



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2023, ТОМ 29, НОМЕР 3, 129–142

EDN: SSYWAO

УДК 621.315.1:624.014

(23)-0394-1

КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ НА БАЗЕ ПОЛИГОНА ИСПЫТАНИЙ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ФГБОУ ВО «ДОННАСА» (ЧАСТЬ 2)

Е. В. Горохов^{а,1}, В. Н. Васылев^{а,2}, А. М. Алехин^{б,3}, В. М. Анищенко^{а,4}

^а ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,
286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

^б ОП ООО «Инвестрегионпром»

Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 4/1, оф. 91.

E-mail: ¹ mk@donnasa.ru, ² wn1951@mail.ru, ³ alyokhin_20@mail.ru, ⁴ voveo.ne@mail.ru

Получена 25 сентября 2023; принята 27 октября 2023.

Аннотация. Механические испытания экспериментальных опор линий электропередачи, выполненных по индивидуальным проектам, являются одним из обязательных условий российских и международных стандартов для дальнейшего их использования при строительстве энергетических объектов. Поэтому проектировщики и производители должны обладать испытательной базой на которой производятся научно-исследовательские и приемо-сдаточные статические и динамические испытания опор линий электропередачи и башенных сооружений. В статье описан комплексный подход к испытаниям электросетевых конструкций, проводимых на Полигоне испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Комплексные испытания электросетевых конструкций обеспечиваются наличием испытательной базы Полигона, которая состоит из универсального испытательного зала, прессового зала, климатической камеры и аэродинамической трубы. Испытательная база позволяет проводить предварительные испытания метизов, отдельных элементов, узлов и фрагментов опор; механические испытания проводов; исследования гололедных нагрузок; аэродинамические испытания конструкций и проводов и т. д. При необходимости, для проведения специальных испытаний, привлекаются три испытательных лаборатории ФГБОУ ВО «ДОННАСА», аккредитованных в области испытаний строительных материалов и инженерной защиты зданий и сооружений в сложных геологических условиях. Во второй части статьи описаны наиболее интересные испытания разнообразных опор линий электропередачи и специальных башенных конструкций: отдельно стоящих; порталных и V-образных на оттяжках; порталных на железобетонных стойках, установленных в естественном основании; башен мобильной связи на статические и динамические нагрузки; башен мобильной связи на основе железобетонной стойки и металлической надстройки в естественном основании. Описанные испытания опор позволили выявить ошибки, допущенные на стадии проектирования, изготовления, не учета особенностей проката и изготовления метизов.

Ключевые слова: испытания, опоры линий электропередачи, башенные сооружения, силовой пол, силовые башни, разрушение, провода, гололед, аэродинамические испытания, климатическая камера, Полигон ФГБОУ ВО «ДОННАСА».



КОМПЛЕКСНІ ВИПРОБУВАННЯ, ЩО ПРОВОДЯТЬСЯ НА БАЗІ ПОЛІГОНУ ВИПРОБУВАНЬ ОПОР ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ТА БАШТОВИХ СПОРУД ФДБОУ ВО «ДОННАБА» (ЧАСТИНА 2)

Є. В. Горохов ^{а,1}, В. М. Василев ^{а,2}, А. М. Альохін ^{б,3}, В. М. Аніщенко ^{а,4}

^а ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
Російська Федерація, Донецька Народна Республіка,
286128, м. о. Макіївка, м. Макіївка, вул. Державіна, буд. 2.

^б ОП ООО «Инвестрегіонпром»,
Російська Федерація, Кемеровська область - Кузбас, 650000, м. Кемерово, вул. Красная, 4/1, оф. 91
E-mail: ¹ mk@donnasa.ru, ² wn1951@mail.ru, ³ alyokhin_20@mail.ru, ³ voveo.ne@mail.ru

Отримана 25 вересня 2023; прийнята 27 жовтня 2023.

Анотація. Механічні випробування експериментальних опор ліній електропередачі, виконаних за індивідуальними проектами, є одним з обов'язкових умов російських і міжнародних стандартів для подальшого їх використання при будівництві енергетичних об'єктів. Тому проектувальники і виробники повинні володіти випробувальною базою на якій виробляються науково-дослідні та приймально-здавальні статичні і динамічні випробування опор ліній електропередачі і баштових споруд. У статті описано комплексний підхід до випробувань електромережових конструкцій, що проводяться на полігоні випробувань опор ліній електропередачі та баштових споруд ФДБОУ ВО «ДОННАБА». Комплексні випробування електромережових конструкцій забезпечується наявністю випробувальної бази полігону, яка складається з універсального випробувального залу, пресового залу, кліматичної камери і аеродинамічної труби. Випробувальна база дозволяє проводити попередні випробування металовиробів, окремих елементів, вузлів і фрагментів опор; механічні випробування проводів; дослідження ожеледних навантажень; аеродинамічні випробування конструкцій і проводів тощо при необхідності, для проведення спеціальних випробувань, залучаються три випробувальні лабораторії ФДБОУ ВО «ДОННАБА», акредитованих в області випробувань будівельних матеріалів та інженерного захисту будівель і споруд в складних геологічних умовах. У другій частині статті описані найбільш цікаві випробування різноманітних опор ліній електропередачі і спеціальних баштових конструкцій: окремо розташованих; порталних і V-образних на відтяжках; порталних на залізобетонних стійках, встановлених в природному підставі; веж мобільного зв'язку на статичні і динамічні навантаження; веж мобільного зв'язку на основі залізобетонної стійки і металевій надбудови в природному підставі. Описані випробування опор дозволили виявити помилки допущені на стадії проектування, виготовлення, не врахування особливостей прокату і виготовлення металовиробів.

Ключові слова: випробування, опори ліній електропередачі, баштові споруди, силова підлога, силові вежі, руйнування, дрти, ожеледь, аеродинамічні випробування, кліматична камера, Полігон ФДБОУ ВО «ДОННАБА».

