



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS**

2013, ТОМ 19, НОМЕР 2, 67–80

УДК 621.315.1:624.014

(13)-0284-1

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В УКРАЇНІ

Є. В. Горохов, В. М. Василев, І. М. Гаранжа, О. О. Лещенко

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

E-mail: mailbox@donnasa.edu.ua

Отримана 12 лютого 2013; прийнята 26 квітня 2013.

Анотація. У статті описуються перспективні напрямки наукових досліджень і інженерні пропозиції, спрямовані на підвищення ефективності роботи повітряних ліній електропередавання (ПЛ) напругою 6–330 кВ. В Україні їх необхідність гостро виникла за останні роки у зв'язку із тим, що відбулися каскадні аварії на ПЛ 330 кВ на території АР Крим, коли на перший план вийшли питання надійності, довговічності ліній і безперервності подачі електроенергії споживачам. Тут в основу покладено вдосконалення методик визначення кліматичних навантажень (ожеледно-вітрових), а також розробка нових і модифікація існуючих конструктивних рішень опор ПЛ із застосуванням прогресивних матеріалів. У цьому випадку мається на увазі створення трубобетонних опор на основі вже апробованих на практиці металевих багатограних стоек з заповненням бетонною сумішшю, що самоущільнюється. Крім того, усе більш потрібно стає розробка так званих «протиаварійних опор», що дозволяють виключити каскадні руйнування на ВЛ. Коротко розглядаються питання підвищення пропускної здатності, оптимізації та адаптації повітряних ліній до європейських будівельних норм Eurocode.

Ключові слова: повітряні лінії електропередавання, кліматичні навантаження, металеві багатограничі стойки, трубобетонні опори, протиаварійні опори, багатоланцюгові ПЛ, Eurocode.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УКРАИНЕ

Е. В. Горохов, В. Н. Васильев, И. М. Гаранжа, А. А. Лещенко

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

E-mail: mailbox@donnasa.edu.ua

Получена 12 февраля 2013; принята 26 апреля 2013.

Аннотация. В статье описываются перспективные направления научных исследований и инженерных предложений, нацеленные на повышение эффективности работы воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 6–330 кВ. В Украине их необходимость остро возникла за последние годы в связи с произошедшими каскадными авариями на ВЛ 330 кВ на территории АР Крим, когда на первый план вышли вопросы надежности, долговечности линий и бесперебойности подачи электроэнергии потребителям. Здесь в основу положено совершенствование методик определения климатических нагрузок (гололедно-ветровых), а также разработка новых и модификация существующих конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных материалов. В данном случае подразумевается создание трубобетонных опор на основе уже апробированных на практике металлических

многогранных стоек с заполнением самоуплотняющейся бетонной смесью. Кроме того, все более нужной становится разработка так называемых «противоаварийных опор», позволяющих исключить каскадные разрушения на ВЛ. Кратко рассматриваются вопросы повышения пропускной способности, оптимизации и адаптации воздушных линий к европейским строительным нормам Eurocode.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, климатические нагрузки, металлические многогранные стойки, трубобетонные опоры, противоаварийные опоры, многоцепные ВЛ.

THE PERSPECTIVE DIRECTIONS OF INCREASE OVERHEAD POWER LINES PERFORMANCE EFFICIENCY IN UKRAINE

Yevgen Gorokhov, Volodymyr Vasylev, Igor Garanzha, Olexandr Leshchenko

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

Received 12 February 2013; accepted 26 April 2013.

Abstract. In article perspective directions of scientific researches and the engineering offers, aimed at increase efficiency performance of overhead power lines (OHL) by pressure 6–330 kV are described. In Ukraine their necessity has sharply arisen for last years, in connection with the occurred cascade troubles on OHL 330 kV in territory of Crimea autonomic republic, when on the foreground there were questions of reliability, working life of lines and uninterrupted operation of supply electricity to consumers. This article are based on perfection techniques of definition climatic loads (ice-wind), and also working out new and updating of existing constructive decisions OHL supports with application progressive materials. In this case the creation composite supports on the steel polygonal poles basis, which already approved in practice with filling by self-condensed concrete are meant. Besides, the working out so-called «anti-trouble supports», allowing to exclude cascade destructions on OHL become more and more necessary. The questions of increase throughput, optimization and adaptation overhead lines to European building standards Euro code are synopsized.

Keywords: overhead power lines, climatic loads, steel polygonal poles, composite supports, anti-trouble supports, many chains OHL.

Актуальность исследований по повышению эффективности работы ВЛ

В настоящее время в Украине эксплуатируется более 1 млн км воздушных линий (ВЛ) электропередачи [1, 2], эффективность работы которых зависит не только от мощности генерации, но также в значительной степени от стабильности и экономичности передачи электроэнергии потребителям. ВЛ являются наиболее дешевым способом передачи электроэнергии для класса напряжений 6–330 кВ, а для 500 кВ и выше – практически единственным. В связи с чем вопрос непрерывного электроснабжения селитебных территорий, промышленных районов и рекреационных зон всегда занимает особое место в экономиках стран мира, в том числе в Украине.

Особенно остро стоят вопросы городского землеиспользования и эстетики ВЛ (особенно для мегаполисов), а также согласования на их

строительство или реконструкцию, удовлетворяющие требованиям городских землевладельцев, эксплуатирующих и управляющих организаций.

Целями Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года являются: создание условий для безопасного, надежного и постоянного функционирования энергетики и ее максимально эффективного развития, обеспечение энергетической безопасности государства, а также интеграция Объединенной энергосистемы Украины в европейскую энергосистему с последовательным увеличением экспорта электроэнергии. Необходимость реализации поставленных целей выносит на первый план вопросы обеспечения качественного проектирования и надежной эксплуатации существующих сетей электроэнергетики. Безусловно, достижение вышеупомянутой цели невозможно без широкого применения на ВЛ новых тех-

нологий и материалов, т. к. современные технические требования к конструкциям нового поколения предусматривают повышение сроков службы и надежности, снижение сроков и трудоемкости строительства и затрат на их эксплуатацию.

