



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2023, ТОМ 29, НОМЕР 4, 167–180

EDN: [DQGJTS](#)

УДК 621.315.1:624.014

(23)-0397-1

## **КОМПЛЕКСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ НА БАЗЕ ПОЛИГОНА ИСПЫТАНИЙ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ФГБОУ ВО «ДОННАСА» (ЧАСТЬ 3)**

**Е. В. Горохов<sup>а,1</sup>, В. Н. Васылев<sup>а,2</sup>, А. М. Алехин<sup>б,3</sup>, В. М. Анищенко<sup>а,4</sup>**

<sup>а</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

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

<sup>б</sup> ОП ООО «Инвестрегионпром»

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

E-mail: <sup>1</sup>mk@donnasa.ru, <sup>2</sup>wn1951@mail.ru, <sup>3</sup>alyokhin\_20@mail.ru, <sup>4</sup>voveo.ne@mail.ru

Получена 30 октября 2023; принята 24 ноября 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. В третьей части статьи описана лабораторная база, входящая в испытательный комплекс Полигона: универсальный испытательный зал; прессовый зал; климатическая камера; аэродинамическая труба. Наличие лабораторной базы позволяет значительно сократить трудовые и материальные затраты на доводку опор изготавливаемым по индивидуальным проектам. Лабораторные исследования проводятся до стендовых испытаний. Кроме этого, лабораторные испытания позволяют отработать технологию изготовления специальных метизов и сложных пространственных стыковых листовых узлов многогранных стоек. Климатическая камера предоставляет возможность исследовать процессы отложения гололеда на проводах различных типов и элементах опор. Вопросы аэродинамики отдельных элементов электросетевых конструкций и опор в целом, как пространственных стержневых, так и сплошных многогранных стоек исследуются в аэродинамической трубе. Труба дает возможность исследовать поведение «голых» проводов и при наличии на них гололеда в зависимости от их типа.

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



## COMPLEX TESTS CARRIED OUT ON THE BASIS OF THE TESTING GROUND FOR POWER TRANSMISSION POLES AND TOWER STRUCTURES FSBEI HE «DONNACEA» (PART 3)

Yevgen Gorokhov <sup>a,1</sup>, Vladimir Vasylev <sup>a,2</sup>, Andrey Alyokhin <sup>b,3</sup>, Vladimir Anishchenkov <sup>a,4</sup>

<sup>a</sup> FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

<sup>b</sup> SD LLC «Investregionprom»,

Russian Federation. Kemerovo region - Kuzbas, 650000, Kemerovo, Krasnaya str., 4/1, office 91.

E-mail: <sup>1</sup>mk@donnasa.ru, <sup>2</sup>wn1951@mail.ru, <sup>3</sup>alyokhin\_20@mail.ru, <sup>4</sup>voveo.ne@mail.ru

Received 30 October 2023; accepted 24 November 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 third part of the article describes the laboratory base included in the testing complex of the Landfill: a universal test hall; a press room; a climate chamber; a wind tunnel. The presence of a laboratory base allows you to significantly reduce the labor and material costs of fine-tuning supports manufactured according to individual projects. Laboratory tests are carried out before bench tests. In addition, laboratory tests allow us to work out the technology of manufacturing special hardware and complex spatial joint sheet assemblies of polyhedral racks. The climate chamber provides an opportunity to study the processes of ice deposition on wires of various types and elements of supports. The issues of aerodynamics of individual elements of electric grid structures and supports in general, both spatial rod and continuous polyhedral struts, are studied in a wind tunnel. The pipe makes it possible to investigate the behavior of «bare» wires and in the presence of ice on them, depending on their type.

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

### Формулировка проблемы

Новые опоры линий электропередачи, разработанные по индивидуальным проектам, подлежат прохождению стендовых испытаний на специализированных Полигонах. Опоры относятся к крупногабаритным высотным конструкциям, которые согласно международного стандарта [10] испытываются в проектном состоянии на недеформируемом основании. Поэтому стендовые испытания требуют больших финансовых затрат. Повторные испытания при аварии опоры значительно удорожают испытания. Этот цикл испытаний относится к доводке проекта и технологического процесса изготовления опоры.

