



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФРАГМЕНТІВ СТАЛЕВИХ БАШТОВИХ ОПОР ПЛ

**Є. В. Горохов, В. М. Василев, Є. В. Шевченко, А. В. Танасогло**

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

*E-mail: mailbox@dgasa.dn.ua*

*Отримана 11 березня 2013; прийнята 22 березня 2013.*

**Анотація.** У статті виконано порівняльний аналіз теоретичних й експериментальних досліджень дійсної роботи фрагментів сталевих баштових опор ПЛ 110 кВ. Акцентується увага на опорах високої напруги, що експлуатуються на території України. Описується принцип проведення статичних експериментальних досліджень плоских ферм на розробленій спеціалізованій експериментальній установці, що дозволяє досліджувати дійсну роботу фрагментів опор ПЛ. Наводиться методика та результати розрахунку плоскої моделі опори в програмному комплексі «SCAD». Представлено чисельні результати розрахунку експериментальної установки разом з випробуваною моделлю. Отримано експериментальні значення напружень в елементах решітки та горизонтальних і вертикальних переміщень вузлів кріплення розкосів. При визначенні переміщень аналізується спільна робота елементів решітки експериментальних зразків, ураховується підтримувальний вплив розтягнутих розкосів.

**Ключові слова:** повітряна лінія електропередавання, напружено-деформований стан, статичне випробування, експериментальна установка, металева опора, тензометрія.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФРАГМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ БАШЕННЫХ ОПОР ВЛ

**Е. В. Горохов, В. Н. Васильев, Е. В. Шевченко, А. В. Танасогло**

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

*E-mail: mailbox@dgasa.dn.ua*

*Получена 11 марта 2013; принята 22 марта 2013.*

**Аннотация.** В статье выполнен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных исследований действительной работы фрагментов стальных башенных опор ВЛ 110 кВ. Акцентируется внимание на опорах высокого напряжения, эксплуатирующихся на территории Украины. Описывается принцип проведения статических экспериментальных исследований плоских ферм на разработанной специализированной экспериментальной установке, позволяющей исследовать действительную работу фрагментов опор ВЛ. Приводится методика и результаты расчета плоской модели опоры в программном комплексе «SCAD». Представлены численные результаты расчета экспериментальной установки совместно с испытываемой моделью. Получены экспериментальные значения напряжений в элементах решетки и горизонтальных и вертикальных перемещений узлов крепления раскосов. При определении перемещений анализируется совместная работа элементов решетки экспериментальных образцов, учитывается поддерживающее влияние растянутых раскосов.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, напряженно-деформированное состояние, статическое испытание, экспериментальная установка, металлическая опора, тензометрия.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF MODE OF DEFORMATION OF STEEL TOWER SUPPORT FRAGMENTS OF OPTL

Yevgen Gorokhov, Volodymyr Vasylev, Yevgeny Shevchenko, Anton Tanasoglo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: denissovev@ukr.net*

*Received 11 March 2013; accepted 22 March 2013.*

**Abstract.** There is made the comparative analysis of the theoretical and experimental investigations of a useful operation of fragments of steel tower supports of OPTL 110 kV. Attention is focused on high voltage supports, which are operated in Ukraine. There is described the principle of carrying out static experimental investigations of plane trusses on developed specialized experimental unit, allowing to investigate a useful operation of support fragments of OPTL. There is given a design procedure and design data of a plane pattern support in the software package «SCAD». There is presented numerical results of calculation of the experimental unit with the test model. There are received experimental values of stresses in the lattice components and the horizontal and vertical displacements of attachment knots of lattice diagonal element members. In definition of central displacements there is analyzed a joint operation of the lattice components of experimental patterns, supporting influence of the stretched lattice diagonal element members is taken into account.

**Keywords:** overhead power transmission line, mode of deformation, static test, experimental unit, metal support, tensometry.

### 1. Конструкции металлических опор высокого напряжения

Стальные опоры, устанавливаемые на высоковольтных линиях электропередачи на Украине и за рубежом, имеют самые разнообразные решения [4].

Стальные опоры, применяемые на линиях электропередачи высокого напряжения, по конструктивному выполнению ствола могут быть сведены к двум основным схемам – башенным, или одноствоечным (рис. 1), и порталным (рис. 2) опорам, а по способу закрепления ствола на фундаментах – к свободностоящим опорам (рис. 1) и к опорам на оттяжках (рис. 3). Но независимо от конструктивного решения и схемы стальные опоры выполняются в виде пространственных решетчатых конструкций [5].

