

специальных датчиков и исполнительных механизмов в элементы позволит им трансформироваться и взаимодействовать со своими пользователями и окружающей средой. Поскольку сфера программирования развивается, внедрение кода будет создавать куда больше возможностей в создании абсолютно разных и неповторимых вариаций данной разработки. Здания с динамичными фасадными системами являются яркими, привлекательными объектами, а программируемые автономные системы помогут контролировать микроклимат помещений для более удобного пользования.

Список цитированных источников

1. Dynamic architecture [Электронный ресурс] // TheDhaus.com [website]. – Режим доступа: <https://www.thedhaus.com/portfolio/the-dynamic-dhaus/dynamic-architecture/>. – Дата доступа: 10.04.2024.
2. The impact of a kinetic façade on the lighting performance and energy efficiency of a public building: the case of Dubai frame [Электронный ресурс] // Tandfonline.com [website]. – Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786451.2023.2248514>. – Дата доступа: 10.04.2024.
3. Kinetic façade as a tool for energy efficiency [Электронный ресурс] // Researchpublish.com [website]. – Режим доступа: <https://www.researchpublish.com/upload/book/-KINETIC%20FACADE%20AS%20A%20TOOL-8194.pdf>. – Дата доступа: 10.04.2024.
4. Parametric Façade In Architecture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gosmartbricks.com/parametric-facade-in-architecture-7-things-for-your-interests/>. – Дата доступа: 10.04.2024.
5. Кинетические жилые здания – будущее начинается сегодня [Электронный ресурс] // Cyberleninka.ru [website]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kineticheskie-zhilye-zdaniya-buduschee-nachinaetsya-segodnya/viewer>. – Дата доступа: 10.04.2024.
6. Карась, В. Я. Кинетические фасады / В. Я. Карась // Наука через призму времени. – 2018. – № 10.
7. VERTO Air Purification Tower / Studio Symbiosis [Электронный ресурс] // ArchDaily.com [website]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/1000839/verto-air-purification-tower-studio-symbiosis>. – Дата доступа: 10.04.2024.

УДК 624.014

Дробыш А. И.

*Научный руководитель: к. т. н., доцент, заведующий кафедрой
строительных конструкций Шурин А. Б.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Расчет болтовых соединений металлических конструкций имеет решающее значение для обеспечения безопасности и надежности конструкций. С развитием технологий и появлением более сложных конструкций возникла необходимость в совершенствовании методов расчета болтовых соединений.

Соединения на болтах на сегодня является основным способом сопряжения элементов. Такой способ позволяет быстро и точно производить монтаж с минимальным набором оборудования.

Традиционные методы расчета болтовых соединений часто основаны на упрощающих предположениях и могут не учитывать все факторы, влияющие на

поведение соединения. Это может привести к недооценке или переоценке прочности соединения, что может поставить под угрозу безопасность конструкции.

Существует несколько подходов к совершенствованию расчета болтовых соединений:

- Учет дополнительных факторов. Улучшение методов расчета путем учета дополнительных факторов, таких как пластическое поведение материала, нелинейность и динамические нагрузки.

- Использование более точных моделей. Разработка более точных математических моделей, которые лучше описывают поведение болтовых соединений под нагрузкой.

- Применение численных методов. Использование численных методов, таких как метод конечных элементов (МКЭ), для анализа сложных соединений и учета геометрических и физических нелинейностей.

- Экспериментальные исследования. Проведение физических испытаний для калибровки и проверки численных моделей и предоставления данных для разработки новых расчетных методов.

Совершенствование расчета болтовых соединений имеет ряд преимуществ, в том числе:

- Повышение точности и надежности. Более точные методы расчета обеспечивают более точную оценку прочности и надежности болтовых соединений.

- Оптимизация конструкции. Уточненные расчеты позволяют оптимизировать конструкцию и уменьшить использование материалов, что приводит к экономии средств.

- Улучшение безопасности. Более точный расчет снижает риск отказов болтовых соединений и повышает общую безопасность конструкций.

Совершенствование расчета болтовых соединений металлических конструкций является непрерывным процессом, направленным на повышение точности, надежности и безопасности инженерных сооружений.

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;

γ_{M2} – частный коэффициент;

α_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;
 γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения;
 γ_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 ϕR_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.

