



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2013, ТОМ 19, НОМЕР 1, 15–25

УДК 621.315.1:624.014

(13)-0279-1

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ ХРЕСТОВОЇ РЕШІТКИ ПРИ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ОПОРИ ПЛ НА ПОЛІГОНІ ДонНАБА**

**В. М. Василев<sup>1</sup>, Є. В. Шевченко<sup>2</sup>, А. В. Танасогло<sup>3</sup>, А. М. Альохін<sup>4</sup>**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,*

*вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> mailbox@dgasa.dn.ua, <sup>2</sup> sodrujestvo3@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru, <sup>4</sup> alyokhin\_20@mail.ru*

*Отримана 16 січня 2013; прийнята 22 лютого 2013.*

**Анотація.** У статті наведена методика визначення переміщень вузлів металевих анкерно-кутових опор повітряної лінії (ПЛ) при натурних випробуваннях на Полігоні випробувань ліній електропередачі і баштових споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури (Полігон ДонНАБА). Виконано аналіз деформованого стану опори ПЛ У220-2+9, що розглядається як просторова багатозово статично невизначена наскрізна система із шарнірними вузлами. Наводяться результати визначення переміщень вузлів робочих і неробочих граней опори в програмному комплексі «SCAD». При визначенні переміщень аналізується спільна робота елементів решітки опори ПЛ, враховується підтримувальний вплив розтягнутих розкосів решітки. На підставі отриманих результатів виконано детальне порівняння експериментальних значень переміщень вузлів другої низу панелі з переміщеннями, визначеними в ПК «SCAD». Представлена методика дозволяє отримувати переміщення вузлів не тільки опор ПЛ, але й антенних опор і відкритих розподільчих пристроїв для перевірки деформативності всієї конструкції у нормальному та аварійному режимах роботи.

**Ключові слова:** повітряна лінія електропередачі, полігон, випробування, експериментальне устаткування, металева опора, розрахункові навантаження.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ КРЕСТОВОЙ РЕШЕТКИ ПРИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ОПОРЫ ВЛ НА ПОЛИГОНЕ ДонНАСА**

**В. Н. Васылев<sup>1</sup>, Е. В. Шевченко<sup>2</sup>, А. В. Танасогло<sup>3</sup>, А. М. Алёхин<sup>4</sup>**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> mailbox@dgasa.dn.ua, <sup>2</sup> sodrujestvo3@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru, <sup>4</sup> alyokhin\_20@mail.ru*

*Получена 16 января 2013; принята 22 февраля 2013.*

**Аннотация.** В статье приведена методика определения перемещений узлов металлических анкерно-угловых опор воздушной линии (ВЛ) при натурных испытаниях на Полигоне испытаний линий электропередачи и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (Полигон ДонНАСА). Выполнен анализ деформированного состояния опоры ВЛ У220-2+9, которая рассматривается как пространственная многократно статически неопределимая сквозная система с шарнирными узлами. Приводятся результаты определения перемещений узлов рабочих и неробочих граней опоры в программном комплексе «SCAD». При определении перемещений анализируется совместная работа элементов решетки опоры ВЛ, учитывается поддерживающее влияние растянутых раскосов решетки. На основании полученных результатов выполнено детальное сравнение

экспериментальных значений перемещений узлов второй снизу панели с перемещениями, определенными в ПК «SCAD». Представленная методика позволяет определять перемещения узлов не только опор ВЛ, но и антенных опор и открытых распределительных устройств для проверки деформативности всей конструкции в нормальном и аварийном режимах работы.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, полигон, испытание, экспериментальная установка, металлическая опора, расчетные нагрузки.

## STUDY OF SPATIAL OPERATION OF THE LATTICE CROSS COMPONENTS IN FULL-SCALE TESTS OF AN OPTL SUPPORT ON THE TESTING GROUND OF DonNACEA

Volodymyr Vasylev <sup>1</sup>, Yevgeny Shevchenko <sup>2</sup>, Anton Tanasoglo <sup>3</sup>, Andrei Alyokhin <sup>4</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

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

*E-mail: <sup>1</sup> mailbox@dgasa.dn.ua, <sup>2</sup> sodrujestvo3@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru, <sup>4</sup> alyokhin\_20@mail.ru*

*Received 16 January 2013; accepted 22 February 2013.*

**Abstract.** There is given a design procedure of definition of central displacements of metal dead-end supports of overhead power transmission lines (OPTL) in full-scale tests on the testing ground of tests of overhead power lines and tower structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (the Testing ground of DonNACEA). There is analyzed a mode of deformation of an OPTL support U220-2+9 which is considered as a spatial multiple indeterminate open system with flexible joints. There is given design data of central displacements of working and non-working support faces in the software package «SCAD». In definition of central displacements there is analyzed a joint operation of the lattice components of an OPTL support, supporting influence of the stretched lattice diagonal element members is taken into account. On the base of received results there was thoroughly compared the experimental values of central displacements of the second panel from below and the ones specified in the software package «SCAD». The given technique enables to define the central displacements not only for OPTL supports but also for the antenna supports and open switching centres to check the deformability of construction in normal and emergency operating modes.