COMPLEX TESTS CARRIED OUT ON THE BASIS OF THE TESTING GROUND FOR POWER TRANSMISSION POLES AND TOWER STRUCTURES FSBEI HE «DONNACEA» (PART 2)

Yevgen Gorokhov ^{а,1}, Vladimir Vasylev ^{а,2}, Andrey Alyokhin ^{б,3}, Vladimir Anishchenkov ^{а,4}

^а FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

^б SD LLC «Investregionprom»,
Russian Federation. Kemerovo region - Kuzbas, 650000, Kemerovo, Krasnaya str., 4/1, office 91.
E-mail: ¹ mk@donnasa.ru, ² wn1951@mail.ru, ³ alyokhin_20@mail.ru, ³ voveo.ne@mail.ru

Received 25 September 2023; accepted 27 October 2023.

Abstract. Mechanical tests of experimental transmission line supports made according to individual projects are one of the mandatory conditions of Russian and international standards for their further use in the construction of energy facilities. Therefore, designers and manufacturers must have a testing base on which research and acceptance static and dynamic tests of transmission line supports and tower structures are

carried out. The article describes an integrated approach to the testing of power grid structures carried out at the Testing Site of transmission line supports and tower structures of the DONNACEA. Complex tests of electric grid structures are provided by the presence of the test base of the Landfill, which consists of a universal test hall, a press room, a climate chamber and a wind tunnel. The testing base allows preliminary testing of hardware, individual elements, assemblies and fragments of supports; mechanical testing of wires; studies of icy loads; aerodynamic testing of structures and wires, etc. If necessary, three testing laboratories of DONNACEA accredited in the field of testing of building materials and engineering protection of buildings and structures in difficult geological conditions are involved in conducting special tests. The second part of the article describes the most interesting tests of various power transmission line supports and special tower structures: freestanding; portal and V-shaped on guy ropes; portal on reinforced concrete pillars installed in a natural base; mobile communication towers for static and dynamic loads; mobile communication towers based on reinforced concrete pillars and metal superstructure in a natural base. The described tests of the supports made it possible to identify errors made at the design, manufacturing stage, not taking into account the peculiarities of rolling and manufacturing of hardware.

Keywords: tests, transmission line supports, tower structures, power floor, power towers, destruction, wires, ice, aerodynamic tests, climate chamber, Testing Site FSBEI HE «DONNACEA».

Формулировка проблемы

При проектировании опор линий электропередачи используются различные конструктивные решения, которые имеют индивидуальные особенности работы в процессе работы под расчетными схемами загрузки. Каждая опора требует индивидуального подхода в выборе расчетной схемы при статическом расчете [8] и правильном выборе методик расчета и проектирования отдельных элементов, узлов и опоры в целом. На следующем этапе проектирования – разработка рабочих чертежей, необходимо учитывать нормы конструирования. Кроме этого, конструктивные решения опор отражаются на технологическом процессе изготовления, соблюдение комплектации металлопрокатом и метизов. Как показала практика изготовления опор, на их качество влияют допуски на форму и геометрические размеры проката. Например, в стыке пояса типа «телескоп» существенное влияние на напряженно-деформированное состояние стыка влияет смалковка и размалковка поясных уголков. На каждом этапе проектирования и изготовления возможны ошибки, которые в конечном итоге сказываются на качестве и эксплуатационной надежности опоры. Поэтому стендовые испытания опоры на основные расчетные схемы загрузки дают возможность выявить ошибки проектирования и изготовления опоры. Кроме этого, сборка опоры на монтажной площадке Полигона является частью испытаний, при которой

проверяется геометрия опоры как пространственной конструкции. Конструктивные решения опор влияют на организацию технологического процесса испытаний.

Анализ литературы

В научной работе [1] рассмотрены перспективы развития опор линий электропередачи. Вопросы аэродинамики строительных и электросетевых конструкций представлены в работах [2, 4, 13]. Исследования действительной работы стержневых решетчатых плоских и пространственных конструкций отражены в работах [3, 6]. В работах [5] представлена методика натурных испытаний башенных антенных конструкций. Нагрузки и воздействия для условий Украины и России отражены в нормативных документах [7, 14]. Нормативная база и вопросы расчета и проектирования опор линий электропередачи нормируются и рассматриваются в источниках [8, 9, 11, 12, 16, 18, 19, 20, 21]. Необходимость в проведении стендовых испытаний и наличия специализированных испытательных полигонов обосновывается в работах [22, 23]. В документе [10, 17] изложены международные требования к проведению натурных механических испытаний опор электросетевых конструкций. Особенности геодезических работ проводимых в процессе испытаний башенных конструкций рассмотрены в работе [15].

Цели

Провести анализ наиболее интересных стендовых испытаний опор линий электропередачи и башенных антенн конструкций на статические и динамические нагрузки на Полигоне испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ФГБОУ ВО «ДОННАСА».

Введение

Экспериментальная проверка новых конструктивных решений, принимаемых в индивидуальных проектах опор линий электропередачи является обязательной и осуществляется на специализированных полигонах. Введение в эксплуатацию в 1997 г. Полигона ДОННАСА позволило изготовителям электросетевых конструкций донецкого региона выйти на мировой рынок со своей продукцией, потому механические испытания экспериментальных опор, выполненных по индивидуальным проектам, являются одним из обязательных условий международных контрактов. Полигон дает возможность проводить исследования в области развития нормативной базы проектирования и изготовления электросетевых конструкций и значительно повысить поставки этой продукции по международным контрактам.

Испытательная база Полигона ДОННАСА позволяет выполнять широкий комплекс специальных испытаний моделей, натуральных конструкций и проводов электросетевых конструкций.

Проведение комплексных испытаний электросетевых конструкций позволяет наличие испытательной базы Полигона, которая состоит из универсального испытательного зала, прессового зала, климатической камеры и аэродинамической трубы.

При необходимости, для проведения специальных испытаний, привлекаются три испытательных лаборатории ФГБОУ ВО «ДОННАСА», аккредитованных в области испытаний строительных материалов и инженерной защиты зданий и сооружений в сложных геологических условиях.

