическая цена для покупателей составит около 2,5 млн рублей.

Собирать автомобили будут в ОЭЗ «Технополис Москва» (Москва). Планируется выпускать 1 тыс. единиц машин в год. Серийное производство откроется в III квартале 2022 года. Основной рынок сбыта — службы внутригородской логистики, почтовые службы, коммунальные службы, фулфилмент сервисы, их потребность — 10 тыс. автомобилей в год.

По материалам www.forbes.ru

Перспективы Договорились

К 2030 году российский рынок аккумуляторов вырастет до \$1,2 млрд. В исследовании консалтинговой компании KPMG говорится о том, что его емкость вырастет со 126 МВт·ч в 2020-м до 4,7 ГВт·ч в 2025 году и 25,5 ГВт·ч в 2030-м. Среднегодовой темп роста (CAGR), по оценкам KPMG, составит 39 %. Рост рынка будет обеспечен в основном за счет развития в России электротранспорта, а также более интенсивного применения промышленных накопителей энергии и интеграции аккумуляторов с ВИЭ, считают авторы исследования. В 2025 году более половины общей емкости выпущенных аккумуляторов (2,8 ГВт·ч) будет потреблять электротранспорт, в 2030-м на него придется уже две трети рынка (17,8 ГВт·ч в год). В денежном выражении в 2025 году рынок промышленных накопителей составит \$245 млн в год, аккумуляторов для транспорта — \$224 млн в год. В 2030 году на электротранспорт будет приходиться уже \$687 млн и \$374 млн — на накопители для промышленности.

По материалам www.cntd.ru

В Москве состоялась рабочая встреча Первого заместителя Генерального директора — Исполнительного директора ПАО «Россети» Андрея Муро́ва и Президента Общероссийской общественной организации малого и среднего предпринимательства «ОПОРА РОССИИ» Александра Калинина. Стороны договорились вести дальнейшую работу по определению совместных позиций по основным направлениям деятельности компании, в том числе по вопросам технологического присоединения.

Участники совещания обсудили вопросы научно-технического сотрудничества, упрощения для субъектов МСП процедур технологического присоединения к сетям, аттестации оборудования, развития компетенций преподавателей корпоративных учебных центров Группы «Россети», осуществляющих обучение безопасным методам и приемам работ на высоте. Достигнута договоренность о формировании постоянно действующей совместной рабочей группы для взаимопомощи, сотрудничества с МСП в технической сфере, закупочной деятельности, с целью защиты законных прав и интересов предпринимателей.

Также планируется проведение мероприятий по разъяснению законодательных норм, различных аспектов регулирования отрасли, правил учета электроэнергии с участием представителей «ОПОРЫ РОССИИ» и Группы «Россети».



По материалам www.rosseti.ru

Девятирусные опоры

Объединенная металлургическая компания (ОМК) в январе 2022 года установила на разных берегах Печоры девятирусные опоры ЛЭП высотой 94,5 м. Две высотные трубчатые опоры АТ73М массой по 210 т на заказ изготовил белгородский завод ОМК (Белэнергомаш — БЗЭМ). На круглые толстостенные трубы из легированной стали, в состав которой помимо железа и углерода входят элементы, улучшающие ее механические свойства, химическую и тепловую стойкость, нанесено антикоррозионное покрытие. Расстояние между двумя опорами, стоящими на разных берегах самой большой судоходной реки севера Европы, составляет почти 2,6 км.

— В проектах, которые подразумевают установку опор ЛЭП в сложных геологических и климатических условиях, мы уделяем особое внимание предварительной контрольной сборке металлоконструкций на заводе. Это позволяет обеспечить плотность примыкания узловых элементов и гарантировать полную сходимость деталей при монтаже, — отметил директор департамента продаж металлоконструкций белгородского завода ОМК Роман Дорохов.

Переход высоковольтной линии через реку позволит повысить надежность электроснабжения центральных и южных районов Коми, даст импульс развитию новых производств и обеспечит дополнительную мощность в объеме 200 МВт в южные районы Архангельской области.

Эффективно и выгодно

Правительство РФ внесло быстрые зарядные станции в перечень объектов и технологий высокой энергетической эффективности, а производители и владельцы такой инфраструктуры получают значительные налоговые льготы, в частности инвестиционный налоговый кредит, повышающие коэффициенты к норме амортизации и освобождение от налога на имущество. Постановление об этом подписал Председатель Правительства Михаил Мишустин.

Необходимость принятия постановления обусловлена ростом парка электротранспорта в России, что требует создания массовой сети ЭЗС. Поясняется, что речь идет о работающих от постоянного тока электрозарядных станциях мощностью от 150 кВт с периодом зарядки до 30 минут.

Согласно Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации, к 2030 году на территории страны необходимо развернуть сеть из 29 тыс. быстрых электрозарядных станций. Они должны заряжать аккумулятор до 80 % не более чем за 20–30 минут.

Гибридные электростанции

В Верхоянском улусе Якутии появится 12 гибридных электростанций с использованием ВИЭ. Там начата масштабная модернизация локальной энергетики по соглашению с ПАО «РусГидро». Элементы каждого энергокомплекса будут объединены автоматизированной системой управления, обеспечивающей наиболее эффективную работу комплекса с минимизацией потребления топлива. Использование гибридных электростанций позволит сократить потребление топлива до 30 % от текущих значений.

— Солнечная инсоляция в Верхоянском районе очень хорошая и энергообъекты предполагают применение возобновляемых источников энергии. Новые дизельные электростанции будут отвечать всем современным стандартам и нормам, в том числе по снижению углеродного следа, — сообщил министр ЖКХ и энергетики Якутии Вячеслав Емельянов.

IT-решения в приоритете

«Системный оператор ЕЭС» (СО ЕЭС) в 2022 году планирует инвестировать более 1 млрд рублей в отечественные IT-решения. СО ЕЭС активно выполняется комплекс мероприятий по импортозамещению: в 2022–2024 годах доля затрат на закупку отечественного софта и связанных с ним услуг в общем объеме расходов компании на закупку программного обеспечения должна достичь 70 %. В сообщении регулятора отмечается, что ожидаемый объем вложений в отечественные IT-решения в этом году достигнет 1 017,9 млн рублей, а к 2024 году превысит 1,3 млрд рублей. Общий объем инвестиций СО ЕЭС в эту сферу в 2022–2024 годах приблизится к 3 млрд рублей. Основная цель цифровизации компании — обеспечение готовности к модернизационному рывку и ускоренной киберфизической трансформации отрасли.

По материалам www.peretok.ru

«Светить — и никаких гвоздей!»

Специалистами «Ленсвета» совместно с Комитетом по градостроительству и архитектуре, администрацией Центрального района Санкт-Петербурга разработан альтернативный способ размещения портрета русского, советского писателя и поэта Даниила Хармса на фасаде здания по ул. Маяковского, 11. Вместо граффити грань дома, в котором Хармс прожил большую часть жизни, украсит световая инсталляция с его изображением. Проекционное оборудование уже установлено на опоре освещения и подключено к существующей сети, на месте были проведены необходимые пусконаладочные работы. После проведения работ по подготовке стены здания, световая инсталляция на полноценной основе сменит находящийся на этом месте стрит-арт.

Даниил Хармс (настоящая фамилия — Ювачёв) прожил всего 36 лет. Основатель литературного объединения ОБЭРИУ. Был репрессирован, арестован 23 августа 1941 года. Скончался в тюремной больнице 2 февраля 1942 года в Ленинграде. Реабилитирован 25 июля 1960 года.

Световая инсталляция Даниила Хармса стала очередным этапом просветительского проекта светового оформления брандмауэров и фасадов города, который реализуется с 2020 года при участии ПАО «Газпром», Ассоциации «Невский свет», Комитета по градостроительству и архитектуре, Комитета по государственному контролю, использованию и охране памятников.

По материалам www.energyland.info



Новая разработка

НПО «Центротех» (входит в топливную компании «Росатома» ТВЭЛ) в Новоуральске (Свердловская область) создало опытный образец установки для выработки электроэнергии за счет понижения давления сжатого газа, передала пресс-служба ТВЭЛ.

Установка создана для промышленных предприятий (газотранспортной инфраструктуры, предприятий химической промышленности и т.д.), где по технологии происходит снижение давления газа. Детандер-генератор преобразует потенциальную энергию сжатого газа в электричество. Ключевой элемент установки — уникальный винтовой компрессор сухого сжатия — позволяет осуществить обратный процесс расширения газа, который вращает винтовую пару, передавая полезную работу на электрогенератор. Разработка новоуральских конструкторов независима от основного технологического процесса, экологична и абсолютно безопасна: в установку подают газ высокого давления из основного технологического процесса, после чего он возвращается в линию низкого давления, поэтому выброс газа в окружающую среду исключен.

Разработанная конструкция позволяет организовать производство широкой линейки устройств мощностью от 20 до 300 кВт. В настоящее время опытный образец проходит заводские стендовые испытания, где имитируется работа установки в реальных условиях. Первые результаты подтвердили высокий КПД (более 70 %) и качество вырабатываемой электроэнергии на соответствие требованиям ГОСТ. После этого установка пройдет опытно-промышленную эксплуатацию на одной из российских газораспределительных станций.

По материалам www.peretok.ru

Ключевая проблема в энергетике РФ?

Яков Щёлоков, СРО «Союзэнергоэффективность»

В настоящее время проходят общественные обсуждения законопроекта о внесении изменений в ФЗ «Об электроэнергетике» № 35-ФЗ, в части совершенствования системы перспективного планирования в электроэнергетике. Позволим себе заметить, что это весьма актуальная тема вообще и тем более в энергетике. Попытаемся это мнение обосновать.

Об объективности законов физики для функционирования российской энергетики

На современных ТЭЦ КПД почти достигает 50 %. Остальная же часть энергетических потоков, в том числе и на ТЭС — это низкопотенциальная тепловая энергия, утилизация которой может быть, помимо прочего, использована и при централизованном отоплении зданий [1]. К сожалению, на практике до сих пор периодически возникают попытки внесения в объективные физические законы отраслевых и даже «экономических» поправок. Все эти случаи имеют монопольную природу.

Так, в середине XX века в СССР была выдвинута теория, которая, по сути, «корректировала» второе начало термодинамики и, исходя из которой, в России было принято, что монопольное обеспечение тепловой энергией потребителей может осуществляться двумя путями:

1. методом теплофикации (как наиболее экономичный по расходу топлива);
2. за счет систем теплоснабжения от котельных установок разных типов.

Чем это было вызвано? Тем, что согласно идеологии 1960-х годов [1]: «при низких (5–100 Гкал/ч) тепловых нагрузках сооружение ТЭЦ с установкой на них паровых турбин и энергетических котельных агрегатов с вспомогательным оборудованием экономически не может быть оправданно? Одним из путей «рационального» теплоснабжения районов с низкими тепловыми нагрузками является сооружение крупных центральных производственно-отопительных

котельных с паровыми и водогрейными котлами и отопительных с водогрейными котлами, производительностью для европейской части страны до 150 Гкал/ч, а за ее пределами — до 300 Гкал/ч. Такое разделение связано с тем, что в европейской части стоимость топлива существенно выше, чем в других районах нашей страны».

Очевидно, дело было не столько в выборе путей «рационального» теплоснабжения, сколько в выборе какими быть системам электроснабжения промышленных потребителей: с объектами распределенной генерации (РГ) или нет? По сути, практически полный отказ от распределенной генерации, конечно, повысил надежность электроснабжения потребителей, но возник ряд существенных экономических проблем и особенно в централизованном теплоснабжении, в том числе и для населения. Это случилось, когда Россия перешла на путь капиталистического развития.

И вот уже более полувека идет процесс котельнизации России. Исходя из указанной в [1] тепловой мощности до 150–300 Гкал/ч, согласно решениям, принятым еще в 1960-х годах, до сих пор официально теплофикация (комбинированная выработка электрической и тепловой энергии) остается в РФ декларативно экономически выгодной, только начиная с установленной электрической мощности турбогенераторов в 20 МВт. Кстати, эти 20 МВт сохраняют в России свою ключевую роль при всех форматах рынков электроэнергии, при сохранении тарифного (внерыночного) пайка для теплоснабжения любого вида.

Для сравнения приведем выдержку из издания по энергетическому менеджменту концерна DuPont (США) [4]: «... даже паровые системы низкого давления имеют возможность для регенерации механической энергии, в результате чего системы промежуточного давления могут обеспечить нагрузки предприятия и/или деаэрактор паром. Часто оказывается выгодным устанавливать турбины с противодавлением небольшой мощности, начиная от ~ 18 кВт». Видимо отсюда существует такая разбежка по мощности (от 18 кВт [4] до 20 МВт [1]) у различных экономических и, главное, монопольных систем при экономических оценках физических законов.

Согласно рассекреченным в конце 1980-х годов данным [5] оказалось, что в СССР были «цены на топливо и энергию значительно ниже действительных народно-хозяйственных издержек на их дополнительное производство». Проще говоря, цены на топливо оказались ниже его себестоимости: по газу и нефтепродуктам в 2–2,5 раза, по углю в 2,5–3 раза и более. Без учета этих «поправок» весьма разумная идея теплофикации (комбинированной выработки электрической и тепловой энергии в одной установке) остается определяющим достоинством централизованного теплоснабжения, практически при любой мощности системы [2].

Но даже рыночные условия вот уже 20 лет не могут расставить в РФ все по своим местам. По этой же причине надежно сохраняется в российской экономике такой раритет как «перекрестное субсидирование». Опять же, одна из причин этому то, что наша энергетика функционирует не по законам физики, а теперь и рынка, а вопреки очевидной физики, по условно принятым возможностям систем централизованного теплоснабжения. Поэтому попробую провести свою оценку возможностям систем централизованного теплоснабжения в современных условиях.

О регулировании теплопотребления в многоквартирных домах

Для оценки инженерных решений, применяемых в области централизованного теплоснабжения, которые должны и могут привести к требуемой эффективности, следует рассматривать процесс теплоснабжения в составе трех технологических частей: производство, транспортировка и потребление тепловой энергии. Производство и транспортировка тепловой энергии по-прежнему остаются во многом вне действия прямых физических законов, несмотря даже на требования федеральных законов (№ 261-ФЗ, № 190-ФЗ) о переходе на теплофикацию и на муниципальном уровне. Поэтому в сфере централизованного теплоснабжения реально возможной зоной повышения энергоэффективности остаются пока только объекты использования тепловой энергии — это, в первую очередь, многоквартирные дома (МКД).

Речь идет о тепловом (абонентском) вводе [6], который сейчас, в период рыночной экономики, называют «индивидуальным тепловым пунктом» (ИТП). В ИТП до рыночной поры [6] предлагалось устанавливать тепломеханическое оборудование и устройства, обеспечивающие, во-первых, надежную защиту и экономичную эксплуатацию местных систем (то есть ИТП) и, во-вторых, защиту режимов работы систем теплоснабжения от влияния местных систем:

- схема присоединения систем отопления, работающих на параметрах теплоносителя тепловой сети, считалась наиболее простой. Такое возможно только при одноэтажной застройке при соответствующем рельефе местности;
- присоединение с насосно-подмешивающим устройством (чаще всего элеватором) или независимое присоединение через водоподогреватель предлагалось при параметрах теплоносителя, превышающих допустимое значение для систем отопления;
- при закрытой схеме предлагалось несколько схем присоединения ГВС — параллельное, двухступенчатое последовательное включение подогревателей ГВС к тепловым сетям;
- и, конечно, открытая система теплоснабжения, уникальная по своей расточительности, появилась, когда цена энергоносителей стала много ниже их себестоимости. Данная система теплоснабжения жива до сих пор, хотя законодательно была, на какой-то период, запрещена.

Все упомянутые схемы ИТП, сложившиеся в эпоху так сказать «бесплатных энергоресурсов», оказались малоприспособленными для рыночных условий. Тем более, формируемых по одной проекции, когда население полностью оплачивает услуги энергоснабжающих компаний, не имея азбучных рыночных возможностей влиять на величину цены этой услуги, даже имея реальную возможность регулировать объемы используемых энергоресурсов. Что в итоге?

Напомним одно из многочисленных мнений того периода: «сегодня плата за тепло составляет более половины всего тарифа за коммунальные услуги, и если не поменять модель регулирования, то эта составляющая будет только увеличиваться, причем ускоренными темпами». Отметим, что в теории регулирования есть правило без исключений: самая совершенная модель регулирования не может исправить недостатки технологически несовершенной технической системы. Вряд ли можно аргументировано оспорить тот факт, что существующие в России системы теплоснабжения МКД остаются технологически несовершенными, а режимы их управления пребывают в формате хронического банкротства.

Активные энергетические комплексы

В 2020 году, который запомнился рядом всем известных негативных потрясений, произошло, хочется верить, знаменательное событие, известное пока только кругу узких специалистов: принято Постановление Правительства РФ от 21.03.2020 г. № 320 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования активных энергетических комплексов», позволяющих обеспечить интеграцию распределенной генерации в Единой энергетической системе России (ЕЭС России) с сохранением необходимого уровня надежности энергосистемы. По мере реализации проекта будут отработаны условия взаимодействия сторон по созданию целевой модели по внедрению АЭК в ЕЭС России.

Следует отметить, что эта тема в настоящее время подробно обсуждается в периодической печати. В этом плане заслуживает внимание статья [7], заключительный вывод которой гласит: «для обеспечения надежного электроснабжения потребителей от объектов распределенной генерации, особенно в островном режиме, необходимо при проектировании обеспечить правильный выбор систем возбуждения и уставок устройств релейной защиты генераторов». Однако на объектах РГ пока практически полностью исключено использование устройств непрерывного регулирования напряжения. Кроме того уставки устройств релейной защиты (РЗ), заданные заводами-изготовителями генераторов, часто не обоснованы. Это препятствует их нормальной работе и не позволяет согласовывать с уставками устройств РЗ электросетевых элементов, а так же приводит к их излишним отключениям [7]. Оказывается, надо было не доказывать, что котельные благо для устойчивости электроснабжения, а разбираться в роли уставок в релейной защите. Что возможно получить в результате реализации этих пока несогласованных технических решений? Экономия единицы энергии конечным потребителем дает дополнительную экономию по всей энергетической цепи (сети): снижаются потери в электрических, тепловых, газовых и т. д. Самые высокие косвенные эффекты у электроэнергетики, при

экономии 1 т у. т. конечным потребителем по всей цепочке электросети экономится до 4,9 т у. т., по теплу — 2,8 т у. т. [8].

Заключение

Приведенная справка о развитии российского централизованного теплоснабжения, а также оценка выполненных работ в системах тепло- и электроснабжения показывают, что изменение «модели регулирования» в теплоснабжении следует начинать с перехода на использование интеллектуальных внебюджетных инвестиций, в первую очередь, с целью создания технологически совершенных схем ИТП МКД. В этом плане целесообразно искать варианты успешного решения проблем теплоснабжения МКД, даже при сохранении всех недостатков схем централизованного теплоснабжения на стадиях производства, транспортирования и распределения тепловой энергии.

Следует учитывать, что в настоящее время централизованная тепловая энергия в нашей стране является практически самым дорогим из преобразованных видов энергии, особенно для населения. По электроэнергии население пока спасает перекрестное субсидирование. Об этом же свидетельствует и структура платежей за коммунальные услуги в МКД. Это делает многоквартирные дома наиболее важным объектом для применения энергосервисных контрактов по созданию технологически совершенных ИТП с отработанной моделью регулирования [3, 9].

В итоге, работы по выявлению возможности создания активных энергетических комплексов, обеспечивающих интеграцию распределенной генерации в ЕЭС РФ с условием сохранения требуемого уровня надежности энергосистемы, будут также снижены потери в электрических, тепловых, газовых и других сетях. Одно из условий совершенствования системы перспективного планирования в электроэнергетике являются вопросы функционирования активных энергетических комплексов, позволяющих обеспечить интеграцию распределенной генерации в ЕЭС России с сохранением необходимого уровня надежности энергосистемы.

ЭС

Литература

1. О развитии теплоснабжения СССР; схема тепло- и электроснабжения Москвы и Московской области // Электрические станции. 1966. № 12; 1969. № 12; Энергетик. 1969. № 6.
2. Данилов Н. И., Тимофеева Ю. Н., Щелоков Я. М. Централизованное теплоснабжение в рыночных условиях: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 59 с.
3. Щелоков Я. М. О роли энергетического сервиса в теплоснабжении // Промышленность и безопасность. № 9 (167). 2021. С. 42–45.
4. Энергетический менеджмент. Руководство по энергосбережению концерна DuPont (США). Нижний Новгород: Изд. «Чувашия». 1997. 223 с.
5. Макаров А. А. Нуждается в совершенствовании // Энергия: экономика, техника, экология. № 5. 1987. С. 22–23.
6. Павлов И. И., Федоров М. Н. Котельные установки и тепловые сети. Учебник для техникумов. Изд. 2-е. М.: Стройиздат. 1977. 301 с.
7. Ильишин П. В. и др. О влиянии параметров систем возбуждения и уставок защит генераторов на обеспечение надежного электроснабжения потребителей // Энергия единой сети. 2020. № 3 (52). С. 54–61.
8. Башмаков И. А. Российский ресурс эффективности: масштабы, затраты и выгоды // Вопросы экономики. 2009. № 2. С. 71–89.
9. Свод правил СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Утв. приказом Минстроя России от 30.12.2020 № 921/пр, введен в действие с 1 июля 2021 г.



**ПРИГЛАШАЕМ
К УЧАСТИЮ**

Место проведения:
площадка у ТЦ «Мой Порт»,
ул. Кирова, 146, мобильный павильон

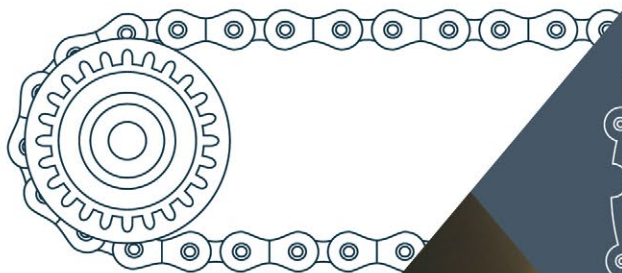
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

12-14 ОКТЯБРЯ

ТЕМАТИКА:

- Металлообрабатывающее оборудование. Инструмент. Металлопродукция
- Комплектующие изделия и материалы
- Оборудование для термообработки
- Электрические машины и оборудование
- Подъемно-транспортное и складское оборудование
- Литейное оборудование
- Сварочное оборудование
- Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов
- Добыча, переработка, сбыт нефти и газа
- Техника и технологии для добычи нефти и газа, нефтепереработки и нефтехимии. Транспортировка и хранение нефти, нефтепродуктов и газа
- Нефтегазопромысловая геология и геофизика
- Энергетическое и электротехническое оборудование
- Охрана труда, безопасность на производстве. СИЗ
- Ресурсосберегающие технологии
- Сырье, химические материалы, применяемые в нефтегазовой и нефтехимической промышленности
- Средства пожарной безопасности, системы охраны, промышленной безопасности

Ижевск' 2022





Национальный исследовательский демонстрационно- испытательный центр в области возобновляемых и альтернативных источников энергии

Владимир Паршуков, директор ростовского филиала ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, генеральный директор ООО НПП «Донские технологии»;

Эдуард Блохин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и фотоника» ЮРГПУ (НПИ);

Антон Рыжков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ООО НПП «Донские технологии»

Печатается с разрешения журнала «Энергосбережение» № 7, 2021
https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7950

Человеческая деятельность привела к изменению климата на планете. Между глобальным потеплением и выбросами парниковых газов — прямая связь. Будет человечество жить или выживать — уже не просто дискуссия, а неотвратимая реальность совсем недалекого будущего. Времени на размышления нет. Надо добиться значительного сокращения выбросов. Как этого достичь? Какой зеленый энергопереход могут предложить энергетики? Какова роль ВИЭ и водородной энергетики в этом переходе?

Для поиска и апробации новых технологических решений нужны современные исследовательские, испытательные центры мирового уровня. Ранее мы представили концепцию создания такого центра на базе филиалов Российского энергетического агентства (РЭА) Минэнерго России [1]. Данная публикация, посвященная созданию в России Национального исследовательского демонстрационно-испытательного центра в области возобновляемых и альтернативных источников энергии (далее — Национальный ДИЦ ВИЭ), продолжает цикл статей, в которых мы будем знакомить с развитием ВИЭ.

Энергетика будущего

Минэкономразвития России подготовило проект национальной Стратегии низкоуглеродного развития до 2030 года. Переход на электро-

энергию из ВИЭ предполагает максимальное замещение углеводородного топлива. Заместитель председателя Правительства РФ Александр Новак на прошедшем в июне 2020 года Петербургском экономическом форуме дал наиболее понятное, но емкое и точное определение, что же такое энергопереход. «Энергопереход — это, по сути, конкуренция между источниками энергии, которые появляются благодаря технологическому прогрессу и новым запросам общества». Это мы с вами сейчас и наблюдаем. Налицо жесткая конкуренция традиционных источников генерации энергии с ВИЭ.