**Keywords:** overhead power transmission line, testing ground, test, experimental unit, metal support, design loads.

### Введение

Расчет и проектирование металлической решетчатой опоры ВЛ с учетом всех ее свойств, точных геометрических размеров, строгого взаимодействия элементов в узлах является сложной инженерной задачей [4, 6, 8]. Для ряда расчетов опор линий электропередачи необходимо определять прогибы, углы поворота и углы закручивания элементов решетки [5]. Знание прогибов опор необходимо и для подсчета ветровой нагрузки на опоры, и для построения упругой линии ствола опоры, что бывает весьма полезно для контроля правильности выбора его размеров [12, 16, 17]. Резкое изменение кривизны упругой линии свидетельствует о недостаточной ширине ствола в этом месте.

Совершенствование методик расчета опор ВЛ возможно путем уточнения усилий и перемещений элементов конструкции при натуральных испытаниях. Поэтому необходимо проводить масштабные статические и динамические испытания на специализированных испытательных полигонах электросетевых конструкций для исследования действительной работы решетчатых опор башенного типа.

### Определение деформаций решетчатых металлических опор

Общим способом для определения прогибов, углов поворота сечений и углов закручивания стержневых систем является способ расчета

деформаций по формуле Максвелла – Мора, которая может быть представлена в следующем обобщенном виде [2, 3]:

$$\theta = \sum_1^n \left( \frac{S \cdot S_1}{EF} \cdot l \right)_i, \quad (1)$$

где  $\theta$  – обобщенная деформация (прогиб, угол);

$S$  – усилие в стержне от нагрузки, вызвавшей деформацию;

$S_1$  – усилие в стержне конструкции от действия единичной силы.

В практике проектирования опор ВЛ для определения перемещений узлов применяют, взамен расчета по универсальной формуле Мора, менее трудоемкий приближенный способ расчета [2], который заключается в том, что решетчатые стволы металлических опор рассматриваются как брусья с моментом инерции  $I$ , определяющимся площадью сечения поясов и расстоянием между ними.

В опорах ВЛ секция может быть нагружена или горизонтальной силой  $P$ , или изгибающим моментом  $M$  (рис. 1). Распределенная ветровая нагрузка, действующая на опору, с достаточной

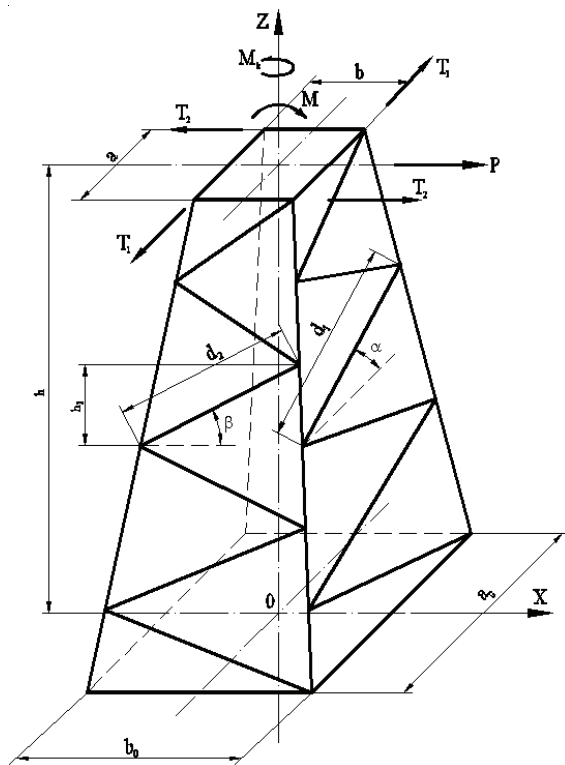


Рисунок 1. К определению деформаций решетчатых стоек под действием нагрузки.

степенью точности может быть заменена рядом сосредоточенных сил, приложенных на границах участков.

Если начало координат принять в центре нижнего сечения секции, то момент инерции ее в любом сечении, отстоящем на расстоянии  $z$  от начала координат, выразится формулой:

$$I_z = F_{II} \cdot b_z^2 = F_{II} \cdot (b_0 - kz)^2, \quad (2)$$

$$k = \frac{b_0 - b}{h}, \quad (3)$$

где  $b$  – верхняя база грани;

$b_0$  – нижняя база грани;

$h$  – высота грани.