Основная часть

2. Наиболее интересные испытания электросетевых опор на Полигоне испытаний опор линий

электропередачи и башенных сооружений – ФГБОУ ВО «ДОННАСА»

В разделе представлены наиболее интересные стендовые испытания опор, которые в полном объеме представляют возможности испытательной базы Полигона.

Опора MSE-12. Промежуточная четырехцепная опора MSE-12 (Египет) была первой опорой, испытанной на Полигоне в мае 1997 г. (рис. 1).

Особенность испытаний опоры MSE-12 заключалась в доводке конструктивных решений, обеспечивающих проектные показатели. Опора испытывалась три раза. После первых двух аварий в проект опоры вносились конструктивные изменения. Опора усиливалась в процесс ремонта. На третьих испытаниях опора успешно прошла стендовые испытания в соответствии с программой испытаний.

Опора MSE-90. Анкерно-угловая опора высотой 62 м и весом 54 т являлась самой «тяжелой» опорой, испытанной на Полигоне (рис. 2). При испытаниях было использовано 36 лебедок



Рисунок 1. Промежуточная четырехцепная опора MSE-12 (Египет), первая опора, испытанная на Полигоне в мае 1997 г.



Рисунок 2. Анкерно-угловая четырех цепная опора MSE-90 весом 54 т высотой 60 м (Египет): а) нормальный режим; б) аварийный режим.

в связи с четырехцепностью опоры и схемой загрузки ветровой нагрузкой под 45° и аварийной нагрузкой [20].

Опора VS 32,2. Проект V-образной опоры 400 кВ на оттяжках был разработан исландской проектной фирмой. Опора изготовлена «Донецким заводом высоковольтных опор» (рис. 3).

Кроме контроля усилий, создаваемых натяжными устройствами в процессе испытаний, фиксировались усилия в оттяжках, которые находились в пределах 50 т. Анкерные плиты оттяжек были закопаны в естественном грунте.

В соответствии с программой испытаний опора должна была быть доведена до разрушения. Учитывая непредсказуемость схемы падения опоры на оттяжках в момент разрушения, опора в процессе испытаний страховалась наклонной мачтой, раскрепленной индивидуальными оттяжками (рис. 3).

Разрушение траверсы произошло за счет среза болтов класса 8.8 (рис. 4) [19]. В момент разрушения опора повисла на наклонной мачте.

Двухцепная опора У220-2+14. Оптимизация и разработка индивидуального рабочего проекта



Рисунок 3. Общий вид промежуточной одноцепной опоры на оттяжках VS 32,2 400 кВ (Исландия) и страховочной мачты).



Рисунок 4. Демонтированная траверса опоры VS 32,2 400 кВ после разрушения.

опоры У110-2 выполнена на кафедре «Металлические конструкции и сооружения» ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Рабочий проект опоры, предназначенной для стендовых испытаний, разработан с учетом лабораторных испытаний, которые позволили выбрать оптимальный вариант болтовых соединений в узлах соединения решетки с поясами и систему шпренгелей в решетке нижней части опоры (часть 3) [17, 11, 8].

Общий вид опоры У110-2+9 на испытательном стенде представлен на рис. 5, а.

Стендовые испытания подтвердили проектные значения напряженно-деформированного состояния оптимизированной опоры. Проект опоры с учетом лабораторных и стендовых испытаний был запущен в производство. Общий вид смонтированной опоры У110-2+14 на линии, представлен на рис. 5, б [16].

Одноцепная промежуточная опора порталного типа ПМГ 330-28 на базе многогранных стоек (МГС). Опора разработана и изготовлена «Авдеевским заводом металлоконструкций» по заказу крымских энергосетей для линии «Каховка-Симферополь» (рис. 6).

Секции стоек на этапе испытаний опоры соединялись между собой на фланцах болтами М24 класса 8.8 из стали 35Х. Закрепление на фундаменте осуществляется через фланец анкерными болтами М36 класса 8.8 из стали 35Х.

На «Авдеевском заводе металлоконструкций» в 2011 г. была запущена в эксплуатацию единственная на Украине автоматизированная линия по производству стальных многогранных стоек (МГС). Для проверки качества МГС и ее отдельных узлов и комплектующих, до стендовых испытаний опоры ПМГ 330-28 был проведен ряд



Рисунок 5. Оптимальная двухцепная анкерно-угловая опора У110-2+14: а) в процессе стендовых испытаний У110-2+9; б) общий вид смонтированной опоры на линии.



Рисунок 6. Одноцепная промежуточная опора portalного типа ПМГ 330-28 на базе МГС в процессе стендовых испытаний.

предварительных стендовых и лабораторных испытаний, а именно (часть 3):

- численные и стендовые исследования фланцевого узла МГС;
- анкерных болтов базы;
- аэродинамические исследования МГС в зависимости от количества граней.

После успешно проведенных стендовых испытаний опоры с фланцевыми соединениями секций стоек, заказчик внес изменения в проект опоры – перейти от фланцевого соединения стоек на телескопическое. С целью исключения повторных стендовых испытаний опоры с телескопическими стыками секций стоек, были проведены лабораторные испытания телескопических узлов (часть 3).

Результаты лабораторных, численных и стендовых испытаний были использованы в заводских технических условиях на проектирование и изготовление МГС на автоматизированной линии «Авдеевского завода металлоконструкций».

Башня мобильной связи высотой 30 м на базе железобетонной центрифугированной стойки высотой 26 м (рис. 7, а). Рабочий проект башни

разработан на основе оптимизационного расчета, выполненного на кафедре «Металлические конструкции и сооружения» ФГБОУ ВО «ДОННАСА» по заказу турецкой фирмы. Испытываемая башня закреплялась в естественном основании на территории Полигона. В точке установки башни была пробурена скважина с целью определения механических характеристик грунта и подбора горизонтальных ригелей заделки башни в грунте.

