



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

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

2013, ТОМ 19, НОМЕР 2, 121–127

УДК 621.315.1:624.014

(13)-0289-1

## **ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ОДНОБОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ РЕШІТКИ З ПОЯСОМ В ОПОРАХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ**

**В. М. Василев, Н. В. Агбаш, О. С. Карабанов**

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

*Отримана 4 квітня 2013; прийнята 26 квітня 2013.*

**Анотація.** У статті описані механічні випробування дослідних зразків одноболтових з'єднань, які показали наявність у них запасу несучої здатності з мінімальною нормативною відстанню від центра отвору до краю прокатної кромки куточка 1,2d. Проведено аналіз нормалей, використовуваних при проектуванні болтових з'єднань, який показав, що існують різні підходи при їх призначенні. У статті розглядається питання зменшення відстані від центра отвору до краю прокатної кромки куточка від 1,2d до 1,0d, що істотно збільшує сортамент діаметрів болтів, а також дозволяє досягти рівномірності решітки стовбура опори і вузлового з'єднання. У цій роботі визначена раціональна ширина поясу в одноболтовому з'єднанні з умови постановки максимального діаметра болта.

**Ключові слова:** елементи опор ліній електропередачі, одноболтові з'єднання, максимальний діаметр отвору, риска, нормалі, несуча здатність болтового з'єднання.

## **ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДНОБОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ РЕШЕТКИ С ПОЯСОМ В ОПОРАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**В. Н. Васильев, Н. В. Агбаш, А. С. Карабанов**

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

*Получена 4 апреля 2013; принята 26 апреля 2013.*

**Аннотация.** В статье описаны механические испытания опытных образцов одноболтовых соединений, которые показали наличие в них запаса несущей способности с минимальным нормативным расстоянием от центра отверстия до края прокатной кромки уголка 1,2d. Проведен анализ нормалей, используемых при проектировании болтовых соединений, который показал, что существуют различные подходы при их назначении. В статье рассматривается вопрос уменьшения расстояния от центра отверстия до края прокатной кромки уголка от 1,2d до 1,0d, что существенно увеличивает сортамент диаметров болтов, а также позволяет достичь равнопрочность решетки ствола опоры и узлового соединения. В данной работе определена рациональная ширина пояса в одноболтовом соединении из условия постановки максимального диаметра болта.

**Ключевые слова:** аэродинамическая труба, ветер, аэродинамические весы, лобовое сопротивление, подъёмная сила, аэродинамический момент, модельные испытания.

## THE MANAGEMENT OF ONE BOLTING ELEMENTS OF THE LATTICE WITH A BELT IN THE SUPPORTS OF POWER TRANSMISSION LINES

**Volodymyr Vasylev, Natalia Agbash, Aleksey Karabanov**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.  
E-mail: agbash-n@mail.ru*

*Received 4 April 2013; accepted 26 April 2013.*

**Abstract.** The article describes the mechanical testing of prototypes is one of bolted connections, which indicated the existence of stock carrying capacity with minimal regulatory distance from the center of the hole to the edge of the edge of the roll angle  $1,2d$ . The analysis of the normals used in the design of bolted connections, which showed that there are different approaches in their nomination. The article discusses the reduction of the distance from the center of the hole to the edge of the edge of the roll angle of up to  $1,2 d$   $1,0 d$ , which significantly increases the gauge diameter bolts, and allows you to reach full strength of the lattice support trunk and node connections. In this paper we defined a rational width of the belt in one bolted from the condition statement of the maximum diameter of the bolt.

**Keywords:** elements of transmission towers, one bolted connections, the maximum diameter of the hole, the normal carrying capacity of bolted connections.

В декабре 2008 г. при монтаже провода ВЛ 110 кВ ПС «Северная» (Российская Федерация) на анкерно-угловой опоре У110-4+5 украинского производства произошло разрушение конструкции траверсы (рисунок 1), вследствие аварийного разрыва тяги из уголка  $50 \times 5$  по сечению, ослабленному отверстием под болт (рисунок 2). Тяга, изготовленная из



**Рисунок 1.** Разрушение траверсы опоры У100-4+5.

стали С235, присоединялась к поясу ствола опоры одним болтом  $\varnothing 16$  мм, класса 5.8, поставленным в отверстие  $\varnothing 17,6$  мм.

Для определения разрушающей нагрузки аварийного раскоса были испытаны два образца, вырезанные с раскоса разрушенной траверсы, и три контрольных образца, вырезанных с нового проката. Контрольные образцы изготовлены по технологии завода-изготовителя аварийной опоры. Предварительно были определены механические характеристики и химический состав стали испытываемых уголков. Испытания проводились в разрывной машине Р-20. Испытуемые образцы крепились болтами к пластинам толщиной 10 мм, которые



**Рисунок 2.** Разрушение тяги в узле крепления.

зажимались в захватах разрывной машины (рисунок 3).