В случае действия сосредоточенной силы, приложенной в верхнем сечении секции, прогиб верхнего сечения по отношению к нижнему (без учета влияния решетки) определится выражением:

$$f_P = \frac{P}{E} \cdot \int_0^h \frac{(h-z)^2}{I_z} dz. \quad (4)$$

Подставляя значение  $I_z$  из формулы (2) в формулу (4), получим прогиб верхнего сечения секции:

$$f_P = \frac{P}{EF_{II}} \cdot \int_0^h \frac{(h-z)^2}{(b_0 - kz)^2} dz. \quad (5)$$

В результате интегрирования функций в пределах от 0 до  $h$  и ряда преобразований формула (5) может быть приведена к следующему виду:

$$f_P = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot EI_{эфP}} = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot EF_{II} \cdot b_{эфP}^2}, \quad (6)$$

где  $b_{эфP}$  – расчетная база призматической секции, эквивалентная данной пирамидальной.

Относительные значения эквивалентных расчетных баз  $b_{эф}$  в долях от нижней базы  $b_0$  даны в [2].

Влияние решетки можно учесть приближенно, введя коэффициент  $\mu$ , уменьшающий значение момента инерции, после чего формула для определения прогиба (6) примет вид:

$$f_P = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot \mu \cdot F_{II} \cdot b_{эфP}^2}. \quad (7)$$

Проиллюстрируем изложенную приближенную методику определения перемещений

узлов на примере нижней секции ( $h = 18$  м) двухцепной анкерно-угловой опоры УЗ30-2+9.

Расчет перемещений нижней секции опоры выполняется двумя способами: с помощью ПК «SCAD» и «ЛИРА» и с помощью приближенной методики в соответствии с [2] на нагрузки для 3-го ветрового района для нормального и аварийного режимов работы, принятых по расчетному листу опоры УЗ30-2.

На рисунке 2 показаны продольные усилия  $N$  (т) нормального режима, а на рисунке 4 – продольные усилия  $N$  (т) аварийного режима в элементах в месте сопряжения верхней и нижней секций опоры.

Таким образом, нагрузки нормального режима на конструкцию нижней части опоры

представлены двумя парами вертикальных сил  $V$  и четырьмя горизонтальными силами  $H$  (рис. 3), а нагрузки аварийного режима – двумя парами вертикальных сил  $V$  и четырьмя горизонтальными силами  $H$  и  $S$  (рис. 5), которые являются реакциями верхней отсеченной части опоры УЗ30-2+9.

В результате расчета получены перемещения узлов нижней секции опоры каждой панели. Значения перемещений представлены в табл. 1.

Вывод: приближенный способ определения прогибов позволяет последовательно определить прогибы всех сечений опоры по высоте, однако требует достаточно больших затрат времени для выполнения расчетов. Такой прием

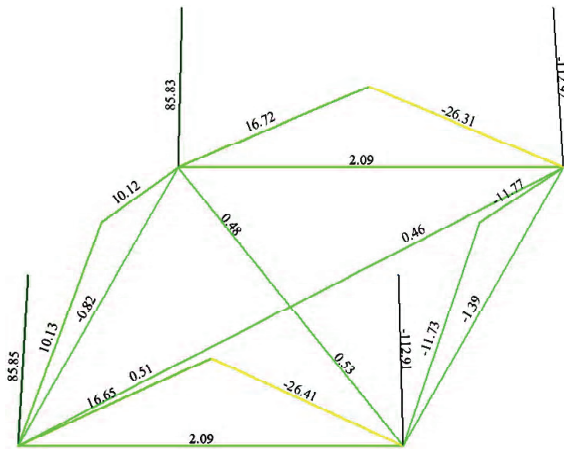


Рисунок 2. Продольные усилия  $N$  (т) для нормального режима.

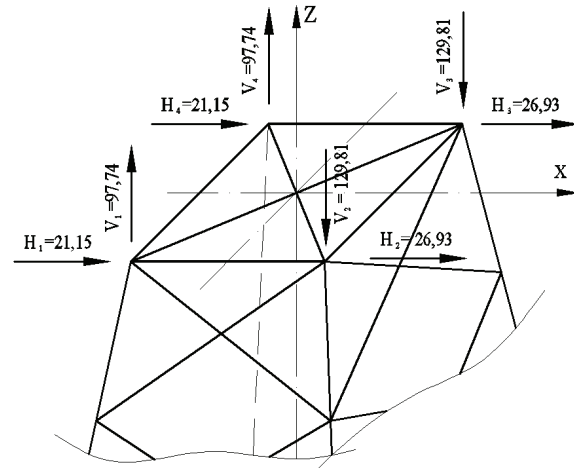


Рисунок 3. Схема приложения реакций верхней части для нормального режима.

