



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№3, ТОМ 16 (2010) 151-161

УДК 624.97:620.91

(10)-0216-1

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ АНТЕННИХ ОПОР НА ПОЛІГОНІ ДОННАБА

Є. В. Горохов, В. М. Василев, А. М. Альохін

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru*

Отримана 8 липня 2010; прийнята 27 серпня 2010.

Анотація. У статті приведена методика проведення випробувань антенних опор на Полігоні випробувань ліній електропередач і баштових споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури (Полігон ДонНАБА). Поставлені задачі експериментальних досліджень: визначення несучої здатності і деформативності антенних опор під дією ожеледньо-вітрових впливів. Вибраний об'єкт дослідження – чотиригранна вузкобаза антенна опора АО-60 з ґратами розкосу з одиночних кутників. Опора була просторовою стрижньовою фермою у вигляді правильної чотиригранної піраміди з призматичною верхньою частиною 1 м і заввишки 60 м. Робочі креслення опори розроблені на кафедрі «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Апробована методика проведення випробувань антенних опор, а також представлені загальна схема експериментального устаткування і приладова база для вивчення дійсних ожеледньо-вітрових впливів. Представлена методика дозволяє проводити масштабні випробування не тільки антенних опор, але і опор ліній електропередачі, опорно-розподільних пристроїв і баштових кранів для перевірки несучої здатності і деформативності з дійсними прикладеними навантаженнями.

Ключові слова: антенна опора, полігон, методика, випробування, ожеледньо-вітрові впливи, експериментальне устаткування, схема навантаження, зусилля, навантаження, електричні динамометри.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АНТЕННЫХ ОПОР НА ПОЛИГОНЕ ДОННАСА

Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алёхин

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru*

Получена 8 июля 2010; принята 27 августа 2010.

Аннотация. В статье приведена методика проведения испытаний антенных опор на Полигоне испытаний линий электропередач и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (Полигон ДонНАСА). Поставлены задачи экспериментальных исследований: определение несущей способности и деформативности антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий. Выбран объект исследования – четырехгранная узкобазая антенная опора АО-60 с раскосной решеткой из одиночных уголков. Опора представляла собой пространственную стержневую ферму в виде правильной четырехгранной пирамиды с призматической верхней частью 1 м и высотой 60 м. Рабочие чертежи опоры разработаны на кафедре «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Апробирована методика проведения испытаний антенных опор, а также представлены общая схема экспериментальной установки и

приборная база для изучения действительных гололедно-ветровых воздействий. Представленная методика позволяет проводить масштабные испытания не только антенных опор, но и опор линий электропередачи, опорно-распределительных устройств и башенных кранов для проверки несущей способности и деформативности с действительными приложенными нагрузками.

Ключевые слова: антенная опора, полигон, методика, испытание, гололедно-ветровые воздействия, экспериментальная установка, схема загрузки, усилия, нагрузка, электрические динамометры.

TEST PROCEDURES OF AERIAL SUPPORTS ON THE TESTING GROUND OF DONBAS NATIONAL ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Evgeny V. Gorokhov, Volodymyr M. Vasylev, Andrii M. Alokhin

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru

Received 8 July 2010; accepted 27 august 2010.

Abstract. The paper has presented the test procedures of aerial supports on the testing ground of tests of overhead power lines and tower structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. The following engineering research tasks: determination of the bearing capacity and deformability of the aerial supports under the effect of the glazed ice and wind attacks have been set up. The research object – a tetrahedral narrow-base support AO-60 with the Howe truss consisting of single angles – has been chosen. The aerial support has been the three-dimensional strut truss in the form of a rectilinear tetrahedral pyramid with the upper prism part of 1 m and with the height of 60 m. The detail drawings of the aerial support have been worked out at the Metal Structures Department of the Academy. The technique of test procedures of the aerial supports has been approved. The general scheme of the experimental plant and gauge length to study of the natural glazed ice and wind attacks has been offered. The given technique enables to provide the large-scale tests not only for the aerial supports but also for the power line supports, supportive and distributive devices, tower cranes to check the bearing capacity and deformability with real attached loads.

Keywords: aerial support, testing ground, technique, test, glazed ice and wind attacks, experimental plant, loading scheme, force, load, electrodynamicometers.

Введение

Строительство и проектирование антенных опор радиорелейной связи является сложной инженерной задачей, так как необходимо решить ряд проблем, связанных с учетом не только действия ветровых и гололедных нагрузок, но и сочетания гололедно-ветровых нагрузок и воздействий. Для изучения действительной работы антенных опор необходимо проводить масштабные натурные статические и динамические испытания на специализированных испытательных стендах. Поэтому для решения поставленных задач была разработана методика проведения испытаний на Полигоне ДонНАСА.

1. Задачи проведения испытаний

В задачи экспериментальных исследований [7] антенных опор входило:

- определение несущей способности антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий;

- определение деформативности антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий.