Поэтому для уменьшения вероятности аварии опоры рационально проблемные элементы, узлы и фрагменты опоры предварительно испытать в лабораторных условиях. При необходимости довести эти элементы в лабораторных условиях до необходимых показателей прочности и деформативности. После лабораторных испытаний при необходимости вносятся поправки в проект опоры. После этих процедур испытывается опора на испытательном стенде. Кроме этого, лабораторные испытания позволяют отработать технологию изготовления специальных метизов и сложных пространственных узлов. Например, телескопического узла сопряжения элементов многогранной

стойки. Кроме механических испытаний в условиях лабораторий проводятся различные исследования, связанные с аэродинамикой опор и гололедообразованием на проводах и отдельных элементах опор.

### Анализ литературы

В 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 участия лабораторных испытаний элементов и конструкций электросетевых конструкций на этапе доводки проектных и технологических процессов изготовления опор до стендовых статических и динамических испытаний 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 году 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, натурных 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

#### *3. Лабораторная база Полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ФГБОУ ВО «ДОННАСА»*

В состав Полигона входит лабораторный испытательный комплекс, который состоит из универсального испытательного зала, прессового зала, климатической камеры и аэродинамической трубы.

При необходимости, для проведения специальных испытаний, привлекаются три аккредитованных испытательных лаборатории ФГБОУ ВО «ДОННАСА»:

- ИЛ «Строительные материалы»;
- СНПЦ «Строительные материалы» (Лаборатория испытаний дорожно-строительных материалов);
- СНПЦ инженерной защиты зданий и сооружений в сложных геологических условиях.

**Универсальный испытательный зал** с силовым полом  $4 \times 24$  м предназначен для испытаний отдельных конструкций и их фрагментов. Испытательное оснащение зала позволяет проводить статические и динамические испытания конструкций с габаритами в плане  $4 \times 24$  м и высотой 5 м: фрагментов пространственных конструкций; опор линий электропередачи; плоских решетчатых конструкций; сплошных балочных конструкции; панелей; плит; отдельных элементы конструкций.

В качестве нагрузочного оборудования используются гидравлические домкраты грузоподъемностью от 5 до 200 т, лебедки и штучные грузы. Испытательные стенды укомплектованы необходимым контрольно-измерительным оснащением для исследования напряженно-деформированного состояния испытываемых конструкций.

**Прессовый зал** оборудован гидравлическими прессами усилием 100, 1 250, 2 500 и 10 000 кН. Пресс усилием 10 000 кН позволяет подвергнуть испытаниям конструкции, отдельные элементы и фрагменты конструкций высотой до 6 м, длиной 5 м и шириной 1 м.

Лаборатория механических испытаний металлопроката оборудована разрывными машинами с рабочим усилием 5, 200 и 500 кН и прессами для определения твердости металла. Разрывные машины в комплекте с эталонными механическими динамометрами III-го класса используются для проведения тарирования

электрических динамометров с диапазоном измерений от 5 до 300 кН.

**Климатическая камера.** Климатические испытания – гололедных отложений, теплотехнических показателей ограждающих конструкций и узлов.

**Аэродинамическая труба.** Аэродинамические испытания – решетчатых и сплошностенчатых конструкций, отдельных стержней и проводов.

**3.1. Лабораторные испытания двухцепной промежуточной опоры У110-2** оптимизированной в рамках индивидуального проектирования, поэтому до стендовых испытаний предварительно был проведен ряд механических испытаний двух плоских фрагментов ствола опоры в натуральную величину с новыми конструктивными решениями – с одноболтовым и двухболтовым соединением решетки в узлах соединения с поясами, а также различными шпренгельными системами решетки. Общий вид испытательного стенда с фрагментом 1 и 2 представлен на рис. 1 [2, 6].

Полученные результаты подтвердили теоретические значения напряженно-деформированного состояния фрагментов опоры и дали возможность выбора наиболее экономичного варианта опоры с одноболтовым и двухболтовым соединением решетки в узлах и шпренгельной системы нижней части ствола.

На основании результатов предварительных испытаний были внесены коррективы в проект опоры, по которому изготовили опытный образец опоры, предназначенной для стендовых испытаний.



**Рисунок 1.** Общий вид испытаний плоских фрагментов 1 а) и 2 б).

### 3.2. Лабораторные испытания одиночной промежуточной опоры portalного типа ПМГ 330-28 на базе многогранных стоек.

В процессе проведения стендовых испытаний опоры ПМГ 330-28 был проведен ряд лабораторных испытаний.

До стендовых испытаний:

- механические испытания стоек МГС;
- численные исследования напряженно-деформированного состояния фланцевых узлов;
- механические испытания фланцевых узлов;
- испытания фундаментных шпилек;
- аэродинамические исследования МГС.