Еще один аспект, который следует отметить. Население интересуется развитием энергетики не с точки зрения компаний ТЭК — какой энергоноситель мы будем экспортировать: газ или водород, а с позиции простого потребителя энергии: какова ее конечная стоимость, качество и надежность поставки. Какие реформы в энергетике направлены на решение этих задач? Как энергетика решает экологические проблемы: снижение выбросов парниковых газов, обеспечение защиты окружающей среды, переработку гигантских объемов накопленных компаниями ТЭК промышленных отходов?

С этой точки зрения интерес вызывает развитие ВИЭ не в виде сетевых станций, ввод в эксплуатацию которых на самом деле практически не влияет на решение экологических проблем в городах, а доступность и реализация проектов в области малой и распределенной энергетики, которая значительно ближе к нуждам и проблемам населения. Системы управления потоками энергии, умные сети и процессы цифровизации в энергетике, мероприятия в области энергоэффективности и энергосбережения вносят свой корректив в обеспечение устойчивого развития — удовлетворение текущих потребностей человека при сохранении окружающей среды и ресурсов.

Цель создания Национального ДИЦ ВИЭ

Одним из элементов энергетической инфраструктуры, обеспечивающей решение задач по бесперебойному обеспечению потребителя всеми видами энергии, и является Национальный ДИЦ ВИЭ — научно-исследовательский, демонстрационный, испытательный комплекс, оснащенный современным исследовательским, испытательным, технологическим и метрологическим оборудованием для проведения комплексных научных исследований, диагностики, поверки и сертификации оборудования для систем энергоснабжения на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии.

Целью создания Национального ДИЦ ВИЭ является содействие развитию ВИЭ в России и странах СНГ, формирование единой межгосударственной системы оценки комплексных испытаний и эффективности ВИЭ, содействие развитию перспективных направлений исследований, создание демонстрационной зоны ВИЭ, вхождение в международные испытательные центры в области ВИЭ и интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) с правом выдачи международно признаваемого сертификата ответственности. Задача по его созданию определена распоряжением Правительства РФ от 1 июня 2020 года № 1447-р (План мероприятий по реализации Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года, п. 91).

Результаты проведенного в конце прошлого года РЭА Минэнерго России исследования по-



Рис. 1. Карта Национального ДИЦ ВИЭ

казали практическое отсутствие в стране системы сертификации энергетического оборудования. Даже такие крупные компании, как «Хевел», вынуждены проводить сертификационные испытания в зарубежных центрах. Кроме того, отечественный рынок полностью открыт для поставки контрафактной и некачественной продукции. Ни о какой безопасности, причем не только энергетической, но и элементарной, речь не идет. Такого положения нет даже в развивающихся странах. Распоряжение Правительства РФ о создании испытательных центров мирового уровня весьма актуально, крайне необходимо и является первым шагом государства по защите отечественного производителя и рынка в данном сегменте экономики страны.

Тренды развития энергетики

1. Энергетика будущего не будет представлена только ВИЭ, водородной, атомной или еще неизвестной человечеству энергетикой. Это всегда будет симбиоз различных взаимосвязанных типов генерации и систем накопления энергии, функционирующих в режиме тригенерации.

2. Объекты генерации энергии нужны разной мощности, причем доля малой и микрогенерации будет значительно выше нынешнего уровня. В перспективе она может достигнуть 50 % объема мирового рынка, как средний и малый бизнес в экономике ЕС.

3. Сетевой комплекс должен быть другим. Система электроснабжения должна строиться по аналогии с системами мобильной связи, быть мультиагентной, способной реализовать механизм ценового энергопотребления. Необходимо создание «энергетических хабов». Необходимо единый рынок электроэнергии, на котором каждый участник должен иметь возможность покупать или продавать энергию в зависимости от рыночной конъюнктуры и своих потребностей.

4. Для надежного и бесперебойного энергоснабжения нужны новые цифровые системы управления, машинного обучения и искусственного интеллекта. Для проектирования энергетических объектов необходимо создание баз данных математических моделей энергетического оборудования. Для автоматизации процессов эксплуатации нужны электронные двойники энергетических объектов с системами диагностики оборудования в режиме реального времени и определения ресурса его работы.

Концепция создания Национального ДИЦ ВИЭ

Каким мы видим Национальный исследовательский демонстрационно-испытательный центр в области возобновляемых и альтернативных источников энергии? Надо исходить из того, что такой центр может быть в России один, но он должен решать задачи в интересах всей экономики страны, а не отдельных компаний ТЭК. Страна не имеет возможности создавать даже два таких центра. Важна также административная принадлежность центра, то есть то, какой федеральный орган исполнительной власти (ФОИВ) должен осуществлять руководство оперативной деятельностью центра. При решении данного вопроса надо учитывать и основные направления деятельности центра.

Мировая практика функционирования таких центров однозначно увязывает проведение испытаний оборудования с научной деятельностью. Без науки не работает не только ни один мировой центр, но и простая испытательная лаборатория. Минэнерго России, а именно ему дано поручение Правительства РФ о создании центра мирового уровня, не отвечает за организацию и проведение НИОКР. Значит, необходима тесная кооперация с Минобрнауки России.

Минэнерго России не отвечает за развитие теплоэнергетики, в число направлений деятельности министерства решение данного вопроса не входит. Но невозможно рассматривать задачи повышения энергоэффективности и энергосбережения, не учитывая конструктивные особенности зданий и сооружений. Эти задачи решает Минстрой России. В современных условиях ставится задача по обеспечению потребителя не только электрической энергией, но и тепловой, а также холодом, причем на юге страны потребность в холоде превышает потребность в тепле. Необходима кооперация Минэнерго с Минстроем России.

В ведении Минэнерго России отсутствуют предприятия энергетического машиностроения, все они в своей деятельности замыкаются на Минпромторг России, который ведет НИОКР и, в том числе совместно с Минобрнауки России, организует изготовление экспериментальных и опытных образцов нового оборудования, проводит государственные испытания готовой продукции, осуществляет запуск серийного изготовления продукции. Необходима кооперация Минэнерго с Минпромторгом России. А еще не следует забывать про задачи, решаемые Минприроды России.

В итоге создаваемый Национальный ДИЦ ВИЭ должен быть межведомственным, так как он выполняет задачи в интересах сразу пяти федеральных ведомств. Именно в области управления центром, его структуры, круга решаемых им задач по месту расположения головного подразделения центра имеются разные, порой противоположные взгляды.

Предлагаемая структура и основные задачи Национального ДИЦ ВИЭ

Национальный ДИЦ ВИЭ будет представлять собой распределенную структуру испытательных центров, демонстрационных площадок, научных и испытательных лабораторий, полигонов для опытной эксплуатации создаваемого энергетического оборудования, центров подготовки специалистов и повышения квалификации, молодежного и детского творчества, расположенных в разных климатических зонах и объединенных в единую информационную систему ГИС ВИЭ. Центр должен стать демонстрационной зоной достижений отечественных разработчиков энергетических технологий, оборудования и автоматизированных систем управления потоками энергии, способствовать их внедрению в реальные сектора экономики России.

Выбор места проведения испытаний

Головной центр. Расположение головной организации — основной площадки для проведения испытаний — должно быть в регионе, имеющем высокий промышленный и научный потенциал, существующую инфраструктуру энергетических объектов, использующих ВИЭ. В этом качестве наиболее перспективным является размещение головного офиса ДИЦ ВИЭ в Ростовской области, которая является лидером в развитии ветроэнергетики в России. Зона непосредственной ответственности головного офиса — Южный (ЮФО) и Северо-Кавказский (СКФО) федеральные округа.

По совокупности критериев была выбрана площадка в пос. Рассвет. В 2015 году здесь осуществлялась первая попытка создания испытательного центра-полигона в области ВИЭ на площадке опытного полигона Донского государственного технического университета (ДГТУ). Но тогда, несмотря на достаточно глубокую проработку проекта, он не получил развития, как и проект ПАО «Россети» по созданию Федерального испытательного центра на территории Ленинградской области. Сейчас, по сути, это его второе рождение.

Выбор ДГТУ как базовой научной организации вполне обоснован. Университет является опорным вузом Ростовской области, многопрофилен по выбору специальностей, имеет кафедру возобновляемой энергетики. Кроме того, ДГТУ является основной научной организацией (научно-образовательным центром, НОЦ) мирового уровня «Межрегиональный НОЦ Юга России», образованного Ростовской и Волгоградской областями совместно с Краснодарским краем. Деятельность НОЦ в области развития технологий цифрового земледелия неразрывно связана с малой распределенной энергетикой и ВИЭ.

На территории промышленных и сельскохозяйственных площадок в пос. Рассвет наблюдается достаточно неплохой уровень солнечной радиации, стабильный ветровой напор для малой ветроэнергетики, имеются условия для развития био- и альтернативной энергетики. На территории Ростовской области располагаются проектные организации, промышленные предприятия машиностроительной и энергетической отрасли, имеется высокий кадровый и научный потенциал. Площадка равноудалена от научных центров и вузов Ростовской области¹, а также малых и средних предприятий, которые достаточно активно занимаются исследованиями и разработками в области ВИЭ. Имеются объекты энергетической инфраструктуры, использующие ВИЭ, такие как ветропарки из нескольких ВЭС, СЭС, объекты малой энергетики, которые позволяют проводить полигонные испытания в непосредственной близости от основной испытательной площадки.

¹ Южный федеральный университет (ЮФУ), Южный научный центр РАН (ЮНЦ РАН), Южно-Российский государственный политехнический университет ЮРГПУ (НПИ), Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС).

стильный
отраслевой
журнал

ЭнергоStyle

О важнейшей отрасли,
от которой напрямую
зависят жизнь и развитие
экономики страны



**мы
говорим:**

о профессиональном —
доступно

об очевидном —
нестандартно

о важном —
авторитетно

о наболевшем —
откровенно

ЭS

620062, Екатеринбург, ул. Генеральская, 7
тел./факс: (343) 375-87-87, 375-88-06, 375-88-09
e-mail: m.lupanova@locus.ru
www.locus.ru/zhurnal-energostyle



Рис. 2. Туристический кластер «Новая Анапа» и объекты ВИЭ

Краснодарский филиал. Экономика Краснодарского края испытывает дефицит электрической энергии. Основная специализация региона — сельское хозяйство и, конечно, туризм. Его развитие наблюдается ежедневно, при этом необходимы новые мощности в электроснабжении. Современные задачи по снижению углеродного следа предполагают значительный ввод мощностей, основанных на ВИЭ, тем более что край располагает одним из лучших в России потенциалом ВИЭ.

В июле 2021 года вице-премьер Дмитрий Чернышенко анонсировал проект создания туристического кластера мирового уровня «Новая Анапа», круглогодичного курорта площадью более 800 га с рекреационными зонами. Проект потребует организации надежного энергоснабжения в режиме тригенерации, качественных систем вентиляции, кондиционирования и водоочистки, экологически чистого транспорта, комплексной и глубокой переработки отходов.

Должна быть обеспечена высокая энергоэффективность проекта, критерий оценки: уровень энергоснабжения — не ниже 50 % снижения от нормативных показателей в зимний период, до 75 % в летний период; уровень замещения ВИЭ — не менее 50 % от общего энергопотребления. Полная автоматизация процессов генерации, передачи и управления по-

токами энергии, надежность и безопасность в энергоснабжении, возможность снижения стоимости энергии для конечного потребителя.

К уже запланированным 8 зонам курорта необходимо добавить и энергетическую зону — зону зеленой и чистой энергетики. Город может стать центром подготовки специалистов по комплексному применению различных видов ВИЭ совместно с традиционной энергетикой. Это то, чего точно не хватает российской энергетической отрасли.

Лучшего объекта для комплексной отработки последних достижений науки и технологий в реальных условиях, чем кластер «Новая Анапа», трудно найти. Проект будет лучшей демонстрационной зоной достижений российской энергетики, своеобразной ВДНХ в области устойчивого развития и зеленой энергетики. Проект может стать ключевым и показательным для остальных туристических кластеров, создающихся в России: Ялта, Кронштадт, Камчатка и другие. Технологические решения, апробированные здесь, должны быть тиражируемыми для различных сфер применения. Российское энергетическое агентство Минэнерго России готово взяться за реализацию проекта энергоснабжения туристического кластера «Новая Анапа» и предлагает присоединиться к нему всем заинтересованным организациям и специалистам.

Крымский филиал. Отдельным филиалом предлагается создание центра в Крыму, который является лучшей испытательной площадкой в области ВИЭ еще со времен СССР. Именно здесь были созданы и прошли опытную эксплуатацию первые в мире солнечные и ветроэнергетические станции. Потенциал Крыма неисчерпаем. Здесь лучшие в России условия для создания крупных гидроаккумулирующих станций, что не только позволит выровнять баланс пиковых нагрузок на Ростовскую АЭС, но и создает отличные предпосылки для развития технологий получения водорода методами электролиза с использованием энергии, произведенной от ВИЭ.



Рис. 3. Объекты солнечной энергетики в Крыму



Рис. 4. Объекты ВИЭ и СЭФО

Комбинированное энергоснабжение на основе существующих ТЭЦ, ВИЭ и теплонасосных установок может способствовать решению проблем теплоснабжения региона. Технологии опреснения морской воды и установки на их основе будут способствовать повышению уровня комфорта, как населения полуострова, так и туристов.

В качестве базовой организации при создании филиала Национального ДИЦ ВИЭ может выступить Севастопольский ГУ в кооперации с филиалом МГУ в Севастополе и Крымским федеральным университетом им. В. И. Вернадского.

Филиал в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО). Создать филиал Национального ДИЦ ВИЭ предлагается на базе НИУ «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ) и Физико-технического института (ФТИ) им. А. Ф. Иоффе. Существенное отличие данного центра в том, что обе организации являются международно признанными научными центрами, оснащенными достаточно широким набором научного и метрологического оборудования. Обе организации — ведущие в России центры в области разработок в области ВИЭ, имеют большой практический опыт реализации проектов в разных регионах страны, включая Арктическую зону.

Под руководством профессора Е. И. Терукова в Научно-техническом центре тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе не только разработаны технологии производства одних из лучших в мире фотоэлектрических панелей, но и создана метрологическая лаборатория, которая уже сотрудничает с зарубежными метрологическими институтами (NIST и PTB) и специализированными лабораториями (NREL, FhG-ISE и Sandia). Лаборатория также обеспечивается поддержкой и непосредственной кооперацией с национальными метрологическими центрами (ВНИИОФИ и

ВНИИМ). Фактически группа компаний «Хевел» перед международной сертификацией своей продукции, поставляемой на экспорт, проводит полный цикл испытаний в данной лаборатории.

В 2006 году под руководством академика РАН Ю. С. Васильева в СПбПУ образован первый в России НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе». Активно работает кафедра «ВИЭ и гидроэнергетика». Учеными и специалистами выполнены десятки научных реально работающих проектов, в том числе и в Арктике. Под руководством профессора В. В. Елистратова отработаны технологии строительства ВЭУ в условиях вечной мерзлоты. Научная школа СПбПУ в области ВИЭ имеет международное признание.

НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» — отличное решение по филиалу Национального ДИЦ ВИЭ. Зона ответственности центра — СЗФО, Калининградская область, Арктическая зона России.

Аналогичные центры — филиалы Национального ДИЦ ВИЭ предлагается создать в Екатеринбурге, Новосибирске, Владивостоке, и каждый из них будет иметь свою зону ответственности.

Испытательные полигоны. Отдельное место должны занимать полигоны для испытаний оборудования систем, использующих ВИЭ, предназначенные для работы в регионах Дальнего Востока. Целесообразно выделить три основных места расположения испытательных полигонов. Для испытаний технологий и оборудования, использующих солнечное излучение и ветер в арктических условиях, целесообразно расположить испытательные площадки на арктическом побережье, в районе пос. Тикси. Для испытаний в районе континентального климата целесообразно расположение в районе городов Якутска и Ханты-Мансийска, а испытания в климатических условиях тихоокеанского побережья целесообразно проводить в районе Владивостока, п-ова Камчатка и о. Сахалин.

Выражаем признательность всем ученым, специалистам, активным гражданам нашей страны, которые своей повседневной деятельностью способствуют развитию ВИЭ в России и улучшению климата на планете Земля. **ЭС**

Литература

1. Паршуков В. И., Блохин Э. Е., Рыжков А. В. Российский демонстрационный испытательный центр возобновляемых источников энергии // Энергосбережение. 2021. № 2*. <https://don-tech.ru/>

* С разрешения журнала «Энергосбережение» статья была опубликована и в «ЭнергоStyle» № 2, 2021.

Система расчета показателей состояния объектов и субъектов энергетики

Игорь Антоненко, кандидат технических наук, начальник отдела маркетинга;
Андрей Велижанин, руководитель проектов, «НПП «СпецТек»

Российская энергетическая отрасль примерно с середины 2000-х годов стала объектом пристального внимания государства. Причиной тому стали негативные тенденции в энергосистеме, игнорировать которые далее было невозможно.

Глубокий кризис 1990-х годов вызвал спад производства в электроэнергетике на 21 %. Уровень инвестиций в отрасль снизился в 5 раз, что привело за 10 лет к росту износа оборудования до 52 %, снижению объемов капитальных ремонтов и их качества. Инерция этих процессов привела в последующие годы к росту износа оборудования в среднем по отрасли до 65 %. С другой стороны, у потребителей появились обоснованные претензии к надежности энергоснабжения и качеству электроэнергии, получаемой из Единой энергетической системы.

В этой связи в течение последних 10–15 лет был принят ряд поправок в федеральные законы, выпущены несколько подзаконных актов в форме постановлений и распоряжений Правительства РФ, приказами Минэнерго РФ были утверждены несколько нормативно-методических документов. Этими нормативными актами был реализован ряд инструментов государственного регулирования отрасли. В их числе — многоуровневая система показателей состояния объектов и субъектов электроэнергетики, которые рассчитываются Министерством энергетики РФ с определенной периодичностью на основании данных, предоставляемых субъектами электроэнергетики.

Указанные показатели рассчитывают и сами субъекты электроэнергетики (СЭ) — в частности, это организации, занимающиеся производством и передачей электрической и тепловой энергии. Более того, они заинтересованы в том, чтобы рассчитывать эти показатели гораздо чаще, чем Минэнерго РФ, вплоть до непрерывного мониторинга. Это позволит им:

- анализировать динамику показателей в реальном масштабе времени;
- прогнозировать влияние планируемых мероприятий на величину показателей;
- соответственно корректировать планы, направленные на улучшение показателей;
- оценивать влияние выполненных мероприятий на показатели.

Однако, чтобы иметь такие возможности, необходимы соответствующие средства расчета и оперативного перерасчета. Учитывая территориально распределенный характер деятельности каждого СЭ, большое количество эксплуатируемых объектов (десятки тысяч у каждого СЭ, включая функциональные узлы и единицы оборудования), массу параметров, значения которых необходимо собирать, хранить и обрабатывать, — без соответствующей автоматизированной системы расчета показателей состояния (АСРПС) не обойтись.

За создание такой системы взялись компании НПП «СпецТек» и «Философия.ИТ» (компания входит в «Лигу Цифровой Экономики»). Исполнители проекта в короткий срок разработали решение, в котором автоматизирован расчет показателей, установленных нормативно-методическими документами Минэнерго РФ:

- индексов технического состояния (ИТС);
- вероятностей и последствий отказов оборудования;

- индексов готовности к отопительному сезону.

Созданное решение уже апробировано и внедрено в одном из крупных российских энергохолдингов.

Методическая основа АСРПС

В разработанной системе реализованы положения нормативно-методических документов Минэнерго РФ:

1. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей (утверждена приказом Минэнерго РФ от 26.07.2017 г. № 676);
2. Методика проведения оценки готовности субъектов электроэнергетики к работе в отопительный сезон (утверждена приказом Минэнерго РФ от 27.12.2017 г. № 1233);
3. Методические указания по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа (утверждены приказом Минэнерго РФ от 19.02.2019 г. №123).

Не имея возможности описать их в полном объеме, ограничимся только основными аспектами. С более подробным анализом этих методик можно ознакомиться в статье [1].

1) Расчет индексов технического состояния

На вычислительной платформе реализован математический аппарат по расчету ИТС — это формулы, а также логические операторы, которые применяются в зависимости от установленных в методике условий. Результатом расчета является массив ИТС в виде безразмерных величин от 0 до 100, удобных для сравнения. Значение каждого ИТС характеризует техническое состояние того объекта, для которого этот ИТС рассчитан: $ИТС \leq 25$ — критическое состояние, $25 < ИТС \leq 50$ — неудовлетворительное, $50 < ИТС \leq 70$ — удовлетворительное, $70 < ИТС \leq 85$ — хорошее, $85 < ИТС \leq 100$ — очень хорошее.

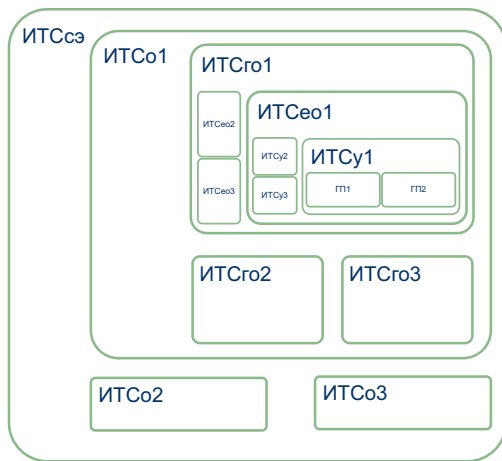


Рис. 1. Многоуровневая структура ИТС

Величина ИТС рассчитывается в системе на нескольких уровнях разукрупнения. Нижним из них является ИТС функционального узла (ИТСу), выше следует ИТС единицы основного технологического оборудования (ИТСео), далее — ИТС группы оборудования (ИТСго), например, группа паровых турбин, группа турбогенераторов. Затем уровень объекта (ИТСо) — электростанция в целом, подстанция. Верхним является уровень ИТС группы объектов, принадлежащих одному или нескольким СЭ (их обособленным подразделением) — т.е. фактически ИТС субъекта (ИТСсэ).

Уровни ИТС характеризуются иерархией и вложенностью (рис. 1). Каждый ИТС вышележащего уровня рассчитывается на основе значений ИТС нижележащего уровня, умноженных на весовые коэффициенты. И только на самом нижнем уровне ИТСу рассчитывается на основе взвешенных значений групп параметров (ГП).

Каждая ГП характеризует техническое состояние данного функционального узла определенным образом, и состоит из нескольких измеряемых физических параметров. Предполагается, что персонал будет производить измерения и вводить их в АСРПС, либо они будут поступать в систему из АСУ ТП или диагностических систем. После этого происходит автоматический перевод значений параметров в безразмерные баллы от «0» (наихудшая оценка) до «4» (наилучшая оценка) путем оценки их отклонений от предельно-допустимых значений и применения соответствующих логических операторов, установленных методикой. В итоге группе параметров присваивается балл, наименьший из полученных балльных оценок параметров, входящих в данную группу.

Для реализации указанной функциональности в АСРПС загружен весь тот обширный справочный материал, который содержится в методике: отраслевой классификатор оборудования и функциональных узлов, параметры их технического состояния и группы параметров, граничные значения этих параметров и шкалы их пересчета в баллы, весовые коэффициенты параметров и функциональных узлов, отражающие значимость каждой ГП и каждого функционального узла.

Совокупность рассчитанных таким образом ИТС обладает ценным свойством масштабируемости, которое означает, что ИТС принимает одинаковое значение при одинаковом уровне технического состояния на всех уровнях разукрупнения. Это позволяет создать единую шкалу технического состояния объектов на уровне СЭ и на уровне всей отрасли, и привести к ней техническое состояние разнородных объектов, которое характеризуется параметрами разной физической природы и измеряется принципиально разными средствами неразрушающего контроля. Такая шкала дает возможность на уровне СЭ провести ранжирование всех объектов по величине ИТС и определить приоритеты при планировании ресурсного обеспечения ремонтов, технического перевооружения и реконструкции.

В свою очередь, на уровне Минэнерго РФ производится ранжирование СЭ по величине износа оборудования, который определяется из выражения: Износ = (1 — ИТСсэ). Динамика ИТСсэ используется Минэнерго РФ для оценки эффективности ремонтных и инвестиционных программ СЭ и снижения физического износа оборудования.

2) Расчет вероятностей и последствий отказов оборудования

Показатели вероятности и последствий отказов (ВПО) необходимы в целях реализации риск-ориентированного подхода к управлению активами [2]. В основу этого подхода положена идея о списках оборудования, ранжированных по убыванию риска отказа.

Ранжированный список позволяет направить ограниченные ресурсы на выполнение работ (ремонт, реконструкция) именно на том оборудовании, которое находится в верхней части списка и имеет наивысший риск отказа. Благодаря такому сфокусированному воздействию не происходит распыления ресурсов и достигается наибольший эффект повышения надежности и снижения риска отказов. При этом предполагается отмена второстепенных работ, которые не вносят существенного вклада в повышение надежности.