В подавляющем большинстве случаев для изготовления стальных опор применяются равнополочные уголки. Высокие переходные опоры могут быть изготовлены из стальных труб, в отдельных случаях может быть применен и другой прокат [7].

Ствол опоры состоит из поясов, раскосов решетки и диафрагм жесткости [1].

Недостатком опор на оттяжках является большая площадь отчуждаемой земли, а порталных опор – удвоенное относительно одноствоечных опор количество фундаментов и перерасход стали [8]. Уменьшение количества фундаментов особенно целесообразно при установке опор в горных районах, районах рек и на заболоченной местности, а уменьшение отчуждаемых площадей земли важно для трасс, проходящих через густонаселенные районы в городской черте и сельскохозяйственные угодья. В связи с этим в последнее время значительное внимание уделяется разработке башенных свободностоящих опор, собираемым из отдельных элементов на болтах [13].

### 2. Постановка цели и задач экспериментальных исследований

Одним из основных элементов электрической сети являются воздушные линии электропередачи, надежная работа которых во многом определяет бесперебойность снабжения потребителей электрической энергией [3]. Повышение надежности ВЛ может быть достигнуто за счет исследования и совершенствования методов расчета

а)



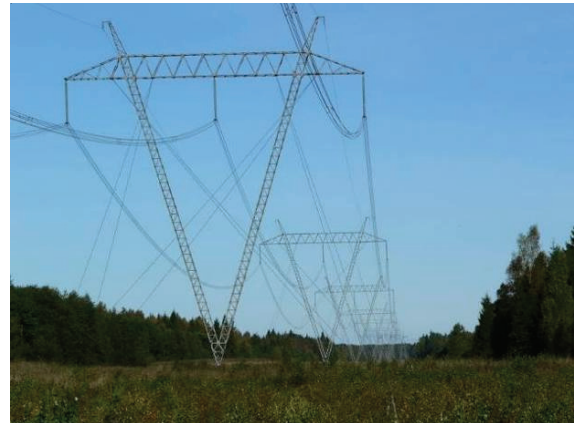
б)



**Рисунок 1.** Схемы одностоечных свободностоящих опор ВЛ высокого напряжения: а) опора ВЛ 110 кВ; б) опора ВЛ 330 кВ.



**Рисунок 2.** Схема порталной опоры ВЛ.



**Рисунок 3.** Схема опоры ВЛ на оттяжках.

прочности и устойчивости конструктивных элементов опор ВЛ [9, 12, 14].

В опорах наиболее часто применяется перекрестная решетка с совмещенными в смежных гранях узлами, элементы которой выполняют из одиночных прокатных уголков, соединяемых друг с другом по одной полке на болтах. Узлы примыкания раскосов к поясам в такой решетке получаются не центрированными, т. к. геометрические оси раскосов несоосны с осями усилий, проходящим по раскосам. Возникающие при этом изгибающие моменты предопределяют раннее развитие пластических деформаций [10]. Несущая способность таких систем в значительной мере определяется с той погрешностью, с которой подсчитываются внутренние усилия в

отдельных ее элементах. Если, к тому же, учесть несовершенство реальной конструкции (искривление стержней, податливость болтовых соединений и опорных закреплений), то при высокой степени статической неопределимости системы правильность аналитического решения будет зависеть не только от степени точности того или иного метода расчета, но и от соответствия принятой расчетной схемы и натурной конструкции [6].

Практическая целесообразность таких задач требует проведения экспериментальных исследований опор линий электропередачи. А поскольку наиболее массовыми на территории Украины являются металлические опоры ВЛ 110 кВ, то в качестве экспериментальных

образцов были приняты натурные фрагменты ствола опоры У110-2.

### 3. Методика проведения экспериментальных исследований фрагментов опор

Цель экспериментальных исследований состоит в определении напряженно-деформированного состояния фрагментов опоры ВЛ 110 кВ с целью определения их действительной работы, а также в проведении сравнительного анализа полученных теоретических и экспериментальных результатов.

В качестве объекта экспериментальных исследований были приняты фрагменты ствола стальной башенной опоры У110-2. Испытуемые конструкции плоских ферм запроектированы в натурную величину и изготовлены на ЧАО «Донецкий завод высоковольтных опор».

