

2. Еврокод 2. Бетонные и железобетонные конструкции. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : Минстройархитектуры, 2009. – 191 с.

3. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные правила : СП 63.13330.2018 – Введ. 20.06.2019. – М. : М-во строит. и жил.-коммунал. хозяйства, 2019. – 118 с.

4. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (318R-19) : ACI Committee 318 – MI ; Farmington Hills : American Concrete Institute, 2019. – 628 p.

5. Design of concrete structures : CSA A23.3-04 – Canadian standards association standard, 2019. – 301 p.

6. Анализ методов расчета прочности элементов железобетонных конструкций на отрыв / Н. Н. Шалобыта [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1(124). – С. 39–42.

7. Analysis of calculation methods and numerical simulation of the stress-strain state of reinforced concrete elements under local action of tensile forces / N. N. Shalobyta [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – No. 3 (132). – P. 35–40.

8. Abaqus 6.13. Analysis User's Guide. Volume III : Materials. – Dassault Systemes Simulia Corp., Providence : RI, 2013. – 699 p.

УДК 624.014

## **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА СРЕЗ ПО EN 1993-1-8, СП 5.04.01 И ANSI/AISC 360-05**

*А. Б. Шурин<sup>1</sup>, Д. А. Жданов<sup>2</sup>, А. И. Дробыш<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> К. т. н., доцент, зав. кафедрой строительных конструкций БрГТУ, Брест, Беларусь

<sup>2</sup> К. т. н., доцент кафедры строительных конструкций БрГТУ, Брест, Беларусь

<sup>3</sup> Магистрант, лаборант кафедры строительных конструкций БрГТУ, Брест, Беларусь

### **Реферат**

Расчет болтовых соединений является важной составляющей проектирования в строительстве. EN 1993-1-8 [1], СП 5.04.01 [2] и ANSI/AISC 360-05 [3] – это нормативные документы, которые регламентируют расчет и конструирование болтовых соединений в соответствии с европейскими, белорусскими и американскими нормами.

Использование таких стандартов обеспечивает надежность и безопасность проектирования болтовых соединений, их конструкций, а также соответствие современным техническим требованиям, что, в свою очередь, способствует улучшению качества и надежности проектов. Они обеспечивают универсальность и применимость методов и правил к различным условиям и областям промышленности и строительства [4].

**Ключевые слова:** металлические конструкции, болтовое соединение, болт, срез, смятие, податливость.

# FEATURES OF CALCULATION BOLTED CONNECTIONS FOR SHEAR BY EN 1993-1-8, SP 5.04.01 AND И ANSI/AISC 360-05

*A. B. Shuryin, D. A. Jdanov, A. I. Drobysch*

## **Abstract**

The calculation of bolted joints is an important component of design in construction. EN 1993-1-8 [1], SP 5.04.01 [2] and И ANSI/AISC 360-05 [3] are normative documents that regulate the design and calculation of bolted joints in accordance with European, Belarusian and American National Standards Institute (ANSI) standards.

The use of such standards ensures the reliability and safety of the design of bolted joints, their structures, as well as compliance with modern technical requirements, which, in turn, contributes to improving the quality and reliability of projects. They ensure the universality and applicability of methods and rules to various conditions and areas of industry and construction [4].

**Keywords:** metal structures, bolted connection, bolt, cut, crumple, pliability.

## **Введение**

Понятие «Металлические конструкции» включает в себя их конструктивную форму, технологию изготовления и способы монтажа. Уровень развития металлических конструкций определяется, с одной стороны, потребностями в них экономики, а с другой – возможностями технической базы: развитием металлургии, металлообработки, строительной науки и техники.

Металлические конструкции применяются сегодня во всех видах зданий и сооружений, особенно, если необходимы значительные пролеты, высота и нагрузки. Потребность в металлических конструкциях чрезвычайно велика.

Одним из достоинств металлических конструкций является возможность устройства надежных соединений: болтовых, заклепочных или сварных.

Болтовое соединение – это удобный, быстрый и надежный способ скрепления сопрягаемых поверхностей. Его эксплуатация может производиться десятилетиями. Используя этот вид крепежа, можно решить любую технологическую, производственную, хозяйственную и даже дизайнерскую задачу.