Прогноз изменения ИТС

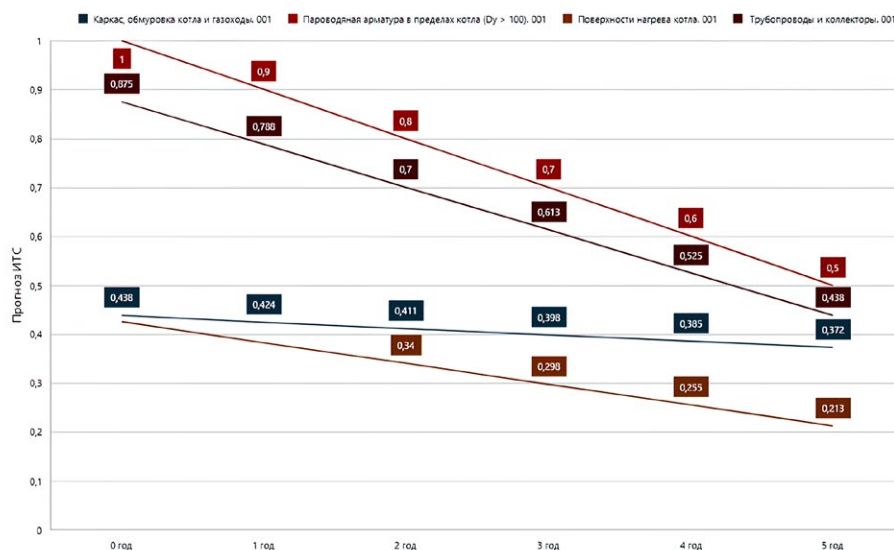


Рис. 2. Прогноз изменений ИТС функциональных узлов

В системе реализован математический аппарат по расчету ВПО — это выражения, которые активируются и применяются в зависимости от установленных условий. Технический риск отказа единицы основного технологического оборудования (ЕО) в системе рассчитывается как произведение вероятности отказа ЕО на его последствия. Вероятность отказа ЕО приравнена к максимальной из вероятностей отказа функциональных узлов этой ЕО. В свою очередь, функция вероятности отказа функционального узла (функция ненадежности) рассчитывается как функция от прогнозируемых значений ИТСу. При этом для прогноза ИТСу используется линейная экстраполяция уменьшения ИТСу со временем, как предписано методическими указаниями Минэнерго РФ. Это дает линейную возрастающую функцию вероятности отказа. Результаты расчета выводятся в удобном для анализа виде (рис. 2, рис. 3).

Реализована возможность корректировки прогноза изменения ИТСу до и после технического воздействия на объект/ЕО/функциональный узел, на основании оценки фактического значения ИТСу, а также корректировки тангенса угла наклона экстраполирующей линии. Применение этих корректировок приводит к более сложной форме функции ненадежности, более приближенной к ее фактическим значениям.

Последствия отказа рассчитываются в виде суммы составляющих — стоимость замены ЕО, затраты на пуск ЕО после восстановления, затраты на возмещение экологического убытка, затраты на компенсацию нанесенного вреда здоровью и жизни людей, а также иные составляющие, отражающие различные виды убытков, учитываемые при определенных условиях.

3) Расчет индекса готовности к отопительному сезону

Соответствующая методика Минэнерго РФ задает единые и четкие критерии оценки готовности к отопительному сезону для всех энергокомпаний и позволяет выявлять несоответствия по количественным показателям. Она устанавливает индекс готовности субъекта к отопительному сезону (ИГС) и определяет порядок его расчета в виде безразмерной величины от 0 до 1. При этом уровням готовности «Готов», «Готов с условиями» и «Не готов» соответствуют значения $ИГС=1$, $0,95<ИГС<1$, $ИГС<0,95$. По сути ИГС интегрирует в себе взвешенные оценки множества видов деятельности энергокомпаний по подготовке к отопительному сезону.

Внедрение ИГС позволило Минэнерго РФ перейти к рейтинговой системе оценки готовности объектов/субъектов электроэнергетики и к непрерывному мониторингу готовности с контролем динамики выполнения требований в автоматическом режиме.

Благодаря такому подходу:

- повышается точность и объективность выводов регулятора, поскольку оценка выполняется по единому алгоритму для всех;
- мониторинг деятельности энергокомпаний проводится в течение всего года, а не только фиксируется состояние на момент проверки;
- снижается административная нагрузка на энергокомпании, поскольку проверка проводится дистанционно;
- повышается качество подготовки к отопительному сезону, поскольку мероприятия реализуются планомерно, а не аврально после проверки.

В соответствии с указанной методикой, в АСРПС сформированы предписанные методикой показатели готовности (ПГ), определены необходимые для их расчета поля данных, к ним привязаны соответствующие расчетные формулы и логические операторы, отличающиеся от показателя к показателю. Создана шкала для перевода в баллы результатов расчета показателей, загружены соответствующие граничные значения показателей и весовые коэффициенты, отражающие значимость выполнения того или иного показателя.

Показатели сгруппированы в условия готовности, а те в свою очередь — в группы условий. В ходе внедрения системы предполагается настройка применяемого набора показателей, условий готовности и групп условий готовности в зависимости от вида деятельности СЭ — производство электроэнергии, энергоснабжение потребителей, передача электрической энергии, оперативно-диспетчерское управление.

Реализован математический аппарат по расчету индексов выполнения субъектом электроэнергетики условий готовности объекта (ИВУ), индексов выполнения групп условий готовности объекта, индексов готовности объекта (ИГС). Иерархичностью и логикой расчета индекс готовности похож на ИТС: индексы вышележащего уровня рассчитывается на основе значений индекса нижележащего уровня, и только на уровне ИВУ расчет идет на основе взвешенных значений ПГ. При этом в группе условий «Техническое состояние» в качестве ПГ используется ИТС и вероятность отказа единицы оборудования, рассчитанные по указанным выше методикам.

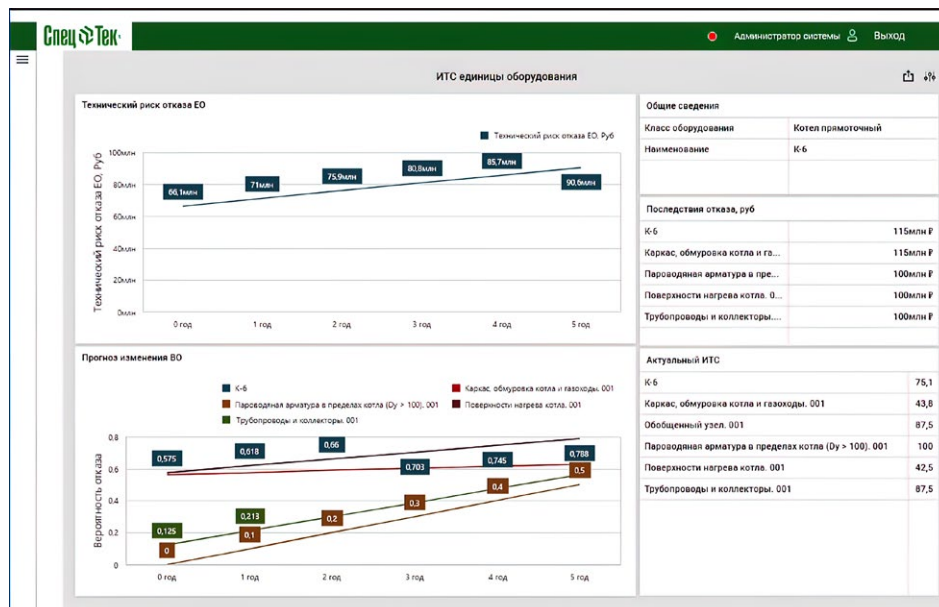


Рис. 3. Прогноз изменения вероятности отказа узла и риска отказа ЕО



21-23 апреля
Строительная выставка
«Крым. Стройиндустрия.
Энергосбережение. Весна-2022»
ONLINE на сайте

WWW.EXPOFORUM.BIZ

Разделы экспозиции:

- Строительные материалы и технологии
- Строительные машины и механизмы
- Инженерные системы и оборудование
- Окна, двери, кровли, фасады
- Малые архитектурные формы. Благоустройство территорий
- Деревянное строительство
- Металлические конструкции
- Сантехника
- Экология. Системы очистки воды
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования
- Котельное оборудование
- Электротехническое и осветительное оборудование
- Кабельно-проводниковая продукция
- Средства диагностики технического состояния оборудования
- Приборы учёта электрической и тепловой энергии, газа, воды
- Энергосбережение и использование альтернативных источников энергии
- Системы автоматизации, программное обеспечение предприятий строительной, энергетической и электротехнической отраслей промышленности
- Безопасность. Системы охраны
- Средства охраны и безопасности труда в строительстве и энергетике

**Планируйте
деловые контакты
в несколько кликов!**

ФОРУМ КРЫМСКИЕ
ВЫСТАВКИ

+7 978 78 15014 (МТС)
+7 978 964 9584 (Билайн)

e-mail: marketing@expoforum.biz

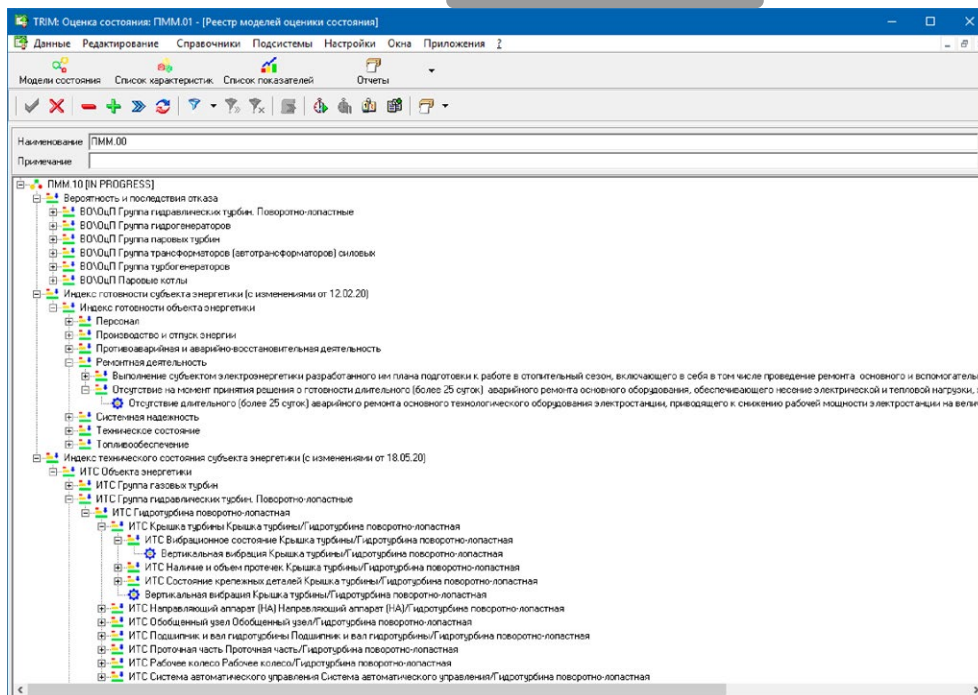


Рис. 4. Реестр моделей оценки состояния

Архитектура АСРПС

Существуют различные архитектурные решения, применяемые при построении систем управления физическими активами [3]. В данном случае АСРПС состоит из следующих структурных элементов:

1. сервер данных;
2. сервер приложений;
3. интернет-сервер;
4. клиентская часть.

Прикладное программное обеспечение АСРПС состоит из нескольких модулей:

1. модуль администрирования;
2. модуль настройки моделей расчета;
3. модуль расчета;
4. модуль web-интерфейса;
5. модуль визуализации и аналитики.

Модуль администрирования обеспечивает управление ролями пользователей, служит для создания реестра эксплуатируемого оборудования и его классификации в соответствии с отраслевым справочником, привязки контролируемых параметров, для управления моделями расчета — привязка, активация, деактивация, переключение моделей расчета в зависимости от наступления условий или событий.

Сами модели расчета формируются в специальном модуле, функциональность которого позволяет реализовать не только модели Минэнерго РФ, но и другие варианты моделей расчета (рис. 4).

Модуль расчета реализован в виде сервера приложений, который обеспечивает оперативный перерасчет показателей в случае изменения исходных данных. Модуль взаимодействует с данными таким образом, что изменение одного параметра на нижнем уровне будет вести к автоматическому (или по команде пользователя) перерасчету показателей вверх по уровням иерархии.

Модули администрирования и настройки моделей имеют клиентскую часть. Однако, большинство пользователей получают доступ к функциям системы через web-интерфейс. Он позволит персоналу цехов (операторам, обходчикам), используя мобильный терминал, смартфон или планшет, посредством браузера вводить и корректировать значения контролируемых

параметров, входящих в модель расчета показателей. Руководители же смогут через web-интерфейс осуществлять согласование параметров, получать результаты расчета показателей и пользоваться визуальными инструментами аналитики (dashboard). Такая архитектура позволила создать многофункциональную вычислительную платформу для распределенного сбора данных, расчета интегральных показателей и выгрузки их на верхние уровни управления предприятием и отраслью.

Заключение

Разработанная система является источником актуальной информации для руководителей о состоянии оборудования и готовности к отопительному сезону. Инструменты визуализации и анализа повышают оперативность и эффективность управленческих решений. В частности, модуль аналитики позволяет анализировать распределение объектов по уровням состояния и готовности, ранжировать объекты и филиалы по величине ИТС/ИГС, выявлять функциональные узлы, группы оборудования, объекты и параметры, в наибольшей степени повлиявшие на понижение ИТС/ИГС.

Созданное решение дает компаниям инструмент автоматизированного расчета ИТС/ИГС, а также расчета и прогнозирования вероятности и технического риска отказа функционального узла/единицы оборудования. Немаловажной является возможность оперативного перерасчета ИТС/ИГС и риска отказа при изменениях первичных параметров, а также возможность перенастройки модели расчета при изменениях нормативной базы. **ЭС**

Литература

1. Антоненко И. Н. Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами энергетики // Энергоэксперт. 2020. № 1 (73). С. 26–33.
2. Антоненко И. Н. Риск-ориентированное управление техническим состоянием активов в энергетике // В мире неразрушающего контроля. 2020. Т. 23. № 1. С. 18–22.
3. Молчанов А. Ю. Организация распределенных вычислений для управления физическими активами // Автоматизация в промышленности. 2017. № 8. С. 23–28.

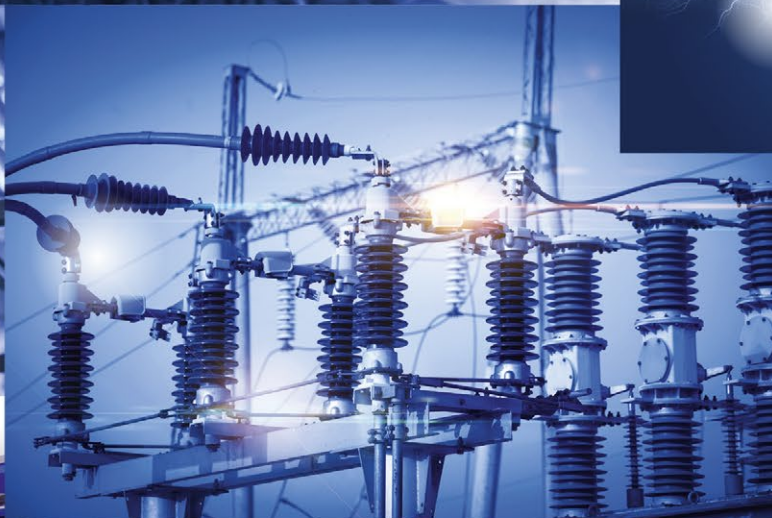
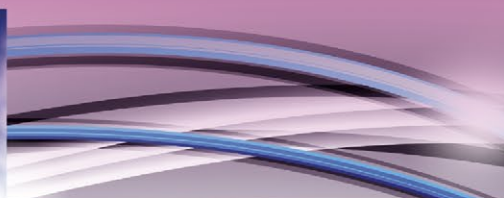
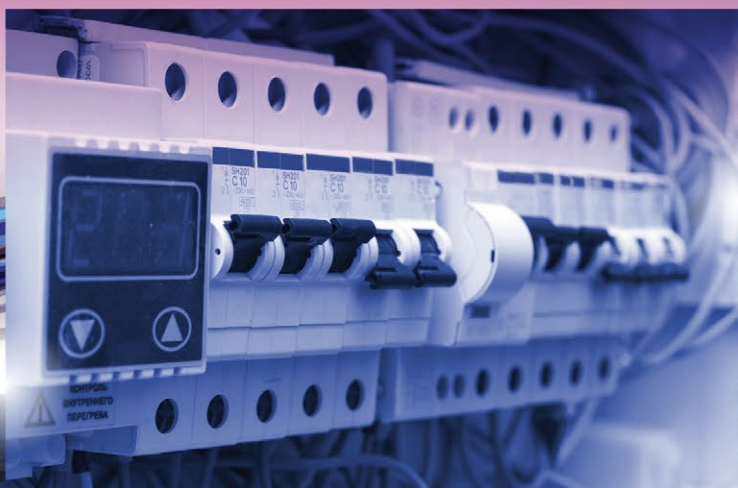


ЭЛЕКТРО

30-я юбилейная международная выставка
«Электрооборудование. Светотехника.
Автоматизация зданий и сооружений»

6–9 ИЮНЯ 2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» • WWW.ELEKTRO-EXPO.RU



 **ЭКСПОЦЕНТР**



12+

Реклама



**ЭЛЕКТРО
МАРКЕТ**
ВАЖНЫЕ СВЯЗИ
ДЛЯ ВАЖНЫХ ДЕЛ



**ЭЛЕКТРО
ОБЩЕНИЕ**
РАЗГОВОРЫ
С ТОЛКОМ



**ЭЛЕКТРО
НАВЫКИ**
ПРОКАЧАЙ НАВЫКИ
И КОМПЕТЕНЦИИ

Унификация и стандартизация маркировки оптических кабелей в России

Дмитрий Гиберт, заместитель генерального директора по техническим вопросам Завода Инкаб

Печатается с разрешения <https://vols.expert>

Для потребителей стандартизация продукции — одна из наиболее востребованных и важных тем. Соответствие продукции требованиям общепринятых стандартов качества значительно облегчает процесс выбора того или иного поставщика, и при этом все участники рынка взаимодействуют в рамках единых нормативных документов.

В частности, в отрасли волоконно-оптических кабелей в России неоднократно озвучивалась проблема отсутствия системного подхода и сильной разрозненности в части классификации, условного обозначения и маркообразования. Для решения этой задачи, а также утверждения обязательного перечня регламентируемых технических параметров и методов их контроля, был разработан новый ГОСТ. Несмотря на то, что полноценное приведение разработанных ранее оптических кабелей в соответствие стандарту предполагается в течение пяти лет с даты введения, то есть к 2025 году, уже сейчас можно оценить, какую пользу он может принести производителям, заказчикам и подрядчикам, а также выявить нюансы.

Маркировка оптических кабелей. Текущая ситуация в России

На сегодняшний день в России действуют более 20 производителей оптических кабелей, и продукция каждого из них имеет собственную уникальную маркировку. Например, классический диэлектрический самонесущий оптический кабель (ОКСН) в маркировке завода Инкаб обо-

значается как ДПО, в маркировке Саранскабель-Оптики обозначается как ОКК, а в маркировке Москабель-Фуджикуры — ОКСД.

При этом в отрасли сложилось два различных подхода к кодовому обозначению типов кабелей:

1. по области применения и условиям прокладки, например, ОКГМ, где буква «Г» обозначает, что кабель предназначен для прокладки в грунте;
2. по конструктивному исполнению, например, ОКЛ, где буква «Л» обозначает, что кабель бронирован стальной ламинированной гофрированной лентой.

Полная маркировка ВОК в обязательном порядке содержит в себе кодовые обозначения особенностей конструктивного исполнения, а также числа оптических волокон. Примеры структуры маркировки различных заводов-производителей приведены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры структуры маркировки ОК различных заводов

Несомненными недостатками текущей ситуации с маркировкой оптических кабелей являются:

- **Сложность и неудобство использования.** Потребителю для заказа необходимо разбираться в структуре маркировки кабеля ВОЛС и знать все нюансы. Если закупается продукция нескольких производителей, то сложность возрастает многократно.
- **Трудность сравнения.** Ввиду достаточно сильных различий в системах маркообразования прямое сравнение маркировок разных производителей невозможно и необходима полная ручная дешифровка и последующий детальный анализ, который сопряжен со значительными трудозатратами.
- **Возможность ошибок и опечаток.** В маркировках легко запутаться, пропустить необходимые символы или перепутать их. Это приводит к тому, что, зачастую, даже производитель оптического кабеля не может однозначно идентифицировать запрос потребителя и вынужден задавать уточняющие вопросы, которые также приводят к потерям времени на коммуникацию.

Практически все эти недостатки нивелируются наличием на сайте ВОЛС.Эксперт конфигуратора «Переводчик маркировок». После ввода первых букв маркировки (типа кабеля) конфигуратор определяет производителя и открывает новые поля, которые соответствуют системе маркировки этого завода (рис. 2).

Далее пользователь может заполнить соответствующие поля, имеющие описание, чтобы облегчить ввод и исключить возможные ошибки, и получает полное описание кабеля с детальными характеристиками. Весь процесс требует небольшого объема введенных данных, пару кликов мышки и занимает буквально пару минут. А самое главное — избавляет потребителя от необходимости трудоемкого поиска системы маркировки на сайтах производителей, ее изучения и последующей дешифровки.

Маркировка оптических кабелей. Текущая ситуация в мире

Практически все крупнейшие производители в мире используют собственные уникальные названия и имена для разных типов кабелей, то есть ситуация в целом схожа со сложившейся ситуацией в России. Например, свои самонесущие кабели Corning называет SOLO, Prysmian — SM@RTSPAN, а OFS — PowerGuide DT. Не является исключением и полное маркообразование: каждым заводом разработана собственная кодировка, зачастую весьма сложная для понимания (рис. 3).

Стоит отметить, что принимались попытки создать унифицированную маркировку. В частности, в странах Центральной Европы широко известен стандарт DIN VDE 0888, который, в том числе, описывает единые принципы кодирования оптических кабелей по типу исполнения, а также применяемым материалам и оптическим волокнам. Тем не менее данная система тоже обладает рядом недостатков, а именно:

- **Маркировка неидеально описывает конструкцию,** оставляя «белые пятна» в описании. Например, непонятно какого типа, размера и материала используются диэлектрические элементы.
- **Производители из-за отсутствия полноты вариантов используют собственные наработки и вводят дополнительные обозначения.** Это затрудняет в дальнейшем однозначную идентификацию кабеля и требует дополнительной информации и последующей дешифровки символов.

Вследствие всего этого, наряду с использованием маркировки по DIN VDE, производители продолжают пользоваться собственными обозначениями в качестве альтернативы. Таким образом, можно сделать вывод, что ни в мире, ни в России нет единого подхода и единой разработанной системы маркообразования волоконно-оптических кабелей. Такой ситуация и оставалась до недавнего времени.

Интерфейс веб-конфигуратора «Переводчик маркировок». Вверху есть две вкладки: «Магистральный оптический кабель» (активна) и «Локальный оптический кабель». Под ними инструкция: «Введите первые буквы маркировки кабеля». Основное поле — «Завод-изготовитель:», в котором выбран «ОКС-01». Ниже — «Марка кабеля:», где заданы значения: x5: ДПТ, x8: 48, x9: Е, x12: 8, x15: 6, x20: 10, x24: 0.3, x26: Д. Внизу есть кнопки «Найти» и «Показать описание полей».

Рис. 2. Общий вид конфигуратора «Переводчик маркировок»

Corning Cable

Пример маркировки Corning Cable: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10. Символы: 1 (пусто), 2 (пусто), 3 (A), 4 (пусто), 5 (T), 6 (пусто), 7 (пусто), 8 (пусто), 9 (A), 10 (20).

OFS

Example: AT-3BE27DT-MNN- E1, E2, E3, E4¹

Part Number: AT- S1 S2 SF S3 S4 S5 S6 - N N N - [E1] [E2] [E3] [E4]¹

Рис. 3. Примеры маркировки зарубежных производителей

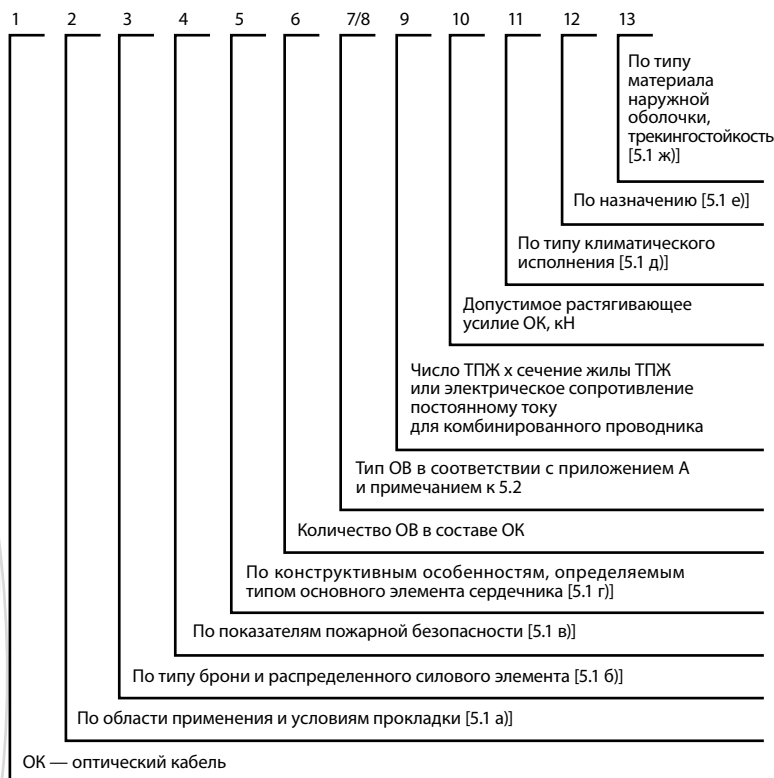
ГОСТ Р на оптические кабели

Первая попытка создать унифицированную систему маркообразования была предпринята в 2004 году при разработке и внедрении ГОСТ Р 52266-2004 «Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие технические условия». ГОСТ содержал раздел 4 «Классификация», где в подразделах 4.1 — области применения и 4.2 — условное обозначение, были сформулированы принципы маркообразования. По факту примененная система не отвечала всему разнообразию представленных на рынке конструкций, современным требованиям и прогрессу в бурно развивающейся отрасли. Как следствие, условные обозначения из данного стандарта не применялись ни одним из крупных кабельных заводов.

