

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**Е.В. Горохов, доктор техн. наук, профессор; Я.В. Назим, канд. техн. наук, доцент;
В.Н. Васылев, канд. техн. наук, профессор; С.Н. Бакаев, канд. техн. наук, доцент**
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Научный коллектив кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДОННАСА) под руководством профессора Е.В. Горохова более 25 лет активно занимается проблемой повышения надёжности и долговечности строительных конструкций электросетевого строительства. В результате проведенного комплекса исследований теоретического и прикладного характера получены существенные научные результаты по повышению надежности и долговечности конструкций за счет использования методов оптимального проектирования, вероятностных методов расчета конструкций, методов натуральных испытаний и экспериментального моделирования, мониторинга и прогнозирования эксплуатационных нагрузок и воздействий.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, надежность, долговечность, методы натуральных испытаний, мониторинг, экспериментальное моделирование.



Горохов
Евгений Васильевич



Назим
Ярослав Викторович



Васылев
Владимир Николаевич



Бакаев
Сергей Николаевич

ВВЕДЕНИЕ

Основные объекты энергетики высокого класса напряжений возводились в СССР в 60-70-е годы прошлого столетия. Начиная с 1991 года из-за сложного экономического положения в отрасли новое строительство магистральных электросетей, а также техническое перевооружение и реконструкция действующих сетей энергосистем в Украине практически не проводились. Как результат, к середине 90-х годов более 70% конструкций линий электропередачи эксплуатировались с превышением расчетного срока службы и отсутствием регламентных работ по текущим ремонтам. Эксплуатация воздушных линий электропередачи (ВЛ) с годами усложнялась вследствие старения основных конструктивных элементов, которые исчерпали нормативный ресурс, что приводило к частым авариям в энергосистемах (рис. 1).

Порталы и стойки под оборудование открытых распределительных устройств (ОРУ) высоковольтных подстанций, составляющие значительную часть основных производственных фондов энергетических компаний, также являются одними из основных элементов электрических сетей, надежность которых во многом определяет бесперебойность электроснабжения в целом. К моменту развала СССР треть подстанций в Украине уже находилась в эксплуатации в течение 40-60 лет, исчерпав проектный срок службы, у остальных же он был близок к окончанию. Это могло привести к аварийным или непригодным для нормальной эксплуатации состояниям конструкций (рис. 2).

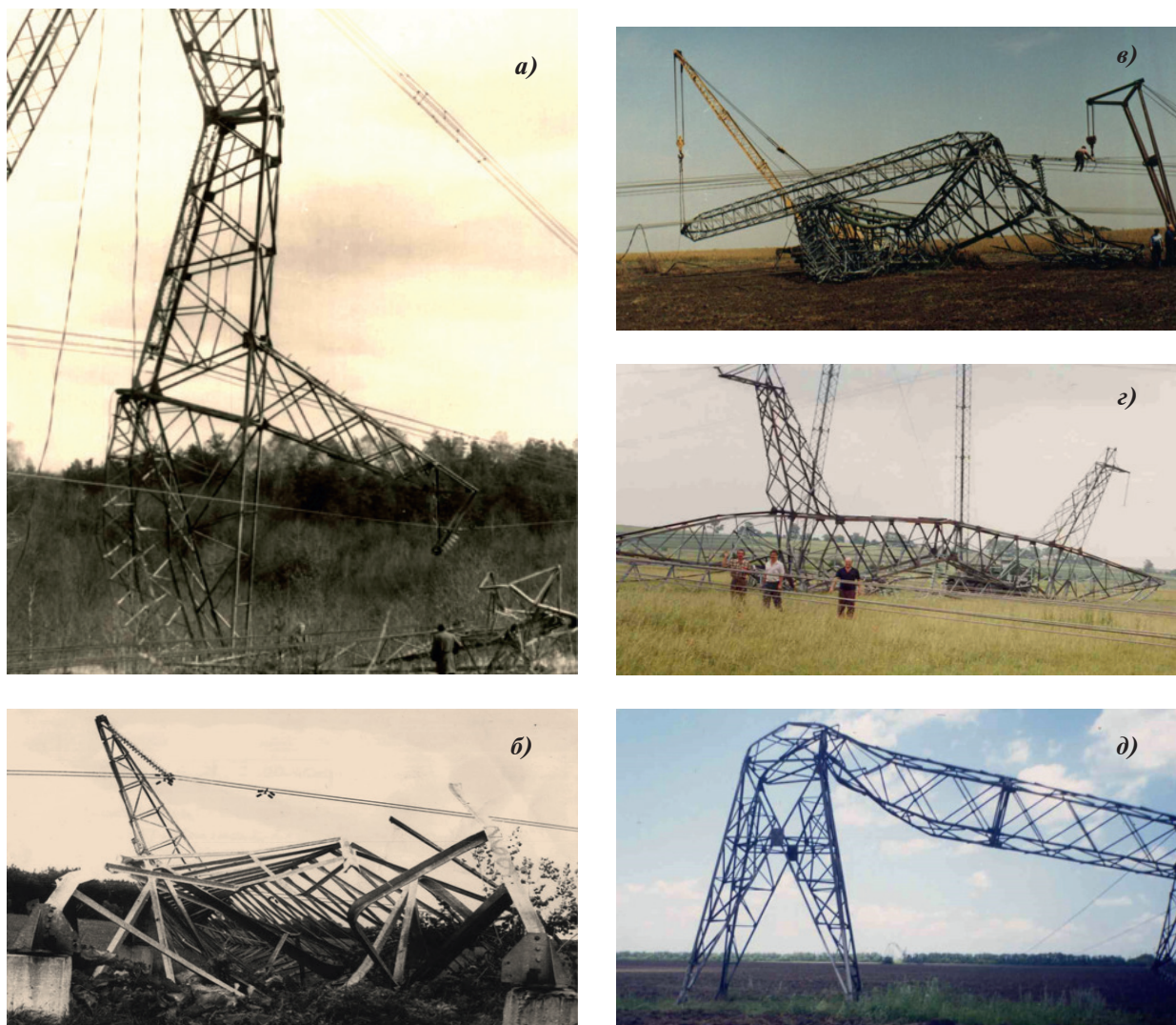


Рис. 1. Примеры аварий на воздушных линиях электропередачи:

а – разрушенная опора ВЛ 750 кВ «Волынская АЭС – Жешув» (1994 г.); б – опора ВЛ 330 кВ «Североукраинская – Полтава» после обрушения (1996 г.); в – разрушенная опора ВЛ 750 кВ «Южно-Донбасская – Донбасская» (1998 г.); г – разрушение опоры ВЛ 750 кВ «Винница – Западноукраинская» (2000 г.); д – падение опоры ВЛ 330 кВ «Трихаты – Криворожская» (2000 г.)



Рис. 2. Износ строительных конструкций открытых распределительных устройств подстанций

**ОПЫТ КОЛЛЕКТИВА ДОННАСА
ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Принимая во внимание сказанное, с начала 90-х годов научный коллектив кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ранее – Макеевский инженерно-строительный институт) под руководством Е.В. Горохова начал активно заниматься проблемой повышения надёжности и долговечности строительных конструкций электросетевого строительства. Кафедра металлических конструкций начала предоставлять энергопредприятиям научно-технические и консультационные услуги со специализацией в области энергетики, в частности: натурное обследование, техническая диагностика, оценка технического состояния, паспортизация объектов, разработка мероприятий по продлению срока службы и реконструкции строительных конструкций электрических подстанций и воздушных линий электропередачи.

С созданием в 1992 году на базе кафедры металлических конструкций специализированного научно-производственного центра конструкций электросетевого строительства (СНПЦ КЭС), а позже и научно-производственного центра «Диагностика и реконструкция» (ДиР) и Лаборатории испытания строительных конструкций и сооружений (ЛИСКиС) специалисты кафедры под научным руководством Е.В. Горохова начали осуществлять полный цикл работ при реконструкции электрических сетей, включая проведение проектных и изыскательских работ, испытания строительных материалов и конструкций, выполнение строительно-монтажных работ по усилению металлических и железобетонных конструкций, восстановлению антикоррозионного покрытия, а также комплексной реконструкции

с заменой опор ВЛ, порталов и стоек ОРУ, проводов, тросов, изоляторов.

Научные и научно-исследовательские работы по повышению надежности и долговечности электросетевых конструкций получили как теоретико-экспериментальный, так и инженерно-прикладной характер, поскольку имел место большой спрос на выполняемые работы со стороны эксплуатирующих организаций (рис. 3). В основу исследований на первом этапе легли многолетние научные исследования коллектива кафедры в области технической диагностики, оценки технического состояния и обеспечения эксплуатационной надежности широкого класса строительных конструкций, по которым у коллектива имелся большой опыт. Наиболее активный период деятельности специализированных научно-производственных центров выпал на 90-е и начало 2000-х годов, когда были апробированы собственные изобретения и технологии на объектах энергосистем, выполнены работы по реконструкции и усилению.

Сложно выделить наиболее значимые работы по продлению ресурса электросетевых конструкций, поскольку коллективами научно-производственных центров под руководством Горохова Е.В. было обследовано более 20 тыс. км воздушных линий и более 100 высоковольтных подстанций, и все они имели важное определяющее значение для обеспечения безотказной работы электросетевых конструкций и надежности отрасли в целом. Можно отметить лишь выполненные работы на объектах, которые позволили обеспечить на последующие 10–20 лет бесперебойную работу крупных промышленных объектов Донбасса, среди которых:

— разработка проекта и производство работ по усилению стоек под оборудование подстанции «Заря 330 кВ», которая является одной из основных в электроснабжении металлургических гигантов — завода имени Ильича и «Азовсталь» (1995–1997 гг.), а также работ по реконструкции ОРУ 110 кВ подстанции «Ильич» в г. Мариуполе (1997–1999 гг.);



Рис. 3. Примеры выполненных работ по реконструкции с целью продления ресурса порталов и стоек под оборудование ОРУ

- разработка проекта и производство работ по усилению конструкций ОРУ 110 кВ Харцызского сталепроволочно-канатного завода «Силур» (1996 г.);
- оценка технического состояния конструкций ОРУ Мироновской ТЭС (2000 г.);
- оценка технического состояния и капитальный ремонт железобетонных конструкций ОРУ 110 кВ подстанции «Коммунарская 220 кВ» (2000–2002 гг.), ОРУ 110 кВ подстанции «Михайловка 330 кВ» и многие другие.

Основными мероприятиями, предпринимаемыми при реконструкции воздушных линий электропередачи в целях повышения несущей способности конструкций, являются диагностика технического состояния и усиление (рис. 4). Чаще возникают проблемы, связанные с усилением металлических конструкций со значительным коррозионным износом и эксплуатационными повреждениями. Решения о методах реконструкции зачастую являются индивидуальными, и в каждом случае применение методов усиления обосновывается экономической эффективностью по сравнению с полной заменой конструкций.

Предлагаемые коллективом методы усиления потребовали развития нового подхода к проблеме

стями. За последние годы вложения в электрические сети 35–750 кВ составляли не более 18% общих вложений в электроэнергетику, в то время как в странах с развитой электроэнергетикой эта доля достигает до 36%. В то же время, по оценкам специалистов, главными причинами аварий электросетевых конструкций являются несвоевременное выполнение работ по восстановлению разрушенной антикоррозионной защиты, усилению прокорродировавших элементов и узлов, ремонту фундаментов и прочее, т.е., в основном, из-за недостаточности средств на поддержание конструкций в работоспособном состоянии.

