



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

ТОМ 6, N2, 2010, 113-130

УДК 621.315+624.042

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЛ З УРАХУВАННЯМ КООРДИНАЦІЇ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ В РАЙОНАХ З ПІДВИЩЕНИМИ ОЖЕЛЕДНО-ВІТРОВИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

Є. В. Горохов, Я. В. Назім, В. М. Васи́лев, О. О. Лещенко, І. М. Гаранжа, Н. С. Смирнова

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Україна, 86123.*

E-mail: ksv@donmasa.edu.ua

Отримана 11 квітня 2010; прийнята 31 травня 2010.

Анотація. В статті розглянуто питання надійності електропостачання Автономної Республіки Крим у зв'язку з низкою аварій на магістральних повітряних лініях електропередачі в осінньо-зимовий період 2009-2010 року. Виконаний порівняльний аналіз відмов в Кримській електроенергетичній системі під час експлуатації ПЛ та виявлені схожі причини аварій. Авторами звернуто увагу на найважливіші аспекти проектування і експлуатації ПЛ в умовах забезпечення безперервності перетоку «Україна – Крим», а саме: коректне визначення кліматичних навантажень на елементи ПЛ з урахуванням останніх змін нормативної бази у сфері кліматичного забезпечення електромережної галузі; вдосконалення методів розрахунку і конструктивних рішень зчпної арматури для високовольтних ліній з урахуванням причин і характеру її руйнування унаслідок аварій; а також – розробка «протиаварійних» конструктивних форм всіх типів опор з урахуванням вимог неприпустимості розвитку каскадних руйнувань і застосування нових технологій виготовлення металоконструкцій.

Ключові слова: повітряні лінії електропередачі (ПЛ), кліматичні навантаження, галоупування проводів, лінійна зчпна арматура, аварійні ситуації, підвищення надійності.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВЛ С УЧЕТОМ КООРДИНАЦИИ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЙОНАХ С ПОВЫШЕННЫМИ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫМИ НАГРУЗКАМИ

Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев, А. А. Лещенко, И. М. Гаранжа, Н. С. Смирнова

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Украина, 86123.*

E-mail: ksv@donmasa.edu.ua

Получена 11 апреля 2010; принята 31 мая 2010.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос надежности электроснабжения Автономной Республики Крым в связи с чередой аварий на магистральных воздушных линиях электропередачи в осенне-зимний период 2009-2010 года. Выполнен сопоставительный анализ отказов в Крымской электроэнергетической системе за время эксплуатации ВЛ и выявлены схожие причины аварий. Авторами обращено внимание на наиболее важные аспекты проектирования и эксплуатации ВЛ в условиях обеспечения бесперебойности перетока «Украина – Крым», а именно: корректное определение климатических нагрузок на элементы ВЛ с учетом последних изменений нормативной базы в сфере климатического обеспечения электросетевой отрасли; совершенствование методов расчета и конструктивных решений сцепной арматуры для высоковольтных линий с учетом причин и характера ее разрушения вследствие аварий; а также – разработка «противоаварийных» конструктивных форм всех типов опор с учетом требований недопустимости развития каскадных разрушений и применения новых технологий изготовления металлоконструкций.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи (ВЛ), климатические нагрузки, галоупирование проводов, линейная сцепная арматура, аварийные ситуации, повышение надежности.

WAYS OF INCREASING OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINE RELIABILITY REGARDING THE COORDINATION OF COMPONENT STRENGTH IN THE AREAS WITH A HIGHER ICE AND WIND LOADS

Ye. V. Gorokhov, Ya. V. Nazim, V. M. Vasylev, O. O. Leshchenko, I. M. Garanzha, N. S. Smirnova

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Ukraine, 86123.
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

Received 11 April 2010; accepted 31 May 2010.

Abstract. The article is devoted to the problem of electric power supply reliability in the Autonomous Republic of Crimea because of a chain of failures at the trunk overhead power transmission lines during the autumn-winter period in 2009-2010. There was carried out a comparative analysis of the overhead power transmission line inactions in the Crimean electrical power system during period of exploitation and similar reasons of the failures were revealed. The authors noticed the most important aspects of the overhead power transmission line design and operation under an uninterrupted power interchange «Ukraine-Crimea», namely, a correct determination of climatic loads on the components of the overhead power transmission lines regarding the latest changes of the normative basis in the sphere of climatic provision of the electrical supply network; improvement of the design methods and constructive decisions for coupling accessories for high-tension transmission lines regarding the reasons and character of its failure because of accidents; and the development of the «anti-damage» constructional forms of every type of towers taking into account the requirements of an inadmissible development of cascading failures and the use of new methods of manufacturing metalware.

Key words: overhead power transmission lines (OPTL), climatic loads, wire galloping, line coupling accessories, emergency situations, reliability improvement.

Введение

Трудно оценить социальные и экономические последствия аварий на воздушных линиях 330 кВ, произошедших на территории Автономной Республики Крым в осенне-зимний период (ОЗП) 2009-2010 гг. [1, 2]. Наиболее масштабная авария, приведшая к каскадному разрушению ВЛ при сверхрасчетных климатических условиях, произошла в 20 км от г. Красноперекоск 19 декабря 2009 года на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой», во время которой было повреждено 16 металлических промежуточных опор. Колоссальные убытки понесли не только государство в лице энергоснабжающих компаний, но и потребители электроэнергии в лице предприятий и населения полуострова.

Длительная эксплуатация воздушных линий электропередачи в зоне влияния повышенной влажности и интенсивного засоления Сиваша, щелочных озер, Азовского и Черного морей вызывает активное разрушение цепной арматуры при потенциально высоких скоростях ветра и делает существующую схему электроснабжения Крыма все менее надежной и чрезвычайно чувствительной к экстремальным проявлениям внешних климатических факторов. Вероятность аварии и потерь передаваемой в Крым электрической мощности возрастает с каждым годом. Поэтому опыт изучения ликвидации этих аварий делает первоочередным разработку мероприятий по повышению надежности воздушных линий электропередачи.