В то же время массовые аварии на рубеже XX–XXI веков в электрических сетях [3, 4] обнаружили недостаточную надежность ВЛ при повышенных гололедно-ветровых воздействиях.

В качестве причин аварий на ВЛ, вызвавших каскадные разрушения строительных конструкций, следует выделить основные две:

- превышение реальных значений климатических нагрузок (гололедно-ветровых) в сравнении с расчетными;

- наличие несовершенств конструктивных решений опор.

Конструктивные несовершенства большинства существующих металлических опор:

- расположение токоведущих частей выполнено таким образом, что при обрыве гирлянды изоляторов происходит падение провода на нижележащие конструкции опоры, что может привести к тяжелым повреждениям (рис. 1а);
- высокая уязвимость при каскадных разрушениях (рис. 1б);
- ослабление элементов пояса и решетки опоры в местах болтовых соединений (рис. 1в, г);
- нерациональное использование материала элементов, выполненных из уголкового профиля, вследствие нарушения принципа равной устойчивости при осевых нагрузках.

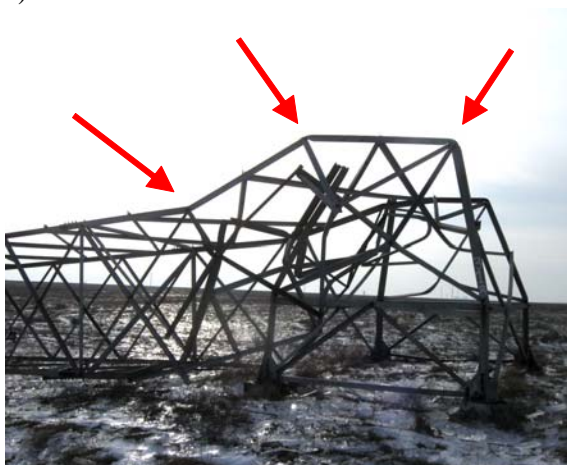
а)



б)



в)



г)



Рисунок 1. Повреждения опор вследствие аварий на ВЛ 330 кВ (АР Крым): а) при обрыве гирлянды изоляторов верхней траверсы; б) каскадное разрушение опор в средней части ствола; в) излом поясов ствола опоры; г) в месте болтового соединения пояса с базой.

Следовательно, для обеспечения эффективной работы ВЛ различных классов напряжений, с учетом повышенных к ним технических и эксплуатационных требований, несомненно, необходимо совершенствование методик определения климатических нагрузок и модификация конструктивных решений опор. В первую очередь это позволит повысить качество проектных решений при строительстве новых или при реконструкции существующих ВЛ, что, естественно, повлечет за собой снижение материальных затрат на их создание и эксплуатацию.

Поэтому следует выделить восемь, на наш взгляд, наиболее перспективных направлений научных исследований. Данные направления основываются на возможности применения в качестве базиса для опор ВЛ уже апробированных на практике металлических многогранных

стоек (МГС) [1, 2, 6, 7], конструкций «нового поколения», которые уже известны во всем мире как альтернативные классическим металлическим решетчатым, деревянным и центрированными железобетонным опорам.

Применение для опор ВЛ конструкций на основе композитных материалов

В данном случае опоры на основе композитных материалов это:

- металлический ствол опоры ВЛ заполненный бетоном (рис. 2, 4);
- решетчатая сталебетонная опора (пояса и решетка из прямоугольных или круглых труб, заполненных бетоном) (рис. 3) [5];
- опоры из полимерных материалов (рис. 5) [6, 7].

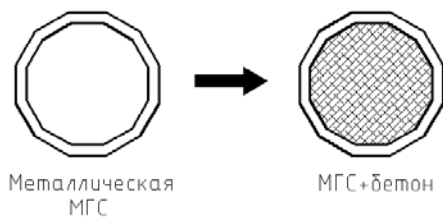


Рисунок 2. Опора на основе МГС ВЛ 220 кВ, с перспективной модификации в трубобетонную.

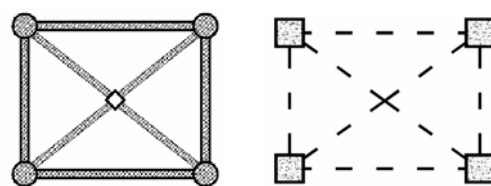
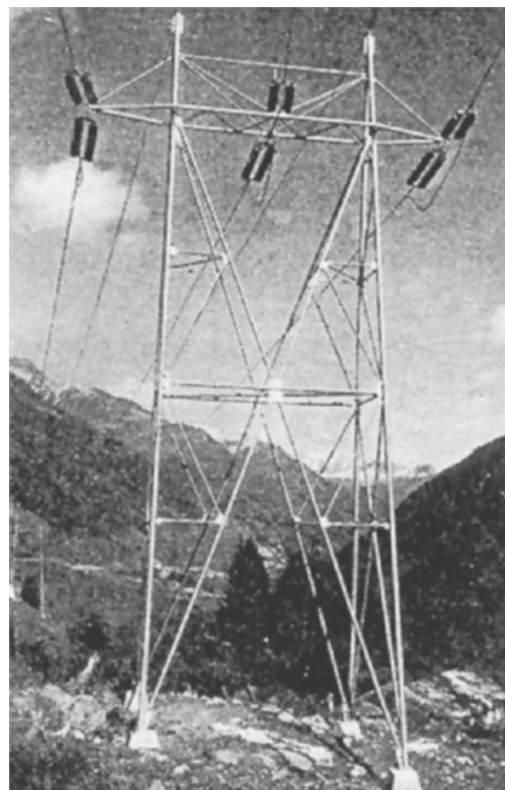


Рисунок 3. Решетчатая опора ВЛ 150 кВ из трубобетонных элементов (CFST).