Проблемы реконструкции электросетевых конструкций, связанные с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием, до недавнего времени оставались в стороне от основных направлений строительства в энергетике. Но работы по усилению и реконструкции, вызванные изменением расчетных нагрузок, по мнению коллектива кафедры под руководством Е.В. Горохова, являются наиболее интересными с точки зрения выполнения проверочных расчетов, а также с учетом развития и совершенствования нормативной базы проектирования. Одним из примеров выполненных работ может служить

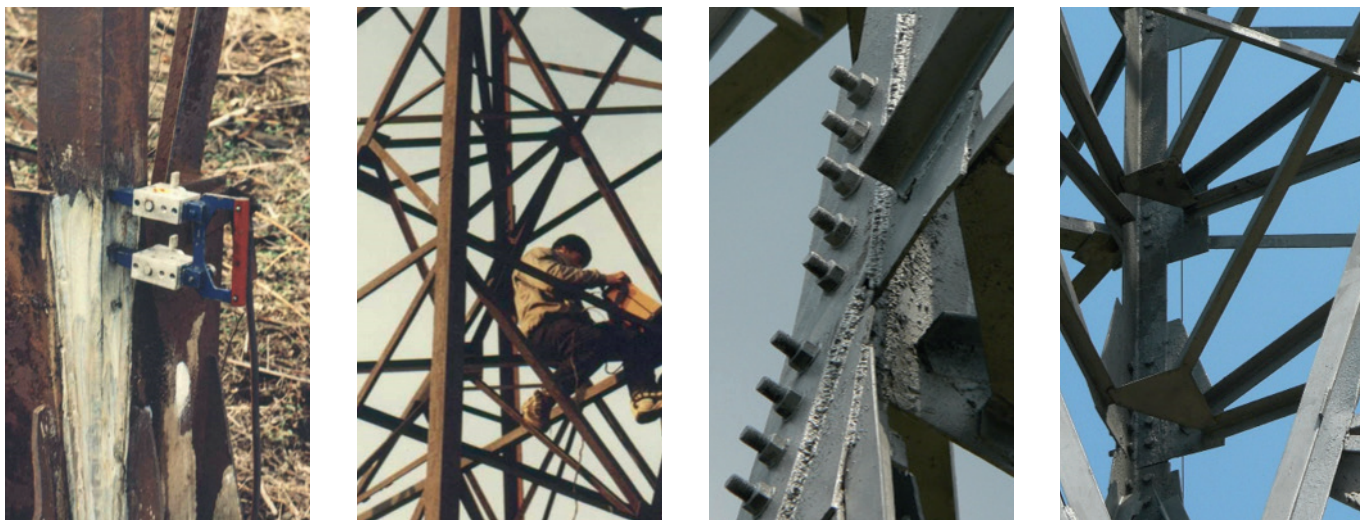


Рис. 4. Примеры диагностики и выполненных ремонтных работ по продлению ресурса опор линий электропередачи

восстановительных ремонтов и разработке критериев правильности принимаемых технических решений. Кроме того, устойчивый рост отказов, необходимость поиска внебюджетных форм финансирования мероприятий по поддержанию надежности электрических систем на достаточном уровне, требования предоставления гарантий обеспечения безаварийной работы в случае смены собственника энергосистем обусловили необходимость выполнения исследований надежности и безопасности электросетевых конструкций.

Как правило, в Украине деятельность по предотвращению аварий строительных конструкций сталкивалась прежде всего с финансовыми трудно-

реконструкция опор перехода через р. Днепр ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ», связанная с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием, осуществленная коллективом кафедры в 2013 году (рис. 5).

В результате выполненных научно-практических работ определены основные направления исследований надежности ВЛ, среди которых: уточнение методов определения расчетных климатических условий, в которых эксплуатируется конкретный объект; изучение дефектов и повреждений опор воздушных линий; уточнение причин повреждаемости и исследование действительной работы электросетевых конструкций со сниженными эксплуатационными