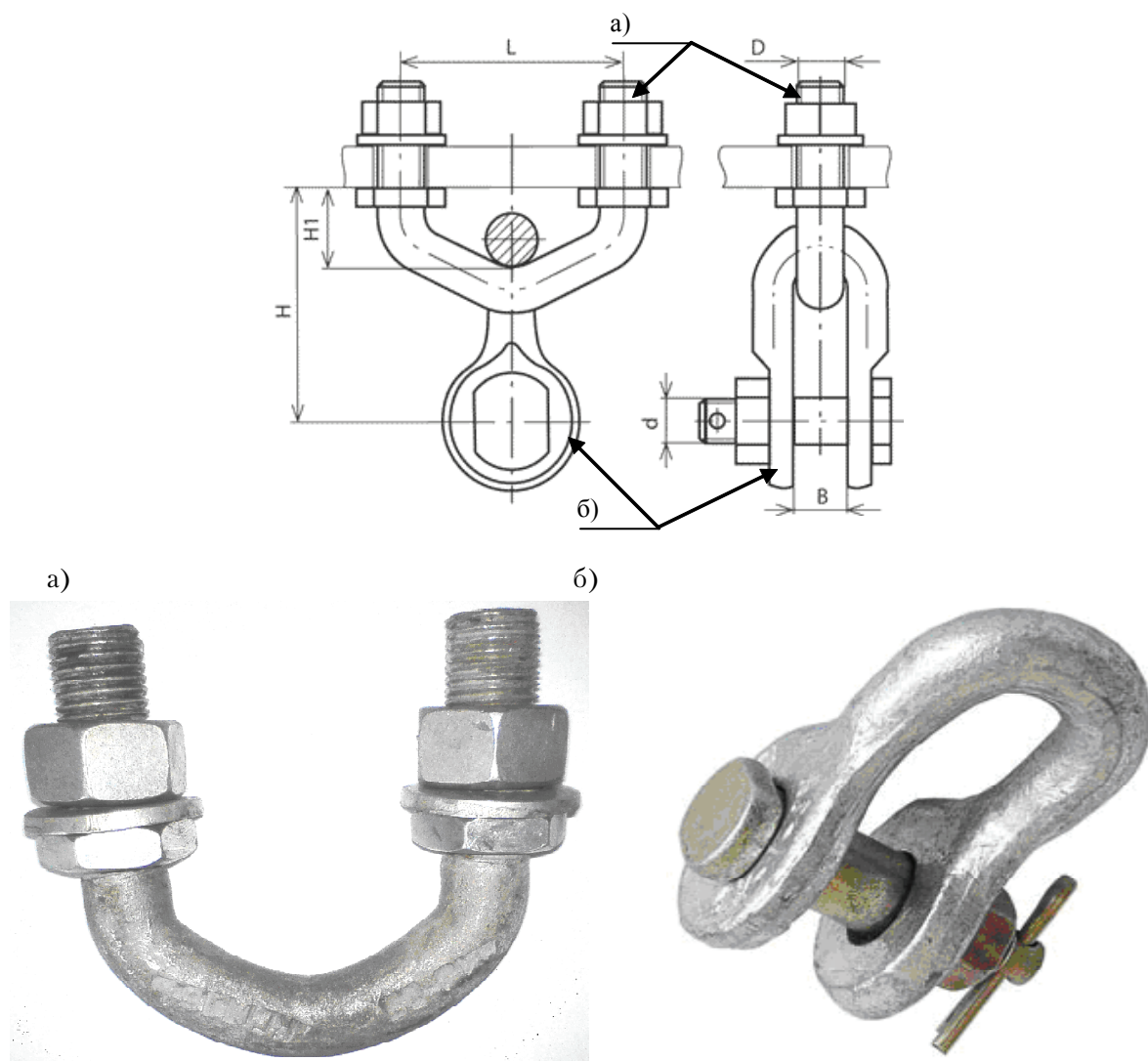


Рис. 1. Конструкция узла крепления типа КПП: а) U – образный болт; б) скоба СК.

1. Анализ отказов в Крымской электроэнергетической системе

В Крымской ЭС в течение всего периода эксплуатации ВЛ фиксируются отказы, в актах расследования которых часто отмечаются повреждения линейной сцепной арматуры при значительном превышении гололедно-ветровых нагрузок, в частности – разрушения элементов узлов крепления типа КПП.

Линейная сцепная арматура предназначена для соединения элементов изолирующих подвесок и крепления проводов ВЛ и молниезащитных тросов к опоре. К ней относятся узлы крепления, скобы, серьги, ушки, звенья промежуточные, звенья монтажные, коромысла.

Узлы крепления типа КПП предназначены для крепления посредством U-образного болта (рис. 1,а) к металлическим траверсам опор поддерживающих подвесок проводов и молниезащитных тросов с подвижностью в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Узлы КПП комплектуются скобой типа СК (рис. 1,б). Скобы предназначены для перехода с шарнирного цепного соединения на соединение типа «палец-проушина», изменения расположения оси шарнирности, сцепления арматуры, рассчитанной на разные нагрузки. Скобы типа СК – скобы с цепным шарниром. Скобы СК имеют, с одной стороны, двухлапчатую проушину по ГОСТ 11359-75, а, с другой стороны, обеспечивают шарнирное цепное соединение по тому же стандарту.

Таблица 1. Повреждения ВЛ Крымской ЭС (начало).

Дата аварии	Класс напряжения и наименование ВЛ	Номер и тип опоры	Климатические воздействия	Повреждение элементов ВЛ	Причина повреждения	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
13.02.84	330кВ «Каховская – Островская»	338 ПВС-330АМ	Ветер до 25м/с. Стенка гололеда до 20 мм. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов	Разрыв узла крепления КГП-12-1	
12.05.87	330кВ «Каховская – Островская»	325 ПВС-330АМ	Ветер 15-20 м/с. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов	Разрыв узла крепления КГП-12-1	
19.02.92	330кВ «Мелитопольская – Джанкой»	579 ПСУ-330-1	Ветер 10-15 м/с. Снег	Падение Л-образной гирлянды изоляторов	Разрыв скобы СК 12-1	
11.11.03	330кВ «Каховская – Джанкой»	305	Ветер до 25 м/с. Дождь со снегом	Падение гирлянды изоляторов и проводов фазы «С»	Разрыв в двух местах узла крепления КГП-12-1	Трещина в резьбовой части арматуры
06.04.04	330кВ «Каховская – Островская»	336 ПВС-330АМ	Ветер с порывами до 20 м/с, дождь. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов и проводов фазы «В»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	
29.01.07	330кВ «Каховская – Островская»	191 ПВС-330АМ	Налипание мокрого снега на провод. Ветер 25-30 м/с. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов средней фазы «А»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	Разрыв по второму витку резьбы
18.12.09	330кВ «Каховская – Островская»	260 ЦП-25и	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Дождь со снегом. Стенка гололеда до 30 мм. Температура воздуха до -4°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов левой фазы «С»	Разрыв узла крепления типа КГП 16-3	Разрушение в 28 мм от резьбовой части М 20х2,5
19.12.09	330кВ «Каховская – Джанкой»	277 ПВС-330АМ	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Стенка гололеда до 40 мм. Температура воздуха -4°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-12А, Л-образная) средней фазы «А»	Разрыв скобы СК 12-1	Разрушение по центру скобы
19.12.09	330кВ «Каховская – Джанкой»	279 ПВС-330АМ	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Стенка гололеда до 40 мм. Температура воздуха -4°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-12А, Л-образная) правой фазы «В»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	Разрушение по последнему витку резьбы М 20х2,5
19.12.09	330кВ «Каховская – Джанкой»	280 ПВС-330АМ	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Стенка гололеда до 40 мм. Температура воздуха -4°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-12А, Л-образная) средней фазы «А»	Разрыв узла крепление типа КГП-12-1	

Таблица 1. Повреждения ВЛ Крымской ЭС (окончание).