Узкобазая стальная башня мобильной связи «Оптима-60» (рис. 7, б) [1]. Рабочий проект антенной башни «Оптима-60» разработан на основе оптимизационного расчета, выполненный на кафедре «Металлические конструкции и сооружения» ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Натурные испытания башни «Оптима-60» высотой 60 м с размерами поперечного сечения у основания $3,64 \times 3,64$ м и оголовка 1×1 м связаны прежде всего с ее изготовлением по индивидуальному проекту с учетом оптимизационного проектирования.

При проектировании использованы коэффициенты гололедных отложений на конструкции с одиночных уголков, которые исследовались в климатической камере ФГБОУ ВО «ДОННАСА» (часть 3).

После того как антенная опора АО-60 прошла статические испытания, был проведен цикл динамических испытаний, с целью определения собственной частоты колебаний по первой форме колебаний опоры. При динамических испытаниях использовались два метода:

- на базе вибромашины с регулируемой частотой вращения (рис. 8);
- методом обрыва троса (рис. 10).

По первому методу вибромашина устанавливалась на площадке обслуживания опоры на отметке +50 м (рис. 8, а).

По второму способу стальной трос крепился к опоре на отметке +60 м через разрывную скобу. Натяжение троса до разрыва скобы производилось с помощью лебедки (рис. 10).

В первом и во втором методе вибрационные характеристики антенной опоры фиксировались вибродатчиком ВЭГИК (рис. 9, б), расположенного на площадке +59,3 м. Информация с вибродатчика ВЭГИК передавалась на ПК с помощью программного комплекса «InSense 2005» в среде Windows и записывалась в реальном масштабе времени в виде графика зависимости частоты

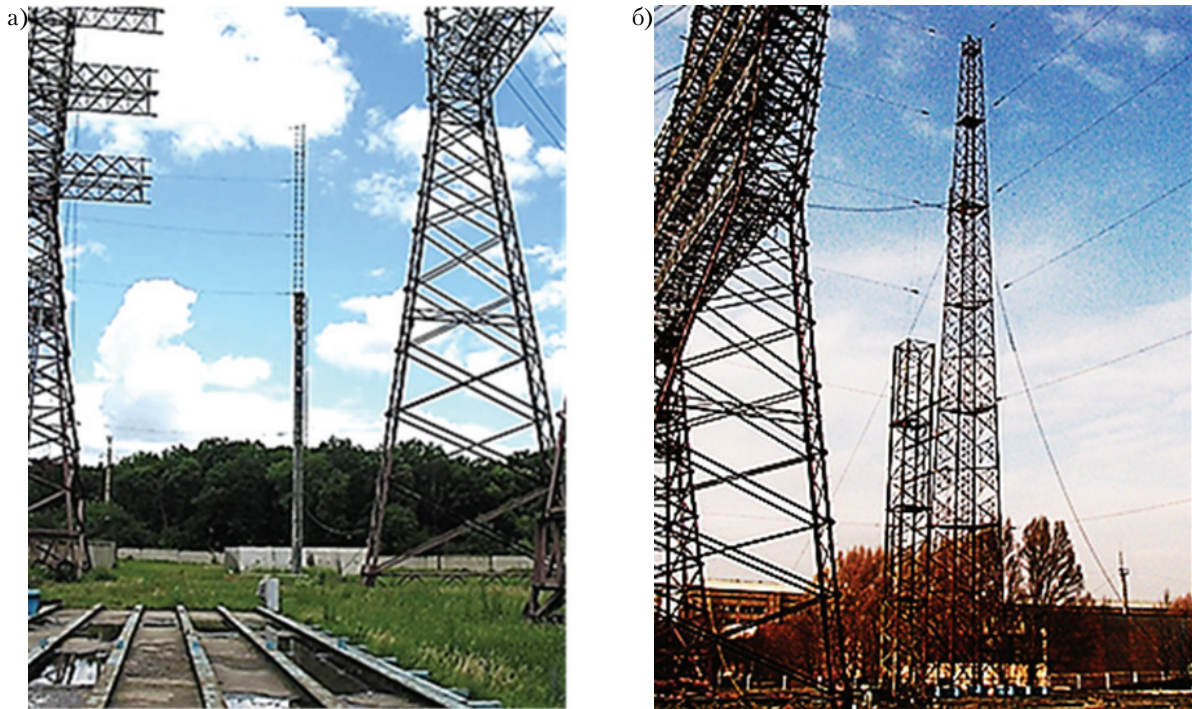


Рисунок 7. Испытания башен мобильной связи: а) башня высотой 30 м (Турция) закрепленная в естественном грунте; б) узкобазная башня «Оптимa-60» высотой 60 м (ФГБОУ ВО «ДОННАСА») на силовом полу.

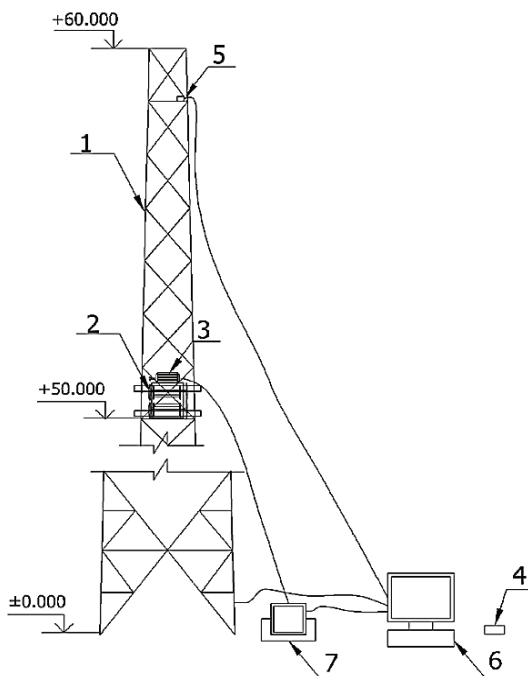


Рисунок 8. Схема динамических испытаний опоры АО-60 вибромашинной: 1 – испытываемая антенная опора АО-60; 2 – вибромашина; 3 – электродвигатель; 4 – усилитель; 5 – вибродатчик ВЭГИК; 6 – персональный ПК; 7 – осциллограф.