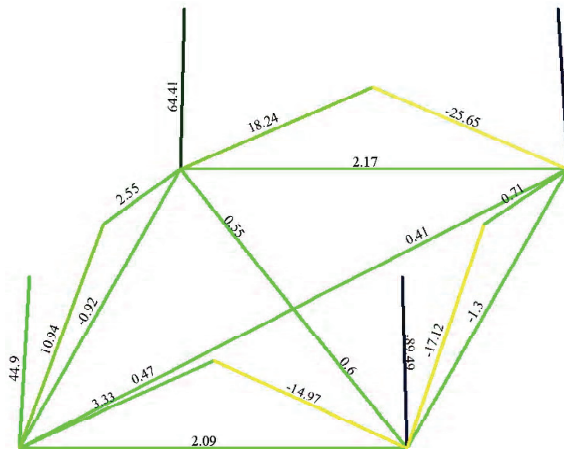


Рисунок 4. Продольные усилия  $N$  (т) для аварийного режима.

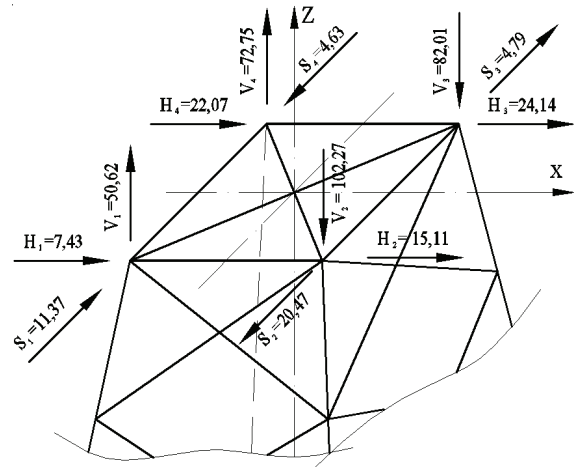


Рисунок 5. Схема приложения реакций верхней части для аварийного режима.

**Таблица 1.** Перемещения узлов нижней секции опоры УЗ30-2+9

Отметка панели h, м	Перемещения узлов в плоскости приложения нагрузки, мм					
	ПК «SCAD»		ПК «ЛИРА»		Приближенный метод	
	Нормальный режим	Аварийный режим	Нормальный режим	Аварийный режим	Нормальный режим	Аварийный режим
0	0	0	0	0	0	0
4,6	2,1	0,8	1,9	0,6	1,4	1,0
8,63	6,8	3,7	7,0	3,9	4,9	3,5
11,85	12,6	7,3	12,5	7,1	9,3	6,6
15,53	21,7	13,2	21,7	13,0	16,0	11,4
18	29,7	18,6	30,1	18,3	21,4	15,3

расчета равносильно учету изгибных деформаций только в поясах. Для учета влияния решетки в определенный расчет момент инерции вводится поправочный коэффициент  $\mu$ , который не в полной мере учитывает влияние решетки на перемещение опоры в целом, что дает заниженные значения перемещений по сравнению с машинным расчетом.

Приближенный способ не позволяет отследить пространственную работу конструкции, поскольку ствол опоры рассматривается как

консоль со ступенчатым изменением момента инерции. Поэтому в настоящее время расчеты перемещений пространственных систем с большим количеством элементов выполняются в специализированных программных комплексах. Однако для проверки правильности расчетов и изучения действительной работы как конструкции опоры в целом, так и ее отдельных элементов необходимо проводить натурные испытания на полигонах электросетевых конструкций.



**Рисунок 6.** Общий вид испытываемой опоры У220-2+9.

### Методика проведения экспериментальных исследований

**Целью данной работы** является анализ пространственной работы крестовой решетки при натурных испытаниях двухцепной анкерно-угловой опоры ВЛ У220-2+9 (рис. 6) на Полигоне испытаний высоковольтных линий электропередачи и башенных сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Полигон включает испытательный стенд и несколько вспомогательных сооружений [1]. Общая схема экспериментальной установки для испытания опоры У220-2+9 представлена на рисунке 7.