В 2019 году Ассоциация «Электрокабель» и Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности (ВНИИКП) разработали новую версию этого ГОСТ, которая вступила в силу в 2020 году: ГОСТ Р 52266-2020 «Кабели оптические. Общие технические условия». Раздел с классификацией и условным обозначением остался, но был существенно переработан. Несмотря на то, что разделение оптических кабелей осталось по области применения и условиям прокладки, сама система маркообразования, прошедшая через несколько итераций и согласований, была изменена и дополнена. Первоначальные варианты условных обозначений были очень громоздкими: ОКЗСДХЛ или ОКРДТЛ и содержали, помимо признаков по применению, различные другие параметры, например, тип климатического исполнения. Все это могло привести к тому, что производителям пришлось бы сертифицировать не десятки, а сотни различных марок. После плодотворных дискуссий удалось немного облегчить и упростить маркировку (рис. 4).

Тем не менее даже новые утвержденные условные обозначения не избавили отрасль от некоторых проблем.

1. *Типы кабеля по-прежнему классифицируются по области применения.* Такая классификация не в полной мере отображает конструктивные особенности кабеля. Существующая маркировка некоторых кабельных заводов по конструктивному исполнению с требуемой точностью описывает состав изделия. Например, ДПС — центральный диэлектрический (Д) силовой элемент, П — с промежуточной оболочкой и стальными проволоками в качестве брони (С). Потребитель однозначно понимает, что получает именно такую конструкцию кабеля. Одновременно с этим маркировка по условиям применения других кабельных заводов в расшифровке тоже однозначно определяет применяемые материалы, например, для кабеля в кабельную канализацию это применение стальной гофрированной ленты. Новый ГОСТ не налагает такие ограничения. Формально кабель для прокладки в кабельную канализацию может содержать или не содержать промежуточную оболочку, имея одну и ту же марку.



2. *Кабели единого конструктивного исполнения могут применяться в разных областях применения.* Например, кабель с распределенными силовыми элементами в виде стеклонитей может одновременно применяться как для прокладки в защитных пластмассовых трубах (ОКЗТС), так и для прокладки в кабельной канализации (ОКЗС) и даже в качестве самонесущего диэлектрического (ОКВДС). Конструктив один, а возможные марки разные. В ГОСТ добавлено важное примечание: «Применение ОК одной классификационной подгруппы или группы взамен ОК других подгрупп (для других условий прокладки) допускается при обеспечении всех технических характеристик не хуже, чем установлено настоящим стандартом для этих подгрупп». Получается, что технически кабель ОКВДС при соответствующих технических характеристиках можно будет прокладывать и в кабельную канализацию. Однако для проектировщиков возникает дополнительная путаница. Поэтому в проектах, вероятнее всего, будут разные названия для разных условий прокладки: ОКЗС и ОКВДС, а на этапе конкурсных процедур производители будут объяснять, что кабель при этом используется одного конструктива и может быть взаимозаменяем согласно примечанию в ГОСТ. Возникнут коллизии относительно соответствия прописанным в проектной документации маркам и излишние бюрократические процедуры. Это лишь один из частных примеров, число которых при детальном анализе весьма существенно.

3. *Нарушены традиционные названия подвесных кабелей, применяемых на объектах электроэнергетики.* Так кабель ОКГТ (встроенный в грозозащитный трос), согласно новому ГОСТ, называется ОКВГ, а кабель ОКСН (самонесущий диэлектрический) в новом ГОСТ маркируется как ОКВДА, что также вызовет дополнительные неудобства.

Рассмотрим предполагаемую пользу от унификации маркировок оптоволоконного кабеля, которую декларирует новый ГОСТ:

- в проектной документации используются единые унифицированные марки кабеля без привязки к конкретному производителю;
- в закупочной документации на конкурсах, согласно проектной документации, также используются единые маркировки.

Таким образом, предполагаются одинаковые условия для всех заводов-производителей, без предпочтений, связанных с использованием уникальных марок и сложностями с пересогласованием одной марки на другую. Возможность участия в конкурсных процедурах «на равных» увеличивает конкуренцию на рынке, от чего, в идеале, должен выиграть потребитель.

Рис. 4. Условное обозначение оптических кабелей по ГОСТ 52266-2020

26–28
АПРЕЛЯ 2022

**КЛЮЧЕВАЯ
ПЛОЩАДКА
СФЕРЫ ТЭК**



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РМЭФ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ

XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА



**ЭНЕРГЕТИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**



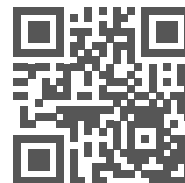
18+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU
rief@expoforum.ru
+7 (812) 240 40 40, доб.2626

EXPOFORUM

ENERGETIKA-RESTEC.RU
energo@restec.ru
+7 (812) 303 88 68



Однако становятся очевидными и ряд недостатков с этим связанных.

1. Самонесущие кабели разных производителей имеют различные характеристики в части веса, диаметра и модулей упругости. Это связано с высокой вариативностью возможных конструкций, удовлетворяющих одним и тем же требованиям по стойкости к механическим воздействиям. Разные характеристики приводят к невозможности применения универсальных расчетов по подвесу кабеля, таких как стрелы провеса и возникающие нагрузки. Нельзя воспользоваться данными для расчета одного производителя, а применять в проекте кабель другого производителя. Проект необходимо пересчитывать, что сводит к нулю преимущества единой маркировки. Кроме того, особо опасно использование единой маркировки при разных внешних диаметрах запроектированного и закупаемого кабеля, так как это сопряжено с необходимостью использовать разные натяжные и поддерживающие зажимы, которые могут быть к тому времени уже закуплены.

2. Постоянный прогресс в отрасли приводит к тому, что кабели могут содержать различные дополнительные решения, в том числе инновационные, не отображаемые в маркировке, но приносящие некоторую добавочную ценность для потребителя. Наиболее простой пример — наличие рипкорда, облегчающего и ускоряющего разделку кабеля для монтажных бригад. Если маркировка у конкурирующих производителей одна, а потребитель выбирает по маркировке, то становится бессмысленным использование этого элемента, так как это в том числе увеличивает себестоимость продукции. Таким образом, единая маркировка препятствует техническому прогрессу и развитию конструкций.

3. Не учитываются требования к новым классам кабелей. Например, использование Ribbon-волокон в кабелях без брони для прокладки в кабельной канализации невозможно согласно новому ГОСТ, так как предъявляются определенные требования по стойкости к раздавливанию, которым этот класс кабелей не может удовлетворять несмотря на всю перспективность конструкции. В результате потребитель вынужден либо отказываться от использования таких кабелей, либо идти на компромисс и отступать от требований ГОСТ.

4. Закупки по единой маркировке приведут к предложениям от производителей, которые минимально отвечают требованиям ГОСТ. Для производителя не будет иметь никакого смысла добавлять характеристики, потенциально влияющие на скорость и удобство монтажа или долговечность, если потребитель не будет готов за это платить. Например, набирающие популярность в мире полностью «сухие» кабели. В наихудшей ситуации все станут покупать «буквы и цифры» в маркировке, без учета особенностей конструкций и потенциальных выгод при монтаже и эксплуатации, что также напрямую повлияет на надежность линий из-за увеличения числа ошибок.

Следствием возникающих недостатков будет являться то, что рынок разделится на два класса потребителей:

1. заказчики «высокого уровня» будут предъявлять свои дополнительные требования или особую маркировку, обеспечивая необходимый им уровень качества и удобства работы с продукцией, фактически для этого класса Заказчиков соответствие оптического кабеля ГОСТ не будет играть никакой роли;

2. типовые заказчики будут получать типовые кабели с минимально возможными по ГОСТ характеристиками без использования новейших материалов или конструкторских разработок, дающих дополнительные преимущества, таким образом, для этого сегмента реальный уровень качества оптических кабелей с внедрением ГОСТ снизится.

Стандартизация зарубежной кабельной продукции ВОЛС

Общемировая практика, определяемая развитыми странами, сводится к тому, что должен соблюдаться баланс интересов заказчика и производителя. Заказчик всегда определяет свои собственные требования к продукции, которые не исчерпываются общепринятыми мировыми стандартами, такими как IEC или IEEE. К конкурсной процедуре допускаются минимум два производителя, наиболее часто это три-четыре производителя. В документации перечислены собственные маркировки допущенных производителей, как аналоги друг друга. Продукция всех допущенных производителей при этом в обязательном порядке предварительно проходит все необходимые проверки и тестирование, в том числе в независимых испытательных центрах. Другие производители к конкурсу не допускаются. Таким образом, заказчик полностью уверен в качестве предлагаемой продукции и ее соответствии предъявляемым требованиям, исключив непонятных производителей, предлагающих как бы то же самое, но одновременно с этим обеспечивая конкурентное предложение.

Цветовая кодировка оптических волокон

В мире не принят единый стандарт о том, какие цвета и в каком порядке должны применяться для кодировки оптических волокон в кабеле. Однако многие страны имеют свой собственный стандарт: ANSI/TIA-598 в США и многих других странах, DIN-VDE 0888 в Германии и части стран Европы и другие (рис. 5).

Общепринятой является кодировка по 12 цветам в связи с тем, что в условиях недостаточного освещения, как это часто бывает где-нибудь на чердаках или в полевых условиях, человеческий глаз отчетливо может различать только 12 цветов. А дополнительные цвета видятся как оттенки основных и могут быть легко перепутаны. Однако в одном оптическом модуле (трубочке) могут быть размещены больше 12 волокон, вплоть до 96.

ANSI/TIA-598 Наиболее распространен (США и многие другие страны)	DIN VDE 0888 Применяется в Германии и части стран Европы	S12 Швеция	Fin2012 Финляндия
Blue	Red	Red	Blue
Orange	Green	Blue	White
Green	Blue	White	Yellow
Brown	Yellow	Green	Green
Slate	White	Yellow	Slate
White	Slate	Slate	Orange
Red	Brown	Brown	Brown
Black	Violet	Black	Aqua
Yellow	Aqua	Violet	Black
Violet	Black	Orange	Violet
Rose	Orange	Aqua	Rose
Aqua	Rose	Rose	Red

Рис. 5. Примеры цветовой кодировки оптических волокон в разных странах



Рис. 6. Цветовая кодировка оптических модулей по ANSI/TIA-598



Рис. 7. Принцип кодировки оптических волокон в России



Рис. 8. Пример использования оптических модулей одинакового цвета

При этом возможны разные схемы кодировки. Наиболее популярен способ нанесения на волокно дополнительных штрихов (кольцевых меток), который может быть применен для модулей, содержащих до 48 волокон. Первая дюжина волокон имеет стандартную цветовую кодировку, а на последующие наносятся один штрих (кольцо), два или три рядом. Вторым возможным способом является использование цветных обмоточных нитей, которые объединяют дюжины. Таким образом, обмоточная нить тоже является кодирующим элементом, определяющим порядок дюжины. При кодировании большого количества волокон штрихами или обмоточными нитями возникает нюанс, который необходимо учитывать, особенно для волокон со сверхнизким затуханием: возникают дополнительные микроизгибные потери, которые несколько увеличивают затухание. Если в оптическом модуле используется не более 16 волокон, то современные стандарты допускают использование дополнительных цветов вместо нанесения кольцевых меток.

В России нет единого стандарта, определяющего порядок цветов оптических волокон. Разные заводы используют различный порядок. Это приводит к большим проблемам и путанице при монта-

же кабелей разных производителей. Все потребители отмечают неудобства с этим связанные. Необходимо переделывать схемы соединения волокон друг с другом, учитывать и согласовывать между собой разные цвета. Казалось бы, что внедрение нового ГОСТ должно решить данную проблему. ГОСТ содержит приложение В, которое определяет порядок цветов волокон в оптических модулях согласно стандарту ANSI/TIA-598. Однако данное приложение является справочным, а значит, носит необязательный характер. Соответственно, путаница и неудобства, связанные с разными цветами, будут продолжаться. Например, в проекте использована схема по ANSI/TIA-598, а на конкурсе выигрывает производитель, который использует кодировку по DIN VDE 0888, и это будет означать дополнительную «головную боль» для подрядчика при монтаже. Или использование трудноразличимых цветов также будет приводить к сложностям и ошибкам при сварках оптических волокон.

Цветовая кодировка оптических модулей

Оптические модули, содержащие набор оптических волокон, объединяются в кабеле, как правило, в виде скрутки вокруг центрального силового элемента. Общепринятой мировой практикой здесь является то, что модули тоже имеют свой собственный уникальный цвет, соответствующий порядку, примененному при кодировании оптических волокон, например, по ANSI/TIA-598 (рис. 6).

Общепринятой практикой в России является использование, так называемой, счетной пары, когда в скрутке присутствует основной модуль определенного цвета и направляющий модуль другого цвета. По направляющему модулю идет отсчет всех остальных, которые имеют одинаковый натуральный (белый) цвет (рис. 7):

За счет того, что модули в скрутке не меняют своего расположения по длине кабеля, всегда можно определить с обоих концов кабеля порядковый номер модуля по счету. Причина использования такого метода кроется в том, что производить модули одинакового цвета более экономично: не требуются дополнительные затраты и расходы дорогостоящего материала при смене цветов. Вышедший ГОСТ в приложении В определяет аналогичный подход применения «счетной пары» и также носит характер справочного, а значит необязательного. Необязательность выполнения рекомендаций ГОСТ Р в части цветовой кодировки оптических модулей и использование устаревшей системы кодировки (по счетной паре) приводит к тому, что при монтаже подрядчик вынужден работать с модулями одинакового цвета, что требует повышенной аккуратности и внимательности (рис. 8).

Очень часто при этом модули перепутываются, что приводит к дополнительным сложностям при сдаче линии и/или дальнейшей эксплуатации. Производство оптических кабелей с уникальными по цветам оптическими модулями полностью исключает эту проблему, однако невыгодно производителю при отсутствии дополнительных требований со стороны заказчика и при прочих равных условиях о соответствии минимальным требованиям ГОСТ.

Заключение

Несмотря на очевидные достоинства разработанного ГОСТ на оптические кабели в части систематизации предъявляемых требований и методик испытаний, предлагаемая унификация противоречит современным мировым тенденциям. Необязательность соблюдения цветовой кодировки приведет к продолжающейся путанице на рынке, а единая маркировка снизит общий уровень качества предлагаемых кабелей.

В связи с этим предлагается к реализации следующее:

- условное обозначение кабелей перевести из обязательного в справочное;
- цветовую кодировку оптических волокон перевести из справочной в обязательную;
- цветовую кодировку оптических модулей сделать аналогичной кодировке оптических волокон (уникальные цвета) и обязательной.

Ограничители перенапряжения для ВЛ до 1000 В

Александр Зигун, начальник технического отдела Группы Компаний «Инсталл»

В настоящее время на российском рынке существует огромное количество различных ограничителей перенапряжения (ОПН) при передаче грозового импульса через трансформатор. Напомним об их особенностях, поскольку эта информация может быть полезна специалистам в области монтажа и эксплуатации в сетях низкого напряжения.

Применение

Ограничители перенапряжений нелинейные с металл оксидными нелинейными резисторами (варисторами) предназначены для защиты от коммутационных и грозовых перенапряжений изоляции электрооборудования переменного тока частоты 50 Гц для электроустановок с номинальным напряжением до 660 В. Отсутствие искрового промежутка обеспечивает постоянное подключение ограничителей перенапряжений к защищаемому оборудованию. Ограничители перенапряжений обладают следующими преимуществами:

- высоким уровнем ограничения всех видов перенапряжений — высокий уровень защиты, который не зависит от крутизны и полярности входного импульса;
- отсутствием сопровождающего тока после затухания волны перенапряжения;
- простотой конструкции и высокой надежностью в эксплуатации;
- стабильностью характеристик и устойчивостью к старению;
- возможностью к рассеиванию больших энергий;
- стойкостью к атмосферным воздействиям и загрязнениям;
- малыми габаритами, весом;
- небольшой ценой при высоком качестве.

Ограничители ОПН типа ОП/ЛВА (рис. 1) используются для защиты от различного рода перенапряжений в низковольтных электроустановках — от низковольтного изолятора трансформатора СН/НН до ввода в дом либо распределительное устройство.

В зависимости от области применения все ограничители перенапряжений типа ОП/ЛВА делятся на пять видов (рис. 2):

1. Для защиты кабельных отводов воздушных линий электропередач — решение, часто используется при подключении новых потребителей электрической энергии. В таком случае ограничители перенапряжений исполняют роль не только защиты устройств конечного потребителя, но также защищают кабель от последствий перенапряжений.
2. Для защиты присоединений воздушных линий электропередач и элементов электроэнергетической сети. Установка ОПН гарантирует защиту устройств конечного потребителя, а также препятствует распространению волны перенапряжения по элементам сети.

3. Для защиты трансформаторов и выходных цепей НН распределительных устройств.

4. Для защиты концов воздушных радиальных линий НН.

5. Для защиты точек ответвлений воздушных линий НН.

Пример технических характеристик Ограничителя перенапряжения LVA-260 (ОП-600/28):

- длительно-допустимое напряжение: 280 В;
- номинальный ток разряда: $I_n = 10 \text{ кА}$;
- максимальный ток разряда: $I_{\text{max}} = 40 \text{ кА}$;
- остающееся напряжение (кВ).

Токовый импульс молнии 8/20 мкс:

1 кА	2 кА	5 кА	10 кА	20 кА
0,76	0,82	0,96	1,20	1,58;

- энергопоглощающая способность: 4,1 Дж/В Ус.

На воздушных линиях рекомендуется, чтобы на каждые 500 м длины ВЛИ 0,4 кВ (либо ВЛ 0,4 кВ) был установлен минимум один комплект ОПН. Чаще всего ОП/ЛВА поставляется вместе с прокалывающим зажимом.

Достоинства ОПН типа ОП/ЛВА видны уже на этапе монтажа ВЛИ:

- ОПН имеет линейный вывод (подключается к проводу ВЛИ) в виде изолированного адаптера, совместимого со всеми типами ответвительных прокалывающих зажимов;
- вывод заземления ОПН (подключается к заземляющему проводнику) имеет удобную барашковую гайку с зажимом;
- наличие у линейного вывода нескольких вариантов крепежной арматуры, необходимых для различных случаев применения.



Рис. 1

В ограничителях перенапряжений отсутствует искровой промежуток, вследствие чего при их срабатывании износа контактов не происходит. Варисторы, применяемые в ограничителях перенапряжений, имеют устойчивую вольтамперную характеристику, которая не изменяется в процессе эксплуатации. Поэтому, в отличие от вентильных разрядников, ОПН не требуют обслуживания и контроля параметров в течение всего срока службы. Исследования характеристик ОПН при длительно приложенном рабочем напряжении проводились в течение многих лет, как в Советском Союзе, так и в других странах. При разработке ОПН в 1970–1980-х годах был проведен большой объем исследований влияния различных факторов на срок службы ОПН: уровня приложенного напряжения, конструкции аппарата, температуры окружающей среды, качества варисторов. На основании этих исследований были получены эмпирические зависимости срока службы от этих факторов, который составляет не менее 40 лет.

Ограничители перенапряжений не подлежат ремонту эксплуатирующими организациями и не требуют профилактических испытаний в процессе эксплуатации. При профилактических испытаниях изоляции электрооборудования повышенным напряжением, ограничитель должен отключаться с принятием мер, исключающих пробой на его потенциальный ввод. Большим достоинством ОПН типа OP/LVA является то обстоятельство, что их конструкцией предусмотрено выпадение из корпуса цветной пестрой крышки ОПН при срабатывании ОПН, то есть при перегрузке и при его пробое. Выпавшая крышка висит рядом с корпусом ОПН и визуально хорошо видна со значительного расстояния, что позволяет оперативно обнаружить на опорах сработавшие (пробитые) ОПН.

Конструкция и принцип действия

Ограничители перенапряжений представляют собой разрядники без искровых промежутков, в которых активная часть состоит из металлооксидных нелинейных резисторов, изготавливаемых из керамического материала на основе окиси цинка (ZnO) с малыми добавками окислов других металлов (рис. 3).

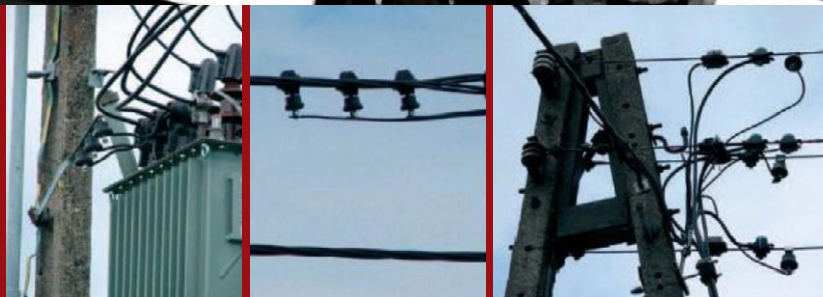


Рис. 2

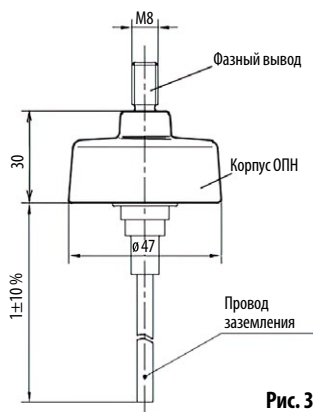


Рис. 3

В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель носит емкостной характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении волн перенапряжений резистор ограничителя переходит в проводящее состояние и ограничивает дальнейшее нарастание напряжения на выводах. Когда перенапряжение снижается, ограничитель возвращается в непроводящее состояние.

Резистор впрессовывается в оболочку из полимерных материалов, которая обеспечивает заданную механическую прочность и изоляционные характеристики. Полимерный корпус обеспечивает

надежную защиту от всех внешних воздействий на протяжении всего срока службы. Эта конструкция отлично зарекомендовала себя во всех условиях эксплуатации при температуре от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$, на высоте до 2 тыс. м над уровнем моря, влажности до 90 %, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений.

При возникновении импульсов тока, значительно превышающих расчетный уровень, разрушение ограничителя происходит без взрывного эффекта. Проведенные испытания показали отсутствие разрушительных воздействий на окружающую среду и обслуживающий персонал, что является принципиальным отличием от ограничителей в фарфоровом корпусе.

В заключении хотелось обратить внимание на необходимость правильно подобрать ограничитель перенапряжения. От этого зависит безопасность любого объекта. В связи с тем, что на рынке присутствует огромное количество ОПН, необходимо обращать внимание на:

- конструктивные особенности;
- величину рабочего напряжения;
- место расположения.

Так, например, для защиты от импульсных перенапряжений применяются вентильные разрядники, для различного вида нелинейного сопротивления — варисторы и их комбинации. В свою очередь, защитные элементы (ОПН) согласно классификации МЭК по назначению и по параметрам разделяются на классы А, В, С и D. Класс А предназначены для установки в распределительных воздушных сетях низкого напряжения. Класс В — для систем уравнивания грозовых перенапряжений и защиты от прямых ударов молнии. Класс С предназначены для защиты от импульсных перенапряжений в стационарных электроустановках и устанавливаются во вводных распределительных щитах. Класс D — для защиты от импульсных перенапряжений в стационарных и передвижных электроустановках и устанавливаются в розеточных блоках или непосредственно у потребителя.

Грамотный и комплексный подход — гарантия бесперебойного функционирования приборов и безопасности как электрооборудования, так и всего сооружения.