Опытные плоские секции принимались из трех панелей из одиночных уголков, наиболее

часто используемых в решетке опор ВЛ 110 кВ: первый вариант (рис. 4 и 8) – раскосы сечением  $L63 \times 5$ , пояс –  $L125 \times 8$ , второй вариант (рис. 5 и 9) – раскосы сечением  $L45 \times 4$ , пояс –  $L125 \times 8$ .

Конструкции плоских ферм рассчитаны в соответствии с требованиями ДБН В.2.6-163:2010 [2]. Сечения стержней поясов подобраны так, чтобы осуществить конструктивно возможность бесфасоночного прикрепления раскосов к поясам двумя болтами М20 для первого варианта и двумя болтами М16 для второго варианта.

Для проведения экспериментальных исследований фрагментов опоры У110-2 была разработана экспериментальная установка (рис. 6). Испытуемая плоская ферма 1 устанавливается на опорный силовой постамент 2. Крепление фермы осуществляется анкерными болтами М20 через башмаки к опорному двугавру 3, который приваривается к постаменту. Дополнительно устанавливаются подкосы 4 для обеспечения ус-

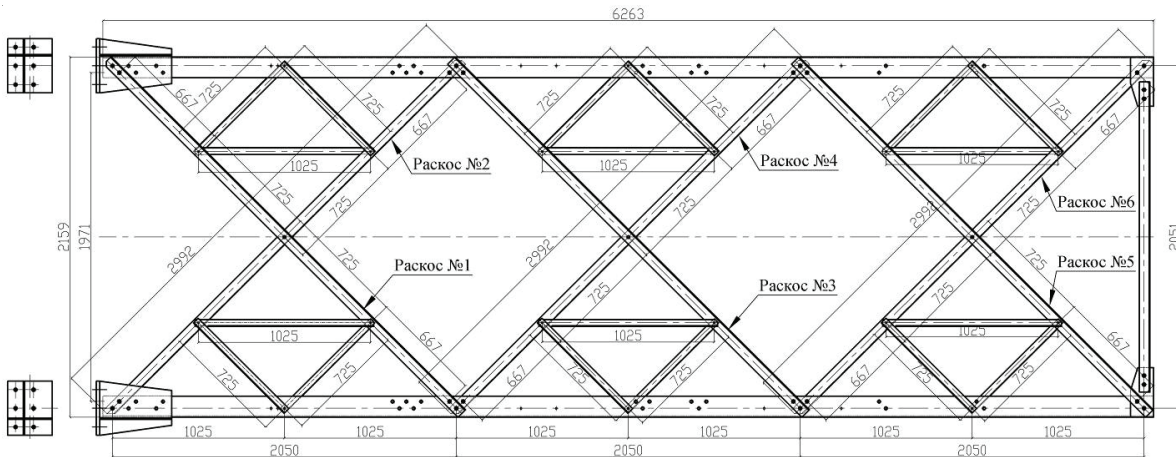


Рисунок 4. Монтажная схема испытуемой плоской фермы (раскосы из уголков  $L63 \times 5$ ).

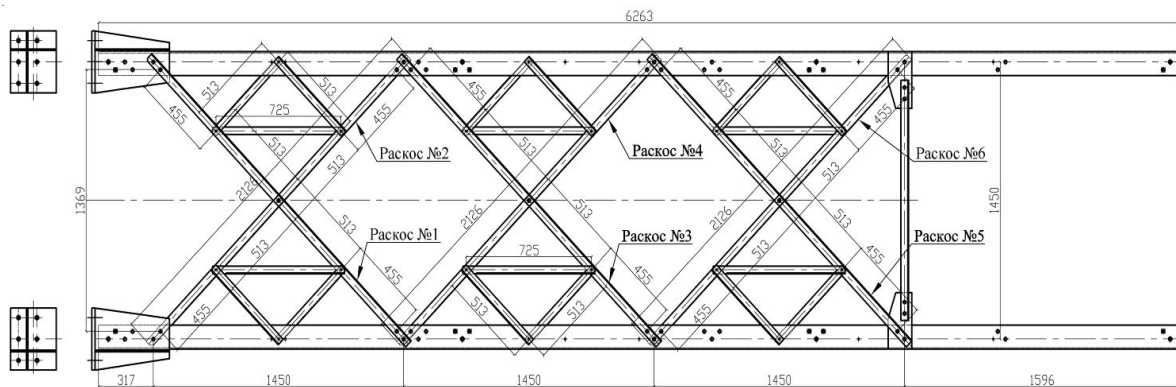


Рисунок 5. Монтажная схема испытуемой плоской фермы (раскосы из уголков  $L45 \times 4$ ).

