



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**

111 250, Москва, проезд Завода Серп и Молот,
дом 10, офис 608, Тел. (495) +7 495 012 60 07
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757



Основана в 1724 году

Российская Академия Наук
Секция по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике

УТВЕРЖДАЮ
Президент, Председатель
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

Н.Д. Роголев

«07» марта 2024 г.

ПРОТОКОЛ № 2

совместного заседания Секции «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и
Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным
исследованиям в энергетике

14 февраля 2024 г.

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»,
члены секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике, ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», ФГБУН
«ИНЭИ РАН», ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», ФГБОУ
ВО «Новосибирский государственный технический университет», ГБОУ ВО
«Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»,
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова», ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет», ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный
университет», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет», АНО «НИЦ-«АТМОГРАФ», АО «НТЦ ФСК
ЕЭС», ООО НПП «ЭКРА», РУП «Белэнергосетьпроект», всего **40** человек.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове было отмечено, что в текущих условиях вопросы обеспечения работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах являются особенно актуальными. Это позволяет не допускать нарушений электроснабжения потребителей, что критично для особо ответственных потребителей. Предотвращение остановов непрерывных технологических процессов и выпуска продукции на промышленных предприятиях, а также минимизация ущербов и убытков при кратковременных нарушениях электроснабжения является важной задачей. Для ее решения требуется применять современных подходы и новые технические решения, которые являются более технически совершенными, по сравнению с теми, которые предусмотрены действующими нормативными документами и исторически используются в электросетевых компаниях.

С докладами **«Концепция поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах»** и **«Обеспечение работоспособности электрической сети 6-10 кВ при повреждении фазных проводников»** выступили Кочнев Сергей Сергеевич, к.т.н., доцент, докторант ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ» и Пожидаев Семен Владимирович, начальник службы РЗА РС АО «ОЭК», аспирант кафедры электроэнергетических систем Института электроэнергетики НИУ «МЭИ». Научный руководитель Удинцев Дмитрий Николаевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры электроэнергетических систем Института электроэнергетики НИУ «МЭИ», соавторы: Шведов Галактион Владимирович, к.т.н., доцент кафедры электроэнергетических систем Института электроэнергетики НИУ «МЭИ», Черемисин Валерий Владимирович, директор по развитию ООО «КЗ «ЭКСПЕРТ-КАБЕЛЬ», аспирант кафедры электроэнергетических систем Института электроэнергетики НИУ «МЭИ». Основные положения докладов приведены ниже.

Презентации докладов прикладываются (**Приложение 1, 2**).

1. Представлен анализ причин аварий в электрических сетях, обусловленных воздействием негативных внешних факторов, а также существующие алгоритмы действий при повреждениях проводников на воздушных линиях электропередачи (ЛЭП).

2. Рассмотрены существующие подходы к поддержанию работоспособности электрических сетей до устранения причин аварии за счет применения неполнофазных режимов. Приведено описание методических

указания по использованию неполнофазного режима в электрических сетях напряжением 330-1150 кВ. Приведен анализ исследований по вопросу выбора режима работы нейтрали силовых трансформаторов в неполнофазном режиме в электрических сетях напряжением 110-220 кВ и поддержания работоспособности электрических сетей напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью в случае однофазного замыкания на землю. Отмечено наличие теоретических и экспериментальных предпосылок для разработки нового подхода к обеспечению электроснабжения потребителей при однофазных повреждениях ЛЭП напряжением 0,4-110 кВ.

3. Представлены результаты исследований для обоснования комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению работоспособности электрических сетей 110-220 кВ с глухозаземленной нейтралью при обрыве фазного проводника. Приведены результаты лабораторных экспериментальных исследований по обоснованию возможности допущения неполнофазного режима. Предложено поддерживать работоспособность электрических сетей 110-220 кВ, при отсутствии возможности осуществления полноценного резервирования, за счет реализации пофазного управления с целью перевода воздушной ЛЭП в неполнофазный режим работы и обеспечения глухого заземления нейтрали на стороне 110 кВ, а при разземленной нейтрали на стороне 10 кВ – временный перевод в режим глухозаземленной нейтрали.