После стендовых испытаний:

- испытания телескопических стыков стоек МГС.

**Механические испытания стоек МГС.** На «Авдеевском заводе металлоконструкций» была запущена автоматизированная линия по производству стальных многогранных стоек. Учитывая начало освоения производства опор МГС на заводе на первом этапе были проведены контрольные испытания опытных стоек (рис. 2) [9].

Испытания выявили наиболее слабое место – сопряжение стойки с опорным фланцем. Поэтому были проведены численные и экспериментальные исследования этого узла.

Предварительно на основе планирования эксперимента была построена математическая модель напряженно-деформированного состояния узла, с целью определения значимых факторов, влияющих на работу узла.

Численные исследования напряженно-деформированного состояния фланцевых узлов. Для планирования механических испытаний узла сопряжения стойки МГС с фланцем проведены численные исследования напряженно-деформированного узла [19]. Исследования проводились с использованием программного комплекса SCAD Office. Отдельные результаты численных расчетов представлены на рис. 3.

Экспериментальные узлы для механических испытаний были запроектированы и изготовлены с учетом численных исследований и натурных испытаний стоек.

Механические испытания фланцевых узлов проводились в условиях лабораторного корпуса в специальном стенде (рис. 4).

Общий вид испытательной установки статических испытаний фланца представлен на рис. 5, а. Напряженно-деформированное состояние узлов исследовалось с использованием тензометрии (рис. 5, б).



**Рисунок 2.** Контрольные испытания стойки МГС «Авдеевский завод металлоконструкций»: а) стойка на силовом полу; б) стойка в процессе испытаний.



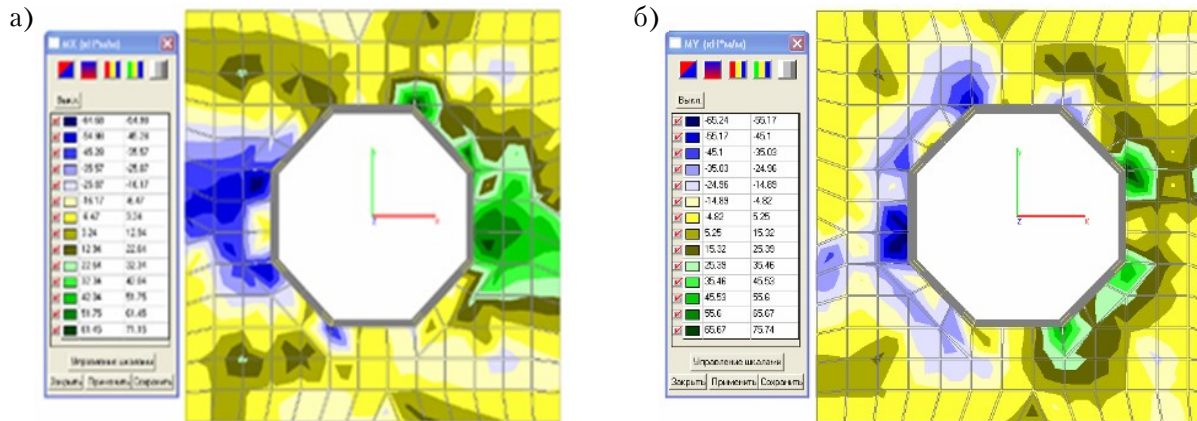


Рисунок 3. Поля распределения изгибающих моментов в фланцевых соединениях МГС, кНм: а)  $M_x$ ; б)  $M_y$ .

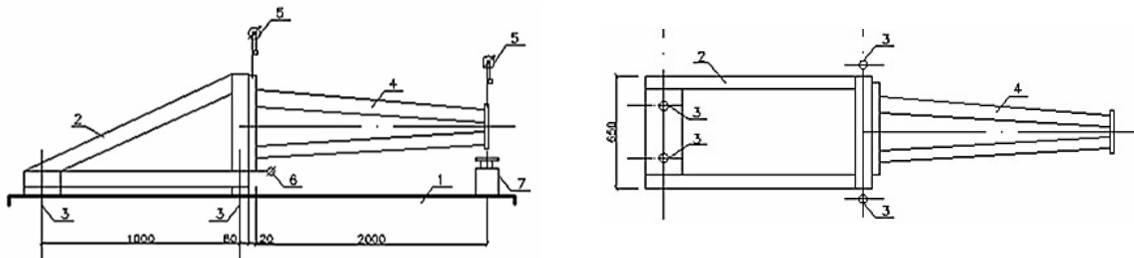


Рисунок 4. Стенд для исследования напряженно-деформированного состояния узлов из МГС: 1 – силовой пол; 2 – опорная рама; 3 – анкеры; 4 – испытываемый фрагмент МГС; 5 – прогибомеры ПАО-6; 6 – индикатор часового типа ИЧ-10; 7 – гидравлический домкрат ДГ-20.