тойчивости двутавра из плоскости. Гидравлический домкрат 6 устанавливается на опорную конструкцию 5, прикрепляемую на болтах к постаменту. Для загрузки экспериментальных фрагментов опоры испытательной нагрузкой используется ручная маслостанция 7.

На испытываемые плоские фермы устанавливаются прогибомеры 6ПАО и Максимова 8 (рис. 6) в количестве 10 шт. для измерения перемещений узлов примыкания раскосов к поясу и узлов пересечения раскосов друг с другом в плоскости приложения нагрузки и из плоскости.

На рисунке 7 изображена трехмерная расчетная модель экспериментальной установки с испытываемым образцом для проведения численных и экспериментальных исследований в программных комплексах на основе МКЭ с учетом совместной работы испытываемого фрагмента и экспериментальной установки.

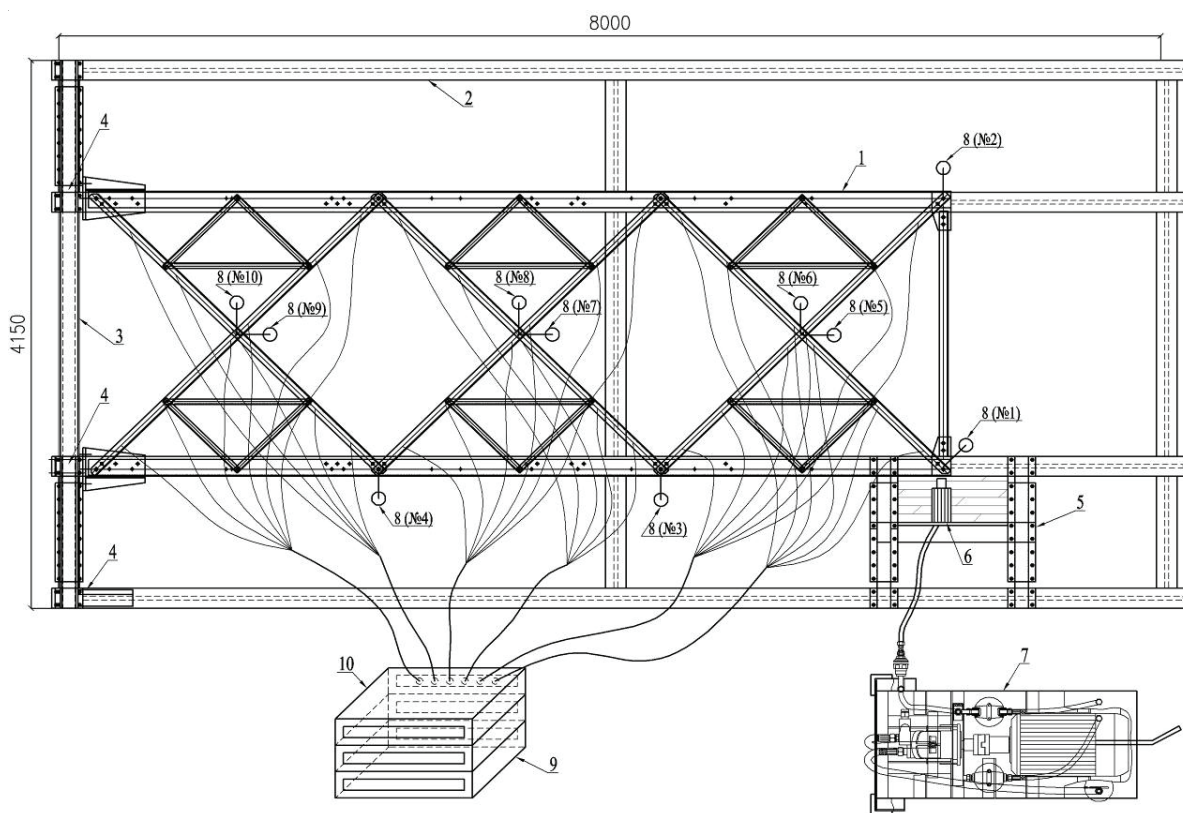
На базе испытательного центра ДонНАСА были проведены экспериментальные исследо-

вания фрагментов стальной башенной опоры У110-2.