При испытании опытных образцов на растяжение использовались болты класса 10,9 с целью обеспечения разрыва образцов в зоне отверстий, как это было при аварии.

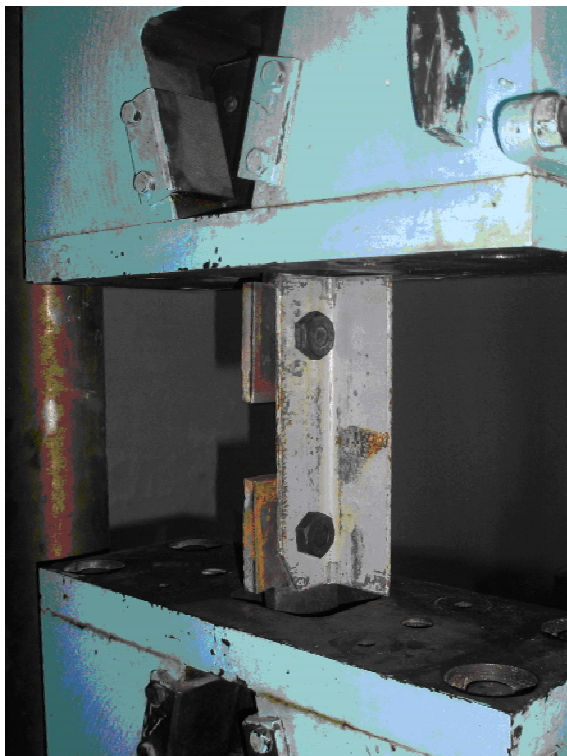
Характерное разрушение образцов представлено на рисунке 4.

По результатам механических испытаний среднее усилие разрушения образцов составило 57,8 кН, что более чем в два раза превысило расчетное усилие аварийного раскоса (24 кН).

Кроме этого, испытания показали наличие запаса несущей способности одноболтового соединения при нормативном расстоянии от центра болта до края прокатной кромки  $1,2d$ , где  $d$  – диаметр отверстия [1].

Одноболтовые соединения являются самыми распространенными, их количество в процентах на опору составляют 25–63 % в зависимости от типа опоры [4].

Анализ нормалей (таблица 1), используемых при проектировании болтовых соединений, показал, что существуют различные подходы при их назначении. Например, в справочниках [2, 3] значения совпадают, а в нормалях



**Рисунок 3.** Общий вид образца в разрывной машине Р-20, в процессе испытания.

ЧАО «Донецкий завод высоковольтных опор» (ЧАО «ДЗВО») и турецкой фирмы «SARA», производящей опоры линий электропередачи, максимально допустимый диаметр отверстия больше в 1,5 раза.

Нормали ЧАО «ДЗВО» были разработаны в 80-х годах для ведомственного использования в проектных организациях энергетической системы СССР.

При разработке нормалей были заложены требования ДБН [1] и конструктивные требования:

- гайка не должна лежать на закруглении;
- расстояние от центра отверстия до края уголка поперек усилия  $c > 1,2d$ , при прокатных кромках.

Следует отметить, что ДБН [1] не оговаривает вид профиля проката.

Ширина полки уголка складывается из следующих параметров (рисунок 5):

$$b_f = t + R + 1,87 \cdot \frac{d}{2} + 1,2d \quad (1)$$

где:  $t$  – толщина стенки;

$R$  – радиус закругления;

1,87 – среднее значение отношения наружного диаметра шайбы к диаметру отверстия (по ГОСТ 11371-78\*);

$d$  – диаметр отверстия.

Тогда  $d_{\max} = \frac{b_f - t - R}{2,135}$ , при  $c = 1,2d$ .

Используя формулу (1), в таблице 2 для различных уголков, представлены значения максимальных диаметров отверстия в полке уголка в зависимости от расстояния от центра отверстия до края полки ( $c$ ).



**Рисунок 4.** Общий вид образца после испытаний.

Уменьшение расстояния «с» от  $1,2d$  до  $1,0d$  существенно увеличивает сортамент диаметров болтов (таблица 2). Например, для уголка  $50 \times 5$  максимальный диаметр болта с М16 увеличивается до М18. Эта тенденция характерна для всех рассмотренных уголков с 45 по 125.