4. Приведен анализ основных видов повреждений в электрических сетях напряжением 6-10 кВ. Отмечено, что в связи с большой протяженностью электрических сетей среднего напряжения при авариях количество неисправностей может быть выше возможностей электросетевых компаний по проведению аварийно-восстановительных работ. Предложено временное поддержание работоспособности электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью за счет перевода оборванного фазного проводника в режим двухстороннего однофазного замыкания на землю, вместо отключения фрагмента сети. При этом предусматривается обеспечение безопасного режима работы за счет перевода однофазного замыкания в отведенные места с соблюдением зоны безопасности для предотвращения проникновения сторонних лиц и животных. Представлены результаты лабораторных и полевых исследований по обоснованию возможности применения предлагаемого способа.

5. Представлен анализ наиболее распространенных аварийных режимов в электрических сетях напряжением 0,4 кВ. Для временного поддержания работоспособности электрической сети с системой заземления типа TN-C или TN-C-S при обрыве нулевого совмещенного проводника предложено использование повторного заземления, обеспечивающего существенное снижение сопротивления заземляющих устройств. Приведены результаты

лабораторных экспериментальных исследований с фиксацией величины фазных напряжений на стороне 0,4 кВ при обрыве нулевого проводника и снижении сопротивления заземляющего устройства за счет повторного заземления в случае такого повреждения. Представлены предложение по использованию естественных заземлителей, например, железобетонных фундаментов зданий, позволяющих значительно снизить затраты на оборудование заземляющих устройств с обязательным соблюдением требуемых параметров и требований безопасности. Представлены технические предложения по временному частичному электроснабжению однофазных потребителей до устранения причин аварии при обрывах одного или двух проводников, а также однофазных и двухфазных коротких замыканиях (КЗ) в электрических сетях 0,4 кВ за счет использования реле выбора фаз, контакторов, источников бесперебойного питания и реле контроля напряжения, с применением разработанного способа диагностики состояния питающей ЛЭП 0,4 кВ. При этом отмечена необходимость реализации защиты трехфазных потребителей.

6. Для оценки возможности использования существующих, а также разработки требований к вновь сооружаемым заземляющим устройствам, с целью обоснования допустимости существования неполнофазных режимов электрических сетей, необходимо определение электрических характеристик распределенных заземляющих устройств. Для их расчета была получена зависимость, которая представлена в докладе. Приведены сравнительные характеристики сопротивлений распределенных заземляющих устройств и одножильных воздушных ЛЭП в зависимости от расстояния и длины.

7. Одним из критериев безопасности реализации предлагаемых решений по поддержанию работоспособности электрических сетей является величина шагового напряжения, под действие которого может попасть, как оперативно-технологический персонал, так и сторонние лица, случайно оказавшиеся вблизи элементов электрической сети. Представлено обоснование для определения размеров зоны опасного потенциала при различных значениях силы тока.

8. Показана возможность практической реализации комплекса организационно-технических мероприятий по поддержанию работоспособности электрических сетей при повреждении проводников за счет: пофазного управления, с разработкой и совершенствованием коммутационных аппаратов; расширения практики использования земли в качестве рабочего фазного (нулевого) проводника; управления режимами работы нейтрали; разработки комплекса мероприятий по обеспечению безопасности при реализации предлагаемых решений; совершенствования релейной защиты (РЗ) для обеспечения применения неполнофазных режимов работы и функционирования в условиях изменения параметров сети и режимов работы нейтрали.

9. Представлен способ шунтирования поврежденной фазы электрической сети среднего напряжения, исключающий возможность появления перемежающейся дуги. Рассмотрен пример сети со значительным емкостным током замыкания на землю, при котором процесс горения дуги будет иметь устойчивый характер с кратностью перенапряжений более 2. Приведены расчетные осциллограммы тока дуги и перенапряжений на шинах центра питания при возникновении однофазного замыкания вблизи его шин.