2. Объект исследования

В качестве объекта исследования принята четырехгранная узкобазая антенная опора АО-60 с раскосной решеткой из одиночных уголков. Опора представляет собой пространственную

стержневую ферму в виде правильной четырехгранной пирамиды с призматической верхней частью 1 м. Конструктивно ствол башни состоит из пирамидальных секций длиной 10 м и призматической этажерки с секциями по 5 м. Элементы секций соединяются болтами нормальной точности классом 5.6. Пояса смежных секций соединены между собой фланцами на болтах класса 5.6. Внутри башни проходит лестница с корзиной ограждения и с площадками отдыха в каждой секции, которые служат диафрагмами. Высота опоры составляла 60 м, размеры поперечного сечения по обухам 3,64×3,64 м (рис. 1). Пояса первой снизу секции опоры выполнены из уголка 140×12, затем сечение пояса изменяется посекционно на уголки 120×12, 90×8, 75×7. Сечения раскосов в пределах одной секции одинаковые: раскосы первой снизу секции выполнены из уголка 50×4, 50×5, 35×4, второй секции — 50×5, 35×4, третьей секции — 45×5, 35×4, четвертой секции — 40×5, 35×4, четвертой и пятой секции — 35×4. Материал элементов поясов, решетки и диафрагм — малоуглеродистая сталь С245 по табл. 50 СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» [6]. Опора запроектирована для III-го ветрового и IV-го районов по весу гололедных отложений по ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» [3]. Опора предназначена для установки 5-ти параболических антенн диаметром 1,2 м и одной антенны УКВ радиосвязи на отметке 60 м; 4-х параболических антенн диаметром 0,6 м и 6-ти антенн GSM-900 на отметках 20–40 метров.

Рабочие чертежи опоры разработаны на кафедре «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

3. Методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования осуществлялись на Полигоне испытаний линий электропередач и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [1, 2].

Общая схема экспериментальной установки для испытания опоры представлена на рис. 2. Испытываемая антенная опора 1 устанавливалась на силовой пол 2 с размерами в плане 24×24 м, воспринимающего рабочую вертикальную

нагрузку на отрыв и сжатие 3 000 кН, через опорные силовые балки 3, которые служат базой для испытываемой опоры 1. Для установки опоры 1 на силовой пол 2 использовался метод поворота опоры вокруг горизонтальных шарниров. С целью уменьшения нагрузки на силовую башню в момент отрыва опоры от земли, когда действуют максимальные нагрузки, применялся автомобильный кран КС-3575-1, который приподнял оголовок опоры на высоту 15–20 м. Балки устанавливались на три

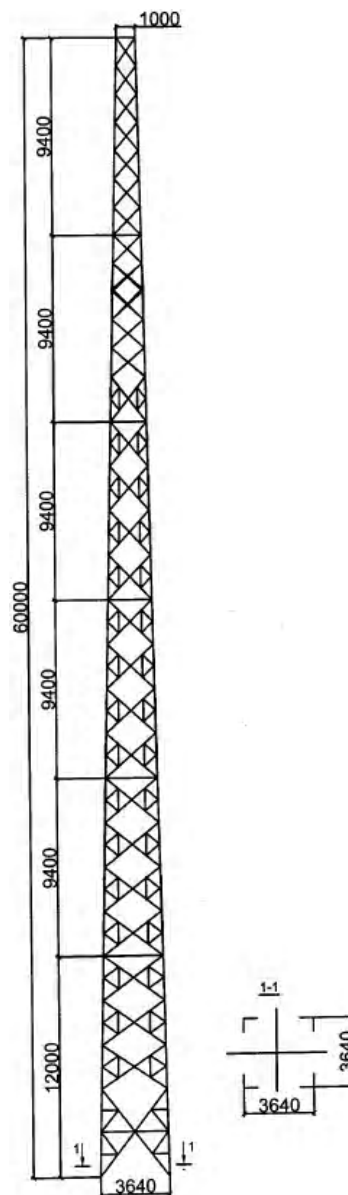


Рисунок 1. Схема антенной опоры АО-60.

тавра, которые выступают из силового пола 2 и крепятся к ним с помощью парных скоб. Это позволило расположить продольную ось балки с нужной привязкой относительно поперечной оси силового пола 2 с точностью 1 мм.

Нагрузка на опору создавалась силовыми башнями: нормального 4 и аварийного 5 режимов. Башни 4,5 предназначены для создания необходимого направления натяжного троса и поддержания этого направления во время нагружения испытываемой опоры 1. С помощью натяжного устройства создавались необходимые схемы нагружения опоры.

К натяжным устройствам предъявлялись требования:

- диапазон создаваемого усилия — от 0,1 до 30,0 кН;

- количество нагрузочных устройств — 12 шт.;
- рабочий ход натяжного троса — 6 м.