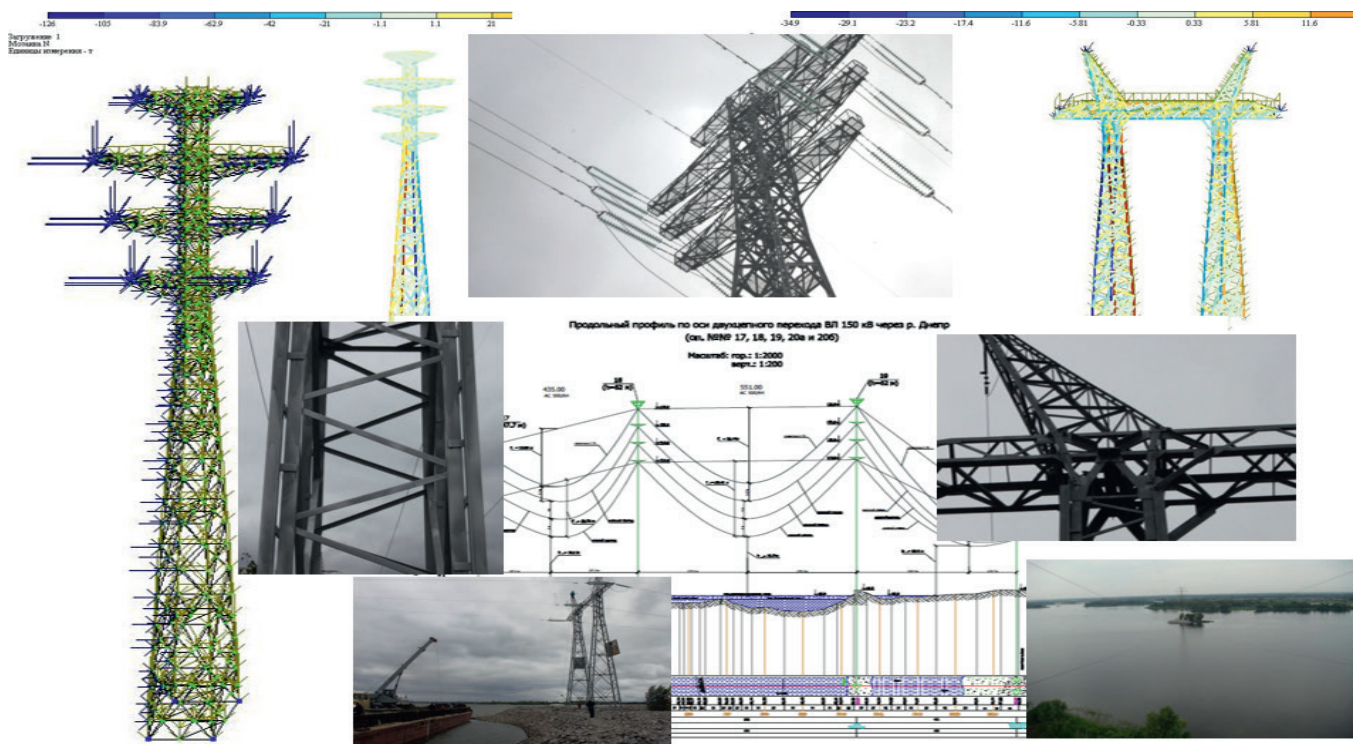


Рис. 5. Реконструкция линий электропередачи, связанная с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием

качествами. Одним из результатов использования разработанной методики является определение предельных нагрузок, которые может выдержать существующая конструкция опоры ВЛ, запроектированная по ранее действовавшим нормативам. Разработанная методика позволяет оценить степень влияния каждого из климатических параметров на результирующее напряженно-деформируемое состояние элементов опор ВЛ с учетом одинаковой вероятности их проявления. В основу методики расчетной оценки риска аварии (нарушения целостности конструкции) положены принципы учета ранжированных по степени опасности критических дефектов и повреждений, накопленных в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций. Такая интегральная оценка критических дефектов и повреждений является наиболее комплексным показателем конструктивной безопасности. Безопасность конструкции в целом сводится к определению показателей безопасности ее отдельных элементов, обусловленной изменением их механических и геометрических характеристик. Разработанные методы расчетной оценки и нормирования конструктивного риска позволяют обозначить оптимальную схему управления качеством эксплуатируемых несущих конструкций с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности. Указанные предложения нашли отражение при разработке методических указаний по оценке конструктивных рисков для осуществления инженерной и страховой защиты строительных конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей.

ОПЫТ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Открытие на базе ДОННАСА в 1997 году уникального Полигона испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи (рис. 6) положило начало новому направлению деятельности в области сертификационных испытаний новых строительных конструкций для электроэнергетики.

При разработке проекта Полигона учитывались тенденции развития электросетевого строительства и возможность расширения его технических возможностей. По большинству технических показателей Полигон ДОННАСА превышает крупнейшие полигоны Азии и Европы. Полигон представляет собой уникальное инженерное сооружение и на сегодняшний день остается вторым среди стран СНГ и 13-м в мире.

Запроектированный и возведенный под руководством Е.В. Горохова Полигон позволил в свое время Украине стать независимой от других стран мира в области исследования, проектирования и изготовления электросетевых конструкций. Сочетание научного потенциала специалистов кафедры с производственными возможностями Донецкого завода высоковольтных опор (ДЗВО) позволило местным производителям электросетевых конструкций выйти на международные рынки Сирии, Египта, Индии, Ирана, Турции, Исландии, Китая,