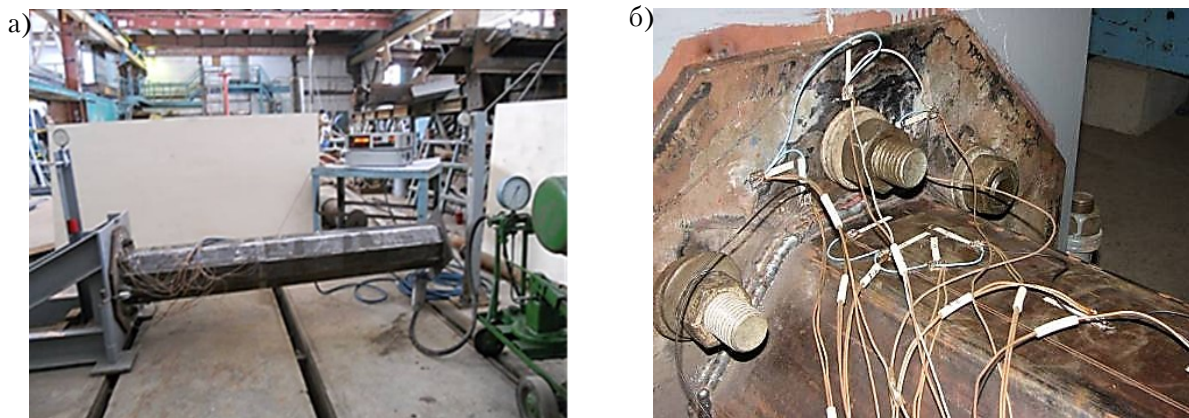


Рисунок 5. Исследование НДС фланцевого соединения: а) общий вид испытательной установки; б) сжатая зона стойки и растяжения фланца.

Результаты численных и механических испытаний фланцевых соединений МГС вошли в заводские ТУ на проектирование и изготовление стоек и опор МГС.

**Испытания телескопических стыков МГС.** По результатам стендовых испытаний заказчик внес изменения в проект опоры – перейти от фланцевого соединения стоек на телескопическое.

Для исследования деформативности монтажных стыков секций стоек были изготовлены фрагменты ствола (рис. 6, а).

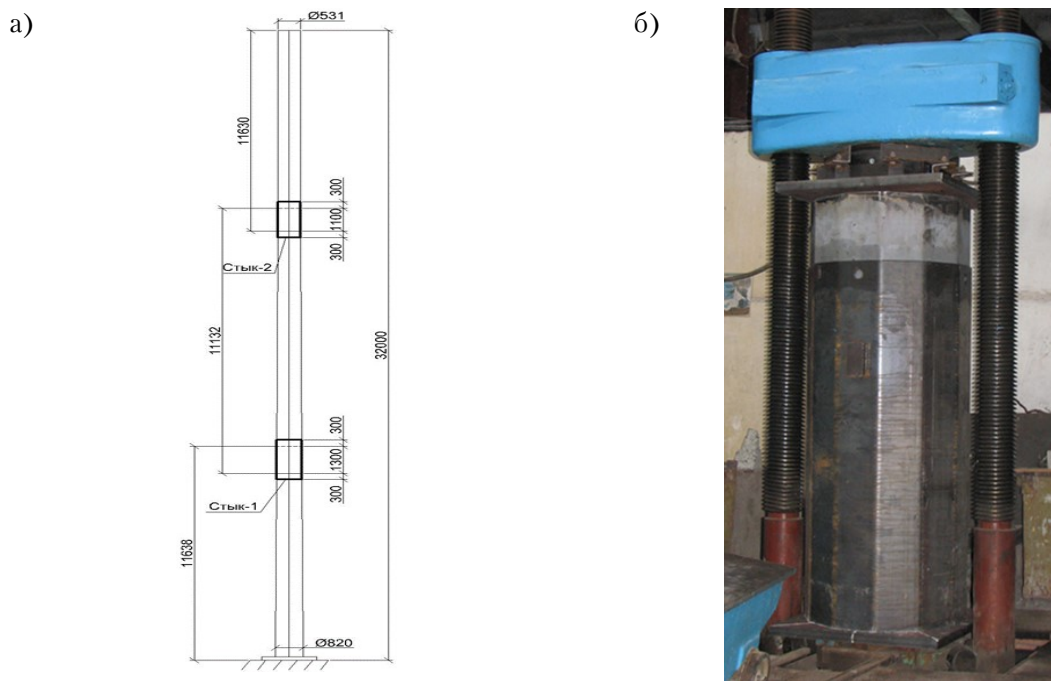
Сборка и стяжка телескопических узлов производилась в соответствии с проектом опоры. Испытания узлов производились в 250-ти тонном прессе ПГ-250 (рис. 6, б). К стыкам прикладывалась предельная нагрузка 650,54 кН и контрольная – 1 000 кН. Деформации стыков при предельной нагрузке находились в пределах допуска.