Натяжные устройства состоят из полиспаста 6, ручных лебедок 7 и натяжных тросов 8. Расположение тросов представлены на рис. 3 и 4. Неподвижные блоки полиспастов натяжных устройств устанавливались на силовых фермах 9, размещенных за силовыми башнями 4, 5. На рабочей поверхности силовых ферм 9 с шагом 1 м размещены узлы для крепления неподвижных блоков полиспастов 6. Место установки неподвижных блоков полиспастов 6 определялось при разработке технологических карт на расположение испытательного оборудования и оснащения.

Натяжение рабочего троса полиспастов 6 осуществляется ручными лебедками 7 грузо-

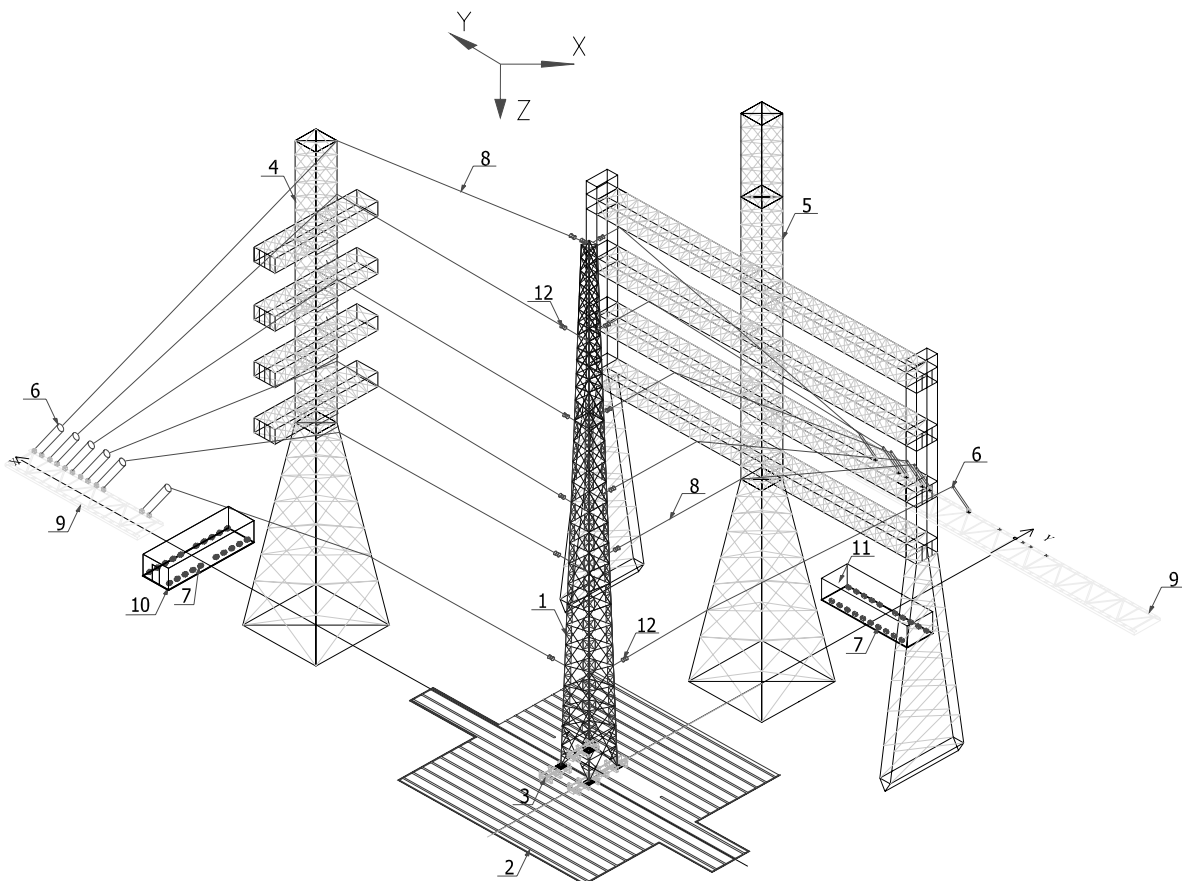


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки для испытания антенной опоры АО-60: 1 — испытываемая опора; 2 — универсальный силовой пол; 3 — опорные силовые балки; 4 — силовая башня нормального режима; 5 — силовая башня аварийного режима; 6 — полиспаст; 7 — ручные лебедки; 8 — натяжные тросы; 9 — силовые фермы; 10 — силовая площадка для полиспастов нормального режима; 11 — силовая площадка для полиспастов аварийного режима; 12 — электрические динамометры растяжения.

подъёмностью 5 т. Лебедки установлены на силовых площадках нормального 10 и аварийного 11 режимов между силовыми башнями 4, 5 и силовыми фермами 9. На силовых площадках нормального 10 и аварийного режимов 11 использовалось по шесть лебедок 7. Рабочий трос 8 полиспастов 6 к лебедке 7 подходил со стороны силовых ферм 9. Натяжной трос 8 устанавливался между подвижной обоймой полиспаста 6 и электрическим динамометром растяжения 12. Диаметр троса подбирался в зависимости от усилия, создаваемого натяжным устройством.