Достоинствами болтовых соединений является:

**Разъемность.** В отличие от сварки, болтовое соединение имеет разъемный характер. Это удобно для конструкций, которые периодически подвергаются разборке, например, для осмотра и внедрения новых узлов. Благодаря такой удобной особенности, болтовое соединение приобрело огромную популярность, что спровоцировало оптовую продажу крепежа различной сложности.

**Практичность.** Существуют такие метизы, которые в ходе изготовления приобретают столь высокие прочностные и эксплуатационные характеристики, что могут спокойно заменить сварку и по сроку использования, и по надежности. На такие болты цена не столь велика, за счет чего их использование полностью окупается. А возможность периодического демонтажа позволяет сделать соединение особенно практичным.

**Простота монтажа**, способствующая широкому распространению при монтаже металлических конструкций.

**Недостатки болтовых соединений:**

- повышенная металлоемкость из-за наличия стыковых накладок;
- ослабление поперечного сечения элементов отверстиями для болтов.

Еще один недостаток болтовых соединений классов точности В и С – это податливость. При приложении к таким соединениям внешних усилий имеют место значительные перемещения, обусловленные разностью в диаметрах болта и отверстия, а также неодновременностью вступления в работу всех болтов соединения [4].

Расчет болтовых соединений на срез по EN 1993-1-8 [1] выполняется как по площади брутто (1), так и по площади нетто (2):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}; \quad (1)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}}, \quad (2)$$

где  $A$  – площадь сечения болта брутто;  $A_S$  – площадь сечения болта нетто;  $f_{ub}$  – предел прочности болта;  $\gamma_{M2}$  – частный коэффициент;  $\alpha_v$  – понижающий коэффициент (если резьба проходит через плоскость среза то  $\alpha_v = 0,5$ , иначе 0,5 или 0,6, в зависимости от класса прочности болта).

В то же время расчет болтовых соединений на срез по СП 5.04.01-2021 или СП 16.13330 выполняется только по площади брутто (3)

$$N_{bs} = f_{bs} \cdot A_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

где  $f_{bs}$  – расчетное значение прочности одноболтовых соединений на срез;  $A$  – площадь сечения стержня болта;  $\gamma_b$  – коэффициент условий работы болтового соединения;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы.

Расчет болтовых соединений по американским нормам может быть выполнен по нормам ANSI/AISC 360-05 [3] в которых изложены два метода расчета: метод допускаемых напряжений (ASD) – традиционный метод расчета металлических конструкций в США и метод частных коэффициентов безопасности (LRFD). Для целей данной статьи мы воспользуемся положениями [3] для определения расчетного сопротивления срезу одного болта  $\phi R_u$  (или его резьбовой части) на основе метода частных коэффициентов безопасности

$$\phi R_u = 0.75 \cdot F_{nv} \cdot A_b, \quad (4)$$

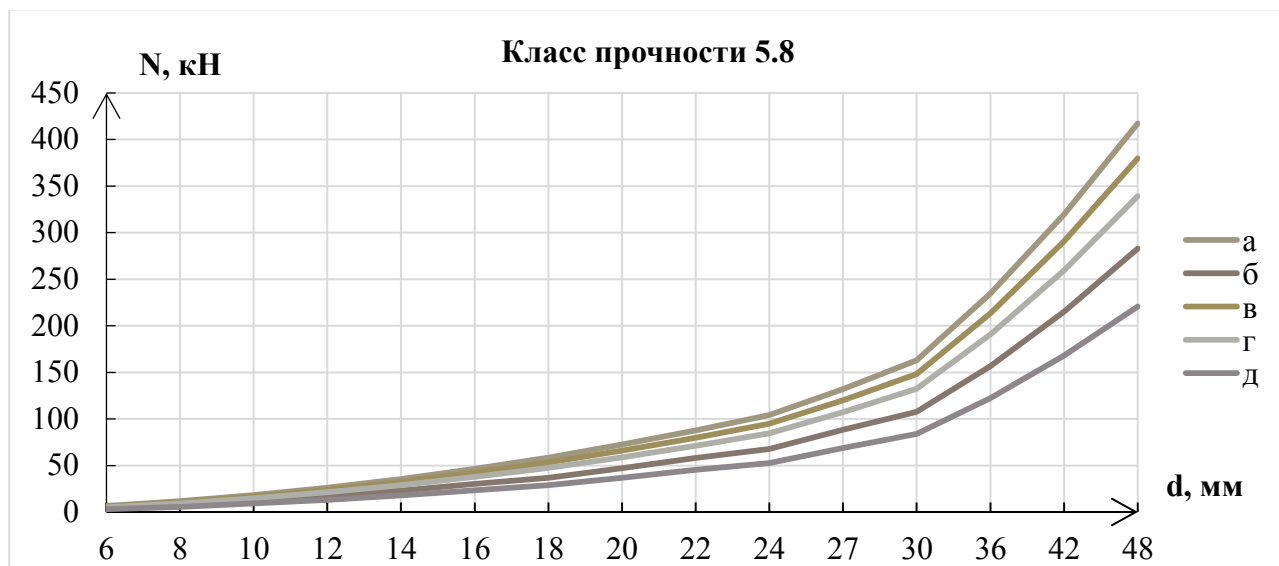
где  $F_{nv}$  – напряжение среза, определяемое по таблице J3.2 [3];  $A_b$  – номинальная площадь поперечного сечения гладкой части болта.