Опыт разработок «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» сверхпроводниковых устройств для электроэнергетики

Печатается с разрешения журнала «Энергия единой сети» № 4 (59) 2021
<https://www.xn----glcfcctdc4bhow0as6psb.xn--p1ai/publications/162-4-59-2021-g/1983-opit-razrabotok-ntc-fsk-ees-na-puti-vnedrenija-v-elektroenergetiku>

Виктор Сытников, доктор технических наук;
Андрей Кашеев;
Михаил Дубинин, «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»

Использование сверхпроводящих кабельных линий в электрических сетях позволит существенно повысить их эксплуатационные характеристики. Сети, использующие подобные устройства, имеют существенные преимущества, такие как снижение потерь энергии, увеличение удельной мощности передачи, высокая надежность, экологическая чистота и пожарная безопасность. В настоящее время мы являемся свидетелями начала внедрения таких сетей в реальную электроэнергетику.

Введение

Эффективность выработки и транспортировки электроэнергии к потребителю, повышение качества поставляемой энергии становятся приоритетными направлениями в развитии электроэнергетики в XXI в. Одновременно повышаются требования к экологическим и ресурсосберегающим параметрам на всех этапах производства и распределения электроэнергии. Удовлетворить растущие требования можно только с использованием наиболее передовых и продвинутых технологий, в том числе сверхпроводниковых. Интерес к таким разработкам особенно усилился в последние годы в связи с открытием так называемых высокотемпературных сверхпроводников, работоспособных при охлаждении дешевым и легкодоступным жидким азотом. Кроме того, охлаждение до температуры жидкого азота требует на порядок меньших энергетических затрат, чем охлаждение жидким гелием, что снижает издержки.

Во всем мире ведутся активные исследования и разработки различных типов электротехнических устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников: трансформаторов, моторов и генераторов, токоограничителей и силовых кабелей. При этом силовые сверхпроводящие кабели и токоограничивающие устройства представляют собой наиболее разработанный и продвинутый способ применения сверхпроводимости в электроэнергетике в настоящее время.

Краткая история вопроса

Реальные работы в сфере сверхпроводящих устройств для электроэнергетики после открытия сильноточного интерметаллического соединения Nb_3Sn [1] были начаты с попыток создания силовых сверхпроводящих кабелей (СПК). Это была эра низкотемпературной

сверхпроводимости, то есть рабочие температуры сверхпроводящих материалов не превышали 10 °K, и хладагентом мог служить только жидкий гелий (рис. 1).

Сверхпроводящий кабельный бум во многих развитых странах продолжался около 20 лет, до 1985 года. В России над созданием СПК трудились в ЭНИН, ВЭИ и ВНИИКТ примерно с 1970 года. В мире было произведено и испытано множество образцов и моделей СПК длиной от 1 до 115 м. За рубежом наиболее последовательно этой темой занимались в Брукхейвенской национальной лаборатории в США (БНЛ) [2]. В БНЛ изготовлен стенд и испытана 115-метровая трехфазная кабельная линия (КЛ). Испытания подтвердили отличные характеристики СПК. Однако высокие стоимости сверхпроводника и жидкого гелия, а также криогенновакуумного оборудования подняли уровень экономической целесообразности замены традиционных кабелей на СПК до 5–10 ГВА на цепь. Кроме того, для поддержания низких рабочих температур на уровне 4–6 °K необходимы значительные затраты энергии на входе криогенной системы (табл. 1) [3]. В силу этого низкотемпературные СПК не были востребованы и работы над ними были свернуты во всем мире.

Криогенная температура, °K	Необходимая мощность при комнатной температуре, Вт
200	2
150	4
100	8
77	12
30	80
4	200

Таблица 1. Требуемые затраты энергии криогенной системы для получения 1 Вт холода при различных температурах

Открытие высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов в 1986 году [4] обеспечило новые возможности для разработчиков сверхпроводящих электротехнических и электроэнергетических устройств [5]. Использование для охлаждения дешевого и доступного жидкого азота вместо дорогостоящего гелия позволило проектировать перспективные сверхпроводящие устройства. Кроме того, охлаждение до температуры жидкого азота требует на порядки меньших энергетических затрат (см. табл. 1). Однако только через полтора десятка лет были разработаны ВТСП-материалы, пригодные для изготовления электротехнических устройств. Практическое значение при создании ВТСП-устройств, охлаждаемых жидким азотом, сегодня имеют керамические соединения на основе висмута (Bi, Pb) $Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ (сокращенно BSCCO, с критической температурой 105–120 °K) и иттрия $YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO, с критической температурой 90–92 °K) (рис. 2). ВТСП-материалы промышленно выпускаются в основном в виде лент шириной 3–12 мм с критической плотностью тока 30–50 А на 1 мм ширины ленты. Проводники первого поколения на основе висмута производятся по металлургической технологии (рис. 3а), а проводники второго поколения на основе иттрия — по тонкопленочной технологии (рис. 3б).

Для увеличения токонесущей способности исходные ленты должны быть объединены в различные комбинации. Для создания сильноточных проводников требуется параллельное объединение нескольких десятков–сотен исходных сверхпроводящих лент, при этом необходимо обеспечить их равномерную загрузку током, принимая во внимание тот факт, что ленты не имеют омического сопротивления. Кроме того, необходимо учитывать чрезвычайную хрупкость ВТСП-материалов, которая накладывает существенные ограничения на технологию изготовления и прокладки сверхпроводящих кабелей. Все это потребовало разработки специальных методов конструирования сверхпроводящих кабелей [6].

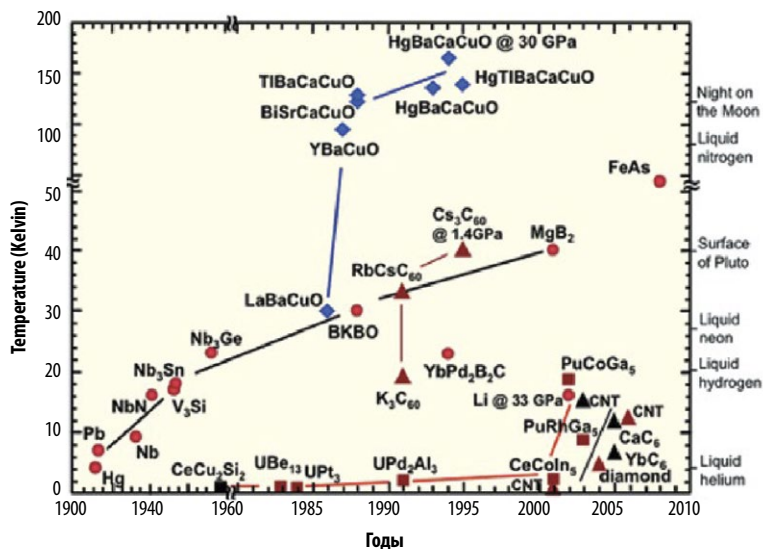


Рис. 1. История открытия сверхпроводящих материалов

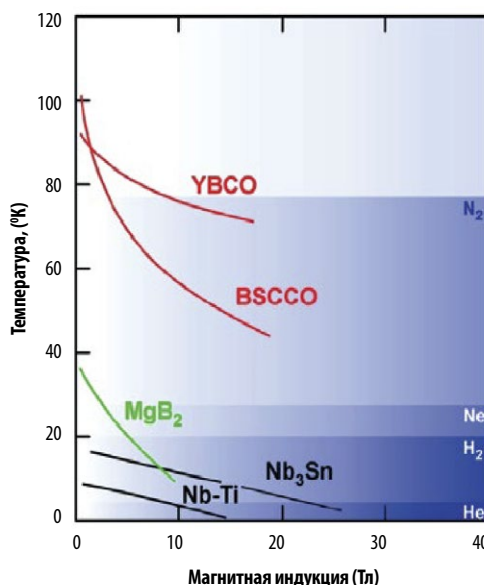


Рис. 2. Области существования сверхпроводимости в ВТСП-материалах

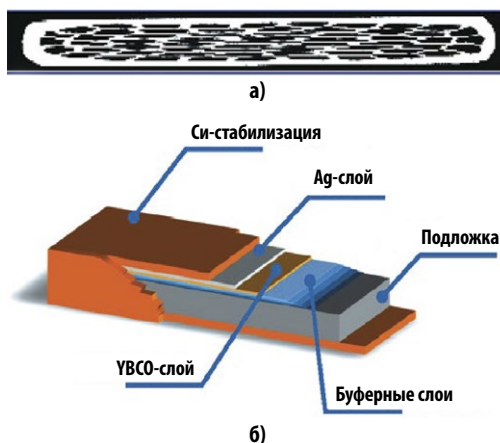


Рис. 3. Структура ВТСП-лент первого (а) и второго (б) поколения

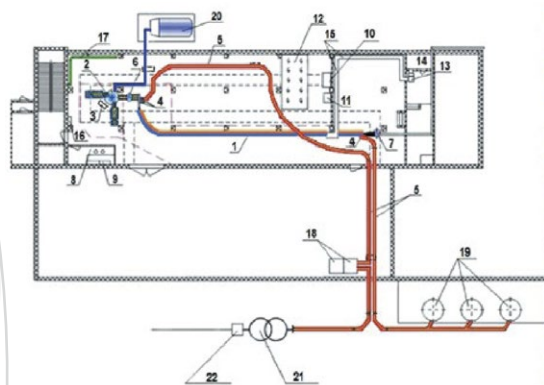
Еще одна волна исследований в России в сфере сверхпроводящих устройств для электроэнергетики началась в 2004 году по инициативе РАО «ЕЭС России» и ОАО «ФСК ЕЭС» (ныне «Россети ФСК ЕЭС»). Была утверждена Программа работ по созданию и применению в электроэнергетике технологий и оборудования на основе сверхпроводимости и дорожная карта по силовым ВТСП-кабелям. С этого момента ОАО «НТЦ электроэнергетики», ныне «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», принимает активное участие в данных работах.

В период с 2004 по 2010 год основной задачей «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» было создание криогенного полигона для испытаний ВТСП-устройств и их проведение. На полигоне были проведены успешные испытания 30-метровой и 200-метровой ВТСП КЛ, разработанных в рамках проекта, возглавляемого ЭНИН им. Г. М. Кржижановского [7, 8]. После успешных испытаний в 2010 году было принято решение о расширении спектра задач организации, а именно о начале собственных разработок сверхпроводящих устройств.

При поддержке «Россети ФСК ЕЭС» был инициирован проект по комплексной разработке ВТСП КЛ постоянного тока для энергосистемы Санкт-Петербурга. «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» принимало участие в проекте «Сверхпроводниковая индустрия» ГК «Росатом». В рамках проекта был изготовлен стенд для испытаний сверхпроводящих устройств на устойчивость к токам короткого замыкания вплоть до токов 70–80 кА. Создание этого стенда обеспечило участие «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» в разработке сверхпроводящих токоограничивающих устройств, проводимой компаниями «СуперОкс» и ОИВТ РАН. Основной вклад в развитие данного направления в ОАО «НТЦ электроэнергетики» внесли Ю. Г. Шакарян, В. В. Дорофеев, В. Е. Сытников, П. Ю. Корсунов, Т. В. Рябин, А. В. Кашеев, М. В. Дубинин, С. Ф. Осетров, А. Н. Киселев, В. Н. Карпов и другие сотрудники.

Криогенный испытательный полигон

На базе существующего испытательного центра был создан уникальный полигон для испытаний сверхпроводящего электроэнергетического оборудования, который позволяет проводить испытания силовых ВТСП КЛ напряжением до 110 кВ и токами до 4 кА под нагрузкой и при различных аварийных режимах (рис. 4–6). На полигоне установлены реакторы, которые служат индуктивной нагрузкой и позволяют испытывать электротехнические устройства с полной нагрузкой, т.е. при одновременном приложении номинальных значений тока и напряжения, что делает его уникальным в ряду аналогичных испытательных центров мира. Полигон был дооснащен источником питания постоянного тока на 6 кА. Схема полигона представлена на рис. 4. Система криогенного обеспечения (СКО) полигона поставлена компанией «Стирлинг» (Нидерланды). Стандартный блок типа LPC4 был



Примечание. Холодопроизводительность одного криокулера составляет до 3,4 кВт на уровне 77 °К. СКО обеспечивает поток переохлажденного азота до 100 л/мин при температурах до 66 °К. Минимальное давление на входе системы равно 2 атм, максимальное давление на выходе системы — 6 атм.

Рис. 4. Компоновочная схема криогенного полигона

адаптирован под нужды полигона. Блок позволяет использовать два криокулера одновременно. Важной частью СКО являются специально разработанные блоки распределения нагрузок (БРН). Эти блоки установлены на входе и выходе фаз кабеля и позволяют управлять потоками азота, перераспределяя их между фазами. Кроме того, в БРН установлены датчики давления, температуры и расходомеры, что дает возможность получать полную информацию о состоянии криогенной системы. Все параметры собираются и записываются компьютерной системой сбора данных в реальном времени.

Краткие результаты разработки и испытаний ВТСП-устройств и их элементов, проведенных в «НТЦ «Россети ФСК ЕЭС»

Основное внимание при проведении исследований уделялось разработкам в области создания ВТСП КЛ для передачи энергии. Это было



Рис. 5. Криогенная система полигона



Рис. 6. Трехфазная индуктивная нагрузка

обусловлено очевидными преимуществами таких линий по сравнению с традиционными. Кроме того, из всех разрабатываемых к моменту начала работ ВТСП-устройств только КЛ могли обеспечить диапазон мощностей порядка десятков и сотен мегаватт, что представляло непосредственный интерес для «Россети ФСК ЕЭС». В токопроводящих элементах таких кабелей используются сверхпроводящие материалы, которые при охлаждении ниже критической температуры имеют нулевое омическое сопротивление прохождению электрического тока. При этом максимальная рабочая плотность тока в этих материалах на два-три порядка превосходит соответствующую величину в меди и алюминии. Использование подобных материалов в конструкции кабеля обуславливает возникновение следующих их особенностей:

- высокая эффективность в связи с малыми потерями энергии в сверхпроводнике;
- возможность замены существующего кабеля на кабель с большей передаваемой мощностью при тех же габаритах;
- легкий вес за счет меньшего количества используемого материала;
- увеличение «жизненного цикла» кабеля в результате замедления процессов старения изоляции;
- низкий импеданс и большая критическая длина;
- отсутствие электромагнитных и тепловых полей рассеяния, экологическая чистота и пожаробезопасность;
- возможность передачи больших мощностей при сравнительно низком напряжении.

ВТСП КЛ постоянного и переменного токов являются инновационной разработкой, позволяющей решить значительную часть проблем электрических сетей, где возможно создание схемы с применением обеих разновидностей ВТСП КЛ, которые имеют свои предпочтительные области применения. В конечном счете выбор определяется как техническими, так и экономическими соображениями.

Испытания российской ВТСП КЛ переменного тока

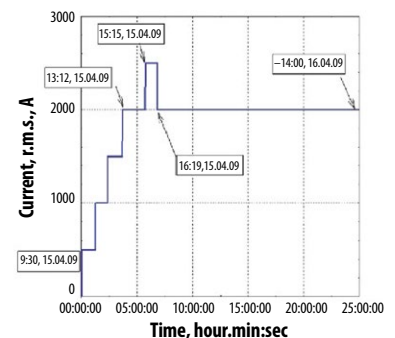
В России была разработана демонстрационная КЛ переменного тока длиной 200 м на передаваемую мощность 50 МВА. Генеральным подрядчиком по проекту являлось ОАО «ЭНИН им. Г. М. Кржижановского». Задача АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (ныне «НТЦ Россети ФСК ЕЭС») — создание испытательного стенда и проведение испытаний. Подробно содержание и ход работ по этому проекту описаны в статье Э. П. Волкова и соавторов [8], а ниже приведены краткие результаты. КЛ имеет номинальные параметры 20 кВ, 1500 А с возможностью 30 %-ной перегрузки по току. Это соответствует передаваемой мощности от 50 до 70 МВА. Кабельная система состоит из трех отдельных фаз, размещенных в трех криостатах. Конструкция каждой фазы кабеля включает центральную спираль, медный стабилизатор, два слоя сверхпро-

водящих лент, выполняющих функцию токопроводящей жилы кабеля, высоковольтную изоляцию, один слой сверхпроводящих лент, выполняющих функцию экрана, медный защитный слой и гибкий криостат. Коаксиальная конструкция кабеля с двумя ВТСП-проводниками обеспечивает протекание тока в проводнике и экране лишь по сверхпроводящим лентам, что приводит к отсутствию омических потерь энергии в кабеле. Электромагнитное поле таких сверхпроводящих кабелей сосредоточено только внутри сечения самого кабеля. Расчет конструкции кабеля проводился на базе учета электрических и механических характеристик лент и необходимости обеспечения их равномерной загрузки током. Сечение медных стабилизаторов выбиралось, исходя из условия обеспечения допустимого нагрева кабеля при воздействии токов короткого замыкания в течение времени срабатывания релейной защиты. Потери энергии на переменном токе определялись с учетом конструктивных особенностей кабеля, распределения электромагнитного поля между токопроводящей жилой и экраном, соотношения значений рабочего и критического токов.

В ходе работ была изготовлена трехфазная кабельная система длиной 30 м, после успешного испытания которой на стенде «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» была изготовлена штатная 200-метровая ВТСП КЛ. На рис. 7 показан трехфазный кабель во время испытаний. Результаты испытаний опубликованы в нескольких работах [7–9]. Критический ток фаз кабеля (на постоянном токе) составлял не менее 4500 А при 77 °К и критерии 1 мкВ/см при рабочем токе 1500 А. Вольтамперные характеристики 200-метровых фаз кабеля показаны на рис. 8. Начальный наклон кривых соответствует сопротивлению токовых вводов. Ток перегрузки в 2000 А линия успешно выдержала в течение 24 ч (см. рис. 7). В ходе испытаний было продемонстрировано равномерное распределение токов между двумя повивами лент сверхпроводящей жилы. Линия успешно выдержала высоковольтные испытания напряжением 50 кВ в течение 15 мин. В результате проведенных испытаний было подтверждено соответствие всех параметров КЛ техническим требованиям, а также приобретен опыт проведения испытаний ВТСП КЛ при постоянном и переменном токах.



а)



б)

Рис. 7. Общий вид трехфазной линии во время испытаний (а) и результаты нагрузочных испытаний при напряжении 20 кВ (б)

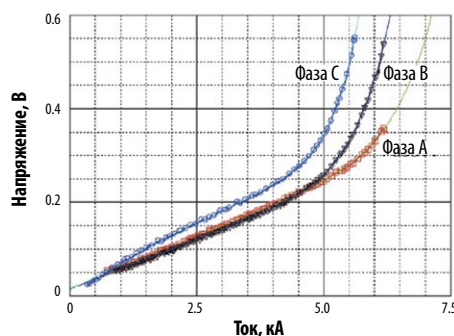


Рис. 8. Вольтамперные характеристики трех 200-метровых фаз кабеля

Разработка и испытания ВТСП КЛ постоянного тока

Линия постоянного тока длиной 2500 м на передаваемую мощность 50 МВт соединит две подстанции в Санкт-Петербурге: 330 кВ «Центральная» и 220 кВ «РП 9» [10]. Генеральным подрядчиком по проекту является «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», основные соисполнители: ОАО «НТЦ ЕЭС» (вопросы обоснования и интеграции линии в энергосистему Санкт-Петербурга), ОАО «Иркутсккабель» и НИЦ «Курчатовский институт» (разработка и изготовление кабеля и арматуры), Leds Group при научном руководстве

Передаваемая мощность	50 МВт	Тип преобразователей	12-пульсный
Номинальное напряжение	20 МВт	Возможность реверса	Предусмотрена
Номинальный ток	2500 А	Холодопроизводительность криогенной установки	12 кВт, 70 °К
Рабочая температура	66–80 °К	Давление жидкого азота	До 1,4 МПа
Длина	2500 м	Расход жидкого азота	0,1–0,6 кг/с

Таблица 2. Характеристики ВТСП КЛ постоянного тока



Рис. 9. Структура ВТСП-кабеля постоянного тока



Рис. 10. Общий вид 860-метровой ВТСП КЛ на полигоне

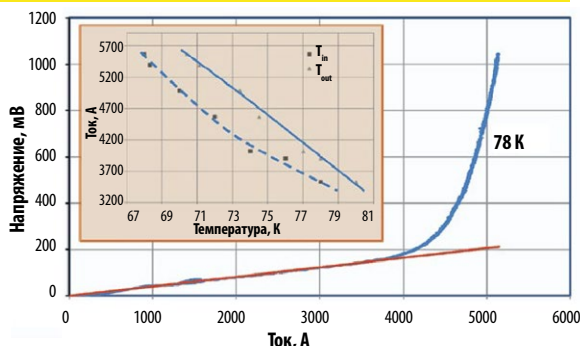


Рис. 11. Вольтамперная характеристика 860-метровой линии и температурная зависимость критического тока от температуры для 60-метровой линии

«НТЦ Россети ФСК ЕЭС» (изготовление двух вентильных преобразовательных установок), НПО «Гелиймаш» и НИЦ «Курчатовский институт» (разработка и изготовление криогенной системы) [11]. Испытания разработанных устройств и контроль всех конструктивных решений осуществляет «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» при участии заказчика «Россети ФСК ЕЭС». На всех этапах изготовления оборудования организована тесная кооперация научных и производственных организаций с целью облегчения процесса дальнейшей передачи разработок в промышленное производство. Проектные параметры линии представлены в таблице 2.

В качестве базовой была выбрана монополярная конструкция с прямым и обратным проводником в одном кабеле (рис. 9). Кабель состоит из концентрических слоев, содержащих следующие элементы: стабилизирующий формообразующий элемент, сверхпроводящий прямой проводник, высоковольтная изоляция, сверхпроводящий обратный проводник, внешний стабилизатор, внешняя (экранирующая) изоляция, электрический (несверхпроводящий) экран, криостат с защитным покрытием из сшитого полиэтилена [11]. Высоковольтная изоляция между прямым и обратным проводником рассчитана на номинальное напряжение, а экранирующая изоляция — на 2 кВ. Прямой и обратный проводники изготовлены из ВТСП-лент первого поколения с критическим током 160 и 180 А, а количество лент в проводниках подобрано, исходя из условия обеспечения суммы критических токов лент на уровне 3500 А. Высокое значение критической плотности тока в сверхпроводнике позволило разместить прямой и обратный проводники в конструкции одного кабеля, что приводит к локализации магнитного поля внутри сечения обратного проводника кабеля.

Отсутствие электромагнитных и тепловых полей рассеяния, использование в качестве пропиточного состава жидкого азота делает такие кабели экологически чистыми и существенно снижает требования к условиям прокладки кабельной трассы.

Токовые вводы и соединительные муфты для линии были разработаны и изготовлены в НИЦ «Курчатовский институт» [12]. Токовый ввод (концевая муфта) служит для соединения ВТСП-кабеля с «теплой» электрической системой и снабжен криогенным интерфейсом для присоединения гибкого криостата с ВТСП-кабелем и для подачи переохлажденного азота. Первоначально были изготовлены два 30-метровых кабеля, которые собрали в одну 60-метровую линию с двумя токовыми вводами и одной соединительной муфтой. На этой стадии были отработаны конструкции муфт и технология соединения отрезков кабеля. Успешные испытания данной линии и подробное исследование характеристик соединений позволили приступить к изготовлению в заводских условиях штатных длин кабеля.

dv.energetika-restec.ru

выставка

Энергетика ДВ региона-2022 АВТОМАТИЗАЦИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. СВЯЗЬ.

19–21 МАЯ

ХАБАРОВСК

Выставка проходит
в рамках крупнейшего
на Дальнем Востоке
ФОРУМА «ТЕХНО-ЛЕТО»



Тел.: +7 (4212) 45-20-37
E-mail: comp@khabexpo.ru



Тел.: +7 (964) 331-33-98
E-mail: lyapunova@restec.ru

КЛ была изготовлена на заводе «Иркутсккабель» и состоит из пяти отрезков длиной 430 м и одного меньшего отрезка в соответствии с проектом кабельной трассы. На рис. 10 показана 860-метровая кабельная линия, состоящая из двух штатных отрезков, во время испытаний на полигоне «НТЦ Россети ФСК ЕЭС». На рис. 11 показана вольтамперная характеристика 860-метровой КЛ и температурная зависимость критического тока, отнесенная к температуре азота на входе и выходе из линии. При изменении температуры от 68 °K до 80 °K критический ток линии изменялся от 5600 до 3500 А. Основные результаты испытаний сводятся к следующему:

- критический ток кабеля равен сумме критических токов исходных ВТСП-лент, подтверждена надежность разработанных конструкции и технологий;
- сопротивление соединений стабильно вплоть до 5000 А и не превосходит для токовых вводов 20 мКОм;
- все кабели успешно прошли испытания высоким напряжением 50 кВ в течение 30 мин.