собственных колебаний от времени в секундах. Параллельно ход проведения испытаний контролировался показаниями осциллографа.

Угловая опора ТТ-220 (Словения). В процессе стендовых испытаний проверяются все стадии создания опоры (рис. 11):

- разработка проекта на стадии КМ;
- разработка проекта на стадии КМД;
- контрольная сборка;
- качество изготовления и соответствие опоры проекту КМД.

При контрольной сборке опоры ТТ-220, которая входит в программу испытаний, были выявлены ошибки проектирования диафрагмы подставки на стадии КМД.

Кроме ошибок проекта на стадии КМД, при стендовых испытаниях была выявлена ошибка комплектации металлом опоры на стадии изготовления. На этапе 75 % потеряла устойчивость фасонка между нижним сжатым поясом траверсы и поясом ствола опоры, т. к. фасонка была изготовлена из листовой стали С235, по проекту КМ была заложена сталь С345. После ремонта опора успешно прошла повторные испытания.

Промежуточная опора ПБ43т и анкерно-угловая опоры У21к (Казахстан). Опоры были

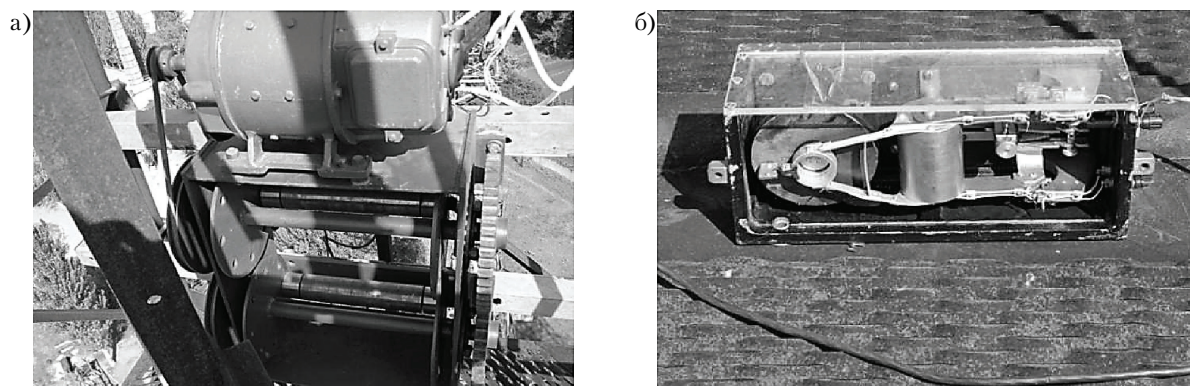


Рисунок 9. Вибромашина – (а) и вибродатчик ВЭГИК – (б).

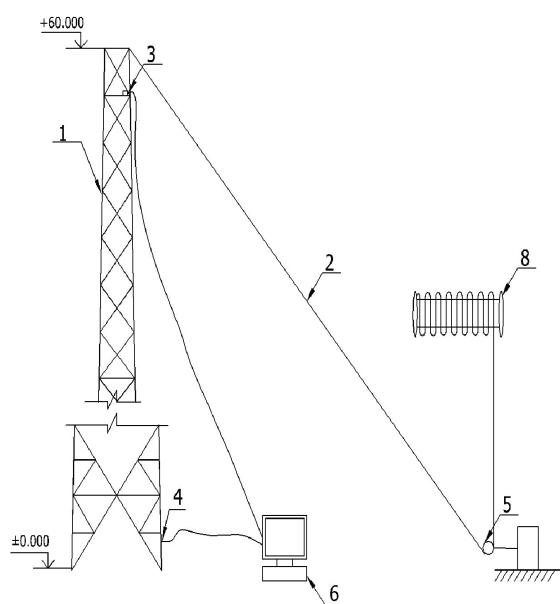


Рисунок 10. Схема динамических испытаний опоры методом обрыва троса: 1 – испытуемая антенная опора АО-60; 2 – тянущий трос; 3 – вибродатчик ВЭГИК; 4 – тензодатчик; 5 – обводной блок; 6 – персональный ПК; 7 – электрическая лебедка грузоподъемностью 5 т.

изготовлены в соответствии с отечественным типовым альбомом в Китае по заказу Казахстана. До стендовых испытаний были проведены механические испытания болтовой пары (болт с гайкой) на растяжение. Для упрощения технологического процесса изготовления оцинкованных метизов диаметр резьбы гайки был изготовлен со значительным плюсовым допуском. Испытания проводились дважды: первый раз в присутствии казахских инспекторов, а второй раз в присутствии казахских и китайских экспертов.

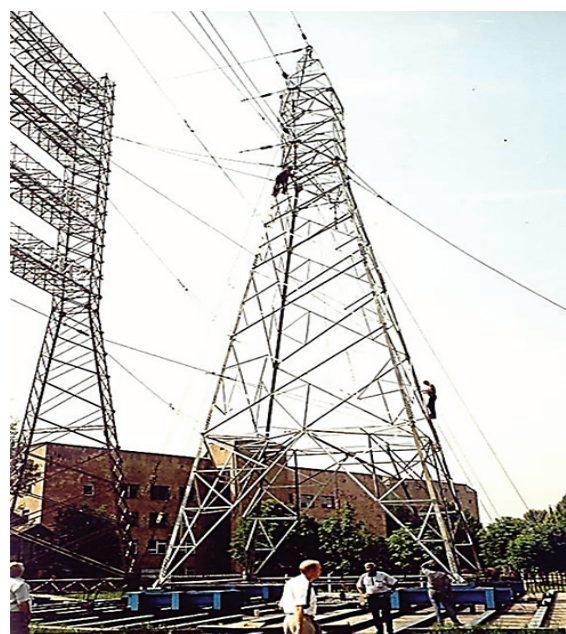


Рисунок 11. Угловая опора ТТ-220 (Словения).