1	2	3	4	5	6	7
19.12.09	330кВ «Каховская – Джанкой»	310 ЦП-25и	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Стенка гололеда до 40 мм. Температура воздуха -4°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов фазы «А» на траверсу фазы «С» (см. рис. 2), обрушение траверсы фазы «С». Повреждения опор на анкерном участке №№ 302-319 при одновременном обрыве проводов двух расщепленных фаз, вызвавшем каскадное разрушение опор №№ 305-318	Разрыв узла крепления типа КГП-12-1	
19.01.10	330кВ «Каховская – Островская»	299 ПВС-330АМ	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 25м/с. Стенка гололеда до 5 мм. Снег. Температура воздуха -2°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-120, Л-образная) средней фазы «В»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	Разрушение между первым и вторым витком резьбовой части под квадратной гайкой
12.02.10	330кВ «Каховская – Островская»	196 ПВС-330АМ	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 30м/с. Стенка гололеда до 5 мм. Мокрый снег. Температура воздуха от 0°С до -2°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-120, Л-образная) средней фазы «А»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	Разрушение между третьим и четвертым витком резьбовой части под квадратной гайкой с обеих сторон
12.02.10	330кВ «Мелитопольская – Джанкой»	473 ЦП-25и	С-В ветер 15-20м/с с порывами до 30м/с. Стенка гололеда до 5 мм. Налипание мокрого снега. Температура воздуха от 0°С до -2°С. Пляска проводов	Падение гирлянды изоляторов (тип ПСГ-6А, Л-образная) правой фазы «В»	Разрыв в резьбовой части U-образного болта КГП 12-1	Разрушение между третьим и четвертым витком резьбовой части под квадратной гайкой

Скобы типа СК позволяют осуществить переход со скобы одного ряда нагрузок на скобы соседнего (большого или меньшего) ряда нагрузок через цепное соединение.

Анализ аварийных ситуаций на воздушных линиях электропередачи Крымской ЭС (табл. 1) позволил выявить закономерность, связанную с наибольшей вероятностью появления аварий в зоне наибольшей ответственности ВЛ, а именно в зоне перетока «Украина – Крым» по Перекопскому перешейку, а также на участках пересечения Сиваша в районе полуострова Чонгар.

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют, что на ВЛ 330 кВ Крымской ЭС наибо-

лее распространено падение Л-образной гирлянды изоляторов средней фазы промежуточных железобетонных опор в результате разрыва в резьбовой части U-образных болтов узлов крепления типа КГП. При этом наибольшее количество данных повреждений зафиксировано в Красноперекопском районе при сильном порывистом ветре и различном по интенсивности обледенении проводов ВЛ, а также практически всегда в сопровождении галоширования (пляски) проводов.

По данным наблюдений Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы наиболее подвержены гололедно-ветровым нагрузкам



Рис. 2. Механический износ элементов узла КПП.



Рис. 3. Разрыв U-образного болта. Опора №299 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская».

следующие пролеты по трассе линий:

- ВЛ-330 кВ «Каховская – Островская» – № 176-212 (10,5 км), № 242-353 (30,5 км);
- ВЛ-330 кВ «Каховская – Джанкой» – № 202-253 (16,5 км), № 328-406 (26,0 км);
- ВЛ-330 кВ «Мелитопольская – Джанкой» – № 553-625 (16 км), № 821-833 (3 км).

Сопоставление расположения мест аварий и вышеуказанных участков ВЛ показывает расхождение данных по ряду случаев. Это может быть объяснено отсутствием внедрения в Крымской ЭС систем мониторинга гололедно-ветровых нагрузок [9-12] как в плане приборно-аппаратной базы, так и нормативно-методического обеспечения. Следует отметить, что системы раннего обнаружения го-

лоледа на проводах ВЛ, сигнализации и контроля гололедообразования [13] не нашли еще своего применения в электроэнергетических системах Украины. При этом экспедиционные замеры на ВЛ также не производятся, а имевшие место ранее специализированные гололедные посты на электрических подстанциях просуществовали в 70-90-х годах прошлого столетия и последние 15-20 лет не функционируют. Данные, которые используют эксплуатирующие организации, основаны либо на данных ближайших метеостанций (МС) системы Укргидрометеоцентра, либо на визуальных осмотрах ВЛ. При этом расположение существующих МС в рассматриваемой зоне является нехарактерным относительно как ориентации и профиля ВЛ,



Рис. 4. Разрыв U-образного болта. Опора № 473 ВЛ 330 кВ «Мелитопольская – Джанкой».



Рис. 5. Разрыв U-образного болта. Опора № 196 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская».



Рис. 6. Разрыв скобы СК-12.1 на Л-образной подвеске. Опора № 277 ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой».



Рис. 7. Разрыв скобы СК-12.1. Опора № 277 ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой».

так и преобладающего гололедно-ветрового потока [1, 8].

Следует также отметить, что для узлов крепления типа КГП в условиях повышенной влажности, засоленности и из-за характера их работы, как правило, наблюдается полное разрушение защитного цинкового покрытия (рис. 2-7). Изъятые с аварий элементов узлов типа КГП в большинстве случаев имеют значительный механический износ (рис. 2-5). При этом разрушение элементов, в основном, происходит по резьбовой части, а не в месте наибольшего ослабления сечения в зоне механического истирания. Это подтверждается разрушением элементов, коррозионный и механический износ которых

минимален (рис. 8). Анализ излома свидетельствует о хрупком разрушении (рис. 9).

В Крымской ЭС за период с 1980 г. по 2010 г. неоднократно была зафиксирована интенсивная пляска проводов с амплитудой колебаний 2-6 м при стенке гололеда от 3 мм до 40 мм, при скорости ветра 10-35 м/сек, в том числе:

- на ВЛ-330 кВ «Каховская – Островская» – 24 раза (без отключения ВЛ – 16 раз, с отключением ВЛ и повреждением оборудования – 8 раз);
- на ВЛ-330 кВ «Каховская – Джанкой» – 13 раз (без отключения ВЛ – 8 раз, с отключением ВЛ и повреждением оборудования – 5 раз);
- на ВЛ-330 кВ «Мелитопольская – Джан-



Рис. 8. Разрыв U-образного болта. Опора № 260 ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская».