Криогенная схема линии

Общая схема криогеннопроточной части КЛ показана на рис. 12. Криогенная станция располагается с одной стороны КЛ. Жидкий азот про-

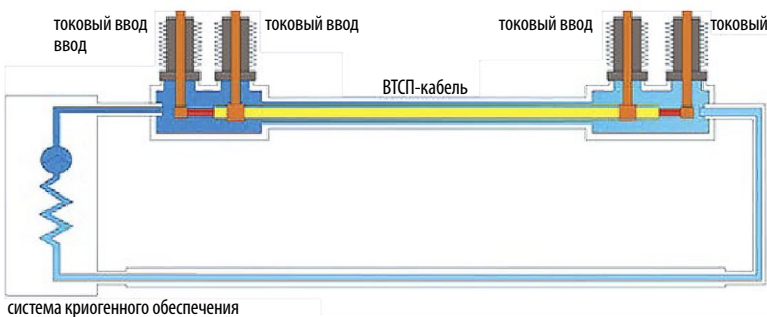


Рис. 12. Криогенная схема ВТСП КЛ

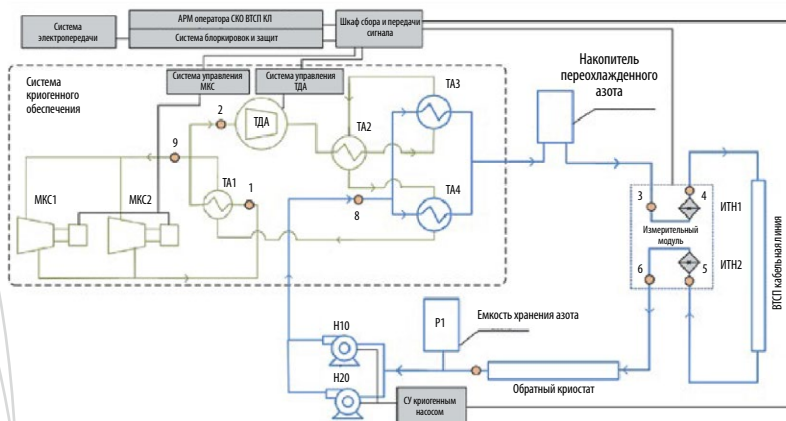


Рис. 13. Принципиальная схема двухконтурной криогенной системы

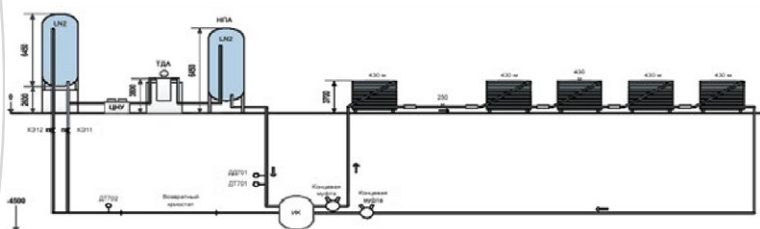


Рис. 14. КЛ длиной 2,4 км с системой криогенного обеспечения

качивается по криостату с ВТСП-кабелем и возвращается по обратному криостату меньшего диаметра. Общая длина петли прокачки составляет 5 км. Принцип работы СКО заключается в переохлаждении жидкого азота путем теплообмена с холодным газообразным гелием после прохождения азота через КЛ и соответствующего нагрева. Система криогенного обеспечения замкнутого типа выполнена по двухконтурной схеме, показанной на рис. 13. Контур охлаждения включает ВТСП-кабель в криостате, циркуляционный насос, теплообменник и емкость с переохлажденным азотом. Газовый (гелиевый) контур переохлаждения состоит из теплообменников, компрессора и детандера. Этот контур обеспечивает понижение температуры азота после его нагрева при прохождении контура охлаждения. Для повышения надежности системы и предотвращения аварийных ситуаций в криогенной системе предусмотрено дублирование циркуляционного насоса и компрессора, наличие запаса переохлажденного азота и запаса азота в запорочной емкости при атмосферном давлении.

Работа СКО автоматизирована, включая этапы начального охлаждения, поддержания теплового состояния кабеля, сброса жидкого азота из криостата и отогрева, с возможностью переключения на ручное дистанционное управление и включения автономных схем автоматического управления с пультов управления. Система автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП) модульных компрессорных станций (МКС) и криогенной насосной станции (ЦНУ) позволяет автоматически переключать работу криогенной системы на резервную гелиевую модульную компрессорную станцию и резервную криогенную азотную насосную станцию.

Криогенные испытания системы проводились на линиях 860, 1200 м и полной сборке КЛ длиной 2400 м с обратным криостатом (рис. 14). Главной целью криогенных испытаний были подтверждение охлаждающей способности криогенной системы и оценка гидравлических характеристик криогенного контура. Во время испытаний перепад высот по длине кабеля составил 8,2 м. Датчики температуры и давления были установлены на входе и выходе СКО, прямо и обратном криостатах, как было показано на рис. 13. Два нагревателя были установлены в криогенном контуре для имитации полной тепловой нагрузки в полномасштабном криогенном контуре длиной 5 км. Полученные данные по тепловой нагрузке приведены на рис. 15. Среднее значение тепловой нагрузки в криогенной среде составило 2,82 кВт. Следует иметь в виду, что это количество включает теплопритоки через криостаты, токовводы и соединительные трубопроводы между СКО и токовводами. В ходе экспериментов СКО показала стабильное значение холодопроизводительности на уровне 12 кВт. Она обеспечивала температуру на выходе из СКО в пределах от 66 °K до 68 °K при расходе азота 20–65 л/мин.

17-19 мая 2022
ОМСК

При поддержке Министерства строительства и ЖКХ Омской области
Союза строителей Омской области



СИБИРСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

В ЕДИНОЙ ВЫСТАВОЧНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ:

Строительство и архитектура, оборудование,
техника, инструменты, материалы
и конструкции

Дерево и металлы в строительстве

Энергоресурсосбережение
в строительстве и ЖКХ

Дорстройтех. Спецавтотехника

Мир климата

Малозэтажное строительство.
Дача. Сад. Огород

Демонстрация современных возможностей
строительной индустрии и сферы ЖКХ

Обширная деловая программа:
пленарные заседания, презентации, конференции,
семинары, круглые столы

МВЦ «ИНТЕРСИБ», ВК «ОМСК_ЭКСПО»



Одной из основных задач экспериментальных исследований являются получение данных о величине гидравлического сопротивления гофрированного криостата и оценка достоверности ранее предложенного теоретического расчета перепада давления [13]. Установившиеся условия течения азота в гофрированном криостате соответствуют турбулентному режиму, значение числа Рейнольдса (Re) составляет около 30 000.

Для уменьшения влияния внешних факторов при определении величины гидравлического сопротивления была выбрана термостабильная область с постоянным перепадом давления и массовым расходом. В результате эксперимента было получено среднее значение перепада давления, которое составило 0,43 бар для кабеля длиной 860 м. Средний коэффициент трения для внутреннего диаметра гофрированной трубы криостата 64 мм и кабеля 40 мм составил 0,0672. Наличие гофр в криостате увеличивает коэффициент трения, что ограничивает длину КЛ при заданном допустимом перепаде давления. Коэффициент трения жесткой трубы при одинаковом гидравлическом диаметре равен 0,02405. Коэффициент корреляции для гофрированной трубы с коэффициентом для жесткой трубы в нашем случае равен 2,74 [14, 15]. Для определения зависимости перепада давления от расхода была проведена серия экспериментов. На рис. 16 показаны экспериментальные результаты по всей длине криогенного контура. Как ранее предполагалось [13], обратный криостат вносит значительно больший вклад в падение давления вдоль криогенного контура. Из рис. 16 следует, что максимальный расход жидкого азота, не приводящий к превышению допустимого давления, составляет 47 л/мин. Перепад температур при этом расходе по сверхпроводящему кабелю длиной 2,5 км составит 3,0–3,5 °K. Таким образом, ранее выбранный рабочий расход азота 30 л/мин

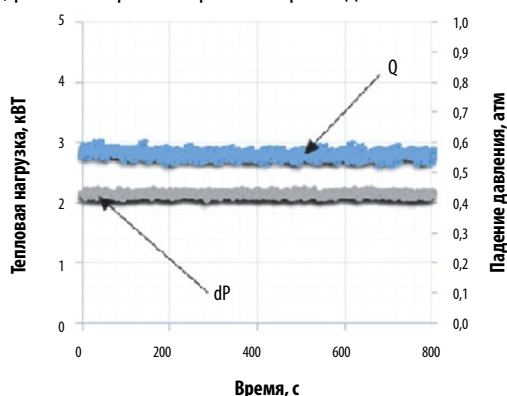


Рис. 15. Теплоприток в холодную зону и падение давления по длине кабельного криостата

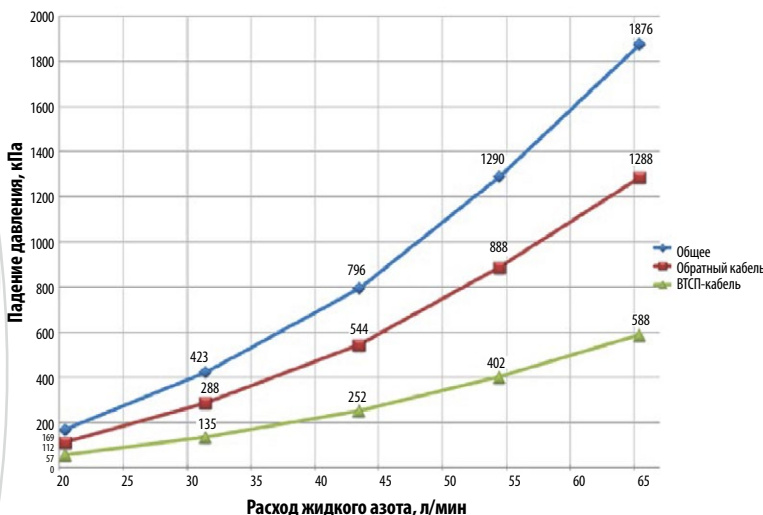


Рис. 16. Перепад давления в криогенной петле в зависимости от расхода жидкого азота

обеспечивает приемлемые рабочие параметры (перепад температур по длине кабеля 4,0–5,0 °K и перепад давления около 4 бар). Этот режим также гарантирует отсутствие газовой фазы при возврате азота в криогенный циркуляционный насос [16].

Комплексная вентильная преобразовательная подстанция

Две комплексные вентильные преобразовательные установки (КВПУ), размещаемые по концам линии передачи постоянного тока, связывают ее с сетями переменного напряжения. КВПУ собраны по 12 пульсовой схеме и снабжены L–C-фильтрующими цепями и системой управления, релейной защиты и автоматики. КВПУ выполняются по схеме двухмостового 12-пульсного ведомого (коммутируемого) сетью преобразователя. Полюсы постоянного тока двух КВПУ соединяются через сверхпроводящий кабель. Преобразовательные трансформаторы — трехфазные трехобмоточные. На стороне постоянного тока предусмотрены цепи фильтрации сигнала, настроенные на 6-ю и 12-ю гармоники. Проектом предусматривается двухсторонняя передача энергии, и каждый из КВПУ рассчитывается на работу как в инверторном режиме, так и в режиме выпрямителя. Предусматривается также регулирование передаваемой мощности. Изменениям передаваемой мощности сопутствуют изменения реактивной мощности вентильных преобразователей. Соответственно предусмотрено регулирование реактивной мощности. Оно осуществляется переключениями фильтро-компенсирующих конденсаторных батарей. На рис. 17 показаны тиристорные блоки в сборе. В заключение были проведены электрические испытания проводников кабеля (рис. 18).

Значения критического тока короткой и длинной (см. рис. 11 и 17) линий абсолютно идентичны, что свидетельствует о высокой надежности разработанной методики конструирования и заводской технологии изготовления ВТСП-кабелей. Все кабели выдержали высоковольтные испытания выпрямленным напряжением 50 кВ для основной изоляции и 10 кВ для изоляции экрана в течение 30 мин. Схема прокладки ВТСП линии в Санкт-Петербурге показана на рис. 19.

Оценка потерь энергии в сверхпроводящих КЛ

В линиях переменного тока среднего напряжения потери электрической энергии имеют место в самом кабеле, электрической изоляции и токовых вводах. В линии постоянного тока потери энергии в кабеле и изоляции отсутствуют, однако они есть в преобразовательных устройствах, токовых вводах. Кроме того, криогенная система потребляет электроэнергию для компенсации всех теплопритоков в «холодную» зону и для прокачки хладагента по всей трассе.

Для трехфазной линии переменного тока среднего напряжения на передаваемую мощность 100 МВА потери энергии на фазу складываются из следующих величин: электромагнитные потери в жиле кабеля 1,0–1,5 Вт/м, теплопритоки через криостат 1,5 Вт/м, теплопритоки через токовые вводы (200–300 Вт) $\times 2$. Потери энергии в изоляции равны примерно 0,1 Вт/м. Тогда общие теплопритоки в «холодную» зону при длине трехфазной линии 10 км составят 78,5–93,5 кВт. Умножая эту величину на типичное значение коэффициента рефрижирации, равное 20, получим 1,57–1,87 МВА, или менее 2 % передаваемой мощности.

Для аналогичной линии постоянного тока теплоприток в «холодную» зону ограничивается только теплопритоками через криостат и токовводы. Тогда общие потери энергии в кабеле длиной 10 км с учетом криогенной системы составят 0,31 МВА, или 0,31 % передаваемой мощности. Для оценки общих потерь в линии постоянного тока следует прибавить потери в преобразователях — 2 % передаваемой мощности. Итоговые потери в ВТСП-линии постоянного тока длиной 10 км мощностью 100 МВт оцениваются величиной, равной не более 2,5 % передаваемой мощности.

Приведенные оценки показывают, что потери энергии в ВТСП КЛ существенно меньше, чем в традиционных КЛ. При увеличении передаваемой мощности доля потерь энергии снижается. При сегодняшнем уровне характеристик материалов возможна передача 100–300 МВт энергии при напряжении 20 кВ и до 1000–1500 МВт при 110 кВ.

Участие «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» в работах по созданию ВТСП токоограничивающих устройств

ВТСП токоограничивающие устройства (ТОУ) предназначены для снижения уровней аварийных токов, например токов короткого замыкания. Применение таких устройств позволяет снизить

последствия от аварий, одновременно повышая качество электроснабжения в электроэнергетике, промышленности и электротранспортной инфраструктуре. Подобные устройства не имеют аналогов по быстродействию, надежности и занимаемой площади.

В основе действия этих устройств лежит свойство сверхпроводника переходить из состояния с нулевым сопротивлением в состояние с конечной проводимостью при превышении некоторого порогового значения тока. Переключение не требует внешнего воздействия и происходит при превышении критического значения тока, уровень которого задается конструкцией ТОУ. С электротехнической точки зрения ВТСП ТОУ позволяют решить две фундаментальные проблемы: обеспечить защиту электрооборудования и/или безопасное объединение энергосистем.



Рис. 17. Блоки тиристорных вентилей БВ ТВ-835/8,27 УХЛ4.2 с реакторами РФ30С-20-2200-0,03 УЗ

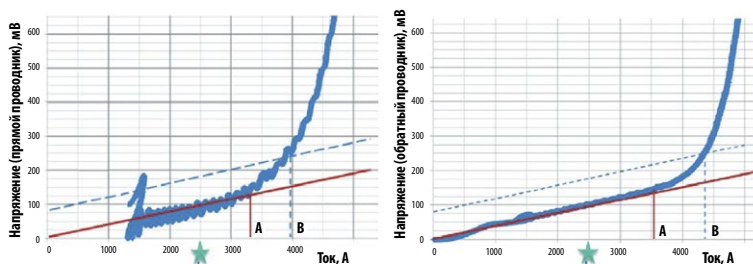


Рис. 18. Вольтамперные характеристики длиномерного прямого и обратного проводников



а)



б)

Рис. 19. Схема прокладки КЛ в Санкт-Петербурге (а) и здание криогенной станции и КВПУ на ПС «Центральная» (б)

С использованием разработанного в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» трансформатора для испытаний на токи короткого замыкания с регулированием количества циклов и угла возникновения короткого замыкания были проведены исследования галет ТОО с бифилярной намоткой ВТСП-лент. Типичный результат показан на рис. 20. Также были определены граничные условия работы ленты, на основании которых в компании «СуперОкс» спроектировали фазу ТОО, состоящую из последовательно соединенных галет. В последующем испытательный стенд применялся в режиме контроля изготовленных галет. Трехфазный ВТСП ТОО был изготовлен и установлен на ПС «Мневники» в Москве (рис. 21) [17]. В настоящее время начаты аналогичные исследования ТОО со сверхпроводящим размыкателем в ОИВТ РАН.

Перспективы дальнейшего развития работ в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» в области создания и внедрения ВТСП-устройств в электроэнергетику

Проведенные НИОКР и успешные испытания ВТСП КЛ постоянного и переменного токов продемонстрировали высокую эффективность сверхпроводящих линий и подтвердили правильность принятых технических ре-

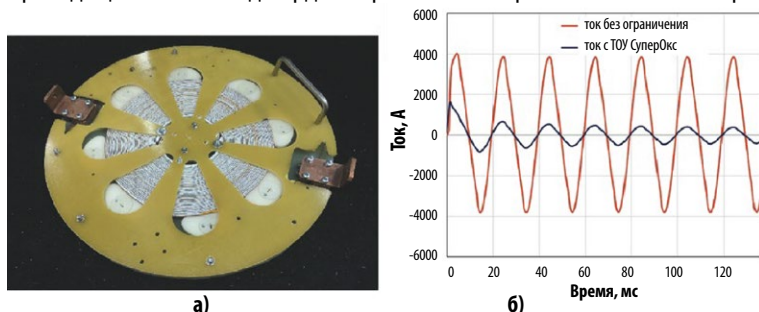


Рис. 20. Испытательная галета с ВТСП-лентой (а) и результаты испытаний (б)



Рис. 21. ВТСП ТОО на ПС «Мневники» ОЭК, Москва

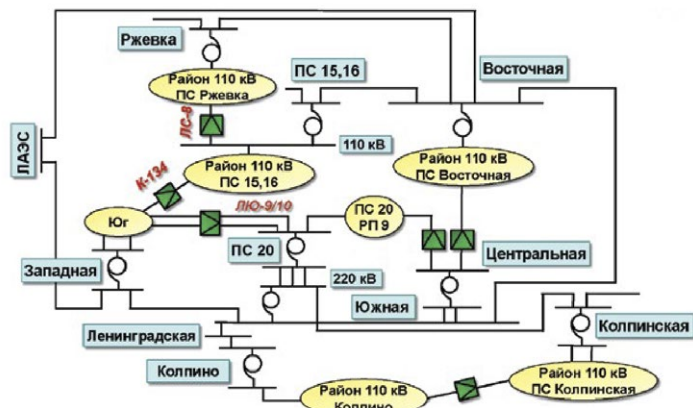


Рис. 22. Перспективная схема использования ВТСП КЛ в энергосистеме Санкт-Петербурга

шений. В процессе выполнения работы были организованы научно-производственная кооперация предприятий, технологическая и испытательная базы, обеспечивающие решение подобных и более сложных задач. Отработанные конструкторские и технологические решения могут служить надежной базой при проведении последующих работ и позволят существенно сократить объем и стоимость новых НИР.

Кардинально новые технические решения обычно с большим трудом внедряются в старые, устоявшиеся инфраструктуры. Одним из основных преимуществ сверхпроводящих КЛ является возможность передачи больших потоков энергии (сотни мегаватт) на распределительном напряжении. Открывающиеся новые возможности целесообразно учитывать и использовать при проектировании или реконструкции сетевых объектов. Например, при реконструкции/создании энергосистемы Новой Москвы целесообразно было бы предусмотреть создание продольных мощных сверхпроводящих линий, а несколько мощных ПС связать в кольцевую структуру сверхпроводящими линиями постоянного тока на стороне среднего напряжения. Это позволит существенно повысить энергоэффективность сети, уменьшить количество базовых ПС, обеспечить высокую управляемость энергопотоками и в конечном счете увеличить надежность энергоснабжения потребителей. Такая сеть может стать реальным прообразом «умной» сети будущего. Подобные предложения находят поддержку и предусмотрены в плане мероприятий по реализации национального проекта «Разработка и внедрение сверхпроводниковых технологий в топливно-энергетический комплекс Российской Федерации» как в направлении создания ВТСП КЛ постоянного и переменного токов, так и в плане создания ВТСП ТОО.

Исследование энергосистемы Санкт-Петербурга, проведенное «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» (НИИПТ), показало целесообразность использования ВТСП КЛ постоянного тока для соединения подстанций в городе с целью повышения надежности снабжения потребителей и управляемости сети (рис. 22).

В Москве также рассматривается возможность использования ВТСП КЛ постоянного и переменного токов в процессе реконструкции ряда ПС. В настоящее время по заказу предприятий ГК «Росатом» в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» начаты исследования, направленные на создание ВТСП-систем вывода энергии от АЭС и других мощных источников энергии. Изготовлен образец фазы кабеля на 24 кВ и 5 кА. Особенность данной разработки — полностью отечественное производство, тогда как во всех предыдущих проектах сверхпроводник и криостаты закупались за рубежом. В 2021 году проведены испытания кабеля на базе «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» с использованием нашей криогенной системы. В этот проект «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» планирует поставить сверхпроводящую систему вывода мощности, а также совместно с профильными компаниями ГК «Росатом» соз-

дать систему криогенного обеспечения системы вывода мощности. Планируется также наше участие в инициативной разработке, проводимой в АО «НИИЭФА» и направленной на создание гибридного токопровода для АЭС, который совмещает в себе все преимущества традиционного и сверхпроводящего решений и способен пройти сертификационные испытания по действующим нормативам. Подобное решение может быть тиражировано и на прочих мощных объектах генерации — ГЭС, ТЭС, солнечных и ветровых электростанциях и др.

Дальнейшее развитие кабельного направления ВТСП-устройств связывают с увеличением передаваемой мощности и длины КЛ [18–20]. В международном плане особое внимание привлекают планы создания Азиатского энергетического суперкольца (Asian energy supergrid). Приказом Минэнерго России Сколковский институт науки и технологий назначен оператором проекта, одной из целей которого является удвоение транспорта энергии из России к 2035 году. Использование новых более мощных ВТСП КЛ позволит повысить роль России и ПАО «Россети» в данном международном проекте. Японские компании ведут в этом плане активные разработки с целью создания в перспективе ВТСП КЛ между островами Сахалин и Хоккайдо [21–23]. «НТЦ

Россети ФСК ЕЭС» заключило соглашение о сотрудничестве в данной сфере с университетом Чубу, Япония. В этой области ключевой задачей является увеличение расстояния между криогенными станциями, прокачивающими жидкий азот для охлаждения ВТСП КЛ.

«НТЦ Россети ФСК ЕЭС» планирует продолжить участие в работах компании «СуперОкс» и ОИВТ РАН по созданию резистивных ВТСП ТОО. Также планируется начало собственных разработок ВТСП ТОО индуктивного типа, имеющих определенные преимущества перед резистивными ТОО. Кроме того, обсуждается участие «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» в работах по созданию систем электродвижения автономных объектов и специальных проектах ГК «Росатом».

Заключение

В настоящее время мы являемся свидетелями начала внедрения ВТСП КЛ в реальную электроэнергетику. В электрических сетях возможно создание схемы с применением ВТСП КЛ как переменного, так и постоянного токов. Обе системы имеют свои предпочтительные области применения, и в конечном счете выбор обуславливается техническими и экономическими соображениями. По результатам проведенных исследований можно утверждать, что в сегменте передачи большой мощности в условиях мегаполисов появилась новая доступная технология, которая выдерживает конкуренцию с традиционными технологиями, а в ряде случаев превосходит их.