10. Приведен анализ основных видов КЗ в электрических сетях среднего напряжения. Предложен способ обеспечения электроснабжения потребителей, заключающийся в переводе оборванного фазного проводника в режим двухстороннего однофазного замыкания на землю, вместо отключения, и обеспечения безопасного режима работы за счет перевода однофазного замыкания в отведенные места с соблюдением условий санитарной зоны безопасности и предупреждением проникновения сторонних лиц и животных.

11. Предложено использование комплектов РЗ на базе микропроцессорных терминалов совместно с устройствами, обеспечивающими отделение с последующим замыканием поврежденного проводника в начале и конце ЛЭП.

12. Представлены результаты полевых экспериментальных исследований в летний период на полигоне в г. Нахабино и в зимний период на базе учебно-тренировочного полигона ПАО «Россети Московский регион», подтверждающие возможность обеспечения нормальной работы потребителей электроэнергии при обрыве фазного проводника и однофазном замыкании на землю в сети 10 кВ.

В обсуждении доклада и прениях выступили:

Нагай В.В. (ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)»), Гусев Ю.П. (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»), Воротницкий В.Э. (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»), Федотов А.И. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), Нагай В.И. (ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)»), Илюшин П.В. (НП «НТС ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН»).

Нагай В.В. – доцент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», директор ООО НПП «РЕЛДОН», к.т.н., доцент.

Задал вопросы о защите смежных с электрическими сетями 110 кВ объектов, в том числе от тепловых воздействий, при действиях токов нулевой и обратной последовательности в случае применения неполнофазных режимов.

Отметил необходимость проведения технико-экономической оценки предлагаемых технических решений, а также проведения исследований неполнофазных режимов при различных способах заземления нейтрали.

Гусев Ю.П. – Профессор кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», к.т.н., профессор.

Обратил внимание, что целесообразно учесть нагрузочную способность, термическую стойкость экранов и проводящих оболочек кабелей в сетях среднего напряжения, а также помимо шагового напряжения и напряжения прикосновения, учесть напряжение повреждения, которое также является одним из критериев оценки безопасности.

Отметил, что при проведении исследований однофазных замыканий на землю на воздушных ЛЭП необходимо учитывать возникновение электродинамической силы, обуславливающей перемежающийся характер дуги.

Воротницкий В.Э. – Главный научный сотрудник АО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», д.т.н., профессор.

Задал вопрос о проведении анализа имеющихся работ в данной области исследования, а также преимуществах предлагаемых докладчиками решений по сравнению с ранее известными и применяемыми в эксплуатации.

Отметил актуальность проводимых исследований в направлении повышения надежности электроснабжения потребителей, а также необходимость определения области эффективного применения предлагаемых решений в определенном диапазоне нагрузок и конкретных категорий потребителей.

Федотов А.И. – Профессор кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», д.т.н., профессор.

Задал вопросы о способах обеспечения безопасных условий в электрических сетях 10 кВ при длительной работе ЛЭП 110 кВ в неполнофазном режиме, условиях проведения экспериментального исследования, а именно, при каких значениях сопротивления грунта проводились опыты.

Обратил внимание на то, что при использовании естественных заземлителей необходимо определение их точных электрических параметров, либо применение специально разработанных сооружений, с учетом возможности их использования в качестве заземлителей, а также отметил необходимость определения безопасной зоны при использовании земли в качестве проводника.

Нагай В.И. – Заведующий кафедрой «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», д.т.н., профессор.

Задал вопросы о путях достижения требуемого уровня чувствительности

устройств для реализации предлагаемого способа, а также об объемах переоснащения электрических сетей 110 кВ и 6-10 кВ коммутационными аппаратами для осуществления пофазного управления.

Отметил необходимость уточнения электрических схем с учетом всех необходимых элементов и использования установленных обозначений, значимость проведения экспериментальных исследований, подтверждающих достоверность полученных аналитических выражений и необходимость усиления аналитической части исследования.

Обратил внимание на необходимость разработки инновационных алгоритмов для микропроцессорных устройств РЗ, в случае их применения, обеспечивающих преимуществами в части чувствительности, селективности и быстродействия перед аналоговыми устройствами.