кой» – 8 раз (без отключения ВЛ – 3 раза, с отключением ВЛ и повреждением оборудования – 5 раз).

При этом следует иметь ввиду, что показатель случаев пляски без отключения ВЛ может быть существенно заниженным из-за отсутствия дистанционных средств обнаружения.

2. Пляска проводов. Проблемы оценки надежности линейной арматуры при пляске

В осенне-зимний период 2009-2010 гг. в Крымской ЭС также неоднократно наблюдалась интенсивная пляска проводов. Во всех имевших место авариях в качестве одной из причин в актах расследования отказов указывается пляска. Пример тому – видео- и фотоматериалы, снятые непосредственно сразу после возникновения аварии 19 января 2010 года на ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» на проводах уцелевших пролетов (рис. 10).

Пляска представляет собой собственные, близкие к вертикальным колебания натянутого в пролете провода, возбуждаемые ветром (рис. 11). Эти колебания характеризуются низкой частотой (0,2-4,0 Гц), сравнительно длинными волнами (10-400 м) и большими амплитудами (0,3-3,0 м, реже 6-10 м). Пляска вызывается действием сильного порывистого ветра, направленного поперек линии, дающего полный или не-



Рис. 9. Характер разрушения на изломе скобы СК-12.1.

полный резонанс с собственными колебаниями провода. Возникает пляска в результате появления подъемной силы, действующей на провод. Подъем провода выше его среднего положения прекращается вследствие уменьшения подъемной силы и возрастания противодействующих подъему сил упругости провода. После этого провод возвращается в среднее положение и отклоняется по инерции в обратном от него направлении (рис. 12).

Возникновению пляски проводов весьма сильно способствует гололед односторонней формы. Также пляска проводов достаточно часто инициируется при сбросе гололеда в одном из пролетов ВЛ.

Пляска является одной из наиболее опасных разновидностей колебаний. Анализ случаев пляски проводов на ВЛ 10-750 кВ показывает, что до 90 % случаев пляски приводит к нарушению режима работы ВЛ или к повреждению их элементов, причем только в 30 % случаев нарушения ограничиваются кратковременными отключениями, а в остальных случаях перебои в работе линии длятся от нескольких часов до нескольких суток [14].

В процессе пляски провода и линейная арматура испытывают действия значительных циклических поперечных и продольных нагрузок, величина которых достигает 1-4 т. Следствием длительного воздействия таких нагру-

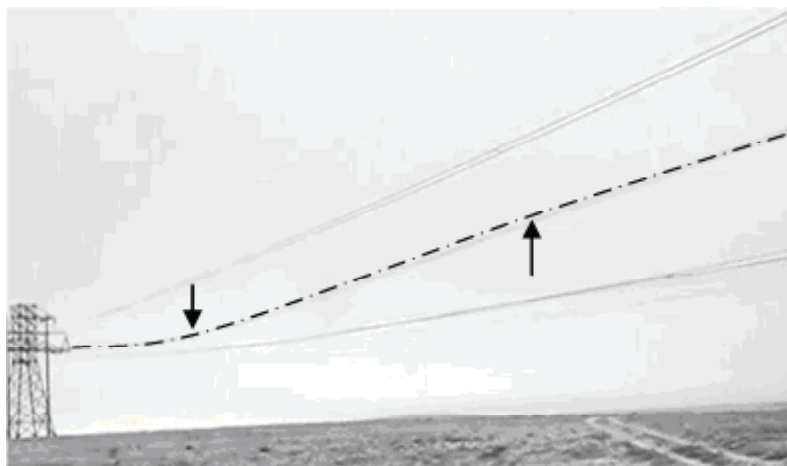


Рис. 10. Фотофиксация явления пляски на ВЛ в Красноперкопском районе в ОЗП 2009-2010 гг.

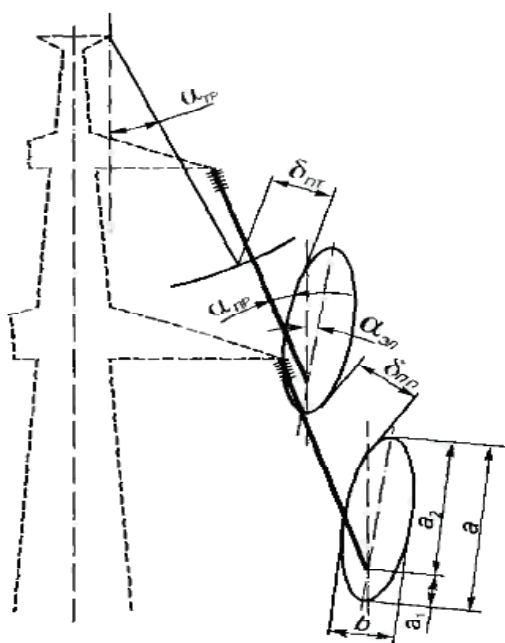


Рис. 11. Перемещения проводов ВЛ и изоляторов при пляске проводов.

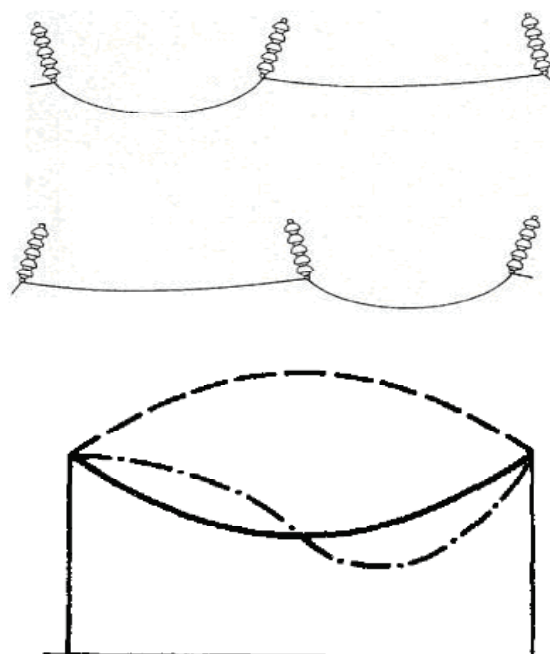


Рис. 12. Возможные формы колебаний проводов в пролете при пляске проводов.