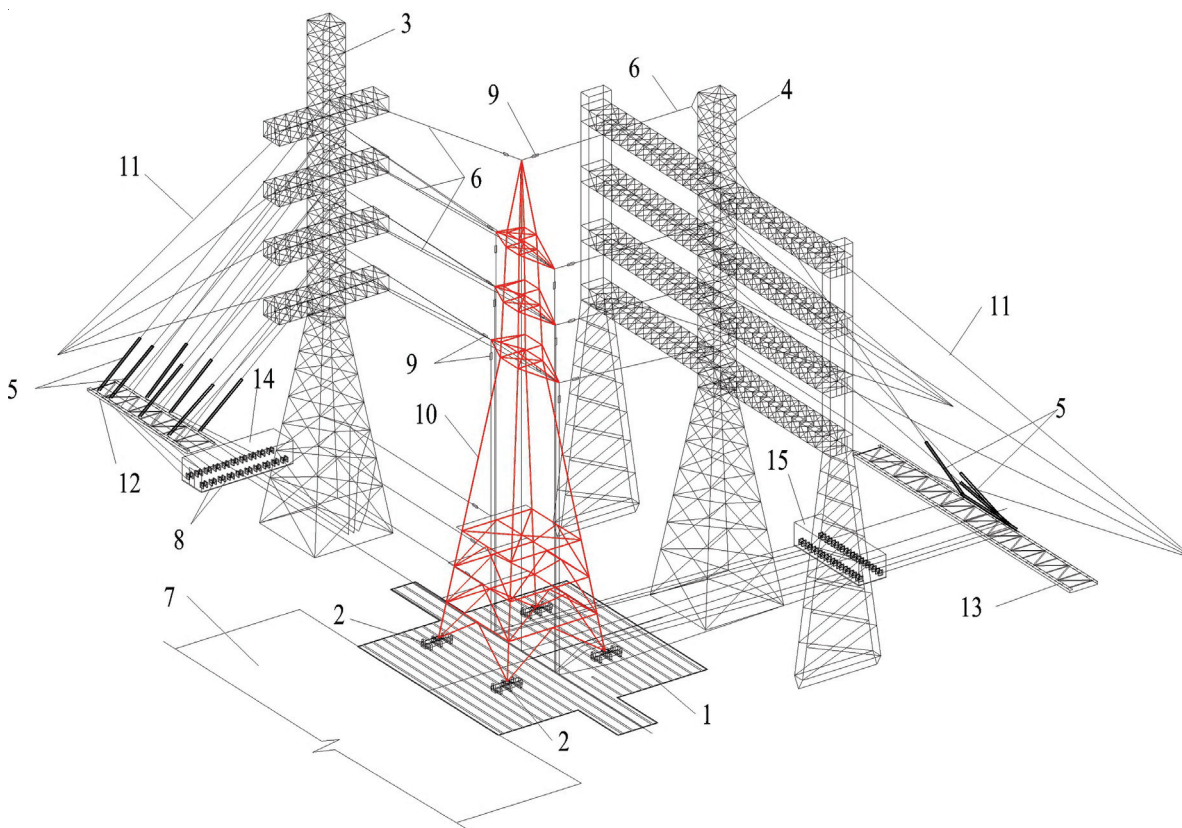
В ходе испытаний выполнялись замеры перемещений узлов решетки опоры. Для этого в узлы второй снизу панели устанавливались металлические линейки (рис. 9). Цена деления линейки – 0,5 мм, т. е. погрешность результатов измерений не превышала 0,5 мм. Измери-

тельные линейки были установлены по 4-м граням в 5 точках (рис. 8). Таким образом, проводились измерения перемещений 20 узлов решетки опоры.

Замеры проводились с 4-х теодолитных станций (т. ст.), расположенных в 15 метрах от испытываемой опоры (рис. 10). На станциях устанавливались геодезические приборы – теодолиты 2Т30. Показания приборов снимались при каждой ступени нагружения.

Определение перемещений крестовой решетки опоры У220-2+9 выполнялось для нормального и аварийного режимов, т. е. при двух схемах нагружений.

В результате натурных испытаний опоры У220-2+9 и камеральной обработки данных теодолитов получены перемещения узлов решетки второй снизу панели по 4-м граням в нормальном (табл. 2) и аварийном режимах (табл. 3).



**Рисунок 7.** Схема Полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ДонНАСА: 1 – силовой пол; 2 – опорные силовые балки; 3 – силовая башня нормального режима; 4 – силовая башня аварийного режима; 5 – полиспасты натяжного устройства; 6 – тросы натяжного устройства; 7 – монтажная площадка; 8 – ручные лебедки натяжных устройств; 9 – электрические динамометры; 10 – испытываемая опора У220-2+9; 11 – оттяжки; 12 – силовые фермы нормального режима; 13 – силовые фермы аварийного режима; 14 – силовая площадка башни нормального режима; 15 – силовая площадка башни аварийного режима.