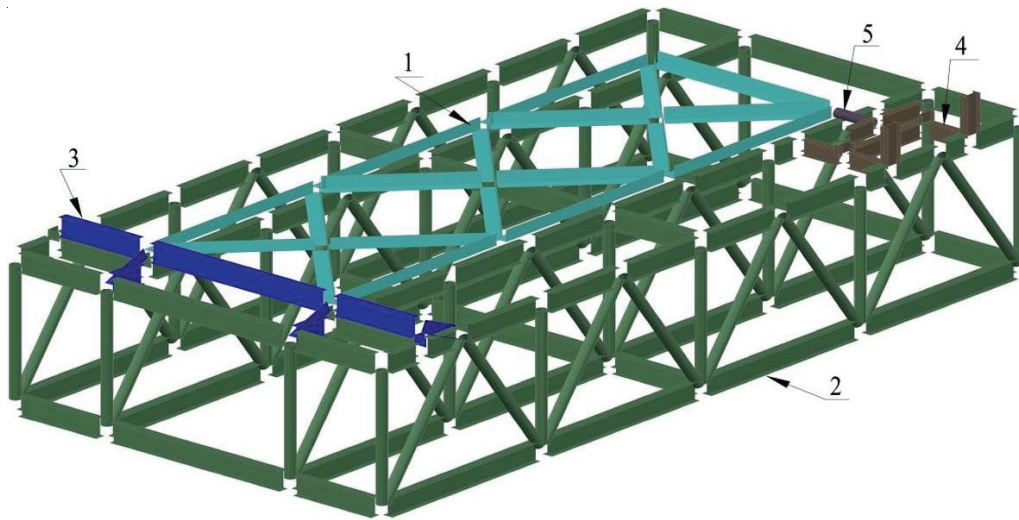
Испытания плоских ферм выполнялись в четыре этапа: с двухболтовым и одноболтовым креплением раскосов к поясу; со шпренгельной решеткой и без нее.

Нагрузка на конструкцию прикладывалась через гидравлический домкрат ДГ-10 (рис. 10) поэтапно тремя ступенями, интенсивностью по 1 000 кг. После каждого этапа нагружения выдерживалась пауза 15–20 мин до полной стабилизации деформаций конструкции, затем брались отчеты по всем приборам и далее следовало нагружение по следующему этапу. Разгрузка проводилась аналогичными этапами. Нагрузка прикладывалась так, чтобы исключить любое динамическое воздействие. Максимальная узловая нагрузка составила 3 000 кг.

В ходе экспериментальных исследований решались такие задачи: выявление действительных продольных усилий  $N$  и напряжений  $G$  в



**Рисунок 6.** Схема экспериментальной установки: 1 – испытываемый фрагмент опоры ВЛ; 2 – металлический силовой постамент; 3 – опорный двутавр; 4 – подкосы; 5 – опорная конструкция под домкрат; 6 – гидравлический домкрат ДГ-10; 7 – маслостанция ручная с манометром; 8 – прогибомеры Максимова и 6ПАО; 9 – тензометрическая система СИИТ-3; 10 – блок коммутаторов.



**Рисунок 7.** Трехмерная модель экспериментальной установки: 1 – испытуемый образец опоры ВЛ; 2 – металлический силовой постамент; 3 – опорный двутавр с подкосами; 4 – опорная конструкция под домкрат; 5 – гидравлический домкрат ДГ-10.



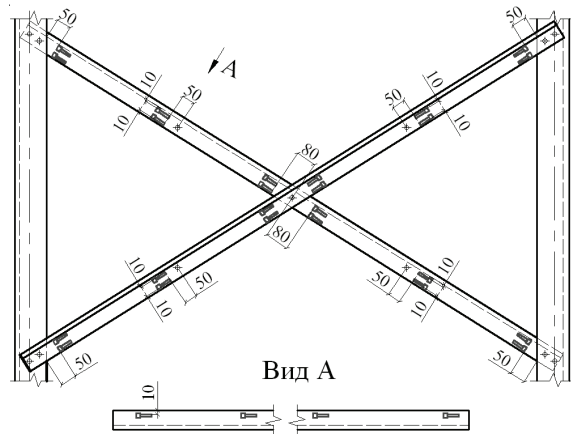
**Рисунок 8.** Общий вид испытуемой фермы (решетка L63 × 5).



**Рисунок 9.** Общий вид испытуемой фермы (решетка L45 × 4).



**Рисунок 10.** Узел установки гидравлического домкрата ДГ-10.



**Рисунок 11.** Схема расположения тензодатчиков.

элементах раскосов; определение горизонтальных и вертикальных перемещений узлов крепления раскосов к поясу и между собой; выявление фактической несущей способности всей конструкции и ее узлов при одноболтовом и двухболтовом креплении раскосов к поясу.