Из рис. 3. видно, что трос в точке 1Р расположен под углом $\alpha_x = 7^{\circ}36'$. Поэтому усилия в нагрузочных динамометрах должны быть откорректированы, как показано на рис. 5.

Нагрузочные испытания моделировались для схем загрузки [8, 9, 10, 11]:

- а) 1-я схема загрузки — ветер под 90° , собственная масса и вес оборудования (рис. 6);
- б) 2-я схема загрузки — ветер под 45° , соб-

ственная масса и вес оборудования (рис. 7);

- в) 3-я схема загрузки — 0,25 от максимального действия ветра на одну грань, собственная масса, вес оборудования и гололед по ДБН [3] (рис. 8);

- г) 4-я схема загрузки — 0,25 от максимального действия ветра на одну грань, собственная масса, вес оборудования и гололед с уточненным коэффициентом μ_2 (рис. 9).

Загрузки опоры производилось пятью ступенями: 50, 75, 90, 95 и 100 % от предельных нагрузок по МЭК 652 — «Испытание опор воздушных линий электропередачи механическими способами» [5].

Усилия X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3, X4, Y4, X5, Y5, X6 и Y6 контролировались электрическими динамометрами растяжения 12 с диапазоном измерений 30, 50 и 100 кН. Маркировка и направление нагрузок представлены на рис. 11. Электрические динамометры 12 присоединялись к автоматизированному комплексу управления испытаниями (рис. 10).

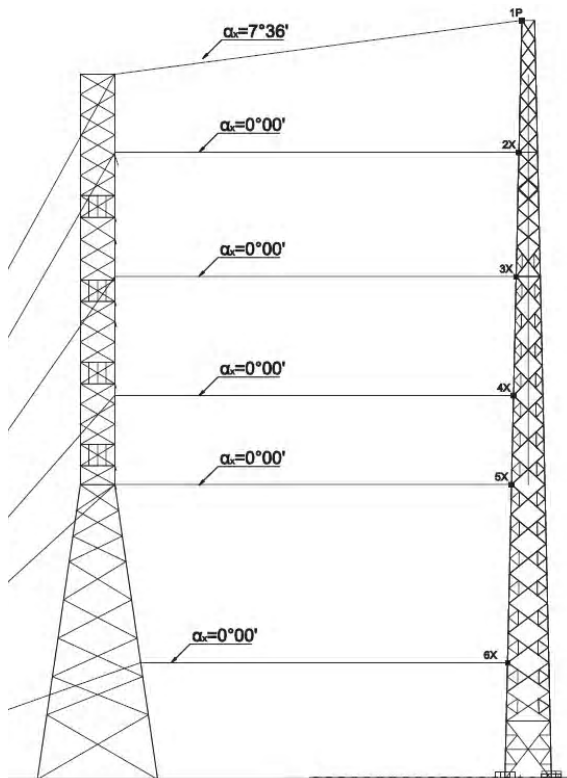


Рисунок 3. Расположение натяжных тросов под углами, вид на силовую башню нормального режима.

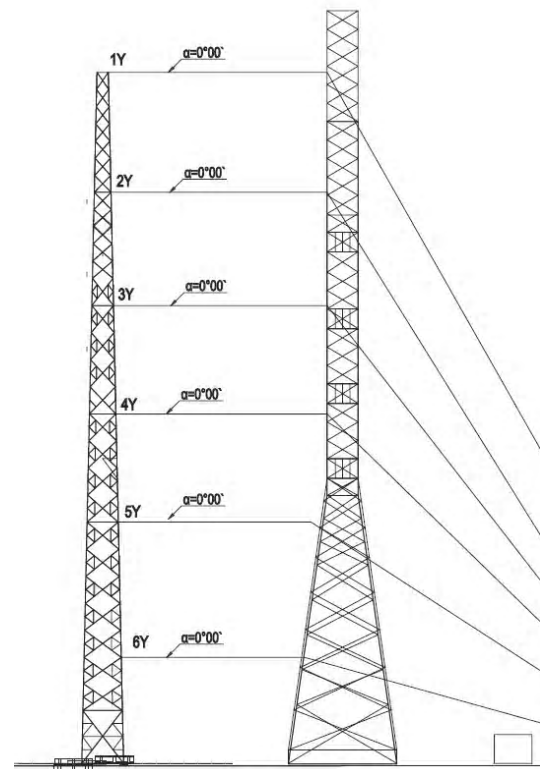
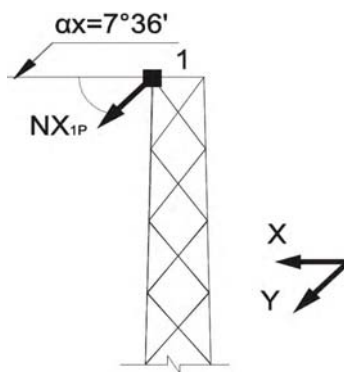


Рисунок 4. Расположение натяжных тросов под углами, вид на силовую башню аварийного режима.