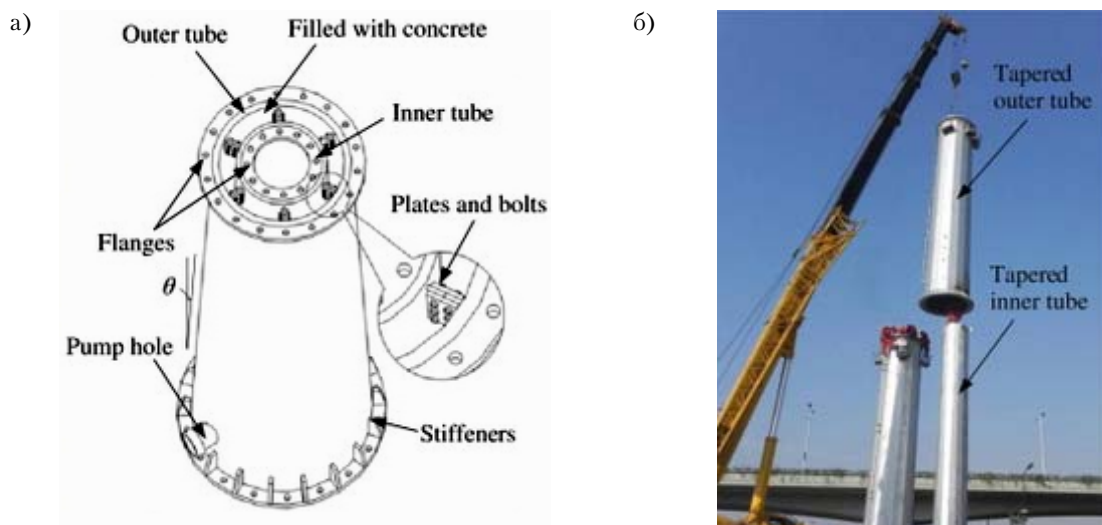


Рисунок 4. Трубобетонные опоры с двойной оболочкой: а) конструктивное решение ствола; б) процесс монтажа опоры.

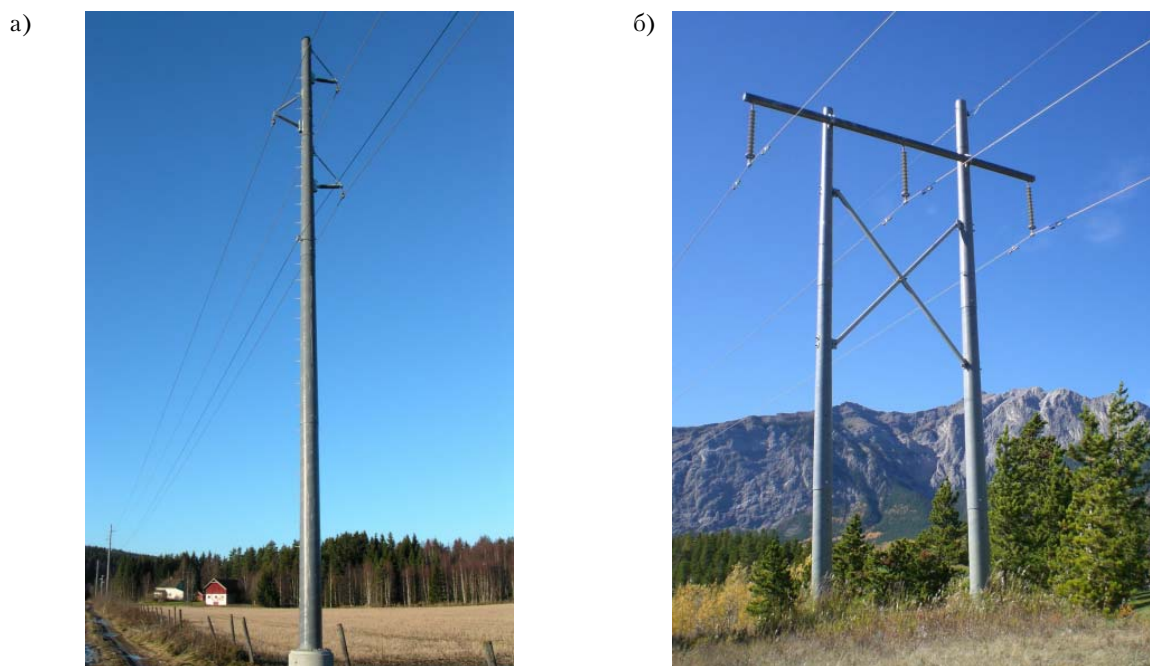


Рисунок 5. Полимерные опоры (RStandart): а) ВЛ 138 кВ (США); б) ВЛ 240 кВ (Канада).

О первом опыте применения трубобетонных конструкций в электросетевом строительстве было упомянуто еще в 1947 году, когда в горном районе Швейцарии была построена первая ВЛ на решетчатых опорах из трубобетонных элементов, и несколько позже в Норвегии на опорах с двойной оболочкой, которые с механической и экономической точки зрения оказались эффективнее аналогов, выполненных на

основе классических бетонных и металлических решетчатых опор [5]. С того момента упоминания о дальнейшем развитии трубобетонных ВЛ в отечественных литературных источниках встречаются крайне редко. Перспективность применения трубобетона в опорах ВЛ обусловлена в первую очередь их достоинствами, заключающимися в их технических и эксплуатационных свойствах, а также особенностях

работы под нагрузкой [8–11], использование которых позволит уменьшить размеры поперечного сечения и, кроме того, снизить массу конструкций и транспортные расходы к месту монтажа.