Подводя итоги проделанной в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» за последние 15 лет работы, можно с уверенностью сказать, что накопленный опыт, созданная материально-техническая база и сформированный коллектив специалистов свидетельствуют о готовности организации решать масштабные и амбициозные задачи на пути внедрения в электросетевой комплекс России новых электротехнических устройств на основе явления сверхпроводимости. **ЭС**

Литература

- Kunzler J. E., Buehler E., Hsu F. S., Wernick J. H. Superconductivity in Nb Sn at high current density in a magnetic field // *Phys. Rev. Lett.* 1961. Vol. 6. P. 89–97.
- Forsyth E. B., Thomas R. A. Performance summary of the brookhaven superconducting power transmission system // *Cryogenics*. 1986. Vol. 26. Issue 11. P. 599–614.
- Ter Brake H. J. M., Wiegerinck G. F. M. Low power cryocooler survey // *Cryogenics*. 2002. Vol. 42. P. 705–718.
- Bednorz J. G., Mueller K. A. Possible high temperature superconductivity // *Z. Phys.* 1986. Vol. B64. P. 189–193.
- Дорофеев В. В., Черноплёков Н. А., Кейлин В. Е., Волков Э. П., Шакарян Ю. Т., Михайлов А. К., Сытников В. Е., Чубраева Л. И., Новиков Н. Л. Проблемы создания и применения в электрических сетях устройств, использующих явления сверхпроводимости // *Электричество*. 2005. № 7. С. 22–30.
- Сытников В. Е. Основы конструирования высокотемпературных сверхпроводящих силовых кабелей // *Известия Академии электротехнических наук*. 2008. № 1. С. 29–44.
- Sytnikov V. E., Vysotsky V. S., Fetisov S. S., Nosov A. A., Shakaryan Yu. G., Kochkin V. I., Kiselev A. N., Terentyev Yu. A., Patrikeev V. M., Zubko V. V. Cryogenic and electrical test results of 30 m HTS power cable // *Adv. Cryog. Eng.* 2010. Vol. 55. P. 461.
- Волков Э. П., Высоцкий В. С., Карпышев А. А., Костюк В. В., Сытников В. Е., Фирсов В. П. Создание первого в России высокотемпературного сверхпроводящего кабеля // *Известия Академии наук. Энергетика*. 2009. № 4. С. 31–43.
- Sytnikov V. E., Vysotsky V. S., Rychagov A. V., Polyakova N. V., Radchenko I. P., Shutov K. A., Fetisov S. S., Nosov A. A., Zubko V. V. The 30 m HTS power cable development and test // *Proceedings of ICEC-22-ICMC-2008. Korean Institute of Applied Superconductivity*. 2009. P. 907–912.
- Сытников В. Е., Бемерт С. Е., Бердников Р. Н., Фролов О. В., Шакарян Ю. Г., Шершев Ю. А. Российский проект: сверхпроводящая кабельная линия постоянного тока для электрических сетей современного мегаполиса // *Энергия единой сети*. 2012. № 4. С. 24–27.
- Sytnikov V. E., Bemert S. E., Ivanov Yu. V., Kopylov S. I., Krivetskiy I. V., Rimorov D. S., Romashov M. S., Shakaryan Y. G., Berdnikov R. N., Demyentyev Y. A., Goryushin Yu. A., Timofeev D. G. HTS DC Cable Line Project: On-going Activities in Russia // *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2013. Vol. 23. No 3. Art. 5401904.
- Naumov A., Diev D., Anashkin O., Denisov A., Anashkin O., Keilin V., Kovalev V., Lobyntsev V., Shcherbakov V., Shutova D., Sytnikov V. Current leads and joints for HTS DC Cable of 2.5 kA 20 kV // *Adv. Cryog. Eng.* 2014. Vol. 1573. P. 1692.
- Ivanov Y., Romashov M., Bemert S., Sytnikov V. Choice of flexible cryostat for 2.5 km DC HTS cable to be laid in St. Petersburg // *Advances in Cryogenic Engineering. Transaction of the CEC*. 2014. Vol. 1573. P. 887.
- Рябин Т. В., Вишневецкий Г. В., Дубинин М. К., Кашеев А. В., Сытников В. Е. Результаты испытаний сверхпроводящей кабельной линии с системой криогенного обеспечения // *Электротехника. Передача и распределение*. 2019. № 1 (52). С. 94–100.
- Рябин Т. В., Сытников В. Е., Кашеев А. В., Дубинин М. В. Комплексные испытания ВТСП кабельной линии постоянного тока протяженностью 1200 метров // *Энергия единой сети*. 2019. № 5 (48). С. 30–38.
- Sytnikov V., Kashcheev A., Dubinin M., Karpov V., Ryabin T. Test Results of the Full-Scale HTS Transmission Cable Line (2.4 Km) for the St. Petersburg Project // *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2021. Vol. 31. Issue 5. Art. 4201405.
- Mozzykh V., et al. First Russian 220 kV Superconducting Fault Current Limiter for Application in City Grid // *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2021. Vol. 31. Issue 5. Art. 5601707.
- Аксютин О. Е., Ишков А. Г., Грачев В. А., Панцырный В. И., Карпук Л. А., Абдюханов И. М., Сытников В. Е. Перспективы использования высокотемпературных сверхпроводников для передачи энергии на большие расстояния // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22 (3). С. 15–21.
- ASS e.V. / CERN. Long-distance transport of green power: first successful testing of a 20 kA superconducting cable. 2014. Press release.
- Ballarino A., et al. The BEST PATHS Project on MgB₂ Superconducting Cables for Very High-Power Transmission // *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2016. Vol. 26. No 3. Art. no. 5401705.
- Yamaguchi S., Yamada T., Iitsuka T., Sato A., Sawamura T., Sytnikov V. Low voltage and large current DC superconducting power cable designs for 10 km to 100 km transmission line using experimental data of Ishikari project // *Journal of Physics: Conf. Series* 1293 (2019) 012067 IOP Publishing.
- Сытников В. Е., Кашеев А. В., Рябин Т. В. Перспективы создания сверхпроводящих кабельных линий для передачи электроэнергии на большие расстояния // *Энергия единой сети*. 2018. № 1 (36). С. 34–40.
- Sytnikov V. E., Ryabin T. V., Yamaguchi S., Ivanov Yu. Prospects of using HTSC cable lines for long distances energy transfer // *Report on CIGRE Session*. 2018. B1-301.



Нестандартный взгляд на привычное

Муфта для оптического кабеля

Фото: Евгений Ланкин
Визажист: Юлия Бобина
Модель: Наталия Брызгалова



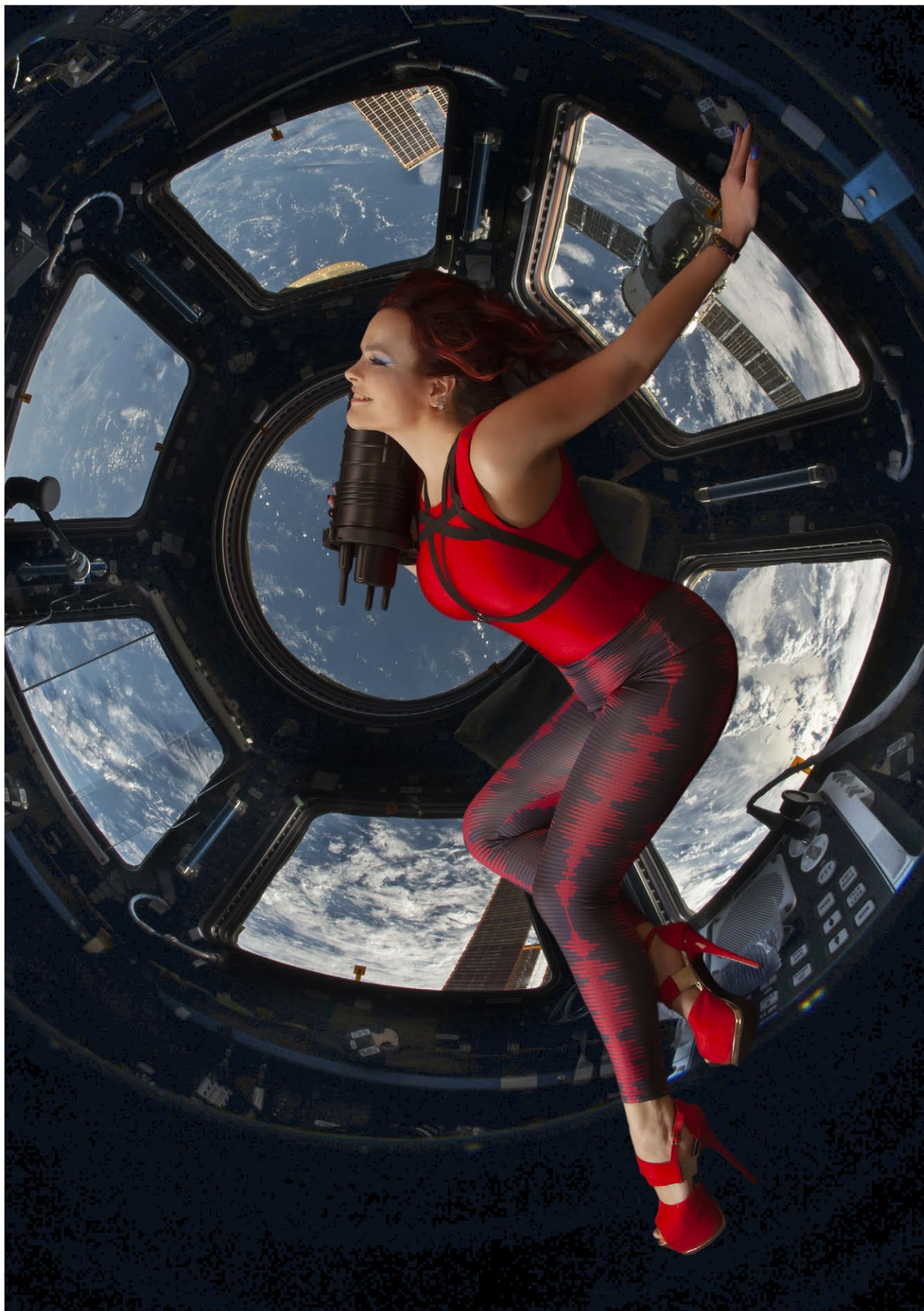












Борис Якоби



Якоби — Сименс.

Партия на бильярде

Татьяна Мосунова, заведомо PR Свердловского областного краеведческого музея им. О. Е. Клера

Научные открытия часто напоминают игру на бильярде. В воздухе носится какая-то мысль и потом, как кий по шарам, она совершает удар по исследователям. В процессе участвуют несколько, но попадает в лузу обычно один. Его имя становится знаменитым. Тот, кто заставил его совершить движение, остается в тени.

Уже не первый раз мы рассказываем о людях, сделавших фундаментальные открытия в электротехнике. Их изобретениями мы пользуемся ежедневно, не задумываясь, кто был в самом начале цепочки, которая привела нас к новому уровню комфорта. Некоторые из них более успешные в маркетинговых стратегиях дали свое имя изобретенным или открытым ими явлениям: Вольт, Ампер, Ньютон, Паскаль, Сименс, Эдисон. Мы расскажем о Борисе Якоби, благодаря которому появился первый электрический телеграф и электромобиль.

Русский подданный немец-еврей

Борис Якоби за 72 года своей жизни многое изменил в своей биографии: имя, подданство, вероисповедание. Мориц Герман Якоби появился на свет 21 сентября 1801 года в Потсдаме в состоятельной еврейской семье — отец будущего изобретателя работал личным банкиром прусского императора Фридриха Вильгельма III. В семье было несколько детей и у всех проявились яркие способности к точным наукам. Родители решили, что он будет архитектором, Мориц Герман не стал противиться, но позднее все же нашел себя в другом: электротехнике. Евреям, даже имевшим связи при дворе прусского монарха, нелегко было строить карьеру. Якоби принял лютеранство, изменил имя, стал университетским ученым. Через некоторое время он получил предложение работать в России. Якоби покинул земли прусского короля и стал подданным российского императора. Сегодня Бориса

Якоби считают своим и немцы, и евреи, и русские. Видимо вопрос о самоидентичности тоже тревожил его, потому что Якоби посчитал нужным высказаться на этот счет: «Если достигнутые в сфере науки результаты приносят пользу всему миру, то без сомнения тем большее значение они имеют для страны, в пределах которой результаты эти достигнуты... Культурно-историческое значение и развитие народов оценивается по достоинству того вклада, который каждый из них вносит в общую сокровищницу человеческой мысли... Нижеподписавшийся поэтому обращается с чувством удовлетворенного сознания к своей 37-летней ученой деятельности, посвященной всецело стране, которую привык считать вторым отечеством, будучи связан с нею не только долгом подданства и тесными узами семьи, но и личным чувством гражданина. Нижеподписавшийся гордится этой деятельностью потому, что она, оказавшись плодотворной в общем интересе всего человечества, вместе с тем принесла непосредственную и существенную пользу России...».

общественную и материальную стороны жизни, в настоящее время настолько всеми признано, что изобретение всякого нового двигателя... должно рассматриваться не просто как любопытное открытие, а как событие мирового значения, тем более это относится к тем силам природы, которые до настоящего времени использовались в совершенно других областях».

Когда Якоби переехал в Россию, к его изобретениям отнеслись с большой серьезностью. Император Николай I увидел в них большой военный потенциал и из-за этого отцом электрического телеграфа для всего мира стал Вернер Сименс, а не Борис Якоби, изобретения которого были засекречены. Этой истории мы коснемся чуть позже. Одно из изобретений Якоби мы можем видеть каждый день, достаточно оказаться у Большого театра или Зимнего дворца, или посмотреть на деньги. Вместе с работой над электродвигателем Борис Якоби стал автором открытий в области гальванопластики.

Деньги и Аполлон

В своих ранних экспериментах Якоби в качестве генератора электрической энергии применял гальванические элементы. И открыл метод гальванопластики. Благодаря ему были созданы скульптуры и барельефы Большого театра, Исаакиевского собора, Зимнего дворца. В 1839 году Якоби первым использовал свойства электрического тока для изготовления медных слепков с различных предметов. При этом он пользовался только металлическими токопроводящими матрицами.

В 1840 году вышло написанное Якоби руководство «Гальванопластика, или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма». Эта технология быстро нашла в России практическое применение в изготовлении точных и во всем сходных между собой клише для печатания государственных бумаг, в том числе денежных знаков, чего нельзя было достигнуть простой гравировкой клише. Тогда же за свое изобретение Якоби получил от правительства России Демидовскую премию в 25 тыс. рублей.

Электричество против пара

В своих экспериментах Борис Якоби был твердо уверен, что будущее не за паровыми машинами, а за электричеством и электрическими двигателями. Его смелость и настойчивость, с которой он двигался вперед побудила и других ученых активизировать свою работу в заданном им направлении. Особенно важно было для Якоби заменить паровые двигатели на электрические в судоходстве. Была создана правительственная комиссия, которая следила за экспериментом. В 1837 году (год появления в России первого пассажирского паровоза) на Неве было проведено испытание судового электрического двигателя. Мотор был установлен на пассажирской лодке с 12 пассажирами. Транспортное средство двигалось по и против течения. Его скорость была невелика — всего 2 км/ч. За 7 часов испытаний лодка преодолела около 14 км.

Архитектор-электротехник

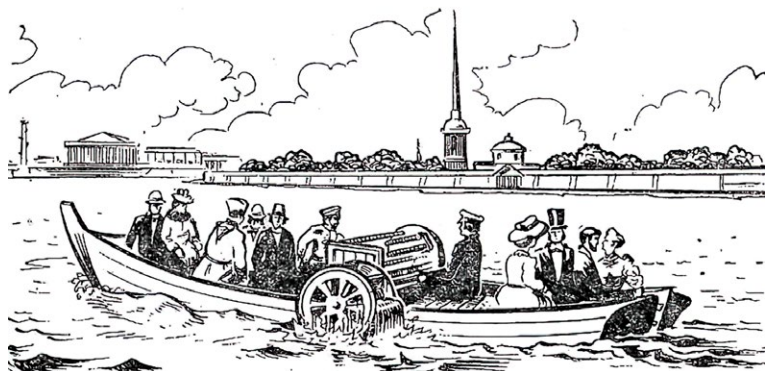
Что же это была за деятельность, о которой пишет Якоби? Приехав в Россию профессором архитектуры, Борис Якоби увлекся разработкой идей Макса Фарадея, касающихся явления электромагнитного вращения. В 1821 году Фарадей показал, что «проводник имеет стремление вращаться вокруг магнитного полюса, а полюс вокруг проводника». В научном мире началась работа по созданию электродвигателя.

Работа с электричеством для человечества была чем-то абсолютно новым. Американский журнал писал: «Наука совершенно неожиданно дала нам в руки новую силу большой, но не знакомой еще нам энергии. ...При помощи самых простых средств — соприкосновения металлических поверхностей малых размеров, при помощи слабых химических реактивов возникает загадочным образом энергия, рассеянная повсюду в природе, непознаваемая нашими чувствами; эта энергия увеличивается еще более загадочным путем, перемещаясь в изолированной проволоке, увеличивается в тысячи и тысячи раз, пока не проявляется с невероятной силой; между ее зарождением и полной зрелостью нет промежутка: ребенок сразу рождается гигантом».

Устройством, которое он назвал «магнитным аппаратом», Борис Якоби занялся в 1834 году. В это же самое время на уральских заводах Демидовых был запущен первый паровоз, или как его называли: «сухопутный пароход». Век пара и электричества для России начался практически одновременно.

Якоби построил модель, основанную на принципе вращательного движения. Это было нечто иное, чем закладывалось Фарадеем. Якоби экспериментировал, нащупывал верный путь. В отличие от многих современников, недооценивающих электричество, он был твердо убежден, что электричество — это сила, призванная создать новый переворот в мировой экономике. Он уже видел время, когда с помощью электромагнетизма будут приводиться в движение машины.

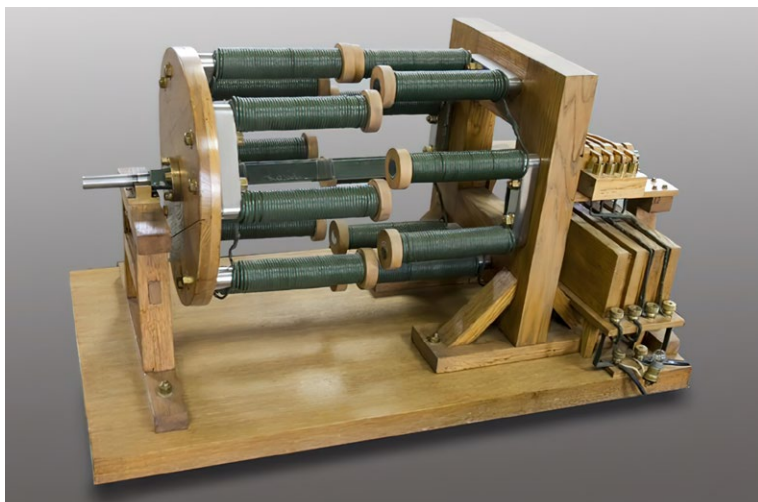
Почти 200 лет назад Борис Якоби писал о работе над электродвигателем: «То громадное влияние, которое оказали механические двигатели на



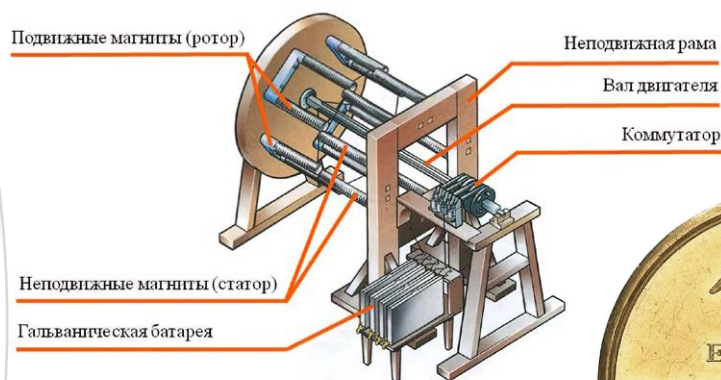
Электромагнитный бот Якоби

Комиссия была удовлетворена и уже готова была придать опыт широкой огласке, но для надежности решили спросить мнение военного. Адмирал, состоящий при особе Его Императорского величества, Иван Крузенштерн, предложил воздержаться от подробного отчета и ограничиться краткой заметкой. Так Россия оказалась первой в мире державой, сделавшей электрический двигатель. Но дальше исследования застопорились. Электродвигатель был громоздкий, маломощный и не мог заменить паровой. Того, что ожидали промышленники, не случилось. Финансирование проекта было свернуто через три года после первых обнадеживающих экспериментов.

Техники еще долго не могли справиться с задачами, которые делали бы такой мотор рентабельным. Первый электропоезд был показан на промышленной выставке в Берлине в 1879 году, спустя 5 лет после смерти Бориса Якоби. Это был макет электрической железной дороги. По участку протяженностью менее 300 м со скоростью 7 км/ч двигался поезд, состоящий из локомотива мощностью 2,2 кВт и трех вагончиков, в каждом из которых могло разместиться до 6 пассажиров. Отцом изобретения называли промышленника Эрнста Вернера фон Сименса и инженера Хальске. Вскоре это изобретение стало во всю применяться в наземном и подземном транспорте. Первый электрический трамвай пошел в Берлине в 1881 году (в России в 1892 году), первый электропоезд в Лондоне в 1890 (в России в 1934 году). Стоит сказать, что Вернер Сименс, признанный в мире отец электротелеграфа и электротрамвая, черпал вдохновение для своих изобретений в России.



Электродвигатель Якоби (1834)



Военный секрет электротелеграфа

Как это случается с крупными учеными, Борис Якоби одновременно вел несколько научных исследований. Во время работы над корабельным электродвигателем, он оказался вовлечен в военную промышленность. С помощью гальванопластики изготавливал мины, работал над электродвигателем.

Одной из важных задач армии всегда оставалась надежная связь. К тому времени, когда Якоби начал заниматься телеграфией, она уже прошла долгий путь развития. Но проблема создания надежной и быстрой связи решена не была. В России в то время применялся семафорный телеграф. Правительство предложило Якоби построить «электротелеграфическое соединение» между Петербургом и Царским Селом. Первый пишущий аппарат Якоби сконструировал в 1839 году. Его особенностью было то, что вместо мультипликатора использовался электромагнит, приводивший, при помощи системы рычагов, в действие карандаш. Запись сигналов производилась на фарфоровой доске, которая двигалась на каретке под действием часового механизма. Но Якоби продолжал эксперименты. Уже в начале 1840-х изобретения Якоби в области телеграфа в России засекретили. Николай I наложил запрет на публикацию его изобретений. Ученому это было трудно принять. Возможно, однажды во время поездки в Европу он намеренно «упустил» государственный секрет, желая, чтобы его изобретением пользовалось все человечество, хотя многие историки науки склонны видеть в этом промышленный шпионаж. В 1843 году ученый обращался к императору с просьбой разрешить публикацию доклада об изобретении электротелеграфа. Якоби хотел информировать научный мир о проблемах, с которыми столкнулись пионеры телеграфной связи, он хотел лично обсудить их с зарубежными коллегами. Разрешение не было получено. Запрет на публикацию изобретений Якоби в области телеграфии действовал и после его смерти.



В 1845 году Якоби создал абсолютно новую конструкцию стрелочного синхронного аппарата с горизонтальным циферблатом, электромагнитным приводом и прямой клавиатурой. Этот аппарат получил практическое применение и в России, и в Европе, и стал основой для многих других синхронных телеграфных аппаратов. Тогда же ему пришлось оправдываться, почему изобретение прусского инженера Вернера Сименса оказалось очень похожим на его секретный проект. В тот год Якоби совершал путешествие по Европе. В Германии он встретился со старым знакомым Вернером Сименсом: «Вошел г. Сименс, который тогда, если я не ошибаюсь, носил еще форму прусского артиллерийского офицера и который, насколько мне известно, в то время еще не занимался телеграфией, а работал над устройством хроноскопа для измерения скорости полета пушечных ядер. Мой рисунок остался на столе. Я передаю лишь факт, не обвиняя никого в плагиате. Известно, что телеграф с синхронным движением составил славу и богатство г. Сименса».

Император Николай I, который грезил новой войной и видел главную цель развития страны в укреплении армии, не дал развития изобретениям Бориса Якоби, касавшихся мирного использования телеграфа. Считалось, что строительство столбов для наземной связи сделает ее уязвимой, поэтому планировалась только подземная. Якоби справился с этой интересной задачей — первым в мире придумал систему прокладки подземного кабеля для телеграфа. Якоби по опыту знал, что «...при прокладке электрического телеграфа самой трудной и важной частью являются провода, а не аппараты». Стараясь добиться надежной изоляции, он провел опыты со стеклом, глиной, салом, смолой, хлопчатобумажными и шелковыми нитками, комбинируя их и изготавливая изоляционные мастики. Сто лет спустя, в ноябре 1949 года на территории Московского вокзала в Ленинграде при строительстве метрополитена на глубине 85 см под землей был найден деревянный брус, пропитанный дегтем. Находку доставили в лабораторию электрических линий Ленинградского электротехнического института инженеров железнодорожного транспорта. По всем признакам было установлено, что она представляет собой часть опытного кабеля, проложенного Б. С. Якоби в 1846–1847 годах при устройстве телеграфной линии вдоль строящейся Петербурго-Московской магистрали. В 1952 году образец кабеля был передан в Центральный музей железнодорожного транспорта (ЦМЖТ) России. Это была телеграфическая линия между Александровским Дворцом Царского Села (кабинетом Николая I) и штабом в Петербурге. Был проложен подземный телеграф Телеграфный аппарат Якоби с использованием приемного и отправочного электромагнитных аппаратов собственной конструкции работал от ключа (манипулятора). Сочетание движений фарфоровой доски, перемещаемой часовым механиз-



Электромагнитный стрелочный аппарат Б. С. Якоби со штепсельным передатчиком. 1843 год. Применялся на линии связи между зданием Главного управления путей сообщения и кабинетом Николая I в Александровском дворце в Царском селе

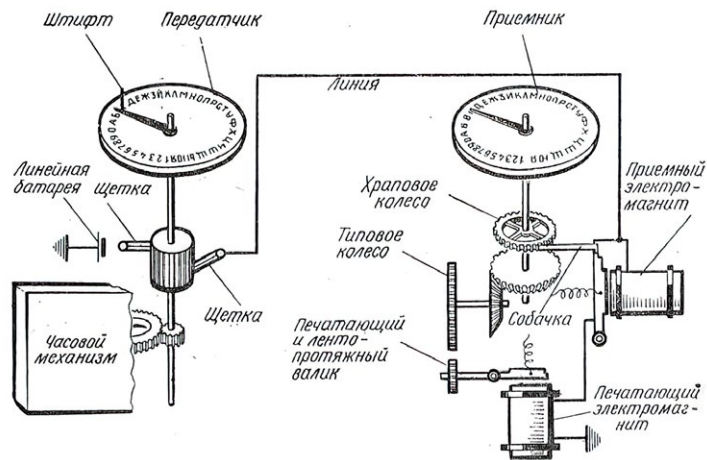


Схема первого в мире буквопечатающего телеграфа Якоби (1850)

мом, и карандаша, соединенного с якорем электромагнита, давало на доске условные зигзагообразные знаки.