Точка «1Р»
 $NX_{1P} = X_{1P} / \cos 7^{\circ}36' = X_{1P} / 0,99$

Рисунок 5. Расположение натяжного троса в точке 1Р под углом $\alpha_x = 7^{\circ}36'$.

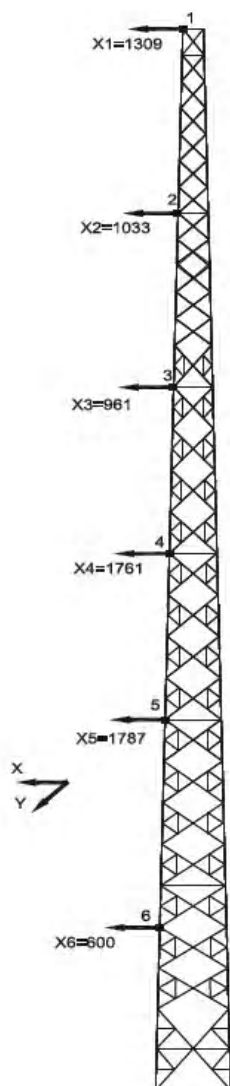


Рисунок 6. Схема загрузки № 1 (Ветер 90° + собственный вес + вес оборудования); 2 – номер точки; X2, Y2 – нагрузка по направлению X, Y в [кг].

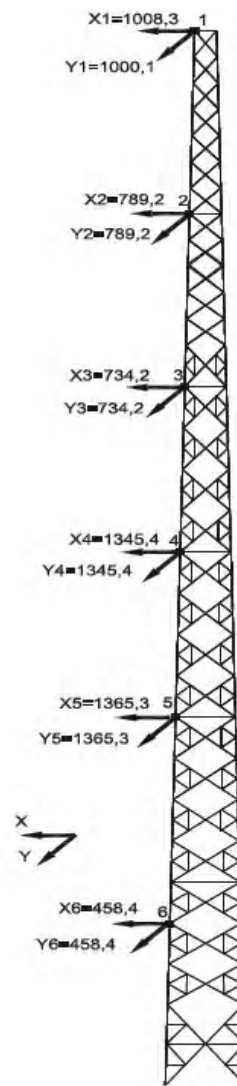


Рисунок 7. Схема загрузки № 2 (Ветер 45° + собственный вес + вес оборудования); 2 – номер точки; X2, Y2 – нагрузка по направлению X, Y в [кг].

Информация о текущих значениях усилий, контролируемых электрическими динамометрами 1 через тензометрическую систему 2, формировалась персональным компьютером ПК 3. Текущее значение усилия в процентах передавалось на электронное табло 4 ручными лебедками 5 соответствующего нагрузочного устройства.

В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась тензометрическая система «СИИТ-3» с ценой деления в относительных деформациях 1×10^{-6} , объединенных через

групповой коммутатор. Информация с тензосистемы передавалась на ПК программным комплексом «KRASS» (рис. 13).

Проверка электрических динамометров растяжения 1 была выполнена с помощью контрольной тарировки на образцовом динамометре ДОР 3-10 таблица 1.

Продольные и поперечные отклонения опоры в точке 1 для каждой ступени нагружения контролировались с двух станций теодолитами 2Т30 (рис. 12) [65].

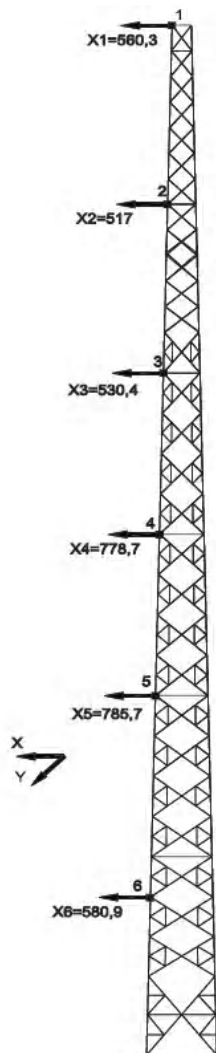


Рисунок 8. Схема загрузки № 3 (0,25 ветер + собственный вес + вес оборудования + гололед ДБН): 2 – номер точки; X2, Y2 – нагрузка по направлению X, Y в [кг].