Напряжение среза болта (за исключение болтов А307, А325 и А490, произведенных по американским стандартам) определяется по выражениям:

- плоскость среза проходит через гладкую часть болта  $F_{nv} = 0.5 F_u$ ;
- плоскость среза проходит через резьбовую часть болта  $F_{nv} = 0.4 F_u$ ,

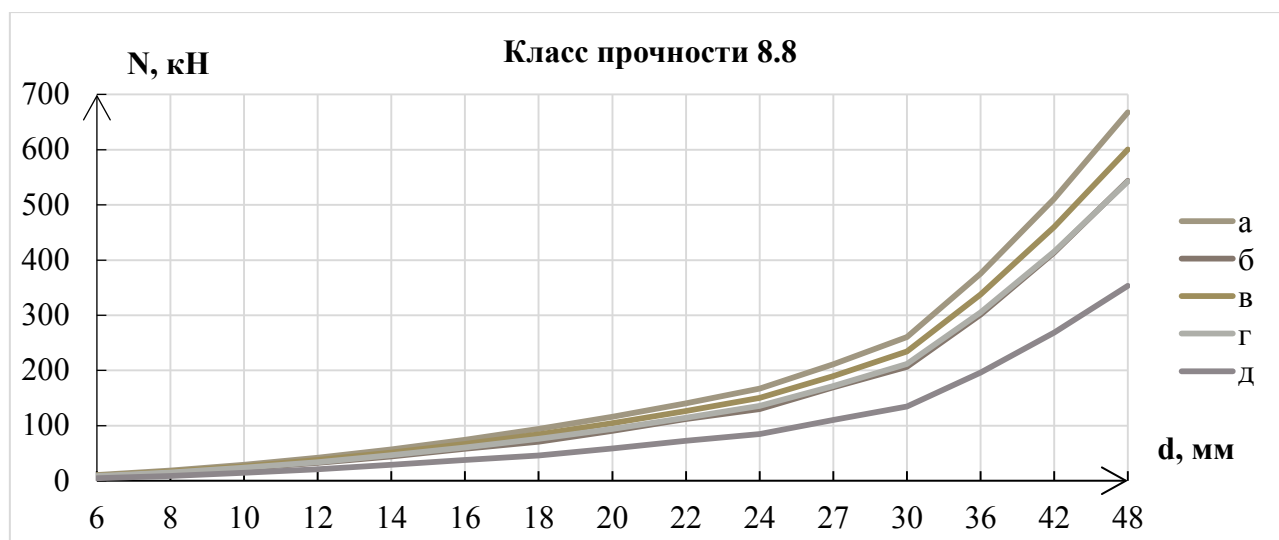
где  $F_u$  – минимальный предел прочности материала болта на растяжение.

Сравнение несущей способности болтов на срез с болтами класса прочности 5.8 и 8.8, рассчитанная по EN 1993-1-8 [1], СП 5.04.01-2021 [2] и ANSI/AISC 360-05 [3] приведена на рисунках 1 и 2.