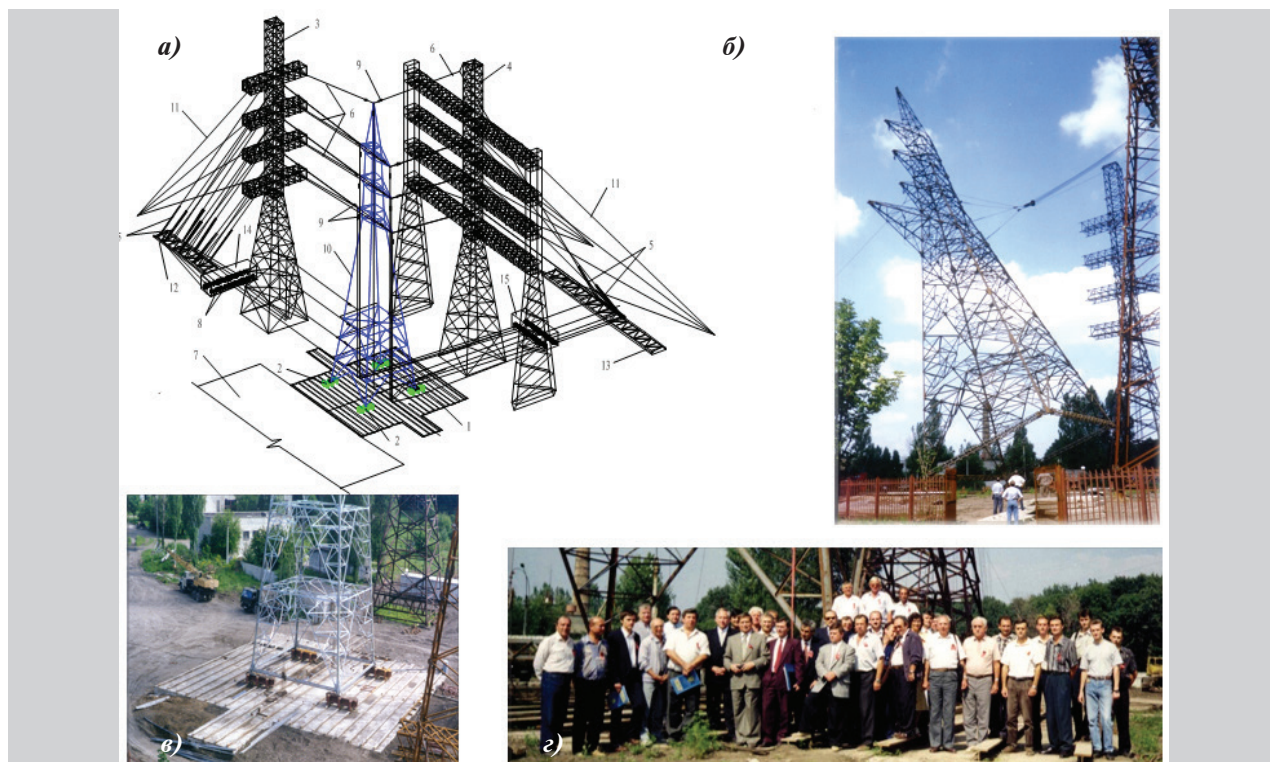


Рис. 6. Полигон испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи ДОННАСА:
 а – схема Полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений;
 б – монтаж первой опоры на Полигоне перед началом испытаний (1997 г.);
 в – общий вид силового поля Полигона;
 г – коллектив проектировщиков и строителей на открытии Полигона (1997 г.)

России, Казахстана и других стран (рис. 7). Учитывая большую значимость для науки и производства, Кабинет Министров Украины в 1999 году включил Полигон испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи ДОННАСА в Государственный реестр научных объектов, которые составляют

национальное достояние. На Полигоне были выполнены значительные экспериментальные исследования новых эксплуатационно-надежных эффективных типов опор. За эту плодотворную деятельность в 2002 году коллектив в составе профессора Е.В. Горохова, профессора Е.В. Шевченко,



а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Примеры испытаний опор линий электропередачи на Полигоне ДОННАСА:

а – испытание на Полигоне уникальной опоры ВЛ для Египта высотой 64 м; б – испытания V-образной опоры на оттяжках для Исландии; в – испытания железобетонной опоры ПСБ-220-1.1; г – испытание опоры 4S10+12 по заказу турецкой фирмы SA-RA

а также доцентов В.Н. Васылева и В.В. Семенова был удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники (рис. 8) за научную работу «Разработка научных основ и принципов строительства эксплуатационно-надёжных конструкций магистральных электросетей, освоение их производства и внедрения».

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ПРИКЛАДНОГО ХАРАКТЕРА ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Учитывая опыт и научный потенциал коллектива, материальную базу ДОННАСА, государственную значимость выполняемых работ, основные исследования теоретического и прикладного характера по повышению надежности конструкций электросе-

тевого строительства получили официальный статус, и их выполнение с середины 2000-х гг. стало осуществляться в соответствии с госбюджетными научно-техническими программами и темами:

— Государственная научно-техническая программа «Ресурс» (НЧ/439-2007) «Оценка технического состояния воздушных линий электропередачи при действии климатических нагрузок и воздействий», 2007-2008 гг.;

— Госбюджетная тема Д2-01-06 «Разработка научных основ создания оптимальных пространственных конструкций повышенной надежности» (задача 1 – «Мониторинг и повышение надежности воздушных линий электропередачи при действии гололедно-ветровых нагрузок и воздействий»), 2006-2008 гг.;

— Госбюджетная тема Д2-01-09 «Разработка моделей эксплуатационных нагрузок и воздействий для мониторинга уникальных зданий и сооружений» (раздел 1 «Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при



Рис. 8. Лауреаты Государственной премии Украины в области науки и техники за 2002 год, руководитель научного коллектива – Е.В. Горохов (пятый справа)

действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок»), 2009–2010 гг. и др.

Актуальность и необходимость данных работ была обусловлена участвовавшими крупными каскадными авариями в энергосистемах. Примером тому стала резонансная авария в ноябре 2000 г., когда почти 4 млн. людей из 5-ти тысяч населенных пунктов 12 областей Украины оказались в течение недели в экстремальных условиях, оставшись без света, тепла, газо- и водоснабжения (рис. 9 а). Не случайно на базе ДОННАСА дважды, в 2004 и 2008 гг., были проведены научно-практические конференции по проблемам эксплуатации и реконструкции действующих электросетей, организаторами которых выступили НЭК «Укрэнерго» и Всеукраинский энергетический комитет.

Также специалисты ДОННАСА приняли участие в работе комиссии по расследованию резонансных

ходово отметить, что взорванные опоры ПМГ 330–28 были нового, уникального типа, спроектированные и испытанные на Полигоне ДОННАСА (рис. 11) с учетом обеспечения надежности при воздействии гололедно-ветровых нагрузок и аварийных нагрузок при обрыве проводов и установленные в 2013 году взамен ранее разрушенных при гололедном шторме.

Ввиду актуальности проблемы обеспечения надежности конструкций при экстремальных климатических воздействиях под научным руководством д.т.н., проф. Горохова Е.В. в составе лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений при кафедре металлических конструкций создан испытательный стенд (климатическая камера) с приборной базой для моделирования климатических нагрузок. Он позволяет выполнять исследования гололедных и гололедно-ветровых