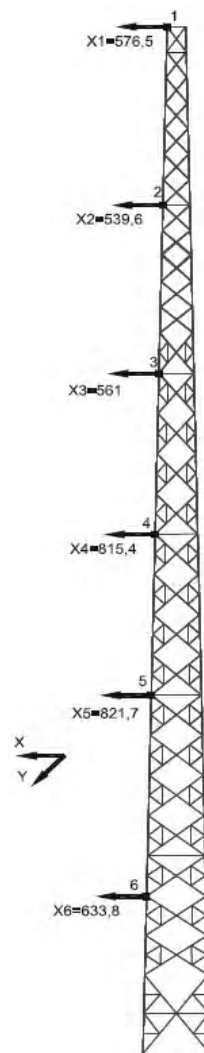


Рисунок 9. Схема загрузки № 4 (0,25 ветер + собственный вес + вес оборудования + гололед эксперимент): 2 – номер точки; X2, Y2 – нагрузка по направлению X, Y в [кг].

Выводы:

1. Разработана экспериментальная установка, алгоритм, автоматизированный комплекс и методика проведения испытаний антенных опор на Полигоне ДонНАСА.

2. Представленная методика позволяет проводить натурные испытания:

- металлических, железобетонных, деревянных от одно- до четырехцепных опор;
- антенных опор;
- опорно-распределительных устройств;
- осветительных опор;
- башенных кранов в рабочем (вертикальном) положении, высотой до 70 м и размерами основания 24×24 м суммарной рабочей нагрузкой по расчетному направлению 300 т.

Литература

1. Аэродинамика электромережних конструкцій / [Горохов Є. В., Казакевич М. І., Шаповалов С. М., Назім Я. В.] ; за ред. Є. В. Горохова, М. І. Казакевича. – Донецьк, 2000. – 336 с. – ISBN 966-7477-19-3.
2. Вітрові та ожеледі впливи на повітряні лінії електропередачі / [Горохов Є. В., Казакевич М. І., Турбін С. В., Нашім Я. В.] ; за ред. Є. В. Горохова. – Донецьк, 2005. – 348 с. – ISBN 966-7477-50-9.
3. Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования : ДБН В.1.2-2:2006 / Минстрой Украины. – Офіц. изд. – К. : Минстрой Украины, 2006. – ил., табл. – (Нормативный документ Минстрой Украины). – 59 с.
4. Зайцев А. К. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / Зайцев А. К. – М. : Недра, 1991. – 272 с.

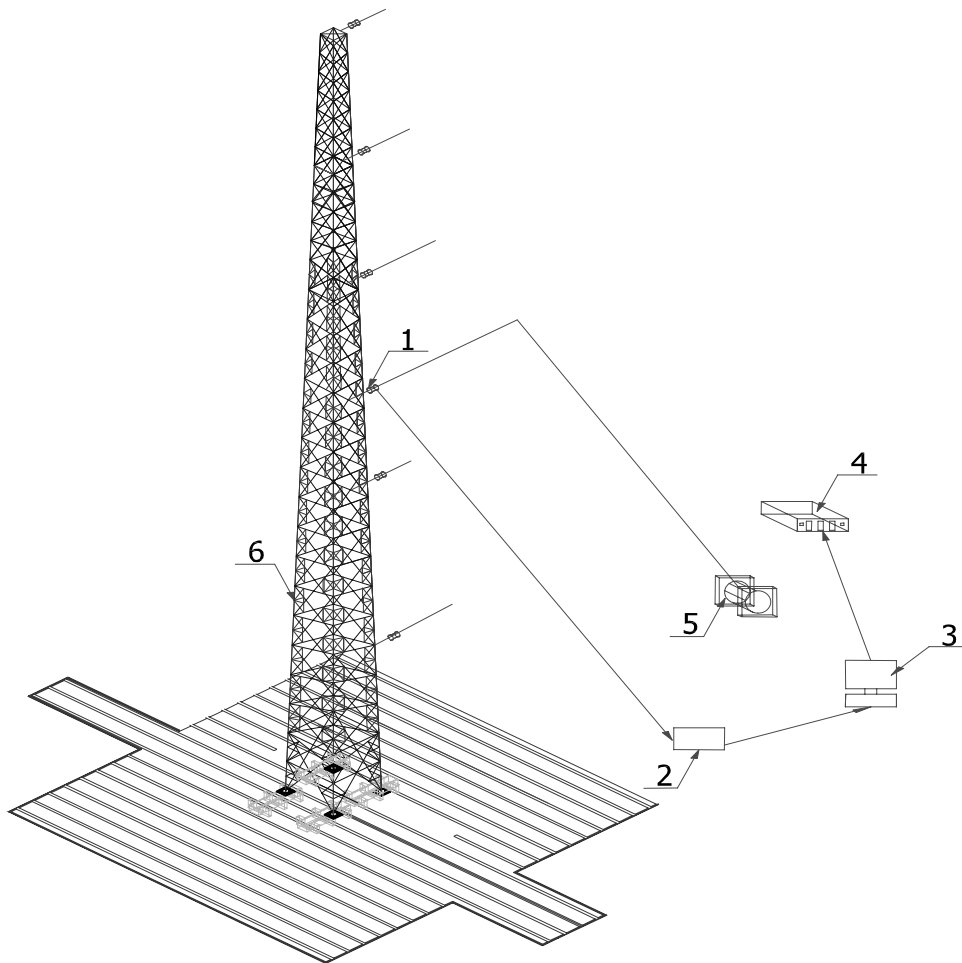


Рисунок 10. Схема автоматизированного комплекса управления испытаниями: 1 – электрические динамометры растяжения; 2 – тензометрическая система «СИИТ-3»; 3 – персональный ПК; 4 – электронное табло; 5 – ручные лебедки; 6 – испытываемая опора АО-60.