При первых и вторых испытаниях – метизы не прошли испытания.

Промежуточная опора ПБ43т на оттяжках в процессе стендовых испытаний представлена на рис. 12, а. Оттяжки промежуточной опоры были закреплены через силовые балки на силовом полу.

Анкерно-угловая опоры У21к в процессе стендовых испытаний представлена на рис. 12, б. Особенности испытаний опоры относятся нагрузки от фазы 300 кН, созданные системой полиспаатов.

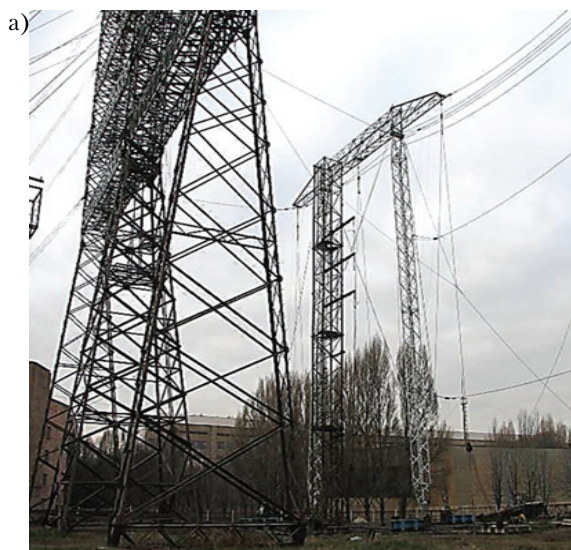


Рисунок 12. Промежуточная опора ПБ43т (а) и анкерная-угловая опора У21к (б) на силовом полу (Казахстана).

Одноцепная опора S-МС+6 (Сирия). Опора изготовлена и поставлена на испытания турецкой фирмой (рис. 13). Наиболее чувствительным узлом к внешним нагрузкам является узел сопряжения опорных стоек траверсы с «рюмкой» нижней части опоры. В процессе стендовых испытаний были отработаны и учтены эти особенности.

Промежуточная опора RT-10 (Ирак). Двух-цепная промежуточная опора бала запроектирована, изготовлена и поставлена на испытания турецкой фирмой. Учитывая значение аварийной и ветровых нагрузки в пределах 1,5 кН была использована вспомогательная аварийная стойка и корзина с грузами (рис. 14).



Рисунок 13. Одноцепная опора S-МС+6 (Сирия).



Рисунок 14. Испытания промежуточной опоры RT-10 (Ирак).

Выводы

1. Проведенные испытания опор и башенных антенных конструкций на Полигоне испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ФГБОУ ВО «ДОННАСА» подтвердили высокую эффективность и работоспособность используемого испытательного оборудования, системы управления и методического обеспечения испытаниями.
2. Описаны испытания опор линий электропередачи различной конструктивной формы от одноцепных до четырехцепных при высоте до 60 м и весе 54 т.
3. Как показала практика наиболее сложными испытаниями являются опоры типа «рюмка» и на оттяжках, особенно V-образные.
4. Разработанные программы испытаний на базе международного стандарта МЭК 60652 (2021) «Опоры воздушных линий электропередачи. Испытания механическими нагрузками» позволили контролировать качество проектирования, изготовления, комплектации и собираемости испытываемых опор.
5. Описана взаимосвязь стендовых испытаний с лабораторными механическими элементов, узлов, фрагментов и метизов опор.

Продолжение следует.

Литература

1. Бабушкин, В. М. Электрические сети: развитие новые решения / В. М. Бабушкин, В. А. Нейман, В. А. Чевычелов. – Текст : непосредственный // Серия Энергетика: реабилитация, развитие. – Киев : Энергетика и электрификация, 2001. – С. 117.
2. Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций / М. А. Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : ООО Олден-полиграфия, 2003. – 130 с. – Текст : непосредственный.
3. Исследование пространственной работы крестовой решетки при натурных испытаниях опоры ВЛ на Полигоне ДонНАСА / В. Н. Васылев, Е. В. Шевченко, А. В. Танасогло [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2013. – Том 19, № 1. – С. 15–25.
4. Гаранжа, І. М. Напружено-деформований стан металевих багатограничних стоеків з урахуванням особливостей вітрового впливу : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : спеціальність 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Гаранжа Ігор Михайлович ; Донбаська національна академія будівництва і архітектури. Макіївка, 2012. – 20 с. – Текст : непосредственный.
5. Горохов, Е. В. Методика проведения испытаний антенных опор на Полигоне ДонНАСА / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алехин. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 3. – С. 151–161.
6. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния фрагментов стальных башенных опор ВЛ / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, Е. В. Шевченко [и др.]. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2013. – Том 9, № 1. – С. 59–69.

References

1. Babushkin, V. M., Neyman V. A., Chevychelov V. A. Electrical networks: development of new solutions. – Text : direct. – In: *Energy series: rehabilitation, development*. – Kyev : Energy and electrification, 2001. – P. 117. (in Russian)
2. Berezin, M. A.; Katyushin, V. V. Atlas aerodynamic descriptions of build constructions. – Novosibirsk : LTD «Olden polygraphy», 2003. – 130 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Vasylev V. N.; Shevchenko, E. V.; Tanasoglo, A. V. [et al.]. Study of spatial operation of the lattice cross components in full-scale tests of an OPTL support on the testing ground of DonNACEA. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2013. – Volume 19, № 1. – P. 15–25. (in Russian)
4. Garanzha, I. M. Stress-deformed state of metal multifaceted risers taking into account the peculiarities of wind influence: abstract of the dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» / Garanzha Ihor ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makiivka, 2012. – 20 p. – Text : direct. (in Ukraine)
5. Gorokhov, E. V.; Vasylev V. N.; Alekhin, A. M. Methodology for testing antenna supports at the DonNASA Test Site. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2010. – Volume 16, № 3. – P. 151–161. (in Russian)
6. Gorokhov, E. V.; Vasylev V. N.; Shevchenko, E. V. [et al.]. Experimental investigations of mode of deformation of steel tower support fragments of OPTL. – Text : direct. – In: *Modern industrial and civil construction*. – 2013. – Volume 9, № 1. – P. 59–69. (in Russian)
7. DBN V.1.2:2006. Loadings and influences. Planning Norms : brought in by the management of the