Проведенные лабораторные испытания телескопических стыков позволили избежать повторных испытаний опоры.

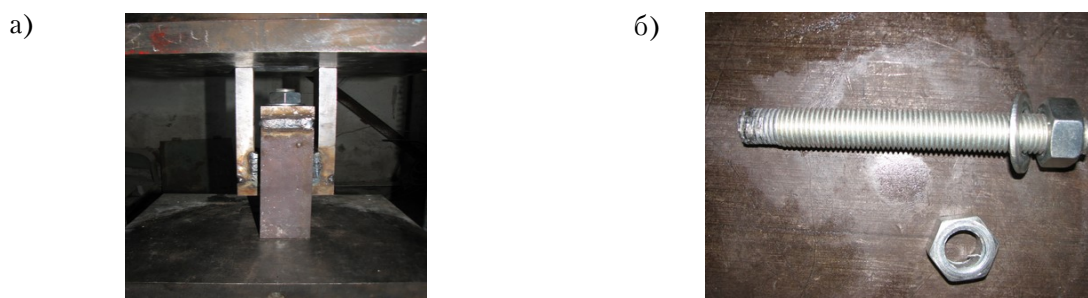
**Испытания фундаментных шпилек.** Для отработки технологического процесса изготовления

фундаментных шпилек М36 класса 8.8 производства «Авдеевский завод металлоконструкций» были проверены их механические испытания [3]. Испытания шпилек на растяжение проведены в гидравлическом прессе ПГ-125 (рис. 7). По результатам лабораторных испытаний была откорректирована технология их изготовления.

Испытания проведены в аэродинамической трубе МАТ-1 ФГБОУ ВО «ДОННАСА» (рис. 8). В результате получены коэффициенты локального ветрового давления  $C_{pi}$  с целью формирования эпюр ветрового давления на конструкции многогранных стоек, а также основного критерия вихреобразования числа Струхала  $S_h$  в зависимости от количества граней [2].



**Рисунок 6.** Испытания телескопических стыков стоек опоры ПМГ 330-28: а) схема отбора образцов узлов; б) испытания телескопического узла на деформативность.



**Рисунок 7.** Испытания фундаментных шпилек на растяжение в прессе ПГ-125: а) общий вид испытательной оснастки; б) характерный дефект шпилек.

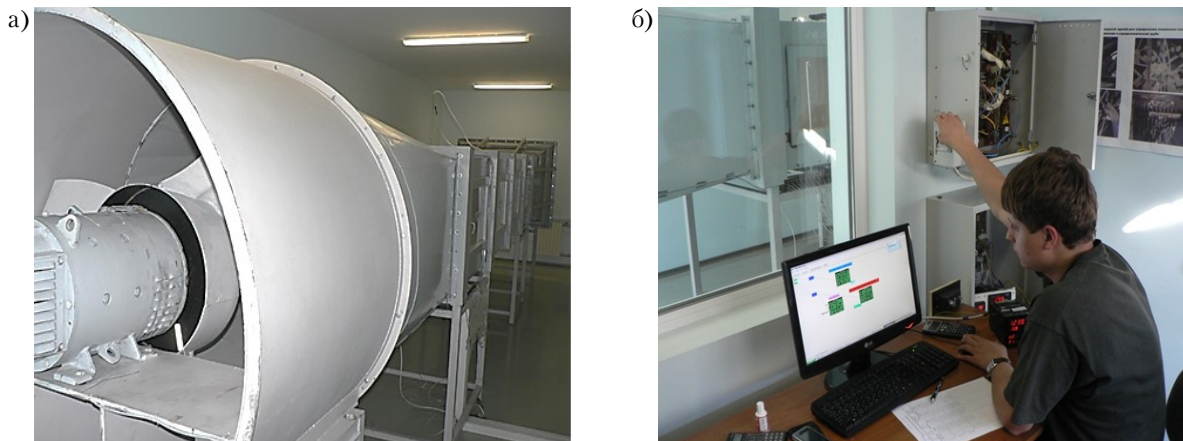


Рисунок 8. Аэродинамической трубы МАТ-1 ФГБОУ ВО «ДОННАСА»: а) общий вид; б) рабочее место оператора.