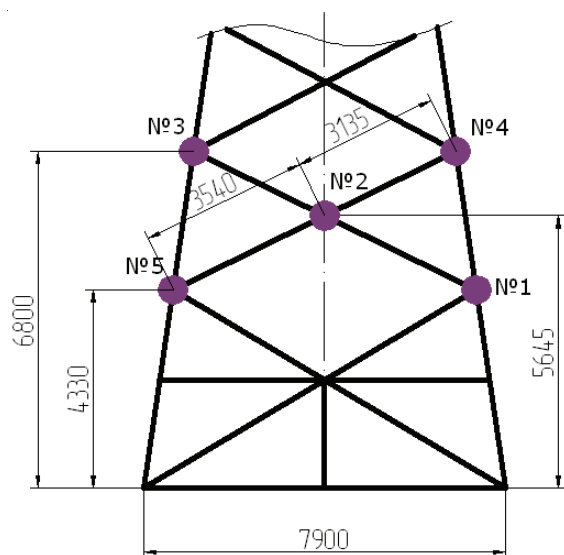


Рисунок 8. Схема размещения металлических линеек на грани опоры.



Рисунок 9. Общий вид металлической линейки для определения перемещений.

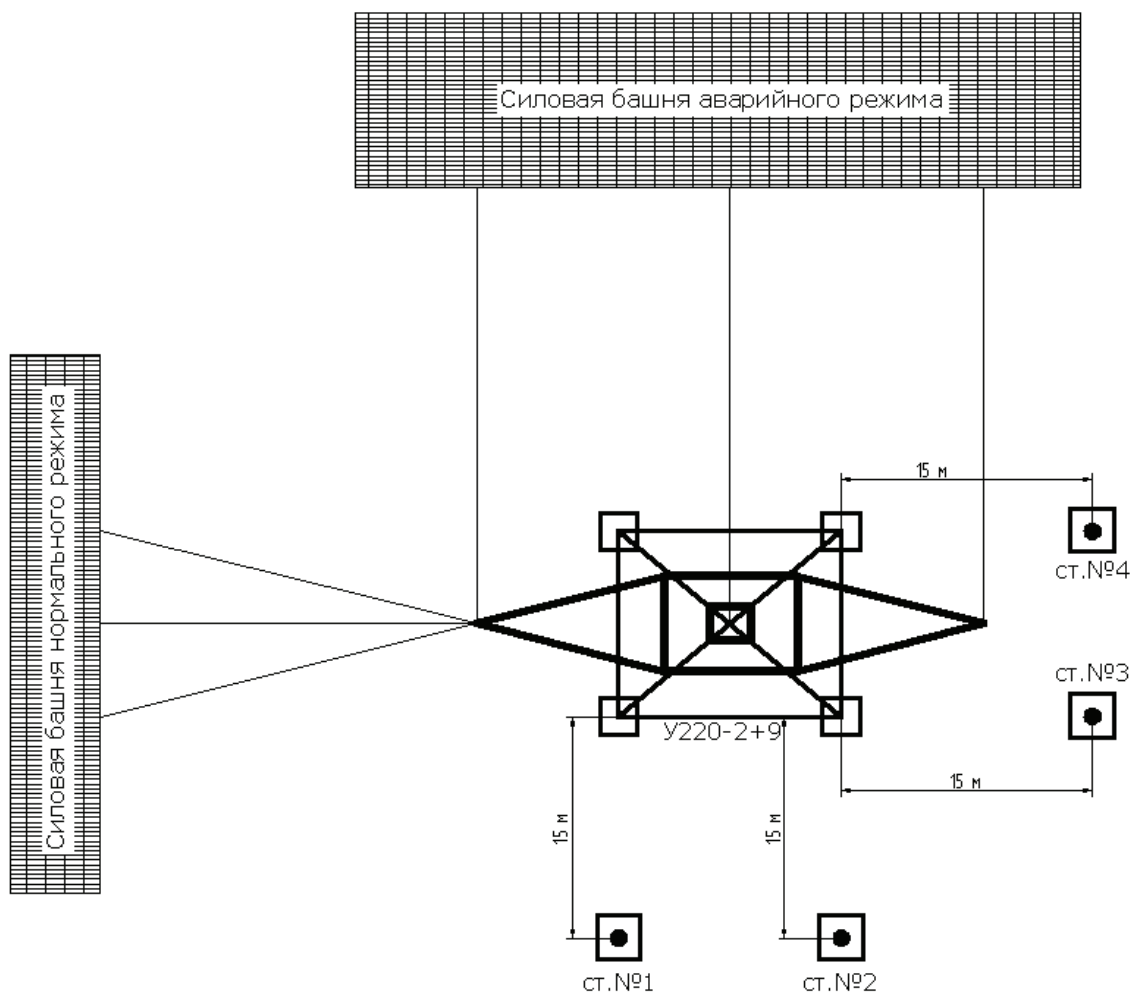


Рисунок 10. План размещения теодолитных станций.