зок является разрушение сцепной арматуры, повреждения дистанционных распорок, защитной арматуры, повреждения проводов и грозозащитных тросов. При этом в первую очередь от циклических нагрузок разрушаются узлы, имеющие жесткую конструкцию и несущие большую нагрузку.

Правильная оценка надежности линейной арматуры воздушных линий электропередачи способствует повышению надежности ВЛ в целом. Для определения надежности арматуры необходимо определить ее прочность при действии

статических и циклических нагрузок, возникающих от ветра, гололеда и различных форм колебаний проводов.

Статические нагрузки, испытываемые арматурой от весовых воздействий, а также тяжения проводов и грозозащитных тросов можно определить расчетом. Механические испытания линейной арматуры регламентированы нормами также на статические нагрузки.

Определение расчетом динамических нагрузок от пляски, вибрации и других явлений, действующих на арматуру, не представляется

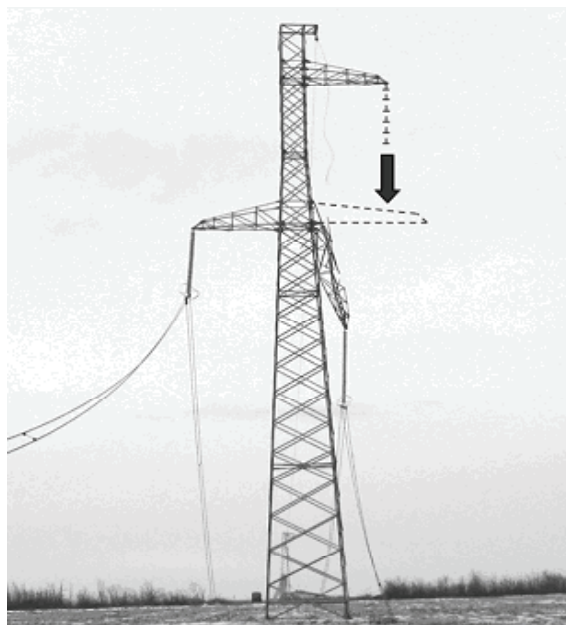


Рис. 13. Повреждение опоры № 310 ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» при падении гирлянды изоляторов и проводов фазы «А».

возможным из-за отсутствия математических моделей, позволяющих получить проверенный результат. Испытания циклическими нагрузками не всегда дают полноценные результаты из-за того, что нет обоснованных норм и требований к испытательным стендам и нагрузкам при испытании арматуры на воздействие пляски [15].

3. Проверка механической прочности сцепной арматуры

В качестве примера рассмотрим аварию, которая произошла 19 декабря 2009 года на опоре № 310 ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» (рис. 13).

Данные о климатических воздействиях во время указанной аварии, приведенные в [1, 2], показывают, что результирующая статическая нагрузка на узел крепления КГП составила 6,36 т с углом к вертикали 23,8°. Узел КГП-12-1, в соответствии с государственными стандартами и техническими условиями, должен выдерживать нагрузку до 12,2 т. При этом, с учетом коэффициента надежности по материалу п. 2.5.107 [4], который для нормального режима эксплуатации равен 2,5, нагрузка не должна превышать 4,9 т. В указанном случае нагрузки на узел КГП были превышены по всем параметрам (см. рис. 14).

На основании информации из табл. 1, можно сделать вывод, что только в определенном количестве случаев зафиксировано существенное превышение нагрузки на узлы подвеса, обусловленное сильным обледенением проводов ВЛ, в остальном, как правило, разрушение узлов КГП происходило без превышения расчетной статической нагрузки.

Вышесказанное обстоятельство, с учетом фактов наблюдения пляски проводов в большинстве случаев, говорит о том, что значительную роль в повреждениях узлов подвеса играют циклические знакопеременные динамические нагрузки. В работе [15] также указывается что, одной из основных причин нарушения работоспособности арматуры ВЛ наряду с дефектами изготовления, монтажа, ремонта занимают знакопеременные нагрузки, количество которых составляет 33,4 %.

На основании данных о климатических воздействиях во время аварии и указанной в табл. 1 статистике отказов ВЛ можно сделать вывод, что одной из основных причин разрушения узлов крепления типа КГП было не только значительное превышение статических нагрузок, но и динамические воздействия, вызванные пляской проводов.

Применительно к рассмотренной опоре № 310 ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» на основании сравнения технических характеристик узлов крепления типа КГП разных марок и исполнений (табл. 2, 3) можно сделать вывод, что во исполнение современной действующей нормативной документации [4-7] необходимо применение узлов крепления марки КГП-16-2, разрушающая нагрузка которых составляет 16,3 т, что обеспечивает надежность ВЛ даже в сложившихся метеоусловиях в ОЗП 2009-2010 гг. с суммарной расчетной нагрузкой 15,9 т.

4. Применение противоаварийных опор ВЛ

Дополнительный резерв надежности ВЛ в целом может дать применение так называемых «противоаварийных» опор, разработка конструктивных форм которых является принципиально новым шагом в проектировании электросетевых конструкций.

В этом случае, отказы типа разрушения элементов сцепной арматуры, либо разрыва прово-

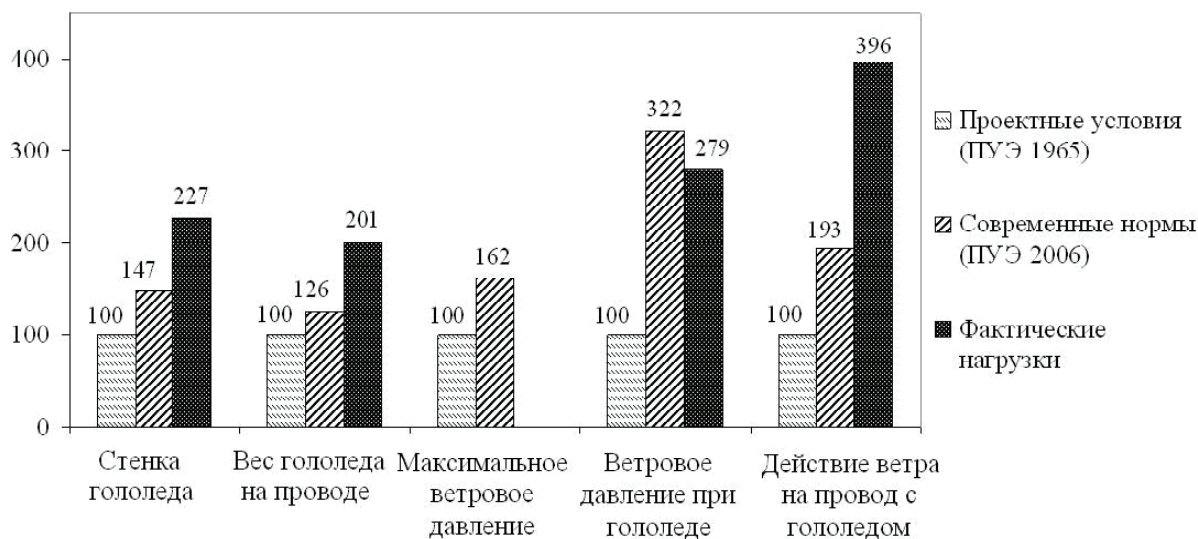


Рис. 14. Превышение расчетных климатических нагрузок на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой» (проектные нагрузки – 100 %).