Программа аэродинамических экспериментальных исследований предусматривала испытания 6, 8, 10, 12 и 18-ти гранных моделей в масштабе М 1:5 фрагмента МГС (рис. 9).

Для решения поставленной задачи модели устанавливались на поворотный круг в рабочую часть аэродинамической трубы МАТ-1.

Результаты аэродинамических испытаний МГС вошли в заводские ТУ в раздел расчета и проектирования стоек и опор на базе МГС.

**3.3. Сравнительные испытания отечественных проводов (АС) с импортными (Аеро-Z).** Для сравнительных испытаний отобраны по одному образцу провода каждого типа длиной 1 060 мм (рис. 10):

- марки АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56;

- марки Аеро-Z (177-1Z, 242-2Z, 301-2Z, 366-2Z, 504-2Z) – гладкие провода);
- марки AFLs10-240 – гладкий провод.

Для сравнительного анализа эксплуатационных характеристик отобранных образцов проводов, проведен комплекс сравнительных испытаний:

- стендовые испытания с целью определения их крутильной жесткости;
- создание гололедных отложений на проводах в ветровом потоке в климатической камере ФГБОУ ВО «ДОННАСА»;
- определение коэффициентов аэродинамического сопротивления проводов в аэродинамической трубе ФГБОУ ВО «ДОННАСА».

Исследования устойчивости проводов к осевому кручению проводились в испытательном стенде, представленном на рис. 11.

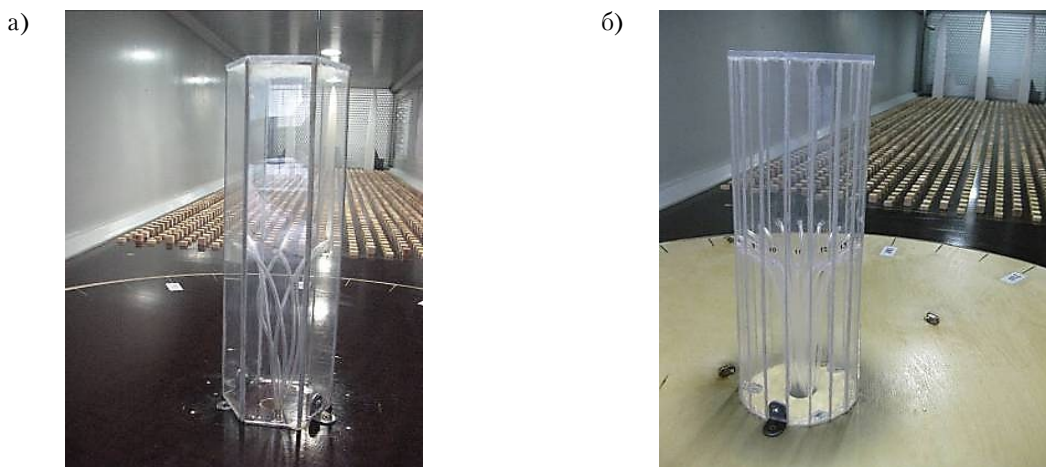


Рисунок 9. Испытываемые модели МГС на поворотном круге аэродинамической трубы: а) 6-ти гранная; б) 12-ти гранная.