7. ДБН В.1.2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования : внесено управлением технического регулирования в строительстве и принято приказом Минстроя Украины от 3 июля 2006 г. № 220 : взамен СНиП 2.01.07-85, кроме раздела 10 : дата введения 2007-01-01 / разработчики Открытое акционерное общество «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В. Н. Шимановского» (ОАО Украинпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского). – Киев : Минстрой Украины, 2006. – 61 с. – (Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов). – Текст : непосредственный.
8. Интегрированная система анализа конструкций StructureCAD (SCAD) for Windows / В. С. Каприловский, Э. З. Крискунов, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. – Текст : непосредственный // САПР и графика. – 1998. – № 10. – С. 15–18.
9. Многогранные гнутые стойки : материалы II международной конференции, Николаевка, 2007 г. ; Открытое акционерное общество «ПРОМЭК». – Днепропетровск : [б. и.], 2007. – 312 с. – Текст : непосредственный.
10. IEC 60652 (2021). Overhead line structures – Loading tests : International standard = МЭК 60652 (2021). Опоры воздушных линий электропередачи. Испытания механическими нагрузками : Supersedes IEC 60652 (2002) : This International Standard was approved by July 30, 2021 / developer IEC. – Geneva, Switzerland : [s. n.], 2021. – 26 с. – Текст : непосредственный.
11. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением выше 1 кВ (к СНиП II-23-81*) : утверждено приказом Энергосетьпроекта от 24 июня 1985 г. № 122 / Энергосетьпроект Минэнерго СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 72 с. – Текст : непосредственный.
12. Правила устройства электроустановок. Глава 2.5 Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ до 750 кВ : официальное издание. – Киев : ГРИФЭ : Министерство топлива и энергетики Украины, 2006. – 125 с. (Нормативный документ Минтопливэнерго Украины). – Текст : непосредственный.
13. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1978. – 217 с. – Текст : непосредственный.
14. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования : издание официальное : взамен главы СНиП II-6-74 : дата введения 1987-01-01 / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – Москва : Министерство строительства Российской Федерации, 1996. – 66 с. – Текст : непосредственный.
15. Соловей, П. И. Исследование точности определения деформаций опор воздушной линии электропередачи : техническое задание и принятое Минстроем Украины от 3 июля 2006 г. № 220 : в обмене СНиП 2.01.07-85, за исключением раздела 10 : дата введения 01-01 / разработчики открытого акционерного общества «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В. Н. Шимановского». – Киев : Минстрой Украины, 2006. – 61 с. – (Система обеспечения надежности и безопасности объектов строительства). – Текст : непосредственный.
8. Kaprilovskiy V. S.; Kriskunov, E. Z.; Perelmuter, A. V. [et al.]. Computer-integrated system of analysis of constructions of STRUCTURECAD (SCAD) for Windows. – Text : direct. – In: *CADD and graphic arts*. – 1998. – № 10. – P. 15-18. (in Russian)
9. Many-sided bent bars : materials of the II international conference, Nikolaevka, 2007 ; Open corporation of «PROMiK». – Dnepropetrovsk : [s. n.], 2007. – 312 p. – Text : direct. (in Russian)
10. IEC 60652 (2021). Overhead line structures – Loading tests : International standard : Supersedes IEC 60652 (2002) : This International Standard was approved by July 30, 2021 / developer IEC. – Geneva, Switzerland : [s. n.], 2021. – 26 p. – Text : direct.
11. Manual on planning of steel constructions of supports of air-tracks (VL) of electricity transmission and opened distributive devices (I YELL) of substations by tension higher 1 kV (to SNiP II-23-81*) : it is ratified by the order of Energoset'proekta from June, 24, 1985 № 122 / Energoset'proekt of Minenergo of the USSR. – Moscow : Central institute of the model planning, 1989. – 72 p. – Text : direct. (in Russian)
12. Rules for electrical installations. Chapter 2.5 Overhead power lines with voltages above 1 kV to 750 kV : official publication. – Kyev : GRIFE : Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, 2006. – 125 p. (Regulatory document of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine). – Text : direct. (in Russian)
13. Guidance upon settlement of buildings and buildings on the action of wind / TSNIISK the name of Kucherenko of Gosstroy of the USSR. – Moscow : Stroyizdat, 1978. – 217 p. – Text : direct. (in Russian)
14. SNiP 2.01.07-85*. Loadings and influences. Planning Norms : edition is official : instead of head of SNiP II-6-74 : date of introduction 01-01 / TSNIISK the name of Kucherenko of Gosstroya of the USSR. – Moscow : Ministry of building of Russian Federation, 1996. – 66 p. – Text : direct. (in Russian)
15. Solovey, P. I.; Malikov, S. S.; Tanasoglo, A. V. Study of the accuracy of determining deformations of overhead power line supports in cramped test site conditions. – Text : direct. – In: *Scientific and technical achievements of students of the construction and architecture branch of Ukraine* : a collection of theses of reports based on the materials of the XXXVIII conference, April 20, 2012, Makiivka : DonNABA, 2012. – P. 50–51. (in Russian)
16. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings : American National Standard : This