Основные достоинства трубобетонных конструкций:

- металлическая труба выполняет одновременно функции продольного и поперечного армирования;
- за счет обжата бетона металлической оболочкой (трубой) резко приостанавливается развитие микротрещин в бетоне, что позволяет ему выдерживать напряжения, существенно превышающие его призмную прочность;
- у металлической трубы, заполненной бетоном (особенно в комплексе с горячим цинкованием), коррозионная стойкость гораздо выше, чем у классических металлоконструкций;
- металлическая труба, заполненная бетоном, в большей степени защищена от потери общей и местной устойчивости, что особенно актуально в сравнении с конструкциями на основе пустотелых замкнутых МГС;
- в предельном состоянии они не теряют несущую способность мгновенно (как, например, железобетонные), а длительное время могут выдерживать нагрузки при значительном развитии деформаций;
- трубобетонные элементы сохраняют все преимущества рациональных трубчатых металлических конструкций, которые все чаще и шире применяются в практике строительства, а именно минимальное количество сварочных работ и дополнительных элементов при их соединении (бесфасочные соединения);
- простота изготовления трубобетонных конструкций и хорошее уплотнение бетона в трубе, ввиду отсутствия опалубки, арматурных каркасов и закладных деталей;
- не ограниченная область применения трубобетона – при повышенных температурно-влажностных режимах, в агрессивной среде, при больших пролетах линий и высотах опор и т. д.

Наиболее возможный недостаток трубобетонных опор – это снижение их гибкости, особен-

но в сравнении с опорами на основе металлических МГС, что в свою очередь может негативно отразиться на качестве их работы в аварийных режимах (при обрыве провода или грозозащитного троса). Следовательно, изучение изменений механических свойств трубобетонных опор ВЛ с учетом различных пропорций заполнения ствола бетоном (с целью определения наиболее рациональной) является первым из основных аспектов численных и экспериментальных исследований в рассматриваемом направлении.

В качестве заполнителя ствола опор возможно применять самоуплотняющийся бетон с суперпластификаторами [12–15] (СБС) вместо классического тяжелого бетона. Положительные особенности СБС:

- качественно заполняет внутреннюю полость МГС;
- не нуждается в вибрировании при монтаже;
- соизмерим по стоимости с классическим тяжелым бетоном.

Естественно, что когда речь заходит о перспективности применения новых конструкций, то необходимо обоснование не только их технической состоятельности для применения их, особенно в стратегическом классе конструкций как опоры ВЛ, а и их экономической целесообразности.

Поэтому в первом приближении технико-экономическое сравнение выполнено по критериям материалоемкости и стоимости изготовления конструкций для нескольких типов стоек под опоры ВЛ (табл. 1). Все рассматриваемые варианты принимались с одинаковыми геометрическими параметрами (высоты и поперечного сечения). Для сравнения приняты следующие типы стоек:

- бетонная центрифугированная стойка СК22 (тип 1);
- металлическая многогранная стойка (тип 2);
- МГС с самоуплотняющейся смесью (тип 3);
- МГС «кольцо в кольце» с самоуплотняющейся смесью (тип 4) (рис. 5).

При расчете вышеупомянутых технико-экономических критериев приняты расценки завод-изготовителей в гривнах по состоянию на 01.03.2013 года.

Сравнение показало:

- применение трубобетонных стоек любого типа существенно снижает металлоемкость конструкции;

Таблица 1. Сравнительные технико-экономические характеристики стоек

| Тип стоек | Необходимая толщина стенки, мм | Марка стали, класс бетона | Материалоемкость | | Стоимость изготовления, грн. | $\Delta_{из}$, % |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| | | | сталь, кг | бетон, м ³ | | |
| 1 | – | B40 BСт3 | 571,1 | 2,517 | 20000 | – |
| 2 | 3...6 | C245 | 1491,6 | – | 29920 | 33,1 |
| 3 | 3...4 | C245 B12,5 | 0,91 | 4,98 | 21470 | 6,8 |
| 4 | 2 | C245 B12,5 | 1938,9 | 1,63 | 39862 | 100 |

- для конструкции типа 3 снижение металлоемкости сопровождается абсолютно незначительным удорожанием в сравнении с железобетонной стойкой СК-22 и ощутимым удешевлением в сравнении с МГС;
- для конструкции типа 4 при значительном снижении металлоемкости (\approx в 3 раза) происходит существенное удорожание в сравнении с остальными конструктивами (\approx в 2 раза).

Опоры, выполненные из полимерных материалов, представлены в основном продукцией канадской компании POLYCOMTEC, которая разработала серию стоек для объектов электросетевого строительства RStandard [6, 7].

Товарная линия RStandard состоит из десяти тонкостенных конических полых труб, т. е. модулей, изготовленных из армированного волокном полимера. Модули используются для создания комбинированных стоек опор переменного сечения и прочности с достижением максимальной длины 53,3 м. Между собой модули соединяются с помощью телескопических соединений внахлест, что позволяет сочетать до восьми модулей в одной стойке.

Стойки опор RStandard изготовлены из армированного волокном полимерного материала волокнита. Все волокниты являются анизотропными – т. е. их механические характеристики зависят от направления и ориентации волокон относительно прилагаемой нагрузки.

Волокнит применяется для изготовления методом горячего прессования под давлением различных изделий технического назначения, работающих на изгиб и кручение, с повышенной ударной вязкостью и антифрикционными свойствами. Предназначается для производства технических изделий, к которым предъявляются повышенные требования в отношении механической прочности и теплостойкости.

Волокнит, используемый для изготовления стоек RStandard, представляет собой ткань, состоящую из плотно переплетенных синтетических волокон, пропитанную специализированными составами, что позволяет изначально задать материалу стоек необходимые прочностные характеристики. Кроме того, как очередное неоспоримое достоинство можно выделить легкость конструкций, выполненных из волокнита, и их абсолютную безвредность для окружающей среды.

В качестве экспериментальных исследований представляют интерес статические испытания натуральных конструкций предлагаемых композитных опор на полигоне ДонНАСА, результаты которых помогут определить реальные механические характеристики новых конструктивных решений (прочность и деформативность) и особенности их работы под нагрузкой, что позволит сравнить их как с теоретическими предпосылками (результатами численных исследований), так и с данными по классическим опорам.