Таблица 2. Технические характеристики узлов крепления типа КГП (выборка).

Марка узла крепления	Размеры, мм						Разрушающая нагрузка кН, не менее	Комплектуется скобой	Масса, кг
	D	H	H1	L	d	B			
КГП-12-1	20	39	104	80	22	23	120	СК-12-1А	1,72
КГП-16-1	24	38	108	100	25	26	160	СК-16-1А	2,43
КГП-16-2	20	39	109	80				СК-16-1А	2,03

Таблица 3. Привязочные размеры узлов крепления типа КГП (исполнения 1, 2).

Марка узла крепления	Схема			
	Размеры, мм			
	L	d ^{+0,5}	a	
		max	min	
КГП-12-1	80	21,5	16	12
КГП-16-1	100	25,0		
КГП-16-2	80	21,5		



Рис. 15. Переходные двухцепные опоры типа «обратная елка» через р. Днепр.



Рис. 17. Переходная опора типа «зонт» через р. Амур (Россия).

да не повлекут за собой каскадных последствий, как в описанном выше примере (см. рис. 13), за счет особенностей конструктивной формы и расположения траверс.

Ни для кого не секрет, что такого рода конструкции уже давно применяются в строительной практике для переходов через большие водные пространства, как для одно-, так и для многоцепных опор. Идея самого перехода вызвана необходимостью недопущения каскадных разрушений, и реализована в виде ограничения данного участка отдельными концевыми либо анкерными опорами. Помимо этого, применяемые схемы расположения проводов на переходных опорах несут в себе идею сохранения целостности опоры в случае обрыва узлов подвеса провода.

Ярким примером тому являются опоры решетчатого типа через реки Самара и Днепр в

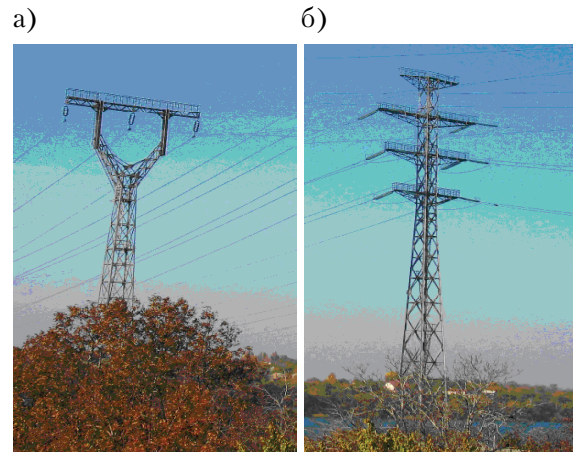


Рис. 16. Переходные опоры через р. Самара (г. Днепрпетровск): а) рюмка; б) «обратная елка».



Рис. 18. Концевые переходные опоры потрального типа на о. Хортица (г. Запорожье).

Украине, опоры через реки Иртыш и Амур в России, а также опоры, применяемые в ряде европейских стран, США и др. (рис. 15-20).

Кроме существующих опор решетчатого типа, возможен альтернативный вариант применения противоаварийных опор воздушных линий электропередачи на основе многогранных гнутых стоек (МГС), получивших распространение в странах азиатско-тихоокеанского региона (рис. 21-23).

В Украине разработкой конструктивных форм опор на МГС занимаются сотрудники кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Такие опоры, как показывает практика [16-18], имеют огромный ряд преимуществ:

- уменьшенный землеотвод, простота выполнения фундаментов, экологическая безопасность, простота утилизации и эстетичность,



Рис. 19. Переходные двухцепные опоры вдоль моста San Mateo (США).



Рис. 20. Переходные четырехцепные опоры Nekooya city (США).

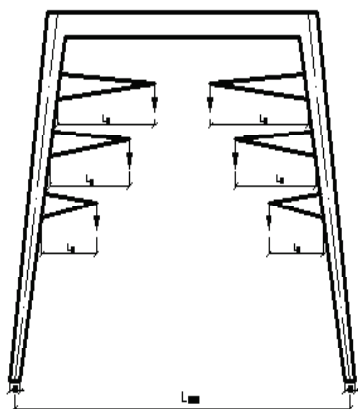


Рис. 21. Портальная двухцепная опора на основе МГС.

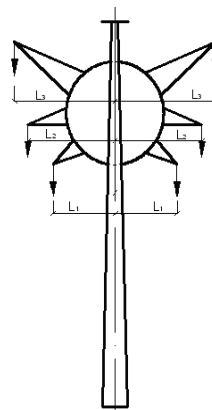


Рис. 22. Двухцепная опора типа «звезда» на основе МГС.

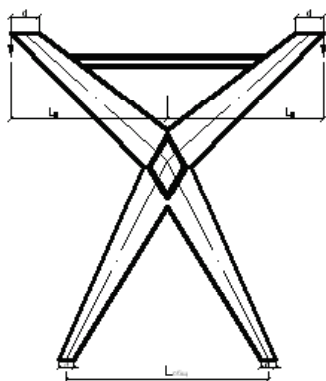


Рис. 23. Одноцепная опора типа «ножницы» на основе МГС.

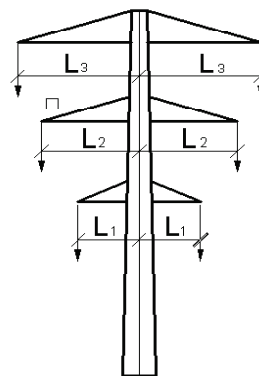


Рис. 24. Одностоечная двухцепная опора типа «обратная елка» на основе МГС.

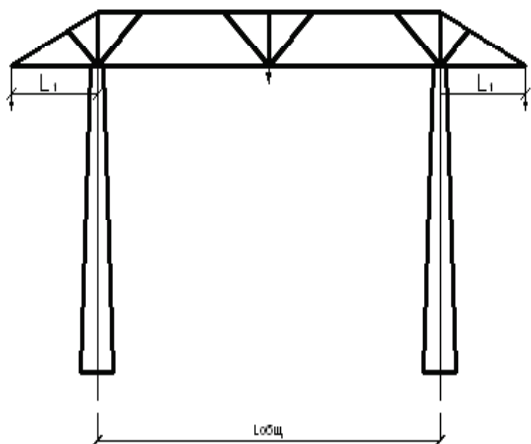


Рис. 25. Двухстоечная одноцепная опора на основе МГС.