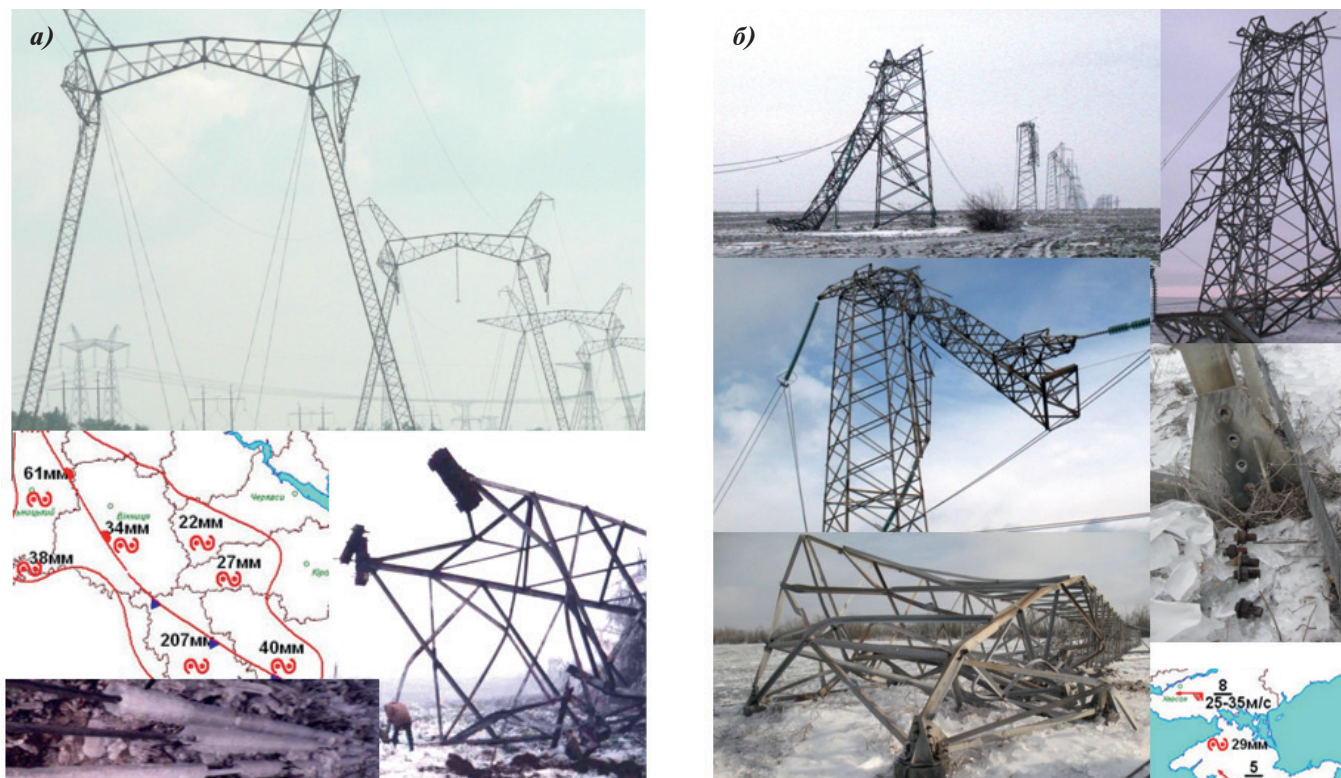


Рис. 9. Каскадные аварии в энергосистемах при гололедно-ветровых воздействиях:

а – аварии в Южной энергосистеме в ноябре 2000 года; б – аварии в Крымской энергосистеме в декабре 2009 года

аварий, произошедших на участке энергоперетока «Украина – Крым» на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой», «Каховская – Островская» и «Мелитопольская – Джанкой» в ОЗП период с декабря 2009 по январь 2010 г. (рис. 9 б), когда под угрозой отключения оказался весь полуостров, а энергосистема Крыма устояла лишь благодаря единственной воздушной линии электропередачи, не поддавшейся угрозам гололедно-ветрового шторма, и усилиям энергетиков, выполнявших аварийно-восстановительные работы. Как известно, в результате диверсионных актов в ноябре 2015 года энергосистема Крыма не устояла перед угрозами терроризма (рис. 10). При этом необ-

нагрузок как на провода, так и на элементы опор ВЛ. Иллюстрации выполненных исследований в 2011–2012 гг. с целью сравнительного анализа гололедообразования на образцах традиционных сталеалюминиевых проводов и на проводах новых типов (компактные, секторные и др.) представлены на рис. 12.

Профессором Гороховым Е.В. еще в начале 2000-х годов было принято решение о проектировании и строительстве в ДОННАСА аэродинамической лаборатории, в которую должны были войти две метеорологические аэродинамические трубы МАТ-1 и МАТ-2. Малая аэродинамическая труба МАТ-1 была запроектирована в достаточно



Рис. 10. Диверсия (подрыв опор) на ВЛ 330 кВ на энергоперетоке «Украина – Крым», 20.11.2015

сжатые сроки и введена в эксплуатацию (рис. 13). Назначение МАТ-1: испытание отдельных зданий или сооружений в масштабах 1:100 – 1:1000, элементов конструкций, отработка методик экспериментов, поверка и градуировка приборов и датчиков. К сожалению, из-за отсутствия финансирования проект большой трубы аэродинамической МАТ-2 до настоящего времени не реализован. В малой трубе после ввода в эксплуатацию были выполнены ряд модельных испытаний высотных зданий и уникальных сооружений. Применительно к задачам электроэнергетики по заказу ГП УНИПИКТИ «Укрсельэнергопроект» в рамках научно-технической работы



Рис. 11. Общий вид опоры ПМГ 330-28 нового типа во время испытаний на Полигоне ДОННАСА

были выполнены экспериментальные исследования на натуральных образцах традиционных сталеалюминиевых проводов разных марок, а также применяемых в мировой практике проводов новых типов для ВЛ.

Помимо исследований ветрового воздействия на объекты электроэнергетики в условиях аэродинамической лаборатории, коллектив кафедры под руководством Е.В. Горохова также имел опыт осуществления натуральных полевых исследований и анализа ветровых течений на площадке строительства Новоазовской ветроэлектростанции (ВЭС) в 2001 г., а также по разработке башни высотой 70 м для исследования характеристик



Рис. 12. Испытания проводов ВЛ в климатической камере лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений

ветра. В результате исследований была разработана методика оценки особенностей ветровых течений в зависимости от топографических неоднородностей рельефа местности для прогнозирования выработки электроэнергии ветротурбинами (рис. 14).