Таким образом, основной целью данного направления исследований следует считать определение рациональных конструктивных решений для применения их в качестве промежуточных опор ВЛ с точки зрения их экономичности и качества работы под нагрузками, которые соответствуют режимам работы ВЛ согласно [16].

Определение действительной работы при аварийных нагрузках опор ВЛ различных модификаций

Качество работы опор на аварийные нагрузки (обрыв проводов и грозозащитных тросов) – один из главных факторов, которые оказывают

влияние на нормальную эксплуатационную работу ВЛ в целом. Особенно, зная то, что элементы линий в реалии воспринимают не статические, указанные в [16], а динамические нагрузки, существенно повышаются требования к точности их определения и, соответственно, их корректного учета при расчете опор.

Методика, изложенная в [16], предполагает учет динамического воздействия при аварийных нагрузках в виде приложения статических сил. Указанные силы обусловлены односторонним тяжением провода (троса) с учетом коэффициента редукции, который характеризует снижение загрузки, вызванное отклонением гирлянды изоляторов и другими факторами.

При авариях на ВЛ характерные повреждения опор [3, 4] указывают на то, что в определенных случаях аварийная нагрузка, вызванная динамическим воздействием при обрыве провода, превышает расчетную нагрузку, определенную по стандартной методике [16], что особенно актуально для опор анкерного типа. Поэтому необходимо выполнить исследования по определению динамического импульса при обрыве провода (троса).

Немаловажную роль при работе опор ВЛ на аварийные нагрузки играет закручивание их ствола. Известно, что решетчатые металлические опоры плохо работают на кручение ввиду своего конструктивного решения (повышенная жесткость) и для них возможность исключения катастрофического разрушения (отрыв траверсы) при обрыве провода возможна лишь за счет массивного узла крепления траверсы к стволу. Для классических бетонных опор ситуация, связанная с возможностью работы на кручение, обстоит несколько лучше ввиду цилиндрической формы ствола, но, как и в первом случае, учитывая высокую ее жесткость, сохраняется возможность мгновенного разрушения опоры при возникновении аварийных нагрузок.

В полной мере снять вопрос о катастрофическом разрушении опор при обрыве проводов позволит применение опор на основе МГС или частично композитных опор (МГС + бетон) с определенной рациональной пропорцией заполнения бетоном. Достигается это за счет цилиндрической формы опор (работа на кручение), а также ввиду повышенной гибкости конструкции, что в свою очередь снизит влияние

динамического импульса на опору при появлении аварийных нагрузок.

Естественно, что все вышесказанное требует своего подтверждения по результатам численных и особенно экспериментальных исследований, которые будут заключаться в динамических испытаниях крупномасштабных моделей ВЛ с металлическими многогранными и предложенными композитными опорами на полигоне ДонНАСА.

Результаты исследований по данному направлению в конечном итоге позволят получить технико-экономическое обоснование снижения материалоемкости для опор анкерного типа на ВЛ с применением МГС.

Аэродинамика электросетевых конструкций на основе МГС

Ветровая нагрузка (наряду с аварийными), безусловно, является одной из определяющих факторов нормальной работы ВЛ. Интерес в данном случае представляет как ветер, направленный на токоведущие части ВЛ, так и на конструкции опор. Поэтому, с учетом данных о характеристиках ветрового обтекания многогранных конструкций, экспериментально полученных в аэродинамических трубах [17, 18], а также с учетом несовершенств методик определения их аэродинамических коэффициентов (заложенных в нормативных документах [19–21]), необходимо выполнение новых экспериментальных исследований опор ВЛ на основе МГС в ветровом потоке.

Данные исследования подразумевают углубление уже имеющихся знаний об особенностях ветрового обтекания многогранных конструкций [18] и их следует разделить на два основных направления:

- определение аэродинамических характеристик многогранных опор ВЛ (в зависимости от конусности и количества граней ствола) с учетом пульсационной (динамической) составляющей ветровой нагрузки;
- определение коэффициентов динамичности, которые позволят вычислить нагрузку на опору, вызванную колебаниями проводов в ветровом потоке, тем самым получив возможность перейти от статического расчета опор на ветровую нагрузку к динамическо-

му, которая в наибольшей мере будет соответствовать реальной работе конструкций в составе ВЛ.

Экспериментальные исследования планируется выполнить в строительной аэродинамической трубе МАТ-2 ДонНАСА. Полученные данные позволят более детально прорабатывать конструкции опор на стадии проектирования с целью повышения их качества.

Применение на ВЛ конструкций «противоаварийных» опор

О возможности применения опор «противоаварийного» типа на ВЛ Украины уже однажды было упомянуто в работе [22], но, к сожалению, должного внимания эксплуатирующих организаций данное рационализаторское предложение не получило. Поэтому считаем необходимым еще раз вернуться к данному вопросу с целью рассмотреть «противоаварийный» тип опор на основе МГС как альтернативный классическим вариантам построения геометрии опор (например, «бочка») и один из наиболее перспективных на сегодняшний день, ведущих к повышению эффективности работы ВЛ Украины.

Данный вид опор можно рассматривать как ремонтный резерв в случае аварии на ВЛ или ее реконструкции, а также как конструктивные решения для нового строительства. В качестве базиса для них допустимо использовать МГС и МГС + трубобетон, а также полимерные опоры.

Основные особенности предлагаемых «противоаварийных опор»:

- расположение траверс на створе опоры с целью обеспечения свободного падения провода на землю в случае возникновения аварийной ситуации на ВЛ. Как следствие – устранение возможности повреждения нижележащих конструкций и предотвращение каскадных разрушений опор;
- эстетичность опор как конструкций, расположенных не только в промышленных зонах и сельской местности, но и на обширных городских и рекреационных территориях.