что позволяет размещать их в черте города с большой плотностью расположения зданий и высокой стоимостью земли;

- мировой опыт применения опор на МГС и хорошие эксплуатационные характеристики: высокая надежность, отсутствие катастрофических разрушений при обрыве провода, что особенно актуально при проектировании противоаварийных опор;
- повышенная гибкость конструкции стойки опоры, за счет чего – снижение нагрузок в аварийном режиме;
- стабильность характеристик опор на протяжении всего срока эксплуатации;
- низкая трудоемкость и текущие затраты по эксплуатации ВЛ;
- устранение возможности расхищения деталей опор.

Предлагаемые конструктивные формы противоаварийных опор на основе многогранных гнутых стоек представлены на рис. 24-25.

При разработке новых конструктивных форм противоаварийных опор основное внимание было направлено на следующие аспекты:

- расположение траверс на стволе опоры с целью обеспечения свободного падения провода на землю в случае возникновения аварийной ситуации на ВЛ;
- конструирование наиболее важных узлов опоры (крепление траверс к стволу опоры, соединение многогранных секций опоры между собой, примыкание ствола опоры к ее базе);

- эстетичность опор, как конструкций расположенных не только в промышленных зонах и сельской местности, но и на обширных городских территориях.

Заключение

Мероприятия по повышению надежности воздушных линий электропередачи могут быть связаны с несколькими важными аспектами проектирования и эксплуатации воздушных линий:

- корректный учет климатических нагрузок на элементы ВЛ с учетом последних изменений методик их определения, методов и средств мониторинга, а также нормативной базы в сфере климатического обеспечения электросетевой отрасли;
- совершенствование методов расчета, а также конструктивных решений сцепной арматуры для высоковольтных линий с учетом причин и характера ее разрушения вследствие аварий;
- разработка противоаварийных конструктивных форм опор с учетом требований недопустимости развития каскадных разрушений, а также применения новых технологий изготовления металлоконструкций.

При разработке проектных решений реконструкции участков ВЛ, проходящих в условиях экстремальных гололедно-ветровых нагрузок, принимать во внимание следующие подходы:

- использование ограничителей образования гололеда на проводах или применение новых типов проводов с улучшенными аэродинамическими характеристиками;
- установка внутрифазовых распорок-демпферов;
- установка межфазовых изолирующих распорок;
- применение гасителей пляски;
- применение специальных конструкций линейной сцепной арматуры повышенной прочности и износостойкости;
- замена типовых промежуточных и анкерно-угловых опор старой унификации на противоаварийные опоры.

При рассмотрении вопросов, связанных с использованием линейной сцепной арматуры, необходимо в дальнейшем выполнение анализа существующей нормативной документации

(ГОСТ, ТУ, ДСТУ и др.), реализация экспериментальных исследований линейной арматуры, в том числе: испытание образцов узлов подвеса КГП и скоб СК, изъятых после аварий ВЛ (определение механических и структурных характеристик, химического состава материала элементов линейной арматуры), испытание выборки образцов сцепной арматуры из новых партий поставки (на разрыв, поверхностное истирание и ударную вязкость), а также разработка методики и выполнение динамических испытаний на циклические воздействия.

Численные исследования действительной работы узлов подвеса гирлянд изоляторов возможны после проведения динамических испытаний и определения соответствующих параметров динамических воздействий при пляске проводов. Также на основании результатов испытаний можно будет разработать рекомендации по совершенствованию технологии изготовления либо по изменению конструкции узлов крепления.

На данный момент целесообразно организовать наблюдение за явлениями пляски проводов на ВЛ, соединяющих электроэнергетическую систему Украины и Крымскую ЭС, а также применить устройства, ограничивающие гололедообразование и пляску проводов. При этом следует учитывать, что пляска проводов является чрезвычайно сложным явлением, зависящим от большого числа факторов, и не существует универсальных средств для ее полного устранения.

Рассматривая особенности вышеизложенных отказов ВЛ на Перекопском перешейке и их последствия, следует отметить, что в ряде случаев при обеспечении мероприятий по поддержанию надежности электрических систем и предоставлению гарантий обеспечения безаварийной работы (схем расположения траверс, усовершенствования конструктивных форм узлов крепления проводов и тросов, а также применения в узлах крепления элементов, обеспечивающих автоматический аварийный сброс провода с целью сохранения целостности опоры) страховые организации будут заинтересованы в заключении договоров на возмещение ущерба вследствие возникновения страхового случая. Это связано с тем, что при неизменном тарифе за страховую услугу (отключение электроснабже-

ния), выплаты на возмещение убытка при аварии будут покрывать только замену и (или) восстановление проводов без выплат на восстановление опор, т. е. при одинаковых рисках – возмещение будет меньше. При этом, для заинтересованности имущественно обособленных владельцев линий страховые компании смогут разработать новые тарифы, что подтолкнет их к внедрению новых способов инженерной защиты. Такие кардинальные меры, как применение устройств для автоматического отсоединения перегруженных проводов в свою очередь потребует серьезного изменения принципов координации прочности элементов ВЛ [20-21], заложенных и в отечественные нормативные документы [4].

Также не следует забывать о крайне несовершенной нормативной базе, регламентирующей частоту и интенсивность пляски проводов ВЛ на территории Украины. Так, например, локализация аварий, связанных с пляской проводов, свидетельствует об аномальной интенсивности подобных явлений в районе Перекопского перешейка. В связи с последним, для такого важного элемента ОЭС Украины, как ВЛ 330 кВ на перетоке «Украина – Крым», наиболее рациональным решением представляется перевод данных линий в более высокий класс безотказности и использование в расчетах всех требований норм [4] как для 4-го класса безотказности наравне с ВЛ 500-750 кВ. При этом, данное решение требует уточнения зон применения 4 КБ по профилю ВЛ Крымской ЭС.