Таблица 2. Перемещения расчетных точек опоры У220-2+9 в нормальном режиме

Расчетная точка	Перемещения точек по граням опоры, мм *			
	Грань 1 (т. ст. № 3)	Грань 2 (т. ст. № 2)	Грань 3 (т. ст. № 4)	Грань 4 (т. ст. № 1)
1	$\frac{1,7}{2,6}$	$\frac{7,0}{2,6}$	$\frac{2,7}{2,3}$	$\frac{6,3}{2,3}$
2	$\frac{2,4}{4,0}$	$\frac{10,9}{3,0}$	$\frac{4,6}{4,0}$	$\frac{12,5}{7,8}$
3	$\frac{2,0}{6,4}$	$\frac{9,2}{6,4}$	$\frac{2,4}{6,3}$	$\frac{10,7}{6,4}$
4	$\frac{2,1}{6,4}$	$\frac{12,5}{6,3}$	$\frac{2,9}{6,4}$	$\frac{13,1}{6,4}$
5	$\frac{1,9}{2,3}$	$\frac{6,8}{2,6}$	$\frac{2,1}{2,6}$	$\frac{6,0}{2,3}$

\* в числителе – экспериментальные значения перемещений, в знаменателе – значения перемещений, полученные в ПК «SCAD».

Таблица 3. Перемещения расчетных точек опоры У220-2+9 в аварийном режиме

Перемещения точек по граням опоры, мм *					
Грань 1 (т. ст. № 3)	Расчетная точка				
	1	2	3	4	5
	$\frac{6,5}{1,4}$	$\frac{15,4}{1,8}$	$\frac{9,8}{3,1}$	$\frac{10,9}{3,1}$	$\frac{6,2}{0,9}$

\* в числителе – экспериментальные значения перемещений, в знаменателе – значения перемещений, полученные в ПК «SCAD».

Таблица 4. Абсолютные перемещения узла крепления раскосов между собой из плоскости

Перемещения точки № 2 по граням опоры, мм				
Расчетная точка	Грань 1 (т. ст. № 3)	Грань 2 (т. ст. № 2)	Грань 3 (т. ст. № 4)	Грань 4 (т. ст. № 1)
	Нормал. режим	Нормал. режим	Нормал. режим	Нормал. режим
2	0,55	2,8	2,05	4,0

В табл. 4 даны абсолютные перемещения узлов крепления раскосов между собой из плоскости в нормальном режиме работы.

На основании полученных результатов выполнено сравнение экспериментальных значений перемещений узлов с перемещениями, определенными в ПК «SCAD».

#### Основные выводы

1. Экспериментальные значения перемещений узлов решетки нерабочих граней в нормальном и аварийном режимах больше теорети-

ческих значений. Абсолютные перемещения узлов стыковки раскосов при максимальной нагрузке составили менее  $\frac{1}{750}l$ , где  $l$  – длина раскоса между точками закрепления.

2. Натурный эксперимент показал, что деформативность нерабочих граней больше, чем рабочих, т. е. при действии нагрузки в одной из плоскостей симметрии опоры в работу включаются раскосы граней, расположенных в плоскостях, перпендикулярных этой нагрузке.

3. Натурный эксперимент позволяет учесть дополнительные деформации ствола опоры



ВЛ, получающиеся в результате сдвигов элементов в пределах зазоров между болтом и отверстием, при креплении элементов решетки к поясам и друг к другу с помощью болтов нормальной точности.

4. В результате апробирована методика определения перемещений в узлах металлических анкерно-угловых опор, показывающая

достаточную сходимост с теоретическими перемещениями.

5. Представленная методика позволяет определять перемещения узлов и элементов не только опор ВЛ, но и антенных опор и открытых распределительных устройств для проверки деформативности всей конструкции в нормальном и аварийном режимах работы.

## Литература

1. Горохов, Е. В. Методика проведения испытаний антенных опор на Полигоне ДонНАСА [Текст] / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алехин // Металлические конструкции. – 2010. – Том 16, № 3. – С. 151–161.
2. Крюков, К. П. Конструкция и расчет металлических и железобетонных опор линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, А. И. Курносков, Б. П. Новгородцев. – [2-е изд.]. – Л. : Энергия, 1975. – 455 с.
3. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – [2-е изд.]. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.
4. Справочник по проектированию линий электропередачи [Текст] / [под ред. С. С. Рокотяна и М. А. Реута]. – М. : Энергия, 1980. – 296 с.
5. 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\*) [Текст] / Энергосетьпроект Минэнерго СССР. – М. : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 72 с.
6. Соколов, А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование) [Текст] / А. Г. Соколов. – М. : Госстройиздат, 1961. – 171 с.
7. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст] / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
8. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с.
9. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings [Текст]. – Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p.
10. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures [Текст] / A. G. Mishell // Phil. Magazine. – 1904. – Vol. 8, No. 47. – P. 589–595.
11. Lysmer, J. Dynamic Model for Infinite Medis [Текст] / J. Lysmer, R. Kuhlemeyer // Proc. ASCE. Journal Eng. Mechanics Division. – 1969. – Vol. 95, No. EM4. – P. 859–877.