В данном направлении необходимо:

- обоснование целесообразности применения «противоаварийных» опор (на основе МГС,

МГС + бетон, решетка + бетон) по результатам их технико-экономического анализа. Анализ в данном случае заключается в сравнении расчетных усилий в основании и экономических составляющих для предлагаемых типов опор и классических опор;

- разработка новых типов «противоаварийных» опор и их узлов;
- проведение сертификационных испытаний.

Повышение пропускной способности ВЛ за счет применения многоцепных опор (3 и более цепей) и совмещения различных классов напряжений на одной ВЛ

В связи с резким увеличением в последнее время потребления крупными городами электроэнергии и последующим наращиванием мощностей генерации на первый план встал вопрос увеличения пропускной способности электрических сетей.

Передача электроэнергии по воздушным линиям (ВЛ) по сей день остается самым дешевым способом передачи электроэнергии, а в классах сверхвысокого напряжения практически единственным. Поскольку строительство новых ВЛ встречает достаточно проблем, а в населенных пунктах и вовсе запрещено законодательством, то наряду с другими элементами сети также остро стоит вопрос увеличения пропускной способности существующих ВЛ и их надежности [2].

В настоящее время подавляющее большинство эксплуатируемых линий электропередачи являются одноцепными или двухцепными. При этом имеются значительные по протяженности участки трасс таких ВЛ, на которых несколько линий проходят параллельно, что видимо обусловлено различными периодами строительства. Подобное расположение ВЛ требует использования больших территорий для энергетического коридора и санитарно-защитной зоны, что в современных условиях рыночной экономики является серьезным недостатком.

Увеличение количества цепей ВЛ, видимо, один из самых доступных способов увеличения пропускной способности сети. Состоит он в том, что на одних и тех же опорах прокладываются несколько ВЛ одного класса напряжения

или иногда нескольких классов напряжения одновременно. Этот способ дает возможность также строительства новых ВЛ путём увеличение количества цепей существующих, не выходя при этом, что очень важно, за границы уже существующих коридоров. Ввод в эксплуатацию дополнительных ячеек генерирующих предприятий и расширение распределительных устройств на подстанциях, как правило, больших технических проблем не вызывает.

Предложенные модификации ВЛ (рис. 6) необходимо выполнять при детальном технико-экономическом обосновании. Но можно предположить, что даже при увеличении высоты и массы опор удельная стоимость ВЛ с увеличенным числом цепей и совмещением различных классов напряжений будет ниже за счет уменьшения затрат на строительство и эксплуатацию и наиболее рационального использования земельных ресурсов. Кроме того, повысятся требования к надежности ВЛ, и соответственно, её необходимый уровень может быть достигнут за счет применения новых конструктивных решений опор.

Оптимизация ВЛ с применением опор «нового поколения»

Разработка опор с новыми конструктивными решениями может выполняться одновременно с оптимизацией отдельных элементов ВЛ (опор, фундаментов и т. д.), а также с оптимизацией линии в целом, основанной на применении предлагаемых опор «нового поколения».

Оптимизация опор ВЛ, выполненных из МГС и трубобетонных элементов, достигается в несколько стадий:

- первая стадия – определение оптимальной высоты опоры и длины пролета из условий соблюдения электрических габаритов до земли, стрелы провеса провода и длины гирлянды изоляторов;
- вторая стадия – определение оптимальных геометрических параметров опор ВЛ с учетом их действительной работы;
- третья стадия – оптимальное проектирование конструкций опор с учетом эксплуатационных требований.

а)



б)

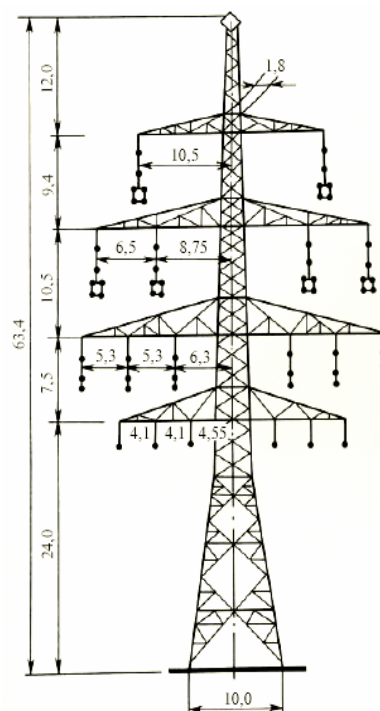


Рисунок 6. Модифицированные опоры ВЛ: а) многоцепная опора ВЛ 220 кВ; б) опора многоцепная комбинированная ВЛ 380 – 220 – 110 кВ.

Исследование действительного напряженно-деформированного состояния (НДС) опор ВЛ предлагаемых конструктивных решений с учетом совместной работы с основанием

Особое место в области расчета строительных конструкций занимает учет ее совместной работы с основанием независимо от их назначения и применяемого материала. Не исключением в данном случае являются и опоры ВЛ ввиду многообразия существующих и предлагаемых новых конструктивных решений опор, а также районов их строительства, которые существенно разнятся между собой инженерно-геологическими условиями. Поэтому, безусловно, актуален вопрос определения действительного НДС с учетом влияния на него грунтового основания с целью получения новых технико-экономических показателей для ВЛ, и как следствие, снижения материальных затрат на их строительство и эксплуатацию.