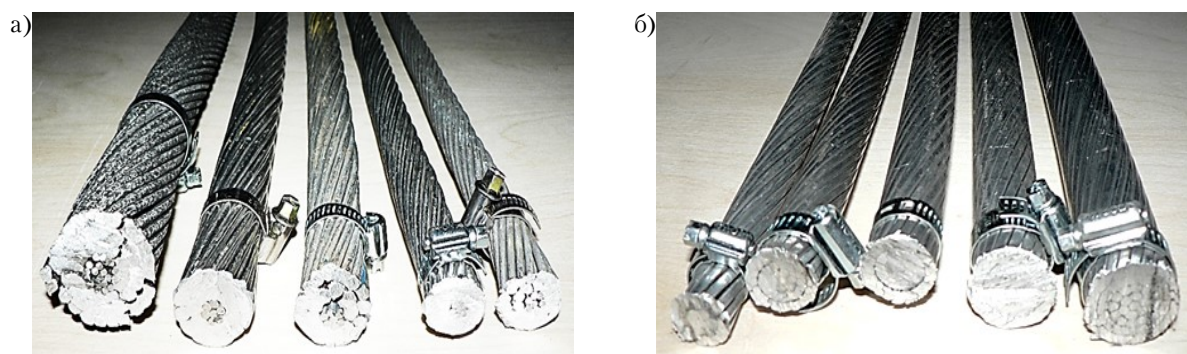


Рисунок 10. Образцы испытываемых проводов: а) отечественные АС; б) зарубежные Aero-Z.

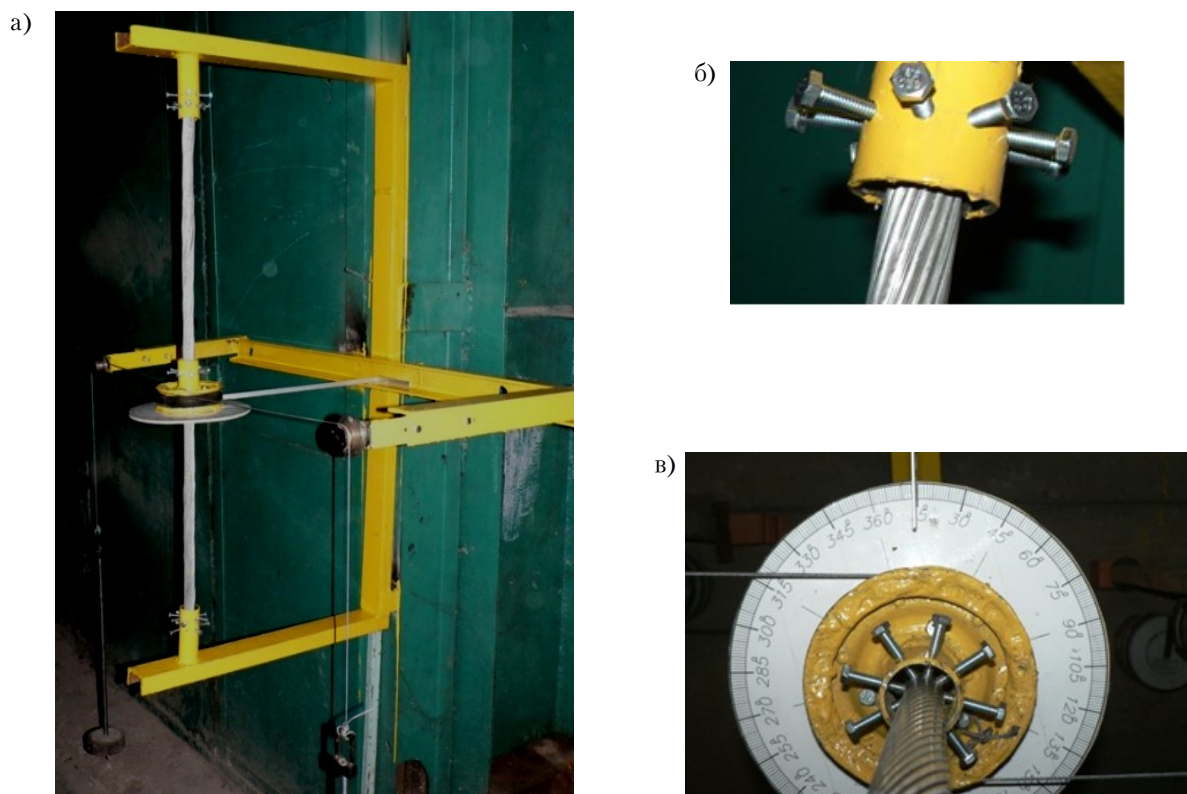


Рисунок 11. Испытательный стенд на кручение проводов ВЛ: а) общий вид установки; б) обжатие концов провода в зажимных устройствах; в) приложение крутящего момента через двух ручьевого шкив со шкалой для определения угла закручивания образца провода.

Имитация образования гололедных отложений на испытываемых образцах в ветровом потоке использовалась климатическая камера ФГБОУ ВО «ДОННАСА» (рис. 12).