В типовых опорах, используемых в странах СНГ, применяется максимальный диаметр болта М24. Современная тенденция зарубежного проектирования опор линий электропередачи в пределах опоры использует болты одного диаметра М12÷М20. Поэтому в таблице 2 выделена область использования максимального диаметра одноболтовых соединений ( $d_{\max}$ ) в зависимости от номера уголка и привязки «с».

В поясных уголках с шириной полки 80 мм и выше следует рассматривать возможность постановки двухболтового соединения решетки диаметром болтов до 20 мм.

Необходимо отметить, что одноболтовые соединения характерны для сборки опор в горизонтальном положении, а двухболтовые соединения – для поэлементной вертикальной сборки опор.

Одним из факторов, определяющим рациональность конструкции, является равнопрочность отдельных ее элементов и узловых соединений.

Наиболее используемой схемой решетки в опорах линий электропередачи является перекрестная. При такой схеме все элементы решетки ствола опоры испытывают как растяжение, так и сжатие, т. е. расчетным усилием является сжатие.

Характерными гибкостями элементов решетки ствола опоры является диапазон  $\lambda=90\div150$ .

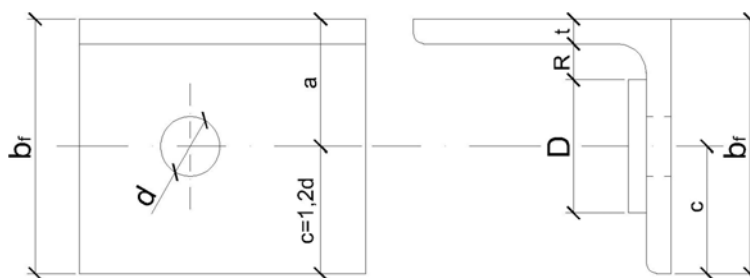
С целью анализа диапазона равнопрочности узловых соединений и решетки в таблице 3 представлены результаты их несущей способности. В этой таблице результаты представлены с учетом:

- несущей способности узлового болтового соединения ( $N_b$ ), которая определяется из возможного вида разрушения соединения по срезу болта или смятию поверхности отверстия;

**Таблица 1.** Максимально допустимый диаметр отверстия ( $d_{\max}$ ) в зависимости от ширины полки уголка по различным источникам

Ширина полки уголка, мм	По справочнику Н. П. Мельникова [2]		По справочнику В. Т. Васильченко [3]		По нормальям ЧАО «ДЗВО»		По нормальям турецкой фирмы «SARA»	
	$d_{\max}$	$a^*$	$d_{\max}$	$a$	$d_{\max}$	$a$	$d_{\max}$	$a$
45	11	25	11	25	17	24	17,5	25
50	13	30	13	30	17	26÷29	17,5	25
75	21	45	21	45	28	40		
80	21	45	21	45	31	42	13,5	40
100	23	55	23	55	31	48÷72		

\* – расстояние от обушка до центра отверстия (рис. 5).



**Рисунок 5.** Контролируемые нормальи уголка с шириной полки  $b_f$ .

**Таблица 2.** Максимальный диаметр отверстия ( $d_{max}$ ) в уголке в зависимости от расстояния от центра отверстия до края полки ( $c$ )

№ уголка	$b_f$	$t$	$R$	$d_{max}$ , при		
				$c=1,2d$	$c=1,1d$	$c=d$
45×5	45	5	5	16,4 (M12)	17,2 (M16)	33,8 (M30)
50×5	50	5	5,5	18,5 (M16)	19,4 (M18)	38,2 (M36)
75×7	75	7	9	27,6 (M24)	29,0 (M27)	
80×7	80	7	9	30,0 (M27)	31,4 (M30)	
100×12	100	12	12	35,6 (M30)	37,3 (M36)	
125×12	125	12	14	46,4 (M42)	48,6 (M42)	

– несущей способностью уголка ( $N_c$ ) на сжатие, при гибкостях  $\lambda = 90$  и  $\lambda = 150$ , или растяжение, с учетом ослабленного сечения уголка в зоне отверстия (Анг).

Анализируя данные таблиц 2 и 3, можно сделать вывод, что одноболтовые соединения рациональны для ширины пояса до 75 мм.

Для поясных уголков с шириной полки больше 75 мм следует рассмотреть область оптимального использования двухболтовых соединений с элементами решетки.

**Выводы**

1. Механические испытания опытных образцов, вырезанных с аварийного раскоса, по-

казали наличие запаса несущей способности одноболтового соединения с минимальным расстоянием от центра отверстия до края прокатной кромки уголка 1,2d.

2. За счет уменьшения нормативного расстояния от центра отверстия до края прокатной кромки уголка можно достичь равнопрочности решетки ствола опоры и узлового соединения.