Адаптация методов проектирования существующих и предлагаемых конструктивных решений опор ВЛ с общеевропейскими нормативными документами Eurocode

В связи с возможной интеграцией Украины в Европейское сообщество, а также появившейся тенденцией внедрения европейских норм Eurocode в системы проектирования строительных конструкций стран СНГ необходимым в первую очередь является адаптация с ними существующих и новых модифицированных (композитных) конструктивных решений опор ВЛ. В данном направлении существенно упростит работу наличие в перечне европейских норм документа EN 1994 Eurocode 4 «Проектирование сталежелезобетонных конструкций». Кроме того, в вопросе адаптации конструкций опор ВЛ интересующими нас являются следующие документы:

- EN 1990 Eurocode 0 «Основы проектирования конструкций»;
 - EN 1991 Eurocode 1 «Воздействия на конструкции»;
 - EN 1992 Eurocode 2 «Проектирование железобетонных конструкций»;
 - EN 1993 Eurocode 3 «Проектирование стальных конструкций».
- Переход отечественной системы проектирования к нормам Eurocode позволит:
- обеспечить общие критерии и методы проектирования, отвечающие необходимым требованиям механического сопротивления, устойчивости и огнестойкости, включая аспекты долговечности и экономии;
 - обеспечить единое понимание процесса проектирования конструкций среди собственников, управляющих, проектировщиков, производителей строительных материалов, подрядчиков и эксплуатирующих организаций;
 - облегчить обмен услугами в области строительства между государствами-участниками;
 - повысить конкурентоспособность отечественных строительных фирм, подрядчиков, проектировщиков и производителей конструкций и материалов на мировом рынке.

Вывод

Все вышеперечисленные направления научных исследований акцентированы на одну общую цель – повышение эффективности работы с учетом требований эстетики конструкций и землеотвода под воздушные линии электропередачи в городских условиях, что позволит в конечном итоге обеспечить бесперебойное электроснабжения городов, повысить пропускную способность и надежность украинских ВЛ.

Литература

1. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы I международной конференции (Николаевка–Кременец, 2006 г.). Часть I / Открытое акционерное общество «ПРОМИК». – Днепропетровск : [б. и.], 2006. – 144 с.

References

1. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 1st International Conference (Nikolayevka–Kremenets, 2006). Part I. Dnepropetrovsk: [S. l.], 2006. 144 p. (in Russian)

2. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы II международной конференции, (Николаевка, 2007 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2007. – 312 с.
3. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» [Текст] / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92.
4. Назим, Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС [Текст] / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 1. – С. 61–74.
5. Eggemann, H. Simplified Design of Composite Columns, Based on a Comparative Study of the Development of Building Regulations in Germany and the United States [Текст] / H. Eggemann // *Industrial Journal*. – Berlin, 2003. – № 2. – P. 11–23.
6. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы VI международной конференции, (Николаевка–Кременец, 2011 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2011. – 154 с.
7. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы VII международной конференции, (Николаевка, 2012 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2012. – 228 с.
8. Стороженко, Л. И. Трубобетонные конструкции [Текст] / Л. И. Стороженко. – К. : Будівельник, 1978. – 80 с.
9. Єрмоленко, Д. А. Об'ємний напружено-деформований стан трубо бетонних елементів [Текст] / Д. А. Єрмоленко. – Полтава : Видавець Шевченко Р. В., 2012. – 315 с.
10. Стороженко, Л. И. Сталезалізобетонні конструкції [Текст] / Л. И. Стороженко, О. В. Семко, В. Ф. Пенц. – Полтава : ПолНТУ, 2005. – 182 с.
11. Горохов, Е. В. Перспективы применения трубобетона в электросетевом строительстве [Текст] / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, И. М. Гаранжа // Материалы международной конференции посвященной 100-летию со дня рождения Е. И. Беленя / Под редакцией А. Р. Туснина. – М. : МГСУ, 2013. – С. 33–38.
12. Губарь, В. Н. Тонкозернистая сухая бетонная смесь наливного типа с комбинированным органоминеральным модификатором на основе отходов промышленности [Текст] / В. Н. Губарь, Н. М. Зайченко, Е. А. Белый // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2011. – Вип. 2011-1(85) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 192–199.
13. Зайченко, Н. М. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсноармированные полимерными волокнами [Текст] / Н. М. Зайченко, С. В. Лахтарина // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі
2. Many-sided Bent Racks Papers of the 2nd International Conference, (Nikolayevka, 2007). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2007. 312 p. (in Russian)
3. Gorokhov, E. V.; Bakayev, S. N.; Nazim, Ya. V.; Morgay, V. V.; Popov, M. S. Failure cause and consequence analysis at the high voltage (330 kV) line sections of the Dzhankoy local electrical power station of the Crimean electrical power system of the NEC «UKRENERGO». In: *Metal Constructions*, 2010, Tom 16, Number 2, p. 75–92. (in Russian)
4. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, A. A.; Kostin, V. V. A comparative analysis of the approaches to the determination of climatic loads on the high-voltage lines illustrated by the Crimean power plant. In: *Metal Constructions*, 2010, Tom 16, Number 1, p. 61–74. (in Russian)
5. Eggemann, H. Simplified Design of Composite Columns, Based on a Comparative Study of the Development of Building Regulations in Germany and the United States. In: *Industrial Journal*, Berlin, 2003, № 2, p. 11–23.
6. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 6th International Conference, (Nikolayevka–Kremets, 2011). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2011. 154 p. (in Russian)
7. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 7th International Conference, (Nikolayevka, 2012). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2012. 228 p. (in Russian)
8. Storozhenko, L. I. Tube Confined Concrete constructions. Kyiv: Constructor, 1978. 80 p. (in Russian)
9. Yermolenko, D. A. Volume strain-stress state of tube confined concrete units. Poltava: Publisher Shevchenko R.V., 2012. 315 p. (in Ukrainian)
10. Storozhenko, L. I.; Semko, O. V.; Pents, V. F. Steel reinforced-concrete constructions. Poltava: PolNTU, 2005. 182 p. (in Ukrainian)
11. Gorokhov, Ye. V.; Vasylev, V. N.; Garanzha, I. M. Perspective view of use of tube confined concrete in electricity supply network building. In: *Materials of International conference on centenary of the birth of E.I. Belenya / Edited by A. R. Tushnin*. Moscow: MGSU, 2013, p. 33–38. (in Russian)
12. Gubar, V. N.; Zaichenko, N. M.; Belyi, E. A. Fine-grained dry-batched concrete in bulk with combined organic and mineral modifier on base of industrial waste products. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2006, Issue 2011-1(85): Present-day constructional materials, p. 192–199. (in Russian)
13. Zaichenko, N. M.; Lahtarina, S. V. Self-consolidating concrete, fiber reinforced by polymeric fiber. In: *Edited volume «Resource efficient materials, constructions, buildings and structures»* Rivne: NUVGP, 2011. Issue 22, p. 63–70. (in Russian)
14. Zaichenko, N., Bratchun, V. Self-compacting concrete with silica fume-based admixture in the form of stable aqueous slurry. In: *18 Internationale Baustofftagung, Weimar, 12–15 September 2012. Tagungsbericht. Band 2 / Redaktion: Dr.-Eng. H.-B. Fischer, Dr.-Eng. K.-A. Bode, C. Beuthan.*