Камера оборудована специальной экспериментальной установкой (рис. 13, а). Эталонный (контрольный) стержень диаметром 5 мм расположен горизонтально и закреплен жестко на

П-образной раме, соединенной с тензовесами. Стержень предназначен для сравнительного контроля веса гололедного отложения, используемый для имитатора провода, применяемым на метеостанциях и метеопостах.

Характерная форма поперечного разреза гололедного образования на исследуемом образце провода представлена на рис. 13, б.

В процессе создания гололедного отложения, с заданной периодичностью проводился опрос значений температуры, значений веса гололеда на эталонном стержне, испытываемым образце провода и сохранением полученных данных в рамках управляющей программы.

Экспериментальные аэродинамические исследования испытываемых образцов проводов выполнены в аэродинамической трубе ФГБОУ ВО «ДОННАСА», свободных от гололеда (рис. 14, а), с целью определения коэффициентов их аэродинамического сопротивления [19, 18].



**Рисунок 12.** Климатическая камера ФГБОУ ВО «ДОННАСА»: а) общий вид; б) вентилятор, нагнетательный и обратный воздушные каналы с наружной теплоизоляцией.



**Рисунок 13.** Образование гололеда: а) на контрольном и исследуемом образце провода; б) поперечный разрез гололедного образования на исследуемом образце провода.

В качестве основного средства измерения аэродинамических характеристик проводов использовались трехкомпонентные тензосенсоры (рис. 14, б), позволяющие проводить измерения лобового сопротивления, подъемной силы и аэродинамического момента.

Результаты сравнительных испытаний отечественных проводов (АС) с импортными (Аеро-Z)

позволили разработать дополнительные требования по снижению воздействия гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ.

### Выводы

1. Входящий в состав Полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений

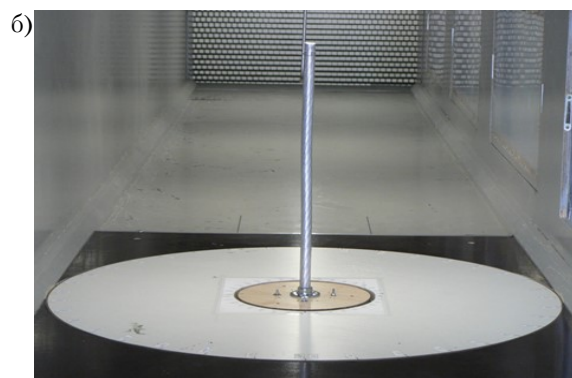
ФГБОУ ВО «ДОННАСА» лабораторный испытательный комплекс, состоящий из универсального испытательного и прессового зала, климатической камеры и аэродинамической трубы значительно сокращает трудовые и стоимостные затраты на доводку опор изготавливаемых по индивидуальным проектам.

2. Лабораторные испытания проводятся до стендовых испытаний опор. При необходимости по результатам лабораторных испытаний – вносятся коррективы в проект, что значительно

сводит к минимуму вероятность разрушения опоры при стендовых испытаниях.

3. Статические испытания отдельных сложных узлов и фрагментов опор позволяют уточнить их расчетные схемы и соответственно опоры в целом.

4. Комплексные лабораторные испытания обеспечивают отработку технологических процессов изготовления специальных метизов и сложных узловых соединений многогранных стоек.



**Рисунок 14.** Образцы, подготовленные для аэродинамических испытаний: а) образцы проводов; б) образец, установленный на тензовесах аэродинамической трубы.

## 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 багатограних стояків 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

## 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)



- академія будівництва і архітектури. – Мажіівка, 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.
  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 Укрнипроектстальконструкция 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 «ПРОММК». – 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 Энергосетьпроект 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.
  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 technical adjusting in building and accepted by the order of Minstroya of Ukraine from July, 3, 2006 № 220 : in exchange SNiP 2.01.07-85, except for a section 10 : date of introduction 01-01 / developers open corporation the «Ukrainian research and project institute of steel constructions the name of V. N. Shimanovskogo». – Kyev : Ministry of Ukraine, 2006. – 61 p. – (System of providing of reliability and safety of build objects). – Text : direct. (in Russian)
  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 Energo-set'proekta from Junes, 24, 1985 № 122 / Energo-set'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. –



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 в стесненных условиях испытательного полигона / П. И. Соловей, С. С. Маликов, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Науково-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. – Moscow : Ministry of building of Russian Federation, 1996. – 66 p. – Текст : 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 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.

**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. Scientific 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.