

УДК 621.882

В. Н. ВАСЫЛЕВ, А. С. КАРАБАНОВ, Н. В. АГБАШ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА ОДНОБОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО УКРАИНСКИМ И ЗАРУБЕЖНЫМ НОРМАМ

В опорах линий электропередачи разрушение болтовых соединений происходит из-за среза болта, а не из-за смятия соединяемых элементов. Но так как для опор характерно применение профиля с малыми толщинами — от 4 до 12, разрушения таких элементов должно происходить из-за смятия соединяемых поверхностей. Разница в определении усилий, которые может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез, определенная по новым ДБН «Сталеві конструкції» и аналогичным нормам, применяемым в других государствах, состоит в том, что используются различные расчетные характеристики смятия соединяемых поверхностей. Для ДБН расчетной характеристикой является R_{bp} (расчетное сопротивление болта на смятие), в нормах ENи ANSI — f_u (временное сопротивление стали). Существует также разница в коэффициентах, которые применяются в методиках различных норм.

линии электропередачи, одноболтовые соединения, расчетные характеристики, отказ работы соединения

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В связи с переходом большинства стран на нормы, применяемые в Европе, возник вопрос о конкурентоспособности украинских и зарубежных.

Помимо действующего СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», в 80-е годы были разработаны ведомственные нормы для заводов изготовителей металлических опор высоковольтных линий электропередачи. Ведомственные нормы отличались от действующего СНиП. С переходом на новые ДБН расчетные сопротивления изменились.

Анализируя методику расчета болтовых соединений, применяемых в ДБН и EN, видна разница в расчете и расчетных характеристиках. Применяя методику европейских норм, получаем усилия несколько больше, чем при использовании отечественных норм, а при использовании норм США значения превышают результаты EN.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Анализ характера отказа в работе одноболтового соединения и расчет соединений по различным нормативным документам.

РАСЧЕТ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Несущая способность одноболтового соединения на смятие по ДБН:

$$N_b = R_{bp} \sum t \cdot d \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где N_b — усилие, которое может быть воспринято одним болтом;
 R_{bp} — расчетное сопротивление болта на смятие;
 $\sum t$ — наименьшая суммарная толщина элементов;
 d — наружный диаметр;
 γ_b — коэффициент, зависящий от отношения расстояния от обреза элемента до центра отверстия a и диаметра отверстия d .

Расчетное сопротивление R_{bp} по ДБН, для болтов класса точности В и С, зависит от временного сопротивления стали R_u :

© В. Н. Васылев, А. С. Карабанов, Н. В. Агбаш, 2012

$$R_{bp} = 1,35 R_u. \quad (2)$$

Несущая способность одноболтового соединения на смятие по нормам EN:

$$F_{b,Rb} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \quad (3)$$

где f_u — временное сопротивление стали;
 k_1 — коэффициент, принимаемый вдоль усилия 2,5;
 γ_{M2} — коэффициент безопасности, рекомендуется 1,25;
 α_b — коэффициент, принимаемый меньший из значений α_d и f_{ub}/f_u или 1,0;
 α_d — зависит от следующего соотношения:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}, \quad (4)$$

где e_1 — расстояние от обреза элемента до центра отверстия;
 d_0 — диаметр болта.

По нормам ANSI напряжение смятия не должно превышать $1,5F_u$, а максимальные напряжения смятия рассчитываются как частное деление усилия на произведение диаметра болта и толщины соединяемой детали:

$$\sigma = \frac{P}{d \cdot t} \leq 1,5 F_u. \quad (5)$$

Усилие, воспринимаемое одним болтом:

$$P = 1,5 \cdot F_u \cdot d \cdot t. \quad (6)$$

При расчете болтового соединения на смятие, чтобы не происходили разрушения, необходимо увеличить либо толщину металла, либо диаметр болта. Такую зависимость можно проследить на рисунках 1 и 2. Увеличение толщины элемента не целесообразно из-за увеличения металлоемкости конструкции, а изменение диаметра на больший невозможно из-за применяемых размеров профиля.