- та споруди : Зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 63–70.
14. Zaichenko, N. Self-compacting concrete with silica fume-based admixture in the form of stable aqueous slurry [Текст] / N. Zaichenko, V. Bratchun // 18 Internationale Baustofftagung, Weimar, 12–15 September 2012. Tagungsbericht. Band 2 / Redaktion: Dr.-Eng. H.-B. Fischer, Dr.-Eng. K.-A. Bode, C. Beuthan. – Bundesrepublik Deutschland : F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, 2012. – P. 2-0689–2-0695.
 15. Zaichenko, N. Silica fume-based admixture in the form of aqueous slurry for Self-Compacting Concrete [Текст] / N. Zaichenko, Al-Shamsi K. Ali Said, E. Sakhoshko // MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». – Lublin, 2011. – Vol. 13C. – P. 5–10.
 16. Правила влаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст]. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
 17. Гаранжа, И. М. Экспериментальные аэродинамические исследования металлических конструкций многогранного сечения [Текст] / И. М. Гаранжа, В. Н. Васылев // Устойчивость, безопасность и энергоресурсосбережение в современных архитектурных, конструктивных, технологических решениях и инженерных системах зданий и сооружений : сб. трудов III Всероссийской научн. конф., 18.10.2012 / М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГПОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – М. : МГСУ, 2012. – С. 96–104.
 18. Гаранжа, И. М. Особенности ветрового обтекания конструкций многогранного сечения [Текст] / И. М. Гаранжа, Е. В. Горохов, В. Н. Васылев // Многогранные гнутые стойки : материалы VII международной конференции, (Николаевка, 2012 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМик». – Днепропетровск : [б. и.], 2012. – С. 69–96.
 19. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 78 с.
 20. СНиП 2.01.07-85*. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия [Текст]. – Взамен главы СНиП II-6-74 ; введ. 1987-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.
 21. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions [Текст]. – Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). – Brussels : CEN, 2005. – 146 p.
 22. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками [Текст] / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.] // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2010. – Т. 6, № 2. – С. 113–130.
 - Bundesrepublik Deutschland: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde, 2012, p. 2-0689-2-0695.
 15. Zaichenko, N.; Al-Shamsi K. Ali Said; Sakhoshko, E. Silica fume-based admixture in the form of aqueous slurry for Self-Compacting Concrete. In: MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». Lublin, 2011, Vol. 13C, p. 5–10.
 16. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
 17. Garanzha, I. M.; Vasylev, V. N. Aerodynamic testing of metal construction of polyhedral cross-section. In: *Stability, safety and energy resource-saving in present-day, architectural, constructive, engineering solutions and services of building and structures: Edited Volume III, International scientific conference.* Moscow: MGSU, 2012, p. 96–104. (in Russian)
 18. Garanzha, I. M.; Gorokhov, Ye. V.; Vasylev, V. N. Peculiarities of wind flow-around of constructions of polyhedral cross-section. In: *Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 7th International Conference, (Nikolayevka, 2012).* Dnepropetrovsk: [S. l.], 2012, p. 69–96. (in Russian).
 19. DBN V.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 78 p. (in Ukrainian)
 20. SNiP 2.01.07-85*. Construction rules and regulations. Loads and effects. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 44 p. (in Russian)
 21. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions. – Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). Brussels: CEN, 2005. 146 p.
 22. Gorokhov, Ye. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. M.; Leshchenko, O. O.; Garanzha, I. M.; Smirnova, N. S. Ways of increasing overhead power transmission line reliability regarding the coordination of component strength in the areas with a higher ice and wind loads. In: *Modern Industrial And Civil Construction*, 2010, Vol. 6, No. 2, p. 113–130. (in Russian)

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

Василев Володимир Миколайович – к.т.н., доцент; професор кафедри металевих конструкцій, начальник лабораторії випробування будівельних конструкцій та споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих конструкцій.

Гаранжа Ігор Михайлович – к.т.н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих гратчастих, багатограних листових і трубобетонних опор повітряних ліній електропередавання (ПЛ).

Лещенко Олександр Олександрович – асистент кафедри теоретичної та прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості вітрових та ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

Горохов Евгений Васильевич – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 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 строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Васылев Владимир Николаевич – к.т.н., доцент, профессор кафедры металлических конструкций, начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Лауреат Государственной премии. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатанного проката в строительных конструкциях.

Гаранжа Игорь Михайлович – к.т.н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы решетчатых и многогранных листовых опор воздушных линий электропередачи.

Лещенко Александр Александрович – ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

Yevgen Gorokhov – DSc (Eng), Professor; Head of the Metal Structures Department, Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 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 on studying wind influence on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

Vasylev Volodymyr – Ph.D. (Eng.), Associate Professor; a lecturer, Metal Structures Department, Head of the Laboratory of Testing Building Structures and Buildings, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A state prize-winner. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot-rolled metal in building structures.

Igor Garanzha – Ph.D. (Eng.); Associate Professor of Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work trellised and more-sides sheet supports of overhead power lines.

Olexandr Leshchenko – assistant Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: include the wind and ice loadings and influences on the overhead power transmission lines.