## References

1. Gorokhov, Evgeny V.; Vasylev, Volodymyr M.; Alokhin, Andrii M. Test procedures of aerial supports on the testing ground of Donbas national academy of civil engineering and architecture. In: *Metal Constructions*, 2010, Tom 16, No. 3, p. 151–161. (in Russian)
2. Kriukov, K. P.; Kurnosov, A. I.; Novgorodtsev, B. P. Construction and analysis of steel and concrete supports of power transmission line. The 2nd edition. Leningrad: Energy, 1975. 455 p. (in Russian)
3. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Construction and mechanical analysis of power transmission line. The 2nd edition. Leningrad: Energy, 1979. 312 p. (in Russian)
4. Reference book on design of power transmission line / Edited by S. S. Rokotian, M. A. Reut. Moscow: Energy, 1980. 296 p. (in Russian)
5. Textbook on design of steel constructions of air power transmission line supports and open distribution system of electric power substation with electric potential more than 1 kilovolt (SNiP II-23-81\*). Moscow: General institute of standard design, 1989. 72 p. (in Russian)
6. Sokolov, A. G. Power transmission line supports (analysis and design). Moscow: Gosstroizdat, 1961. 171 p. (in Russian)
7. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
8. Shevchenko, E. V. Refinement of metal constructions of air power transmission line supports. The 2nd edition. Makiivka: DonSACEA, 1999. 169 p. (in Russian)
9. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2005. 256 p.
10. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures. In: *Phil. Magazine*, 1904, Vol. 8, No. 47, p. 589–595.
11. Lysmer, J.; Kuhlemeyer, R. Dynamic Model for Infinite Medis. In: *Proc. ASCE. Journal Eng. Mechanics Division*, 1969, Vol. 95, No. EM4, p. 859–877.
12. Dobbs, M. W.; Felton, L. P. Optimization of truss geometry. In: *J. of Str. Div., ASCE*, 1969, Vol. 95, p. 2105–2118.

12. Dobbs, M. W. Optimization of truss geometry [Текст] / M. W. Dobbs and L. P. Felton // J. of Str. Div., ASCE. – 1969. – Vol. 95. – P. 2105–2118.
13. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
14. CEN EN 1993-1-5-2006. Eurocodes 3 – Design of steel structures – Part 1.5: Plated structural elements [Текст]. – Brussels: European Committee for Standardization, 2006. – 53 p.
15. CAN/CSA-S16-01. Limit States Design of Steel Structures, Includes Update No. 1 (2010), Update No. 2 (2001) [Текст]. – Mississauga, Ontario : Canadian Standards Association, 2009. – 198 p.
16. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions [Текст]. – Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). – Brussels : CEN, 2005. – 146 p.
17. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures [Текст] / Edited by Ronald D. Ziemian. – Sixth Edition. – Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2010. – 1117 p.
13. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.
14. CEN EN 1993-1-5-2006. Eurocodes 3 – Design of steel structures – Part 1.5: Plated structural elements. Brussels: European Committee for Standardization, 2006. 53 p.
15. CAN/CSA-S16-01. Limit States Design of Steel Structures, Includes Update No. 1 (2010), Update No. 2 (2001). Mississauga, Ontario: Canadian Standards Association, 2009. 198 p.
16. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions. Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). Brussels: CEN, 2005. 146 p.
17. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures / Edited by Ronald D. Ziemian. Sixth Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010. 1117 p.

**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 роботи опор ліній електропередачі; регулювання і врахування внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

**Шевченко Євген Володимирович** – доктор технічних наук, професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор. Участь у розробці будівельних норм проектування.

**Танасогло Антон Володимирович** – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор.

**Алехін 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.

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

**Шевченко Евгений Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, академик Академии строительства Украины. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Участие в разработке строительных норм проектирования.

**Танасогло Антон Владимирович** – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

**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.

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

**Shevchenko Yevgeny** – DSc (End.), Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the Ukrainian Association on Metal Structures, an Academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. Scientific interests: optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures. Participation in the development of the design building norms.

**Tanasoglo Anton** – Assistant Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: optimal design of overhead power transmission line and antenna supports.

**Alokhin Andrei** – Ph.D. (Eng.), a lecturer, Metal Structures Department, 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.