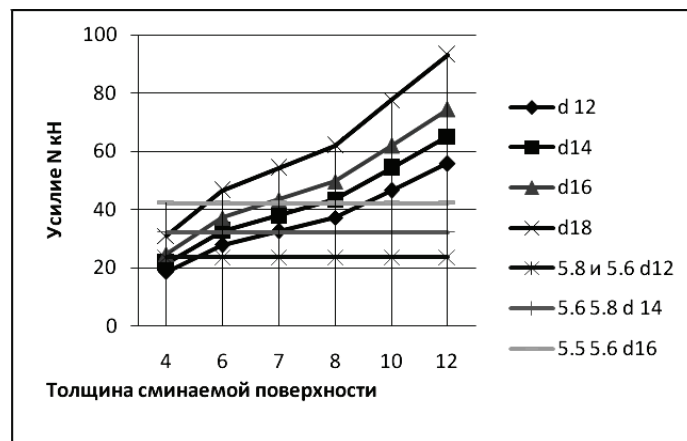


Рисунок 1 — Усилие, которое может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез с одной плоскостью среза, посчитанное по ДБН (горизонтальные линии — усилие среза, наклонные — смятие).

На графиках 1 и 2 видна разница в усилиях на смятие и срез, определенные по ДНБ и EN. Усилие смятия, определенные по методике действующих правил в Украине, при толщинах от 4 до 8 значительно меньше усилия среза при тех же диаметрах и толщинах сминаемых элементов.

В действующих украинских нормах расчет соединений ведется по временному сопротивлению R_{bp} , для класса точности В или С. Аналогичный расчет в зарубежных нормах напрямую зависит от временного сопротивления стали f_u и ряда коэффициентов, которые зависят от конструктивных особенностей болтового соединения и от направления усилия, действующего в соединении.

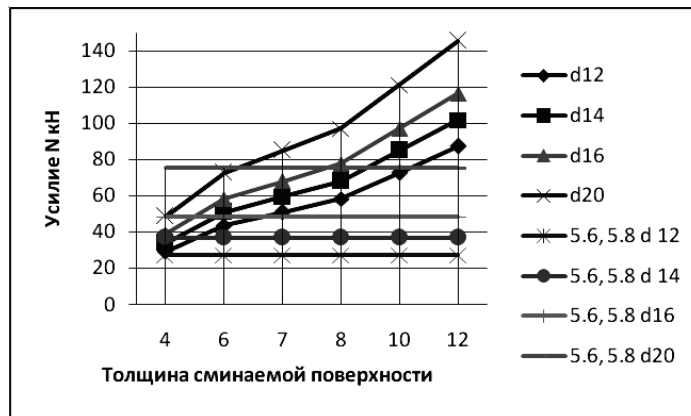


Рисунок 2 — Усилие, которое может воспринять одноболтовое соединение на смятие и срез с одной плоскостью среза, посчитанное по EN (горизонтальные линии — усилие среза, наклонные — смятие).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СМИНАЕМОМ ЭЛЕМЕНТЕ

Определение максимальных напряжений в элементе является сложной задачей теории упругости, что делает ее трудоемкой и объемной. Упростить решение таких задач можно, применяя расчетные комплексы, которые основаны на методе конечных элементов. Такие программы позволяют сделать расчет как в упругой стадии, так и в пластической. Что значительно увеличивает достоверность расчетов. Также они позволяют смоделировать нелинейную задачу, что в большей степени удовлетворяет начальным параметрам задачи.

В численной модели планируется решить следующие задачи: определения наиболее рационального сгущения сетки, определение наиболее подходящего типа конечного элемента, построение кусочно-линейного закона растяжения сжатия материала, задание начальных параметров для решения контактной задачи.

На основании численной модели планируется разработка экспериментальной модели с расстановкой датчиков в наиболее опасных точках.

ВЫВОД

Большинство разрушений болтовых соединений происходит из-за среза болтов, но так как в опорах ЛЭП самыми распространенными являются элементы с толщиной полок от 4 до 12 мм, то по расчету определяющим несущим усилием является смятие. В рассмотренных зарубежных нормах, при расчете болтовых соединений, отсутствует расчетное сопротивление смятия, а используется временное сопротивление растяжению f_u . Такая разница в определении усилия приводит к разнице в усилиях, что делает не конкурентно способными отечественные нормы по сравнению с аналогичными зарубежными нормами, вследствие чего при подборе сечений происходит некоторое завышение профилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-23-81*. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции [Текст]. — [Действующий с 14 августа 1981 г.] — М. : Центральный институт типового проектирования, 1991. — 96 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 : Мінрегіонбуд України, 2011. — 127 с.
3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1—8. Расчет соединений [Текст]. — Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. — 133 с.
4. ANSI/ASCE 10-97. Design of Latticed Steel Transmission Structures [Текст] / American Society of Civil Engineers. — [S. l.] : ASCE Publications, 2000. — 71 p. — ISBN 0-7844-0324-4.

5. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. — К. : Наукова думка, 1988. — 734 с.
6. Броверман, Г. Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений [Текст] / Г. Б. Броверман. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1984. — 256 с.
7. Правила устройства электроустановок [Текст] / Минэнерго СССР. — 4-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1965. — 464 с. — (Нормативный документ Минэнерго СССР).
8. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст]. — Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. — III, 125 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
9. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций [Текст] : учеб. пособие для студ. строит. профиля, магистрантов, аспирантов, а также послевуз. подготов. и переподготов. / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, Я. В. Назим, И. В. Роменский ; под общ. ред. Е. В. Горохова ; Донбас. нац. акад. стр-ва и архитектуры. — Макеевка : [ДонНАСА], 2012. — 561 с. — ISBN 978-617-599-012-4.
10. СНиП 3.03.01-87. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. — Взамен СНиП III-15-76; СН 383-67; СНиП III-16-80; СН 420-71; СНиП III-18-75; СНиП III-17-78; СНиП III-19-76; СН 393-78 ; введ. 1988-07-01. — М. : [б. и.], 2006. — 192 с.
11. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередач [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — Л. : Энергия, Ленинградское отделение, 1979. — 312 с.

Получено 03.09.2012

В. М. ВАСИЛЕВ, О. С. КАРАБАНОВ, Н. В. АГБАШ
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ ОДНОБОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗА
УКРАЇНСЬКИМИ І ЗАРУБІЖНИМИ НОРМАМИ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

В опорах ліній електропередачі руйнування одноболтових з'єднань відбувається через зріз болта, а не через зминання з'єднувальних елементів. Але так як для опор характерно застосування профілів з малими товщинами — від 4 до 12, руйнування таких елементів повинно відбуватися через зминання з'єднувальних поверхонь. Різниця у визначенні зусиль, які може сприйняти одноболтове з'єднання, визначена за новими ДБН «Сталеві конструкції» і аналогічними нормами, застосованими в інших державах, є у тому, що використовуються різні розрахункові характеристики зминання з'єднувальних елементів. Для ДБН розрахункові характеристиками є R_{bp} (розрахунковий опір болта на зминання) в нормах EN та ANSI — f_u (тимчасовий опір сталі). Існує також різниця в коефіцієнтах, які застосовуються в методиках різних норм.

лінії електропередач, одноболтове з'єднання, розрахункові характеристики, відмова роботи з'єднання

VOLODYMYR VASYLEV, ALEXEY KARABANOV, NATALIA AGBASH
THE COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION OF ONE-BOLTED JOINTS
ON THE UKRAINIAN AND FOREIGN SIZE STANDARDS
 Donbas National Academy of Engineering and Architecture

In article settlement characteristics of bolted joints of various standard documents applied in Ukraine, and also applied abroad are presented. The comparative analysis of calculation of connections with application of various techniques and settlement characteristics of bolted joints on bearing and a cut is carried out. The technique of definition of the maximum contact pressure with application of settlement programs on the basis of a method of final elements is developed. Estimated characteristic for DBN is R_{bp} (design strength of stub on bearing) in a norms of EN and ANSI — f_u (ultimate resistance of steel.) There is also a differences in factors, which used in methods of different norms.

power lines, one-bolted joints, settlement characteristics, refusal of work of connection

Василев Володимирович Миколайович — к. т. н., доцент; професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, лауреат Державної премії України в області науки і техніки. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи будівель і споруджень легких металевих конструкцій.

Карабанов Олексій Сергійович — асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи конструкції електромережевого будівництва.

Агбаш Наталія Володимирівна — асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи конструкції електромережевого будівництва.

Василев Владимирovich Николаевич — к. т. н., доцент; профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники. Научные интересы: исследование действительной работы зданий и сооружений легких металлических конструкций.

Карабанов Алексей Сергеевич — ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы конструкции электросетевого строительства.

Агбаш Наталья Владимировна — ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы конструкции электросетевого строительства.

Volodymyr Vasylev — PhD(Eng.), associate professor; Professor of Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture, the winner of the State award of Ukraine in the field of a science and techniques. Scientific interests: research of the valid work of buildings and constructions of easy metal designs.

Alexey Karabanov — assistant, Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work of a design of electro network building.

Natalia Agbash — assistant, Metal Designs Department, Donbas National Academy of Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the valid work of a design of electro network building.