Для измерения относительных деформаций при испытаниях используются проволочные петлевые тензодатчики на бумажной основе с базой 20 мм (марки ПКБ с электрическим сопротивлением  $R = 200 \text{ Ом}$ ). Тензодатчики устанавливаются вблизи узлов по шести сечениям в каждом раскосе (рис. 11). В качестве регистрирующей аппаратуры используется тензометрическая система СИИТ-3.

Вывод показаний тензодатчиков в процессе загрузки конструкции осуществлялся на ПЭВМ с последующим импортом в программный комплекс «Microsoft Excel», реализованный в среде Windows XP.

Проверка тензочувствительности датчиков, наклеенных на клей «Цианопан», была выполнена с помощью контрольной тарировки на эталонной балке в испытательном центре ДонНАСА. Результат тарирования 1 деления тензометрического комплекса СИИТ-3 соответствует напряжениям  $\sigma = 3,8 \text{ кг/см}^2$ .

Зависимости, полученные в ходе экспериментальных исследований, обрабатывались способом наименьших квадратов с помощью программных продуктов MathCAD, Microsoft Excel.

Обработка экспериментальных данных производилась с применением рекомендаций, изложенных в [8].

В результате экспериментальных исследований получены напряжения и продольные усилия в раскосах (табл. 1 и 2) и даны сравнительные графики теоретических и экспериментальных значений перемещений узлов (рис. 12, 13).

Величины изгибающих моментов оказались близкими к нулю, поэтому во внимание не принимались.

#### 4. Основные выводы

1. Создана экспериментальная установка, позволяющая исследовать напряженно-деформированное состояние фрагментов опор ВЛ в любом расчетном сечении.
2. Апробирована методика проведения статических экспериментальных исследований фрагментов опор ВЛ с двухболтовым и одноболтовым креплением раскосов, со шпренгельной решеткой и без нее.
3. Во всех случаях экспериментальные значения перемещений больше теоретических в среднем на 36–44 % за счет податливости болтовых соединений в узлах.
4. Деформативность плоских ферм со шпренгельной решеткой меньше на 1–12 %, чем аналогичных ферм без шпренгельной решетки, из-за большей жесткости всей конструкции.

Таблица 1. Продольные усилия N (т) и напряжения G (МПа) в элементах плоской фермы (решетка L63 × 5)

№ раскоса	Теоретические значения		Экспериментальные значения *		Погрешность, %
	N <sub>теор.</sub> , кг	G <sub>теор.</sub> , МПа	N <sub>экспер.</sub> , кг	G <sub>экспер.</sub> , МПа	
1 раскос	-2276,5	37,14	-1959,3	31,96	13,93
			-2091,3	34,12	8,14
2 раскос	2073,6	33,83	1643,5	26,81	20,74
			1292,8	21,09	37,65
3 раскос	-2075,4	33,86	-1682,3	27,44	18,94
			-1626,7	26,54	21,62
4 раскос	2274,7	37,11	2307,4	37,64	1,42
			2627,0	42,86	13,41
5 раскос	-2276,0	37,13	-2269,9	37,03	0,27
			-2747,4	44,82	17,16
6 раскос	2074,2	33,84	1753,5	28,61	15,46
			1384,7	22,59	33,24

\* В числителе даны значения для двухболтового крепления раскосов к поясу с установкой шпренгельной решетки, в знаменателе – для одноболтового крепления раскосов без шпренгельной решетки.

5. Усилия и напряжения в раскосах испытуемых ферм со шпренгельной решеткой оказались меньше в среднем до 3 %, чем усилия и напряжения, определенные в раскосах без шпренгельной решетки. Данный факт объясняется уменьшением гибкости раскосов и перераспределением усилий в стержнях всей конструкции.
6. В четвертом и пятом раскосах испытуемых ферм напряжения превысили теоретические на 9 %. Это говорит о том, что при одно-

ронней нагрузке в работу включаются сначала сжатые раскосы, а потом растянутые [11].

7. Усилия и напряжения в раскосах из уголка  $L63 \times 5$  при двухболтовом креплении меньше теоретических до 12 %, а в раскосах из уголка  $L45 \times 4$  – до 9 %. Таким образом, экспериментальные значения напряжений в элементах испытуемых образцов показали, что есть резерв несущей способности, поэтому необходимо совершенствовать методику расчета устойчивости.