Для выполнения задач прогнозирования и предупреждения аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок коллективом разработчиков ДОННАСА под научным руководством Е.В. Горохова разработаны экспериментальные автоматизированные гололедно-ветровые метеопосты (АГВМП). После апробации в 2004 году на территории Полигона ДОННАСА экспериментальной модели АГВМП установлены первые 4 метеопоста в системе НЭК



Рис. 13. Малая аэродинамическая труба МАТ-1 ДОННАСА

«Укрэнерго» (рис. 15) в Одесской, Тернопольской и Хмельницкой областях (ПС 330 кВ «Усатово», ПС 330 кВ «Котовская», ПС 330 кВ «Тернополь», ПС 330 кВ «Хмельницкий»), послужившие началом создания ведомственной автоматизированной системы мониторинга метеопараметров (АСММ), выполняющей задачи прогнозирования и предупреждения аварий на ВЛ при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок. По заказу НЭК «Укрэнерго», руководствуясь разработанной схемой размещения метеопостов, коллективом кафедры в 2008 году осуществлена установка метеопостов в Ивано-Франковской, Волынской, Луганской областях (ПС 330 кВ «Ивано-Франковская», ПС 220 кВ «Луцк-Южная», ПС 500 кВ «Победа»). В рамках создания единой системы прогнозирования и предупреждения аварий на ВЛ при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок планировалась в 2014 году установка метеопостов на подстанциях ПС 330 кВ «Южно-Донбасская», ПС 330 кВ «Новокаховская» и др. Одновременно с созданием автоматизированной системы мониторинга метеопараметров в ДОННАСА

осуществлялась разработка, апробация и совершенствование методик учета климатических нагрузок на ВЛ (рис. 16), поскольку обеспечение требуемой надежности электросетевых конструкций невозможно без достоверной информации о климатических нагрузках и воздействиях, т.к. в силу специфики данных сооружений указанные нагрузки являются определяющими их основные параметры.

Специалистами ДОННАСА совместно со специалистами ГПИ НИИ «Укрэнергопроект» в период с 2004 по 2014 гг. проводилась разработка методик по заказу Министерства топлива и энергетики Украины с целью климатического обеспечения строительства и эксплуатации электрических сетей. Основные из них – методика выбора расчетных метеостанций, методика подготовки



Рис. 14. Исследования анализа ветровых течений на площадке строительства Новоазовской ветроэлектростанции

и обработки данных метеостанций, методика определения нагрузки в какой-либо точке территории, методика определения зависимости климатических нагрузок от высоты месторасположения, методика определения гололедно-ветровых нагрузок в горной местности, определения влияния топографических условий местности на ветровую нагрузку. Перечисленные методики нашли свое применение в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ), в отраслевых нормативных документах: «Климатическое обеспечение строительства и эксплуатация электрических сетей», «Климатические нагрузки на воздушные линии электропередачи с учетом топографических особенностей». Разработанные нормативные документы по климатическому обеспечению, методика обработки метеопараметров и справочник с климатическими данными за более чем полувековой период находят свое применение при использовании персоналом энергопредприятий и специализированных организаций во время выполнения проектов ВЛ нового строительства, проведения реконструкции и оперативного обслуживания действующих ВЛ.



Рис. 15. АГВМП

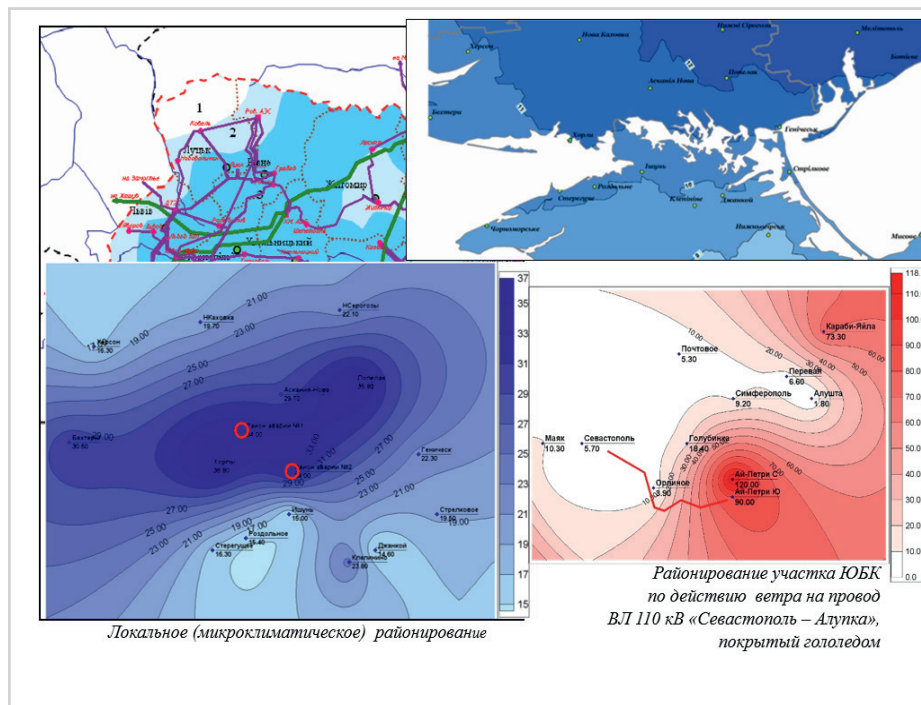


Рис. 16. Аprobация методик учета климатических нагрузок на ВЛ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достигнуты существенные научные результаты по повышению надежности и долговечности электросетевых конструкций за счет использования методов оптимального проектирования, вероятностных методов расчета конструкций, методов натуральных испытаний и экспериментального моделирования, мониторинга и прогнозирования эксплуатационных нагрузок и воздействий. К новым научным и практическим результатам, достигнутым в результате выполненного комплекса исследований теоретического и прикладного характера, следует отнести:

- классификацию и статистический анализ повреждений (дефектов) электросетевых конструкций, экспериментальное изучение коррозионного износа конструкций и долговечности защитных покрытий, исследование влияния коррозионного износа и климатических нагрузок и воздействий на напряженно-деформированное состояние конструкций, повышение долговечности и коррозионной стойкости металлических конструкций опор ВЛ и строительных конструкций ОРУ подстанций;

- совершенствование методов технической диагностики электросетевых конструкций, разработку рекомендаций по оценке технического состояния, перерасчету и паспортизации эксплуатируемых ВЛ и ОРУ;

- разработку принципов оптимизационных расчетов опор ВЛ и порталов ОРУ с учетом требований эксплуатационной надежности;

- создание методов расчета надежности и долговечности электросетевых конструкций, учитывающих изменение несущей способности сооружения

с течением времени, вероятностную природу нагрузок и особенностей эксплуатации;

- экспериментальные и численные исследования динамического поведения токоведущих проводов и грозозащитных тросов в нестационарном воздушном потоке, экспериментальное моделирование процесса гололедообразования на проводах ВЛ;

- создание электронной базы по нагрузкам и воздействиям на электросетевые конструкции, основанной на обработке данных метеостанций, разработку методик учета климатических нагрузок на ВЛ, прогнозирования и предупреждения аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок.

К основным научным публикациям в области повышения надежности и долговечности электросетевых конструкций следует отнести 5 монографий, 1 учебное пособие, 14 государственных и отраслевых нормативных документов, 8 патентов и авторских свидетельств, более 200 научных статей в периодических научных изданиях, сборниках научных трудов и изданиях по результатам работы конференций.

По результатам выполненных исследований по проблематике электросетевых конструкций защищены 11 кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова, а также одна докторская диссертационная работа. Также по результатам исследований, осуществленных на кафедре металлических конструкций, в рамках развития и продолжения научной школы Е.В. Горохова под руководством его учеников защищены ещё пять диссертаций по проблематике электросетевых конструкций.



Рис. 17. Основные научные публикации научной школы Е.В. Горохова в области повышения надежности и долговечности электросетевых конструкций

Список литературы:

1. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций: монография / Е.В. Горохов, С.Н. Шаповалов, Е.И. Удод и др.; под ред. Е.В. Горохова. — Киев, Техника, 1997. — 284 с.; ил.
2. Аэродинамика электросетевых конструкций : монография / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.Н. Шаповалов, Я.В. Назим; под ред. Е.В. Горохова, М.И. Казакевича. — Донецк, 2000. — 336 с.
3. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи: монография / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим ; под ред. Е.В. Горохова; ДОННАСА. — Донецк, Норд-Компьютер, 2005. — 348 с. : ил.
4. Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине: монография / Е.В. Горохов, Г.И. Гримуд, В.Ф. Муцанов и др.; под общ. ред. Е.В. Горохова, Г.И. Гримуда; ДОННАСА. — Макеевка, 2008. — 180 с. цв. ил., табл.
5. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций: учебн. пособие / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, Я.В. Назим, И.В. Роменский; под общ. ред. Е.В. Горохова; ДОННАСА. — Макеевка, 2012. — 516 с.
6. Системы мониторинга технического состояния несущих металлических конструкций зданий и сооружений: монография / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, В.Н. Васылев и др. ; под общ. ред. Е.В. Горохова, В.Ф. Муцанова; ДОННАСА. — Макеевка, 2013. — 314 с.
7. ГКД 34.20.571-96. Металеві та залізобетонні опори повітряних ліній електропередачі напругою 35 кВ та більше. Методичні вказівки з оцінки технічного стану та перерахунку. — К., «Енергопрогрес», 1996. — 59 с.
8. ГКД 34.20.572-96. Порталы металеві та залізобетонні відкритих розподільчих пристроїв. Методичні вказівки по обстеженню. — К., УНВО “Енергопрогрес”, 1996. — 46 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Норми проектування. Навантаження і впливи. — К., Мінбуд України, 2006.
10. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 «Передавання електроенергії». Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. — К., ОЕП «ГРІФРЕ». — 2006. — 192 с.
11. СОУ-Н ЕЕ 20.572:2006. Методичні вказівки з обстеження металевих і залізобетонних порталів відкритих розподільчих пристроїв напругою від 35 – 750 кВ. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. — 96 с.
12. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 – 750 кВ. Частина 1. Металеві та залізобетонні опори. Паспортизація ліній. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 124 с.
13. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 – 750 кВ. Частина 2. Конструктивні елементи ліній. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 92 с.
14. СОУ-Н ЕЕ 20.667:2007. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електропередавання з урахуванням топографічних особливостей. Методика. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 39 с.
15. ПД 34.20.501:2008. Розрахунок опор і проводів повітряних ліній електропередавання згідно з вимогами Глави 2.4 ПУЕ:2006 і Глави 2.5 ПУЕ:2006. Посібник. — К., ОЕП «ГРІФРЕ». — 2008.
16. СОУ-Н ЕЕ 21.262:2008. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж. Інструкція. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. — 36 с.
17. СОУ-Н ЕЕ 20.579: 2009. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2009. — 92 с.
18. СОУ 40.1-00013741-36:2010. Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 330 кВ. Настанова. — К., Мінергетики та вугільної промисловості України. — 2012. — IV, 41 с.
19. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-62:2012. Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледних заходів. Методичні вказівки. — К., Мінергетики та вугільної промисловості України. — 2012. — IV, 55 с.
20. СОУ-Н ЕЕ 20.572:2013. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 «Передавання електроенергії». Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ (друга редакція). — К., Мінергетики та вугільної промисловості України, 2013. — 144 с.