- а) EN 1993-1-8 по гладкой части болта (по площади брутто)  
 б) EN 1993-1-8 по резьбовой части болта (по площади нетто)  
 в) СП 5.04.01 по гладкой части болта  
 г) ANSI по гладкой части; д) ANSI по резьбовой части

*Рисунок 1 – Несущая способность болта класса прочности 5.8 из условия среза*



- а) EN 1993-1-8 по гладкой части болта (по площади брутто)  
 б) EN 1993-1-8 по резьбовой части болта (по площади нетто)  
 в) СП 5.04.01 по гладкой части болта  
 г) ANSI по гладкой части; д) ANSI по резьбовой части

*Рисунок 2 – Несущая способность болта класса прочности 8.8 из условия среза*

Анализ формул 1, 2 и 4 позволяет установить, что расчет болтовых соединений на срез по европейским и американским нормам может выполняться как по гладкой части болта, так и по резьбовой. Расчет на срез по СП 5.04.01 (или СП 16.13330) может выполняться только по гладкой части болта. Однако, в соответствии с таблицей 2 ГОСТ 7798 [6] установлено, что болты длиной до 40 мм выпускаются только с нарезкой резьбы по всей длине стержня. Поэтому расчет таких соединений по СП 5.04.01-2021 невозможен.

Из рисунка 1 и 2 следует, что расчет по EN 1993-1-8 (формулы 1 и 2) дает большее значение несущей способности болта из условия среза на 10 % для болтов класса прочности 4.6 и для болтов 8.8 – 12 %, по сравнению с расчетом по СП 5.04.01 (формула 3). Расчет на срез по ANSI/AISC 360-05 [3] дает меньшее на 10% значение несущей способности на срез по сравнению с СП 5.04.01.

### **Выводы по работе**

1. Выполнено сравнение по расчету болтовых соединений на срез европейским, американским и белорусским нормам проектирования. Различия между стандартами заключаются прежде всего в подходах к расчету и требованиях к монтажу [4, 7].

2. Расчет болтовых соединений на срез по европейским (EN 1993-1-8 [1]) и американским нормам (ANSI/AISC 360-05 [3]) выполняется как по гладкой, так и по резьбовой части болта. В то же время расчет болтовых соединений на срез по СП 5.04.01-2021 [2] может выполняться только по гладкой части болта. В соответствии с ГОСТ 7798 [6] болты длиной до 40 мм выпускаются только с нарезкой резьбы по всей длине стержня. Поэтому расчет таких соединений по СП 5.04.01-2021 невозможен.

3. Т. к. расчетное значение несущей способности на срез, рассчитанное по гладкой части болта в соответствии с СП 5.04.01 менее несущей способности на срез, рассчитанной по EN 1993-1-8, предлагается внести изменения в формулу 197 СП 5.04.01 [3] с последующей корректировкой коэффициента  $\gamma_b$ :

- при расчете по гладкой части болта  $N_{bs} = f_{bs} \cdot A_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$ ;
- при расчете по резьбовой части болта  $N_{bs} = f_{bs} \cdot A_{b,n} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$ .

### **Литература**

1. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1993-1-8-2009\*. – Минск : Минстройархитектуры, 2015. – 128 с.

2. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2021. – Введ. 29.07.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 147 с.

3. Specification for Structural Steel Buildings, March 9, 2005, American institute of steel construction, INC.

4. Шурин, А. Б. Сравнительный анализ расчета и проектирования элементов стальных конструкций по ТКП EN 1993-1 и СНиП II-23 / А. Б. Шурин, И. В. Зинкевич, А. В. Мухин // Вестник БрГТУ. – 2020. – № 1 : Строительство и архитектура. – С. 23–27.

5. Драган, В. И. Податливость стержневых систем с узловыми соединениями на пространственных листовых фасонках / В. И. Драган, А. Б. Шурин // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2015. – № 7. – С. 37–44.

6. Межгосударственный стандарт. Болты с шестигранной головкой гост класса точности В: ГОСТ 7798. Конструкция и размеры. – М. : Стандартиформ, 2010.

7. Проектирование стальных конструкций в соответствии с требованиями EUROCODES. / А. Б. Шурин [и др.]. – М. : Издательство АСВ, 2021. – 224 с.