3. Из условия постановки максимального диаметра болта в одноболтовом соединении рациональной шириной пояса является 75 мм.

4. Следует рассмотреть область использования двухболтовых узловых соединений элементов перекрестной решетки с поясом в зависимости от конструктивных особенностей опор.

**Таблица 3.** Несущая способность одноболтового соединения и уголка решетки в зависимости от расстояния от центра отверстия до края полки ( $c$ )

уголок	Диаметр болта, мм																							
	12		16				18		24		27				30				36					
	$c=1,2d$		$c=1,2d$		$c=1,1d$		$c=1,1d$		$c=1,2d$		$c=1,2d$		$c=1,1d$		$c=d$		$c=1,1d$		$c=d$					
	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc	N6	Nc		
45×5	14,7	28,4			23,4	28,4													43,9	28,4				
50×5			23,4	31,8			26,3	31,8														52,7	31,8	
75×7									49,1	49,0			55,3	49,0										
80×7											55,3	71,5					61,4	71,5					73,7	71,5
100×12														91,8	151,0							126,4	151,0	

N6, Nc – несущая способность болтового соединения и стержня в кН.

**Литература**

1. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну

**References**

1. DBN V.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of

- 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 : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
2. Стальные конструкции. Справочник конструктора [Текст] / Сост.: А. Г. Тахтамышев, Т. П. Невзорова; Под общ. ред. Н. П. Мельникова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1976. – 328 с.
  3. Справочник конструктора металлических конструкций [Текст] / Под редакцией В. Т. Васильченко, А. Н. Рутман, Е. П. Лукьяненко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Киев : Будівельник, 1990. – 312 с.
  4. Васылев, В. Н. Анализ узловых соединений опор ЛЭП [Текст] / В. Н. Васылев, Л. А. Гаврилова // Вісник донбаської державної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць / М-во освіти і науки України, ДонДАБА. – Мажітка, 2000. – Випуск 2000-1(21) : Будівельні конструкції. Будівлі та споруди. – С. 181–184.
  5. ANSI/ASCE 10. Design of Latticed Steel Transmission Structures [Текст]. – Reston : American Society of Civil Engineers, 2000. – 76 p. – (ASCE Standard). – ISBN 0-7844-0324-4.
  6. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений [Текст]. – Введен впервые ; взамен ENV 1993-1-1. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 133 с.
  7. 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.
  8. 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.
  9. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
  10. Spillers, W. R. Geometric optimization using simple code representation [Текст] / W. R. Spillers and G. Kountouris // J. of Str. Div, ASCE. – 1980. – Vol. 106. – P. 959–970.
- Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (in Ukrainian)
2. Steel constructions. Designer reference book / made by: A. G. Tahtamyshev, T. P. Nevzorova; Edited by N. P. Melnikov. Third revised and enlarged edition. Moscow: Stroizdat, 1976. 328 p. (in Russian)
  3. Reference book of steel constructions designer / Edited by V. T. Vasilchenko, A. N. Rutman, E. P. Lukianenko. Second revised and enlarged edition. Kyiv: Constructor; 1990. 312 p. (in Russian)
  4. Vasylev, V. N.; Gavrilova, L. A. Analysis of support joint connection. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2000, Issue 2000-1(21): Building structures, buildings and constructions, p. 181–184. (in Russian)
  5. ANSI/ASCE 10. Design of Latticed Steel Transmission Structures. Reston: American Society of Civil Engineers, 2000. 76 p. (ASCE Standard). ISBN 0-7844-0324-4.
  6. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. Minsk: Ministry of architecture and engineering of the Republic of Belarus, 2010. 133 p. (in Russian)
  7. 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.
  8. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures [Текст]. In: *Phil. Magazine*, 1904, Vol. 8, No. 47, p. 589–595.
  9. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.
  10. Spillers, W. R.; Kountouris, G. Geometric optimization using simple code representation. In: *J. of Str. Div, ASCE*, 1980, Vol. 106, p. 959–970.

**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 облік внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

**Азбаш Наталія Володимирівна** – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи болтових з'єднань опор ліній електропередачі.

**Карabanов Олексій Сергійович** – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор.

**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 горячекатаного проката в строительных конструкциях.

**Агбаш Наталья Владимировна** – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы болтовых соединений опор линий электропередачи.

**Карабанов Алексей Сергеевич** – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

**Volodymyr 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.

**Agbash Natalia** – an assistant professor of the Department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: the study of the actual work bolting transmission towers.

**Aleksey Karabanov** – an assistant professor of the Department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: optimal design of overhead power transmission line and antenna supports.