5. Стальные конструкции : СНиП II-23-81* / ЦИТП Госстроя СССР. – Офиц. изд. – М. : ЦИТП : Госстрой СССР, 1991. – 96 с.
6. Тетиор А. Н. Обследование и испытание сооружений / Тетиор А. Н., Померанец В. Н. – К. : Вища шк., 1988. – 207 с.
7. AIJ Recommendations for Loads on Buildings / Architectural Institute of Japan. – Tokyo. : AIJ, 1996. – pp. 83–112.
8. Basic of design and actions on structures: DIN V ENV 1991-1, Eurocode 1. – Part 1: Basic of design. German version ENV 1991-1:1994. – NA Bauwessen, 1995. – 55 p.
9. Interaction of Wind with the Ice-Covered Members: Proc. 12th Congress IABSE / M. Kazakevitch, I. Grafsky. – Vancouver, 1984. – pp. 853–857.
10. Misuse of standards: why wind damage occurs at low wind speeds? Proc of the 4th UK Conf. on Wind Engineering. Victoria Rooms / Freathy P. E. – Bristol, 1998. – pp. 201–202.

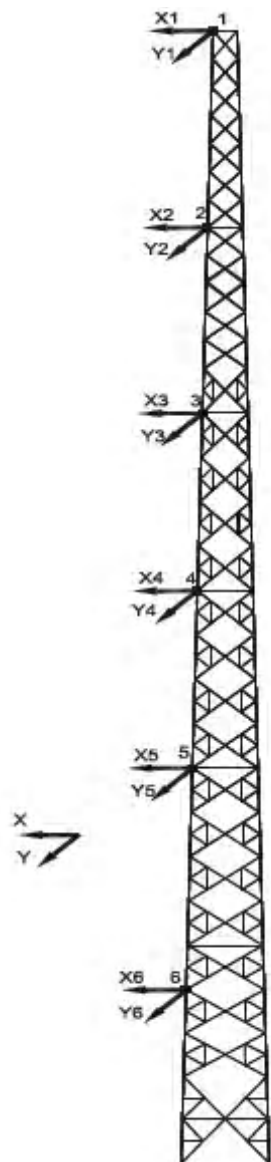


Рисунок 11. Маркировка и направление нагрузки.

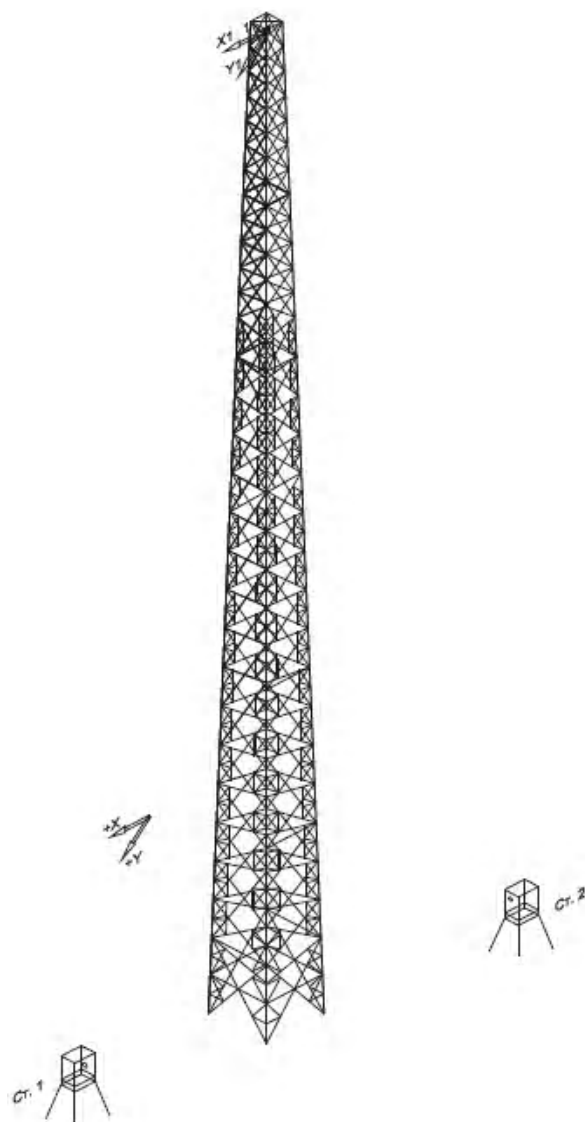


Рисунок 12. Контролируемые линейные смещения точки 1.