А в 1850 году Якоби изобрел первый в мире буквопечатающий телеграфный аппарат, работающий по принципу синхронного движения. Во время своей поездки по Европе в 1851 году Якоби с горечью констатировал: «Что касается аппаратов, то я получил спокойное удовлетворение (если оно вообще было), узнав, что та же самая система, которую я впервые ввел, принята в настоящее время в Америке и в большинстве стран Европы».

Хороший итог хорошей жизни

Борис Якоби никогда в открытую не обвинял Вернера Сименса в плагиате. Откуда бы не снизошло вдохновение на Сименса, он сумел им неплохо распорядиться. Вскоре, благодаря электротелеграфу, именно он, а не Борис Якоби, стал очень богат. Значительная часть средств шла из России, которая покупала электротелеграфы Сименса, оставив разработки Бориса Якоби исключительно военным.

Звезда Бориса Якоби возшла в противоречивую эпоху царствования Николая I и с его смертью постепенно ушла в тень. Он не мог жаловаться на судьбу. В России у него случились большая любовь, удачный брак. У него было семеро детей, правда до взрослого возраста дожили только двое: Владимир и Николай. Владимир также стал изобретателем. У Бориса Якоби было положение в обществе, возможность заниматься научными исследованиями. Он был награжден многими орденами, получил потомственное дворянство. В 1867 году Борис Якоби был награжден Большой золотой медалью на Всемирной выставке в Париже, где представлял Россию в международной комиссии для выработки общих единиц мер, весов и монет, отстаивая преимущества метрической системы. Последние годы жизни заведовал Физическим кабинетом Петербургской академии наук. Умер в 73 года от сердечного приступа.

Борис Якоби не стал мультимиллионером как Вернер Сименс, но получил от жизни все, что пожелал. Только отцом электромашин и электротелеграфа называют Сименса. Изобретатели оказались в роли двух бильярдных шаров, попавших в лузы дуплетом.

МИР ЭНЕРГЕТИКИ В ЭКСПОЗИЦИИ ВЫСТАВКИ

АПРЕЛЬ / МАЙ / ИЮНЬ

Великобритания, Бирмингем / 05.04–07.04

«Smart Industry Expo»

Международная выставка

Венгрия, Будапешт / 06.04–10.04

«RENEO»

Международная выставка

Москва / 12.04–14.04

«ExpoElectronica»

24-я Международная выставка

«ElectronTechExpo»

19-я Международная выставка

Санкт-Петербург / 20.04–21.04

VII Российская конференция по молниезащите

Австрия, Зальцбург / 20.04–21.04

«Power – Circle»

Международная энергетическая выставка

Польша, Познань / 25.04–27.04

«GreenPower»

Международная специализированная выставка

Киргизия, Бишкек / 26.04–28.04

«EnergyExpo Kyrgyzstan»

Международная специализированная выставка

Санкт-Петербург / 26.04–28.04

«Российский международный энергетический форум»

«Энергетика и электротехника»

Международная специализированная выставка

Швеция, Гетеборг / 03.05–06.05

«Elfack»

Выставка

Руанда, Кигали / 04.05–06.05

«Power & Energy Africa»

Международная энергетическая выставка

Великобритания, Глазго / 11.05–12.05

«All-Energy»

Международная выставка и конференция

Германия, Мюнхен / 11.05–13.05

«EM-Power Europe»

Выставка

Швейцария, Цюрих / 17.05–19.05

«Powertage»

Специализированная выставка

Омск / 17.05–19.05

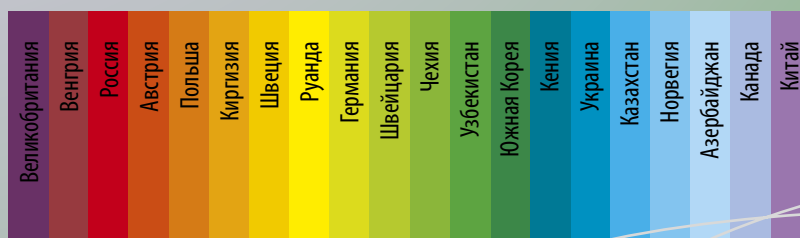
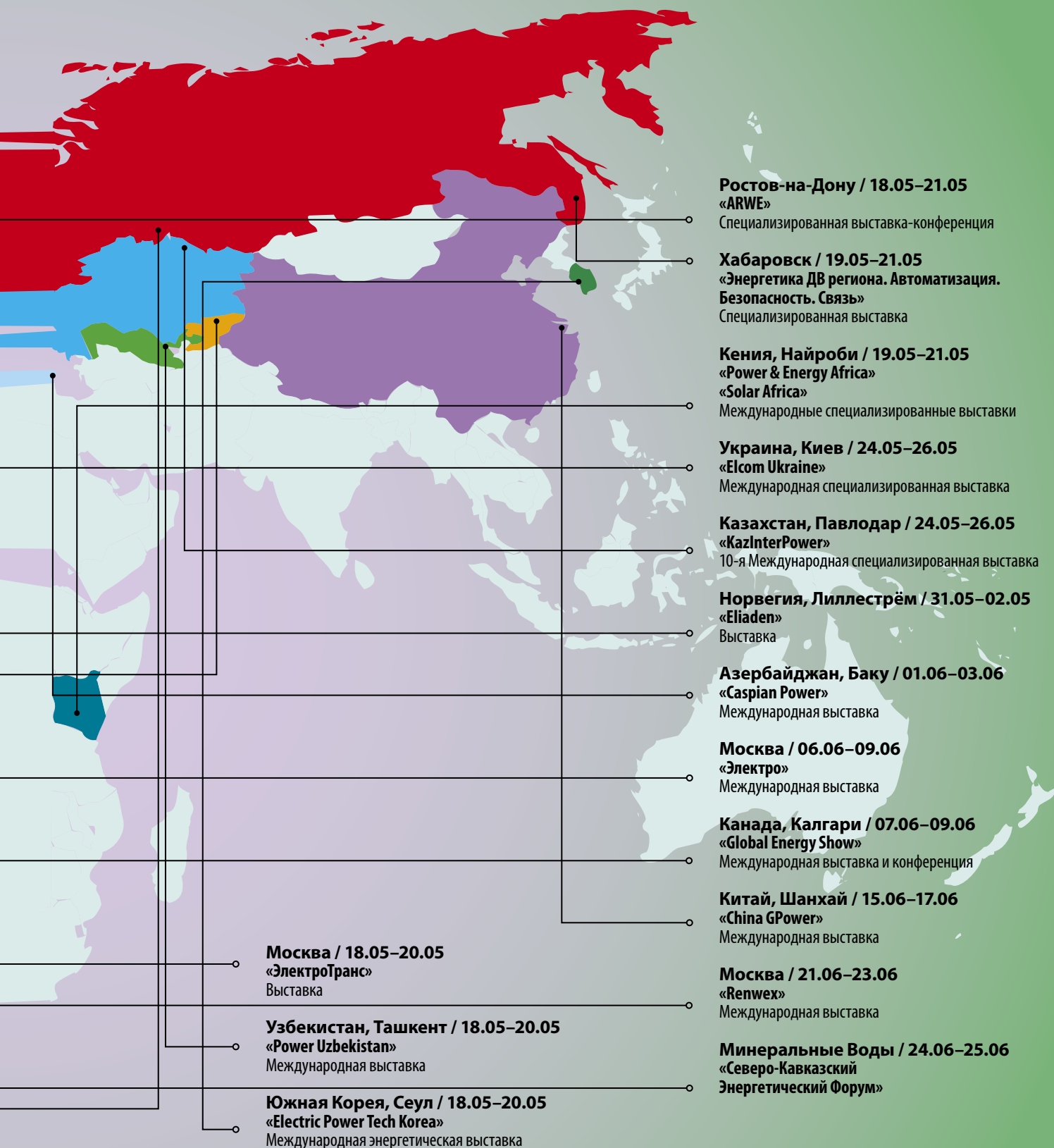
«Энергоресурсосбережение в строительстве и ЖКХ»

9-я специализированная выставка

Чехия, Брно / 17.05–20.05

«Amper»

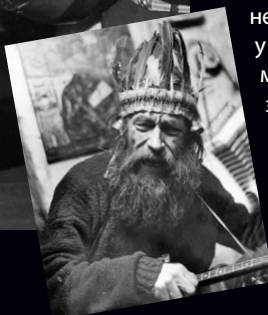
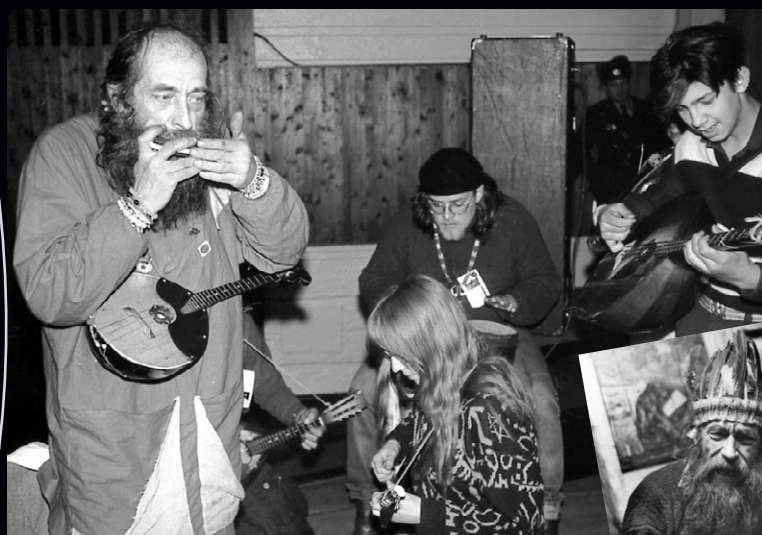
28-я Международная выставка



Альтернативная энергия искусства Б.У. Кашкина

Татьяна Мосунова, заведом PR Свердловского областного краеведческого музея им. О. Е. Клера

«Совершенно свихнулся», — думали некоторые из коллег, когда видели своего бывшего сослуживца с балалайкой и в шапке с бубенчиками, бормочущим или распеваящим песни в центре Екатеринбурга. Единственное, чему слегка завидовали — этот бывший всегда окружен молодыми девицами, которые относились к нему с явной симпатией. Впрочем, в середине 1990-х, уже никому не было дела, как выживают другие. Время было голодное, пестрое, злое и наивное одновременно. Время, когда жить по-прежнему было уже невозможно, а куда выведет будущее — совсем непонятно, но согревала надежда. Время, когда не стыдно было быть бедным и умным, когда шальные деньги приходили и уходили, когда наличие большой библиотеки, указывало на интеллектуальную избранность владельца жилья.



Евгений Малахин всю жизнь запросто обращался с энергией. Сначала это было его профессией. В Ижевске он получил красный диплом энергетика и в 1961 году по распределению уехал в Свердловск работать на заводе им. Калинина. Позднее оказалось, что он сам обладает энергетическим притяжением. Именно оно и заставило его уйти из профессиональных энергетиков в панк-скоморохи, всенародные дворники, стать Стариком Букашкиным. Сейчас не у энергетика Евгения Малахина, а именно у Старика Букашкина есть посвященный ему музей, по следам Старика Букашкина водят экскурсии, о нем пишут книги, с его подачи Екатеринбург стал превращаться в столицу российского стрит-арта. Так энергия одного инженера-энергетика смогла зарядить целый город.



Евгений Малахин (Б.У. Кашкин) толкает ядро на старткиаде «Уралтехэнерго». (фото из архива М. Медведевой)



Антиалкогольные плакаты



В музее Б.У. Кашкина



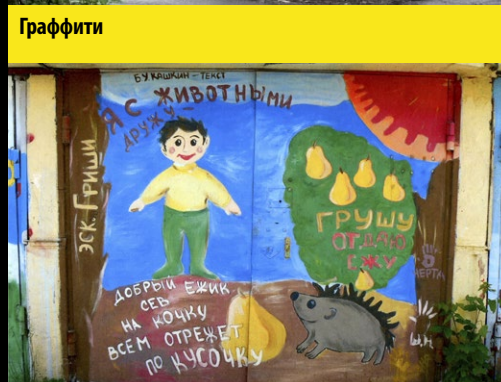
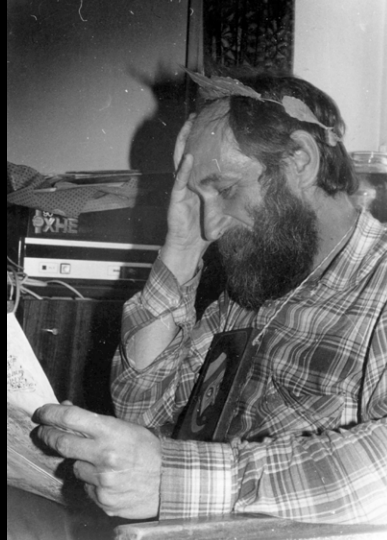
Старший гений

Если бы не эпоха зловещих перемен первой половины XX столетия, то может быть Малахин и вовсе не попал на Урал. Его семья жила в Киеве, но в 1937 году отца, инженера-радиота, послали в Иркутск, а через год, в 1938-м, родителей посадили, обвинив в шпионаже. К счастью, сиротства удалось избежать. Сначала от детдома спасла соседка, которая взяла к себе трех детей Малахиных, а потом родителей выпустили. Бывали и такие счастливые истории. Отца отправили в Глазов, затем был Сарапул. Родители хотели, чтобы у сына была понятная и надежная профессия, способная прокормить. А он и не возражал, хотя и был очень увлекающимся юношей, много читал.

Свердловск 1960-х, в котором проходила молодость Евгения Малахина, был городом военных заводов и молодых инженеров. Молодые люди, получив прекрасное техническое образование, натренировав свой ум, вскоре начинали тяготиться рутинными обязанностями, которые им приходилось выполнять на производстве. Каждый спасался по-своему. Выплески творческой энергии принимали разные формы. Кто-то увлекался йогой и индийской философией, кто-то запоем читал книги, кто-то просто попадал в запой без всяких книг, кто-то ходил в походы, рисовал стенгазеты.

Малахин мечтал о путешествиях, поэтому, устроился в «Уралтехэнерго», организацию по ремонту электростанций и сетей. Работа предполагала командировки. Инженер из Свердловска контролировал работу электростанций и за 25 лет работы объездил всю страну от Владивостока до Калининграда. Побывал даже за границей. Для живущих в СССР это было так же сложно, как в наше время путешествовать по миру во время карантина. Работал старшим инженером электроцеха, там его называли «Старший гений». Ездил Малахин и в Одессу, вот она-то его и «сгубила», или наоборот, дала нужное направление.





Из энергетиков в скоморохи

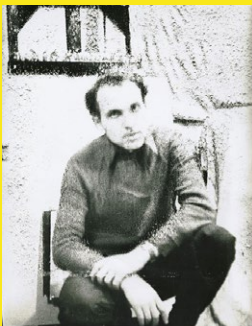
Одесская раскованность всегда импонировала уральцу. Сначала он ездил в Одессу по работе, а потом завел там друзей и стал посещать уже их. В этом городе Малахин подружился с местными художниками-авангардистами. Старший инженер прекрасно разбирался в классической музыке, джазе, занимался фотографией. У него не было больших художественных талантов. Он никогда не учился рисовать, но имел огромный талант к общению. Люди к нему тянулись, он мог зажечь их любой идеей. У него была жажда выразить себя в искусстве, ведь именно так можно было обеспечить для себя интереснейших собеседников, возможность выйти за рамки довольно унылой жизни в сером городе. Жена Евгения Малахина (а он был женат) так оценивала своего мужа: «Ему нравилось лишь то, что он делает в настоящий момент, он делал все это для себя. Музыка, фото, джазовая музыка, живопись, помойки — в любое дело уходил с головой для собственного удовольствия».



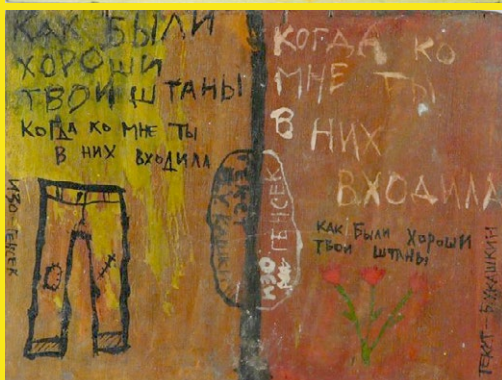
Граффити



Из серии Фотографика



Открытки



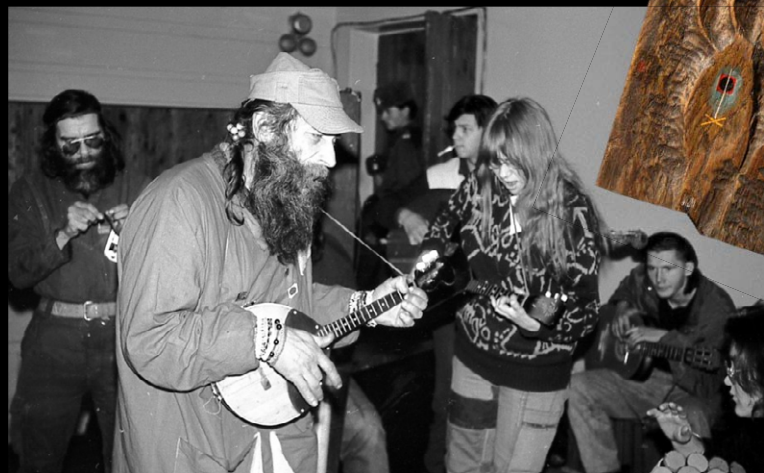
Сейчас бы сказали, он жил в моменте. Загорался, гас, переключался на новое. Поиски смыслов даже на раннем этапе творчества были довольно эксцентричны. Фотографировал обнаженную натуру, в СССР за такое можно было получить и срок. Но уличить его бы никто не смог. Малахин в качестве эксперимента варил негативы. Обработывал их в очень горячем проявителе и закрепителе. Друг Малахина художник-кузнец Александр Лысяков так вспоминал об этих упражнениях: «Выдающиеся опусные вещи делались неуправляемо, каким и он сам был. Просто броуновское движение. Супер! Вещи нерукотворные. Вроде бы глупость, брак, но невероятно, чувствуется рука бога. Очень-очень жаль, что он бросил фотографию».

Когда произошло перерождение простого советского инженера в Старика Букашкина, не могут точно сказать даже родные. В конце 1980-х в Свердловске было множество заброшенных подвалов, чердаков, доживающих особнячков, которые власти без проблем передавали во владение художникам и студентам. У Евгения Малахина появилась своя мастерская в подвале на улице Пушкина, и он уже мог не эпатировать семью. Он не сошел с ума, он просто перестал отказывать себе в свободе. Сначала придумал себе новое имя: Какой Акакиевич Кашкин. Понимаете, как это звучало, если записывать фамилию с инициалами. Поддавшись на уговоры друзей, решил чуть смягчить подачу и стал Б.У. Кашкиным (бывшим в употреблении). Затем уже было много прозвищ: Народный Дворник России Букашкин, Народный Старик России Б.У. Кашкин. Дворником он стал, так как, не дождавшись пенсии, ради искусства перешел в «Уралтехэнерго» из инженеров в дворники. Нужны были деньги. Букашкин был неприхотлив, но щепетил, зарабатывал на себя сам, не беря денег от жены.

Художник помоек и бетонных стен

Он не стал разделять искусство на жанры, занимался всем сразу: пел, играл, рисовал, сочинял стихи, устраивал перформансы. По сути, вся его жизнь стала перфомансом. Вокруг него стали собираться люди, которые так же жаждали свободы и искусства, вместе с ними он создал «Все-общее-общество Картинник». Это была пестрая группа странных разношерстных персонажей, которые устраивали концерты на улицах, раскрашивали досочки, а потом, во время выступления, дарили их понравившимся. В стране, которая постоянно испытывала во всем дефицит, не дефицитными были только досочки. Их Букашкин призывал раскрашивать. Обычно он предлагал какую-то мысль или образ, участники «Картинника», собиравшиеся в подвале на Пушкина, должны были, как понимают, руководствуясь эмоциями, нарисовать это на досочке. И не важно, художник ты или просто гость подвала. Потом на досочках появлялись стихи, которые сочинялись по случаю.

Иконные рельефы





В 1980-е Букашкин основательно подсел на самиздат, только не читал, а издавал. Издательство «Кашкинская Книга» выпустило более 20 стихотворных самиздатовских книжек в основном «просветительского» содержания:

«Коза объелась гороха,
Бока раздулись, ей плохо,
Слезами наполнились очи,
Мне жаль бедолагу очень».

Выглядел Букашкин колоритно: на голове неизменно красовался колпак с колокольчиками, а на груди — признание «I am the great Russian poet». Американский художник Энди Уорхолл заставил считать произведением искусства банку супа. Букашкин решил сделать объектом арта самое презираемое место — помойку. С «Картинником» Букашкин решил облагородить окружающую городскую действительность. Сделать ее чуть ярче и веселее. Он первым начал пропагандировать в Свердловске (Екатеринбурге) «современное народное искусство» — занимался росписью бетонных заборов, мусорных контейнеров, со временем — специально предназначенных для граффити стен в городе. Выработал так называемую «теорию помойки», согласно которой любой мусор может рассматриваться как художественное произведение, получившееся наиболее естественным путем. Досочки расписывались разными сюжетами, но особенно запомнилась многим антиалкогольная серия. Несколько лет назад, Министерство здравоохранения даже выпустило большую серию плакатов с рисунками и стихами Старика Букашкина.

В 2008 году был открыт музей Б.У. Кашкина, расположившийся в бывшем подвале-бомбоубежище, и заброшенное пространство вместе с цокольным этажом и внутренним двором превратилось в креативную зону. Музей получился таким же добрым как его герой. Он состоит при факультете искусствоведения и культурологии Уральского федерального университета им. первого Президента России

Б. Н. Ельцина, где студенты и преподаватели исследуют самые разные нестандартные формы современной городской культуры. Искусствовед Дарья Костина написала несколько книг о Старике Букашкине.

Книжечки

Реставрация росписей Букашкина



Памятник Букашкину

Евгений Малахин был хорошим инженером-энергетиком, но вовремя понял, что главный для него источник энергии — не электростанции. Он и сам смог «запитать» очень многих людей. Двор, расписанный Букашкиным и «Картинниками» сохранился в самом начале проспекта Ленина. Совсем недавно волонтеры восстановили рисунки. Из тех мальчиков и девочек, которые заходили в подвал на Пушкина, выросли журналисты, художники, банкиры, пиарщики, известные писатели и музыканты. Та опьяняющая свобода, немного с сумасшедшинкой, помогла многим обрести себя. В 2005 году Евгений Малахин умер от осложнений после гриппа в возрасте 67 лет. На его могиле поставили приличный памятник из черного габбро, а поверх камня, как бы презирая смерть и приличия, люди, любившие художника, наклеили цветными буквами БУКАШКИН и бабочку. А добрая энергия инженера-скомороха Малахина продолжает «подпитывать» огромный город.

Морально-бытовые досочки





МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

RENWEX

«Возобновляемая энергетика
и электротранспорт»

21–23 ИЮНЯ 2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»,
павильон №3

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ



Ветроэнергетика



Солнечная энергетика



Водородная энергетика



Гидроэнергетика



Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо



Энерго- и ресурсосберегающие технологии



Электротранспорт и зарядная инфраструктура

Реклама 12+



www.renwex.ru

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



МИНПРОТТОРГ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И
ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

Под патронатом

Организатор



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



МИНПРОТТОРГ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И
ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ



ТРАНСФЕР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



КОМПЛЕКТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕКОНСТРУКЦИИ, РЕМОНТЕ

ИЗОЛЯТОРЫ • АРМАТУРА • КАБЕЛЬ • ПРОВОД • ГРОЗОТРОС • ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА • ОПОРЫ • ТРАВЕРСЫ
ФУНДАМЕНТЫ • ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОНТАЖА ВОЛС • ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДСТАНЦИЙ
ЭКСПЕРТИЗА • КОМПЛЕКТАЦИЯ • ПРОЕКТИРОВАНИЕ • СОГЛАСОВАНИЕ • ИНВЕСТИЦИИ

WWW.LOCUS.RU
8 800 201 42 75

 LOCUS750KV
 HOLDING_LOCUS

620062, РФ, ЕКАТЕРИНБУРГ, УЛ. ГЕНЕРАЛЬСКАЯ, 7, ОФ. 522
+7 (343) 385 90 36, 375 87 87, E-MAIL: LOCUS@LOCUS.RU

630083, РФ, НОВОСИБИРСК, УЛ. БОЛЬШЕВИСТСКАЯ, 177, ОФ. 425
E-MAIL: LOCUS-NSK@LOCUS.RU