Литература

1. Назим Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Металеві конструкції. — 2010. — Т. 16, № 1. — С. 61–74.
2. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим та [ін.] // Металеві конструкції. — 2010. — Т. 16, № 2. — С. 81-97.
3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 4-е издание. — М.: Энергоатомиздат, 1965. — 648 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ». — Офіц. вид. — К. :

- ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електропередачі з урахуванням топографічних особливостей : СОУ-Н ЕЕ 20.667:2007. – Офіц. вид. – К. : НТСЕУ, ГРІФРЕ, 2007. – 39 с.
 6. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж : СОУ-НН 21.262:2008. – Офіц. вид. – К. : НТСЕУ, ГРІФРЕ, 2008. – 36 с.
 7. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання : СОУ-Н ЕЕ 20.579:2009. – Офіц. вид. – К. : НТСЕУ, ГРІФРЕ, 2009. – 94 с.
 8. Назим Я. В. Внедрение новых разработок нормативной документации в сфере климатического обеспечения электросетей в практические расчеты / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 2009-5(79). – С. 22-25.
 9. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / [Горохов Е.В., Казакевич М.И., Турбин С.В., Назим Я.В.] ; под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с. – (Монография).
 10. Горохов Е. В. Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине / Под ред. Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев, А. А. Лещенко. – Макеевка : ДонНАСА, 2008. – С. 54-65.
 11. Monitoring of Complex Design Systems of Special Structures / [Gorokhov Ye., Nazim Ya., Vasylev V. and other] / [Selected papers of the 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008], (Lithuania, Vilnius, June 26-29, 2008). – Vilnius : Technika, 2008. – P. 306-311.
 12. Лещенко А. А. Автоматизированная система мониторинга метеопараметров на воздушных линиях электропередачи / А. А. Лещенко, Я. В. Назим, Е. В. Горохов // Информатика та комп'ютерні технології : збірка матеріалів IV міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих учених, 25-27 лист. 2008 р. – Донецьк, 2008. – С. 494-496.
 13. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads / IEC 61774. – Geneva, Switzerland, 2000. – Tr. 2. Ed. 1. – 76 p. – (Technical report).
 14. Ржевский С.С. Уроки системной аварии из-за пляски проводов на ВЛ 400-500 кВ / С. С. Ржевский // Электро. – 2006. – № 6. – С. 9-15.
 15. Дубинич Л. А. Современный подход к испытаниям элементов / Л. А. Дубинич // Материалы второй российской с междунар. участием науч.-практ. конф. «Линии электропередачи 2006: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс», 5-8 июня 2006 г. – Новосибирск, 2006. – С. 298-309.
 16. Многогранные гнутые стойки : материалы V междунар. конф., (Николаевка, 31 авг. – 3 сент. 2010 г.) – Днепропетровск : [б. и.], 2010. – 280 с.
 17. Гунгер Ю. Р. Разработка новых конструкций опор ВЛ из гнутых металлических профилей нетрадиционных форм / Ю. Р. Гунгер, И. Р. Пивчик // Электрические станции. – 2003. – № 3. – С. 48-50.
 18. Гаранжа И. М. Эффективность применения многогранных гнутых стоек (МГС) для опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях современной Украины / И. М. Гаранжа, В. Н. Васылев // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 163-168.
 19. Нейман В. А. Нормирование прочности ВЛ по критериям надежности / В. А. Нейман // Энергетика и электрификация. – 1998. – № 5. – С. 11-15.
 20. Design criteria of overhead transmission lines (11/165A / CDV) : IEC 60826. – Geneva, Switzerland, 2002. – Ed. 3. – 186 p. – (International standard of International Electrotechnical Commission).
 21. Probabilistic design of overhead transmission lines : Companion document to «Improved design criteria of overhead transmission lines based on reliability concepts» // CIGRE Brochure No. 109, December 1996. – Final version, July 2000. – SC 22, WG 06. – 124 p.

Горохов Євген Васильович – д.т.н., ректор Донбаської національної академії будівництва і архітектури, завідувач кафедри «Металеві конструкції», Президент Української асоціації по металевим конструкціям, закордонний член Російської академії будівництва, академік Академії вищої освіти та Академії будівництва України, член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

Назім Ярослав Вікторович – к.т.н., доцент кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури, член Української асоціації по металевим конструкціям. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережових конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж, особливості вітрових та ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

Василев Володимир Миколайович – к.т.н., професор кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури, начальник Лабораторії випробування будівельних конструкцій і споруд (ЛВБКіС). Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих конструкцій.

Лещенко Олександр Олександрович – аспірант кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості вітрових та ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

Гаранжа Ігор Михайлович – аспірант кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи гратчастих та багатограних листових опор повітряних ліній електропередавання.

Смирнова Наталія Сергіївна – аспірант кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, забезпечення безвідмовності повітряних ліній електропередавання на основі теорії управління ризиками.

Горохов Евгений Васильевич – д.т.н., ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, заведующий кафедрой «Металлические конструкции», президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, иностранный член Российской академии строительства, академик Академии высшей школы и Академии строительства Украины, член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Назим Ярослав Викторович – к.т.н., доцент кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей, особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

Василев Владимир Николаевич – к.т.н., профессор кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, начальник Лаборатории испытания строительных конструкций и сооружений (ЛИСКиС). Научные интересы: изучение действительной работы металлических конструкций.

Лещенко Александр Александрович – аспирант кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

Гаранжа Игорь Михайлович – аспирант кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы решетчатых и многогранных листовых опор воздушных линий электропередачи.

Смирнова Наталья Сергеевна – аспирант кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, обеспечение безотказности воздушных линий электропередачи на основе теории управления рисками.

Gorokhov Yevhen Vasylyovych – doctor of engineering sciences, Rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. The Head of «Metal Structures» Chair; President of the Ukrainian Association of Metal Structures; a Foreign Member of the Russian Academy of Civil Engineering, an academician of the Higher School Academy and the Academy of Civil Engineering of Ukraine; a Member of the International Committee in Wind influence Engineering. His research interests include operational reliability and longevity of building metal structures, climatic loads on buildings and structures.

Nazim Yaroslav Victorovych – Ph.D. (Eng.), an assistant Professor of the «Metal Structures» Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His research interests include operational reliability and longevity of power supply structures, dynamic loads on overhead line structures, wind and glazed frost loads and influences on overhead power transmission lines.

Vasylev Volodymyr Mykolayovych – Ph.D. (Eng.), an Professor of the «Metal Structures» Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; the Head of the laboratory of building constructions and structures tests. Scientific interests: research of real metal structures operation.

Garanzha Igor Mykhailovych – a postgraduate student of the «Metal Structures» Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of real operation of latticed and polyhedral sheet supports of the air power transmission lines.

Leschenko Olexander Olexandrovych – a postgraduate student of the «Metal Structures» Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests: peculiarities of wind and glazed frost loads and influence on air power transmission lines.

Smirnova Natalia Sergiivna – a postgraduate student of the «Metal Structures» Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Her research interests include operational reliability and longevity of power supply structures, and protection of air power transmission lines on the basis of the theory of risk management.