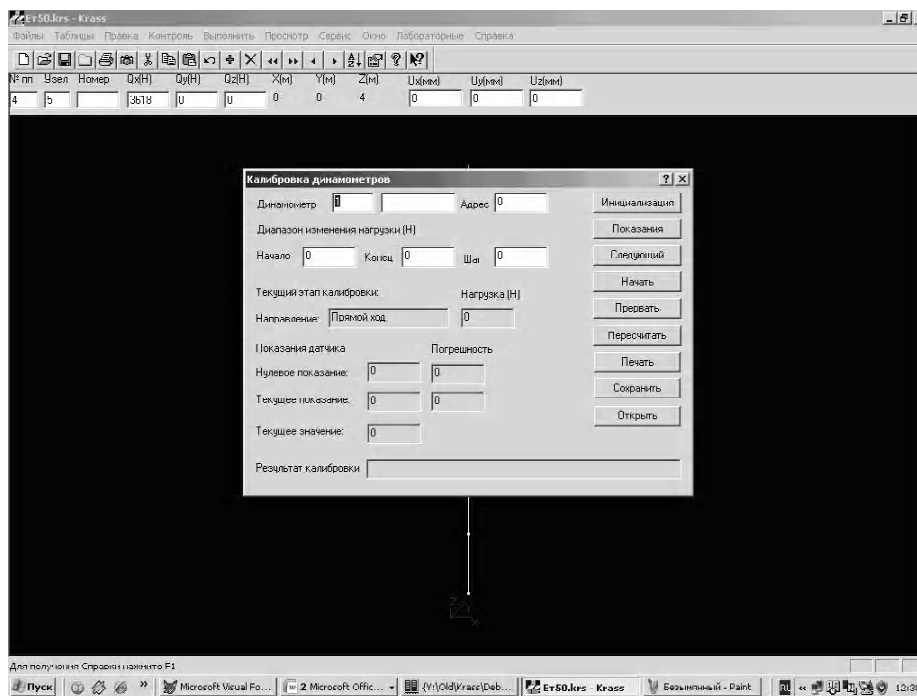


Рисунок 13. Программа сбора данных «KRASS».

Таблица 1. Тарировка нагрузочных динамометров ДОР–3-10.

| Calibration of load cell | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Load cell | Calibration load (kg) | | | | | | | | | |
| | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 10000 |
| 03-02 | 1009 | 1986 | 2986 | | | | | | | |
| 03-03 | 1007 | 1989 | 3012 | | | | | | | |
| 03-08 | 1010 | 2090 | 2987 | | | | | | | |
| 03-06 | 1009 | 1998 | 3007 | | | | | | | |
| 03-17 | 1012 | 2012 | 3008 | | | | | | | |
| 03-21 | 1014 | 1989 | 3008 | | | | | | | |
| 05-05 | 1005 | 1990 | 3002 | 3998 | 5002 | | | | | |
| 10-01 | 995 | 1992 | 3009 | 4004 | 5050 | 6035 | 6979 | 8036 | | |
| 10-05 | 1012 | 2020 | 2995 | 3985 | 5019 | 5978 | 7030 | 7977 | | |
| 10-06 | 1011 | 1990 | 3022 | 3980 | 5023 | 5935 | 7034 | 8043 | | |
| 10-07 | 1018 | 2019 | 2998 | 4030 | 4985 | 6032 | 7040 | 7970 | | |
| 10-08 | 1009 | 1986 | 2985 | 4015 | 5006 | 5994 | 7027 | 8030 | | |
| 10-10 | 1011 | 1988 | 2983 | 4022 | 5012 | 6034 | 7039 | 8031 | | |
| 10-11 | 989 | 2015 | 3021 | 4019 | 4980 | 5989 | 7011 | 8007 | | |

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 школи та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету з вивчення 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 випробувань будівельних конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Лауреат Державної премії. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження робіт опор ліній електропередачі; регулювання і облік внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

Альохін Андрій Михайлович — к.т.н., викладач кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ожеледні навантаження та впливи на будівельні конструкції; надійність повітряних ліній електропередачі, випробування будівельних конструкцій.

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.

Василев 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 работ опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатанного проката в строительных конструкциях.

Алехин Андрей Михайлович — к.т.н., преподаватель кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: гололедные нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи, испытание всех видов строительных конструкций.

Evgeny V. Gorokhov — doctor of engineering sciences, Head of the Department «Metal Structures», 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.

Volodymyr M. Vasylev — Ph. D. (Eng.), a lecturer of the Department «Metal Structures», head of the Laboratory of testing building structures and building of the 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.

Andrii M. Alokhin — Ph. D. (Eng.), a lecturer of the Department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: icing loads on building structures, reliability of overhead power transmission lines, testing of all types of building structures.