Таблица 2. Продольные усилия  $N$  (т) и напряжения  $G$  (МПа) в элементах плоской фермы (решетка  $L45 \times 4$ )

№ раскоса	Теоретические значения		Экспериментальные значения *		Погрешность, %
	$N_{\text{теор.}}$ , кг	$G_{\text{теор.}}$ , МПа	$N_{\text{экспер.}}$ , кг	$G_{\text{экспер.}}$ , МПа	
1 раскос	-2064,2	59,32	$\frac{-2003,4}{-2667,6}$	$\frac{57,57}{76,65}$	$\frac{2,94}{22,62}$
2 раскос	1946,7	55,94	$\frac{1848,4}{1788,9}$	$\frac{53,12}{51,41}$	$\frac{5,05}{8,11}$
3 раскос	-2031,9	58,39	$\frac{-1829,3}{-1583,9}$	$\frac{52,57}{45,52}$	$\frac{9,97}{22,05}$
4 раскос	2257,3	36,82	$\frac{2134,2}{2564,0}$	$\frac{34,82}{41,83}$	$\frac{5,45}{11,96}$
5 раскос	-2260,7	64,96	$\frac{-2115,1}{-2469,9}$	$\frac{60,78}{70,98}$	$\frac{6,44}{8,47}$
6 раскос	1963,7	56,43	$\frac{1525,2}{1434,8}$	$\frac{43,83}{41,23}$	$\frac{22,33}{26,93}$

\* В числителе даны значения для двухболтового крепления раскосов к поясу с установкой шпренгельной решетки, в знаменателе – для одноболтового крепления раскосов без шпренгельной решетки.

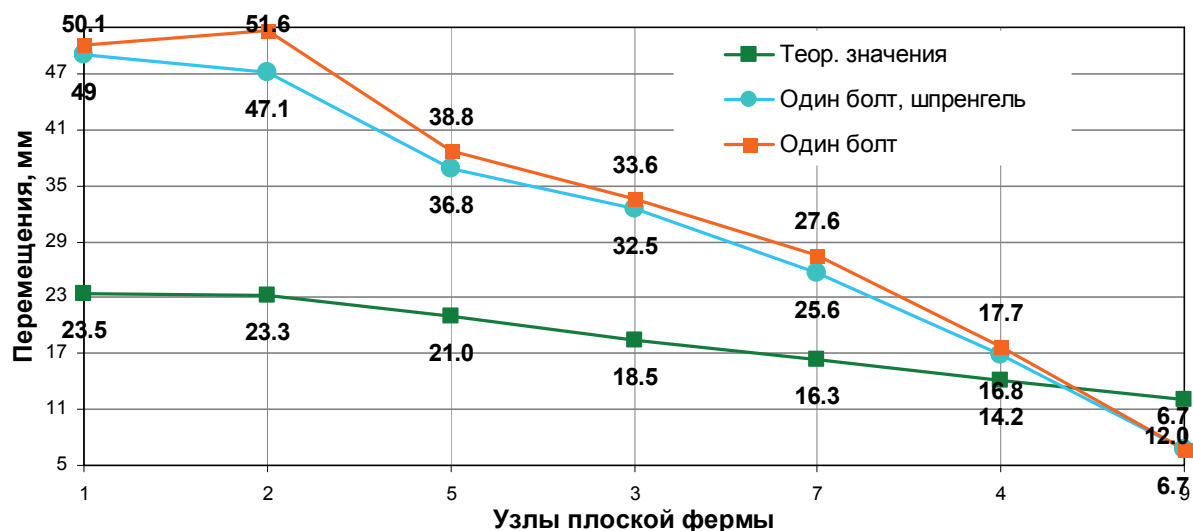


Рисунок 12. Перемещения узлов при одноболтовом креплении раскосов (решетка  $L63 \times 5$ ).