- ропередачи в стесненных условиях испытательного полигона / П. И. Соловей, С. С. Маликов, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Научно-технічні досягнення студентів будівельно-архітектурної галузі України : збірник тез доповідей за матеріалами XXXVIII конференції, 20 квітня 2012 р., м. Макіївка. – Макіївка : ДонНАБА, 2012. – С. 50–51.
16. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings : American National Standard : This American Standard was approved by March 9, 2005 / developer American Institute of Steel Construction. – Chicago, Illinois : American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p. – Текст : непосредственный.
 17. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines : International standard : This International Standard was approved by 10, 2021 / developer IEC : Edition 3. – Geneva, Switzerland : [s. n.], 2002. – 186 p. – Текст : непосредственный.
 18. Consultations Model for Overhead Power Lines Projects // CIGRE, Working Group B2.15. – 2005. – № 274. – Paris : CIGRE. – 146 p. – Текст : непосредственный.
 19. The influence of line configuration on environment impacts of electrical origin // CIGRE, Working Group B2.06. – 2005. – № 278. – Paris : CIGRE. – 185 p. – Текст : непосредственный.
 20. Spate, G. Regulation in field of overhead power lines and their foundation in study Committee 22 / G. Spate. – Текст : непосредственный // 23rd Symposium Juko CIGRE. – May 1997. – 15 p. – Текст : непосредственный.
 21. Upraiting of Transmission Lines 110 kV in the Canadian Power System : Investigation Project. – Toronto : ALSTOM, 2002. – 126 p. – Текст : непосредственный.
 22. Жулев, А. Н. Особенности методики испытаний механической части воздушных линий / А. Н. Жулев. – Текст : непосредственный // Труды ВНИИЭ. – 1992. – Выпуск 88. Надежность основного оборудования электрических сетей. – С. 122–128.
 23. Степин, Е. П. О необходимости создания центра по испытаниям электросетевых конструкций / Е. П. Степин. – Текст : непосредственный // Энергетика и электрификация. – 1995. – № 2. – С. 28–29.
- American Standard was approved by March 9, 2005 / developer American Institute of Steel Construction. – Chicago, Illinois : American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p. – Text : direct.
17. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines : International standard : This International Standard was approved by 10, 2021 / developer IEC : Edition 3. – Geneva, Switzerland : [s. n.], 2002. – 186 p. – Text : direct.
 18. Consultations Model for Overhead Power Lines Projects // CIGRE, Working Group B2.15. – 2005. – № 274. – Paris : CIGRE. – 146 p. – Text : direct.
 19. The influence of line configuration on environment impacts of electrical origin // CIGRE, Working Group B2.06. – 2005. – № 278. – Paris : CIGRE. – 185 p. – Text : direct.
 20. Spate, G. Regulation in field of overhead power lines and their foundation in study Committee 22 / G. Spate. – Текст : непосредственный // 23rd Symposium Juko CIGRE. – May 1997. – 15 p. – Text : непосредственный.
 21. Upraiting of Transmission Lines 110 kV in the Canadian Power System : Investigation Project. – Toronto : ALSTOM, 2002. – 126 p. – Text : direct.
 22. Zhulev, A. N. Features of testing methods for the mechanical part of overhead lines. – Text : direct. – In: *Proceedings of VNIIE*. – 1992. – Issue 88. Reliability of basic equipment of electrical networks. – P. 122–128. (in Russian)
 23. Stepin, E. P. On the need to create a center for testing electrical grid structures. – Text : direct. – In: *Energy and electrification*. – 1995. – № 2. – P. 28–29. (in Russian)

Горохов Евгений Васильевич – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия и архитектуры». Иностраный член Российской Академии архитектуры и строительных наук, 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 – кандидат технических наук, доцент; начальник лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи, строительных конструкций и сооружения; технология изготовления строительных конструкций.

Алехин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент; начальник отдела проверки проектно-сметной документации Департамента по внутреннему контролю и аудиту ОП ООО «Инвестрегионпром». Научные интересы: изучение действительной работы опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) и антенных опор радиорелейной связи. Статические и динамические испытания металлических, железобетонных и деревянных сооружений и всех видов строительных конструкций зданий и сооружений.

Анищенко Владимир Михайлович – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: прочность и деформативность рамных узлов со стойками из трубобетона и ригелями двутаврового сечения.

Горохов Євген Васильович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри металевих конструкцій і споруд ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Іноземний член Російської Академії архітектури і будівельних наук, академік Академії Вищої школи і Академії будівництва України, Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі і споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні навантаження на будівельні конструкції.

Василев Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент; начальник лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження роботи опор ліній електропередачі, будівельних конструкцій і споруди; технологія виготовлення будівельних конструкцій.

Альохін Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент; начальник відділу перевірки проектно-кошторисної документації Департаменту з внутрішнього контролю та аудиту ВП ТОВ «Інвестрегионпром». Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи опор повітряних ліній електропередачі (ПЛ) та антенних опор радіорелейного зв'язку. Статичні та динамічні випробування металевих, залізобетонних та дерев'яних споруд і усіх видів будівельних конструкцій будівель та споруд.

Анищенко Володимир Михайлович – асистент кафедри металевих конструкцій і споруд ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: напружено-деформований стан жорстких вузлів трубобетонних конструкцій, робота вузлів трубобетонних конструкцій в умовах динамічних впливів.

Gorokhov Yevgen – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Department the Head of the Metal Structures and Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Academician of the Academy of Higher Education and the Academy of Construction of Ukraine, Member of the International Committee for the Study of the Effects of Wind on Buildings and Structures. Research interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

Vasylev Vladimir – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of the Laboratory for Testing Building Structures and Constructions, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: experimental and theoretical study of the operation of power transmission line supports, building structures and constructions; technology of manufacturing building structures

Alyokhin Andrey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of the Design and Estimate Documentation Verification Department of the Internal Control and Audit Department SD LLC «Investregionprom». Scientific interests: studying of the valid work of overhead power lines supports (OHPL) and microwave transmission antenna towers. Static and dynamic testing of metal, concrete and timber structures and all kinds of constructions and structures

Anishchenkov Vladimir – Assistant, Metal Structures and Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: strength and deformation of frame units with columns from pipe concrete and I-beam crossbars.