Илюшин П.В. – Председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

Задал вопросы об организации взаимодействиями с заводами-изготовителями о возможности производства коммутационных аппаратов на напряжение 110-220 кВ с пофазным управлением.

Обратил внимание на необходимость четкого определения области эффективного применения предлагаемых технических решений, проведения их технико-экономической оценки, необходимости обеспечения безопасности персонала при осуществлении заземления поврежденной фазы в рамках реализации подходов к обеспечению работоспособности электрических сетей, а также необходимости изучения ранее проведенных исследований в области определения параметров заземляющих устройств, в том числе локальных.

Заслушав выступления экспертов по результатам дискуссии совместное заседание Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике **отмечает:**

1. Важность и актуальность поднятой в докладе проблемы поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах.

2. Перспективность применения разработанных способов обеспечения временного электроснабжения потребителей при повреждении проводников за счет: пофазного управления с разработкой и совершенствованием коммутационных аппаратов; расширения практики использования земли в качестве рабочего фазного (нулевого) проводника; управления режимами работы

нейтрали; разработки комплекса мероприятий по обеспечению безопасности при реализации предлагаемых решений; совершенствования релейной защиты для обеспечения применения неполнофазных режимов работы и функционирования в условиях изменения параметров сети и режимов работы нейтрали, при условии их всесторонней проработки и обоснования.

3. Перспективность применения разработанного способа ликвидации однофазных замыканий на землю при условии реализации мер по обеспечению безопасности персонала электросетевых компаний, сторонних лиц и животных.

4. Возможность применения полученной авторами доклада зависимости для определения сопротивления распределенных заземляющих устройств для оценки возможности применения существующих, а также разработки требований к вновь сооружаемым заземляющим устройствам по обеспечению применения неполнофазных режимов работы, с учетом высказанных в процессе обсуждения замечаний и рекомендаций.

Совместное заседание Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике **решило:**

1. Рекомендовать авторам продолжить исследования в области поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах с целью повышения надежности электроснабжения потребителей.

2. Рекомендовать заводам-изготовителям рассмотреть возможность изготовления коммутационных аппаратов на напряжение 6-10 кВ и 110-220 кВ с пофазным управлением для возможности практической реализации разработанных авторами технических решений.

3. Рекомендовать электросетевым компаниям оценить целесообразность и, в случае принятия положительного решения, выполнить совместно с авторами разработку проекта методических рекомендаций по применению неполнофазных режимов работы в электрических сетях напряжением 0,4-110 кВ.

4. Рекомендовать авторам рассмотреть возможность разработки комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасности при проведении ремонтных работ без отключения участка сети, переведенного в один из рекомендуемых авторами режимов.

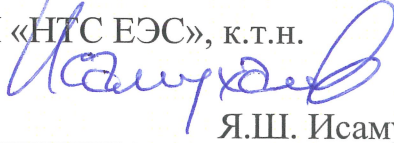
С заключительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических

исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В., в котором отметил, что обеспечение надежного электроснабжения потребителей в послеаварийных режимах является важной и актуальной задачей. Нарушения электроснабжения потребителей приводят к существенным ущербам и убыткам, что негативно сказывается на их финансовом положении. Разработанные авторами технические решения по реализации предложенной концепции являются перспективными и заслуживают внимания как со стороны электросетевых компаний, так и научного сообщества. При реализации предложенных авторами решений в действующих электрических сетях особенно важно обеспечить безопасность персонала электросетевых компаний, сторонних лиц и животных.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор


В.В. Молодюк

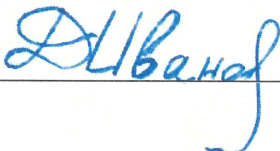
Ученый секретарь
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.


Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции «АСРЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС», ученый секретарь
Секции по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по системным
исследованиям в энергетике, д.т.н.


П.В. Илюшин

Ученый секретарь секции
«Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные
энергетические ресурсы» НП «НТС
ЕЭС»


Д.А. Ивановский