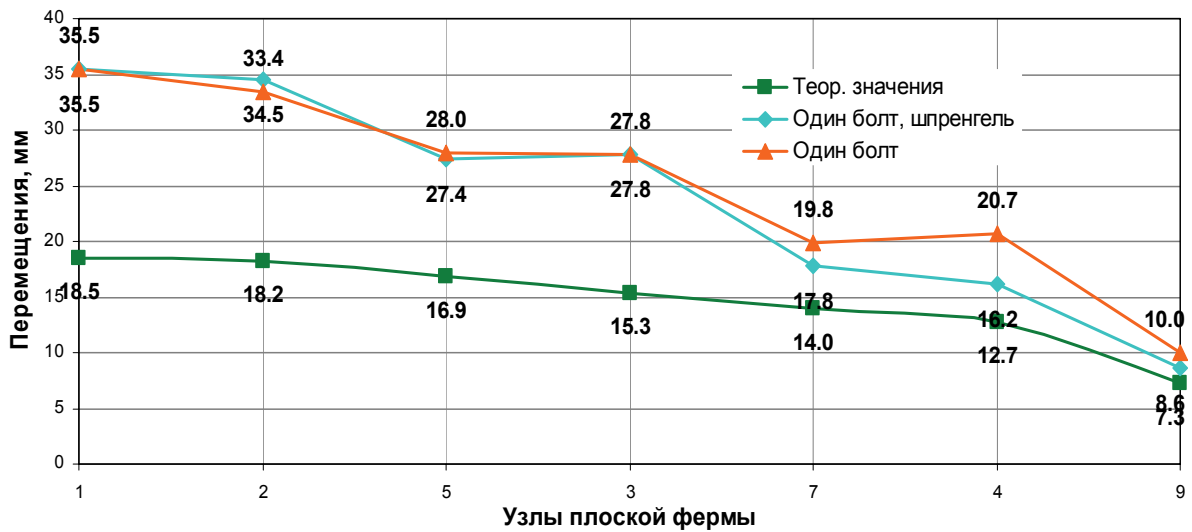


Рисунок 13. Перемещения узлов при одноболтовом креплении расколов (решетка L45×4).

### Литература

1. 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.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81\* окрім розділів 15\*–19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134; чинні від 2011-12-01. – Київ: Мінергіонбуд України, 2011. – 127 с.
3. 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).
4. Справочник по проектированию линий электропередачи [Текст] / [под ред. С. С. Рокотяна и М. А. Реута]. – М.: Энергия, 1980. – 296 с.
5. Соколов, А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование) [Текст] / А. Г. Соколов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 171 с.
6. Алгоритмы расчёта стальных конструкций [Текст] / [Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, А. М. Югов и др.]; под ред. Е. В. Горохова. – М.: Стройиздат, 1989. – 368 с.
7. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – [2-е изд.]. – Л.: Энергия, 1979. – 312 с.

### References

1. Textbook of steel work designing of overhead transmission lines supports and outdoor switch-gear of substations with electric potential over 1 kV (to SNiP II-23-81\* «Steel structures»). Moscow: Central Institute of Standard Design, 1989. 72 p. (in Russian)
2. DBN B.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (in Ukrainian)
3. 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)
4. Rokotian, S. S. (Ed.); Reut, M. A. (Ed.). Reference book on Design of Transmission Lines. Moscow: Energiya, 1980. 296 p. (in Russian)
5. Sokolov, A. G. Transmission line supports (design and engineering). Moscow: Gosstroizdat, 1961. 171 p. (in Russian)
6. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Mushchanov, V. F.; Yugov, A. M. et al. Scheme of Structural Steel Design. Moscow: Stroizdat, 1989. 368 p. (in Russian)
7. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Constructional and Mechanical Calculations of Transmission Lines. 2nd ed. Leningrad: Energiya, 1979. 312 p. (in Russian)
8. Shevchenko, E. V. Development of Steel Structures of Transmission Lines Supports. 2nd ed. Makiivka: DNASEA, 1999. 169 p. (in Russian)
9. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures. In: *Phil. Magazine*, 1904, Vol. 8, No. 47, p. 589–595.

8. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с.
9. 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.
10. 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.
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.
12. 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.
13. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings [Текст]. – Chicago, Illinois : American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p.
14. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
10. 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.
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. 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.
13. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2005. 256 p.
14. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.

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

**Василев Володимир Миколайович** – к.т.н., доцент, професор кафедри металевих конструкцій, начальник Лабораторії 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.

**Горохов Евгений Васильевич** – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностранный член Российской Академии строительства, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

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

**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.

**Yevgen Gorokhov** – DSc (Eng), Professor; Head of the Metal Structures Department, Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. President of the Ukrainian Association of Metal Structures, a foreign member of the Russian Academy of Civil Engineering, an academician of the Higher School Academy and the Academy of Civil Engineering of Ukraine. A member of the International Committee on studying wind influence on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

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

**Shevchenko Yevgeny** – DSc (Eng.), 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.