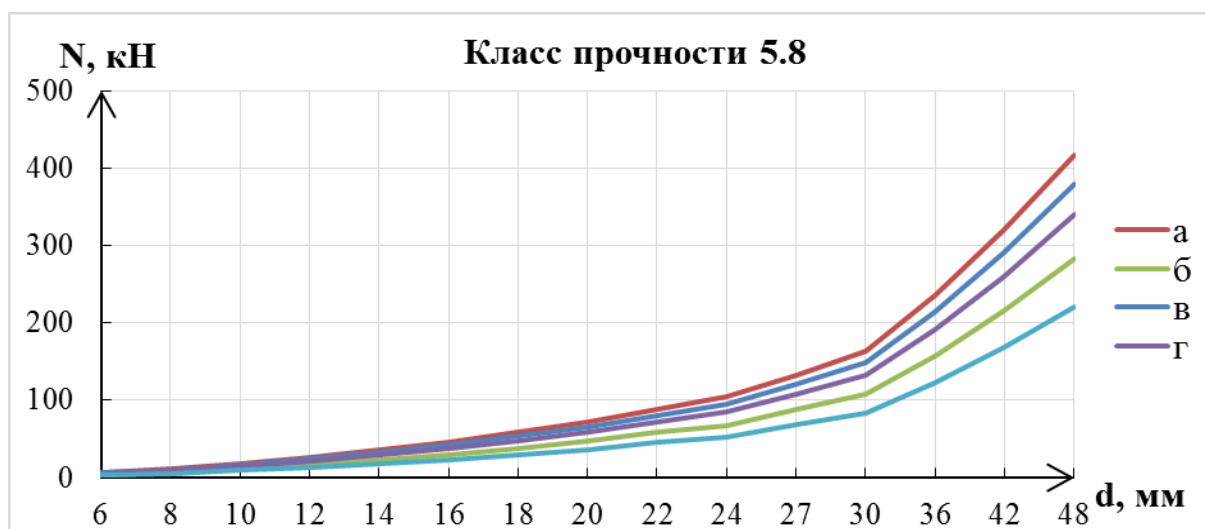
Напряжение среза болта (за исключение болтов A307, A325 и A490, произведенных по американским стандартам) определяется по выражениям:

– плоскость среза проходит через гладкую часть болта $F_{nv} = 0.5F_u$;

– плоскость среза проходит через резьбовую часть болта $F_{nv} = 0.4F_u$,

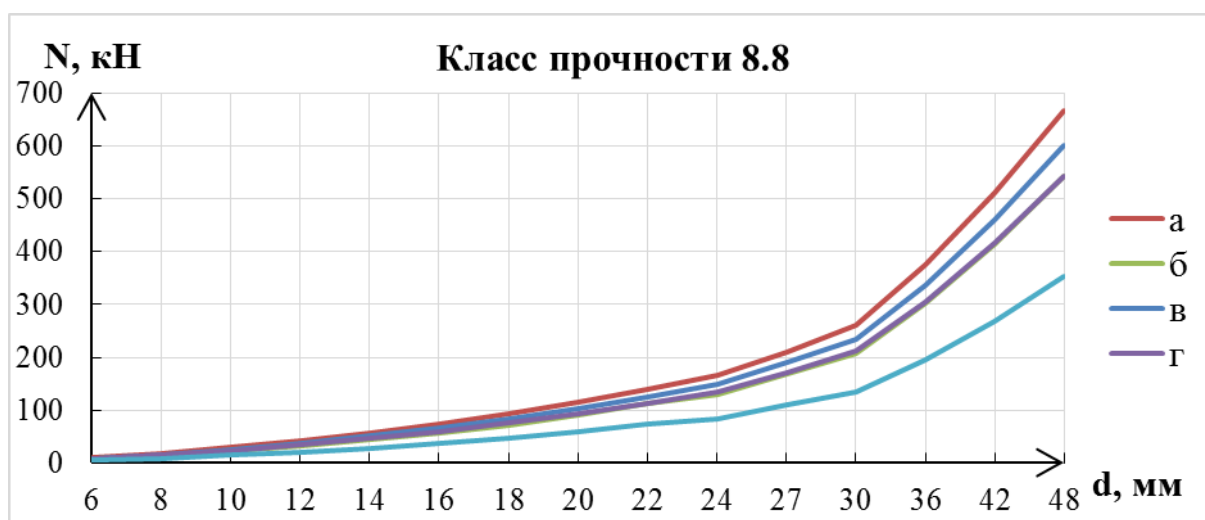
где F_u – минимальный предел прочности материала болта на растяжение.

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. Так как 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 γ_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 $N_{bs} = f_{bs} \cdot A_{b,n} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$.

Список цитированных источников

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 : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 128 с.

2. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2021. – Введ. 29.07.2021. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 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. – Брест, 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. – Москва, 2015. – № 7. – С. 37–44.

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

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

УДК 624.014

Дробыш А. И.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ МОНТАЖА СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА БОЛТАХ И НА СВАРКЕ

Введение

Соединения металлических конструкций на болтах и на сварке являются двумя основными методами крепления металлических элементов и конструкций.

Достоинствами болтовых соединений является простота и надежность, что способствует их широкому распространению при монтаже металлоконструкций. Простота соединения и надежность в работе способствовали их широкому распространению в строительстве при монтаже металлических конструкций.

Однако болтовые соединения более металлоемки, чем сварные, так как имеют стыковые накладки, а отверстия для болтов ослабляют сечения элементов. Последнее частично компенсируется допущением упругопластической работы элементов и введением соответствующего коэффициента условий работы, а для элементов стыка на высокопрочных болтах – уменьшением фактического ослабления за счет передачи части действующего усилия между соединяемыми элементами за пределами ослабленного сечения.