

- для метода ключевых элементов: случай приложения особой нагрузки на элементы, прикрепленные к ключевому элементу.

#### Список цитированных источников

1. Воздействия на конструкции: ТКП EN 1991-1-7-2009. – Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия.
2. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011\*.
3. SCI P391 Structural robustness of steel framed buildings. Silwood Park, Ascot, Berkshire. SL5 7QN UK, 2011 – 132 p.

## УДК 624.04

### ЕВРОПЕЙСКАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТРУБ

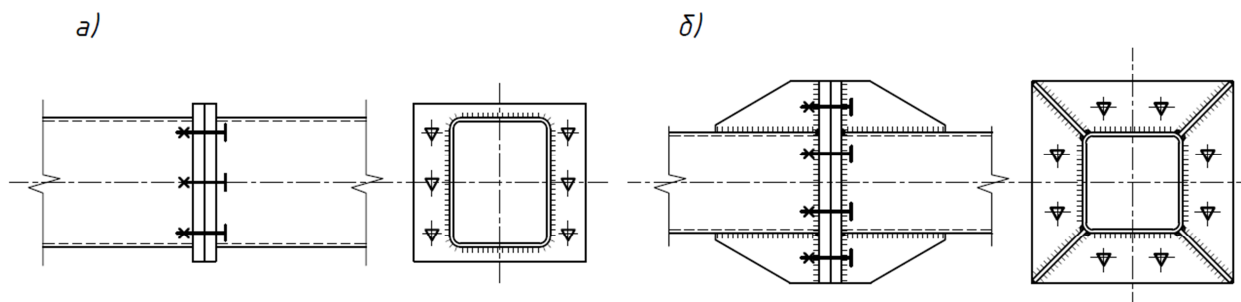
*Надольский В. В., Бояринцева Е. С.*

***Annotation:** At present, the flange (end plate splices) connection is one of the most popular and effective types of bolt-joint assembly of hollow section elements, in particular for connecting tensioned chord of trusses. In the Republic of Belarus today, calculations of steel structures are carried out in accordance with the requirements of SNiP II-23-81 \* or Eurocode 3, but in these standards there are no methods for calculating the flange connection of elements from the hollow profile. This circumstance causes difficulties in designing flange connections of elements from pipes. In the domestic practice, the availability of recommendations, series and literature make this situation much easier. The European standardization system does not provide a calculation of the flange connection of elements from hollow section. In this regard, the review of the methodology used in Europe has great practical and theoretical interest.*

**Введение.** Фланцевое соединение в настоящее время является одним из наиболее популярных и эффективных типов монтажного болтового соединения элементов из труб, в особенности для соединения растянутых поясов ферм (рис. 1). В Республике Беларусь сегодня расчеты стальных конструкций ведутся согласно требованиям СНиП II-23-81\* [1] или Еврокоду 3 [2], но в данных стандартах нет методик по расчету фланцевого соединения элементов из замкнутого профиля. Это обстоятельство вызывает трудности при проектировании фланцевых соединений элементов из труб. В отечественной практике значительно облегчают эту ситуацию «Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций» [3], «Пособие по проектированию к СНиП II-23-81\*» [4], «Серия по применению ферм из труб» [5], СТО 0041-2004 [6] и освещенность данного вопроса в отечественной литературе, например [7, 8]. В европейской системе нормирования ТКП EN 1993-1-8-2009 «Стальные конструкции. Расчет соединений» [3] существуют разделы, посвященные расчету фланцевых соединений элементов из двутавров (раздел 6) и узлов сопряжения элементов замкнутого профиля (раздел 7), но в данном документе не рассматриваются фланцевые соединения элементов из труб.

В связи с этим большой практический и теоретический интерес представляет европейская методика расчета NCCI: Design models for splices in structural

hollow sections [9], которая основывается на руководстве «Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading» [10].



а) без ребер жесткости; б) с дополнительными ребрами жесткости

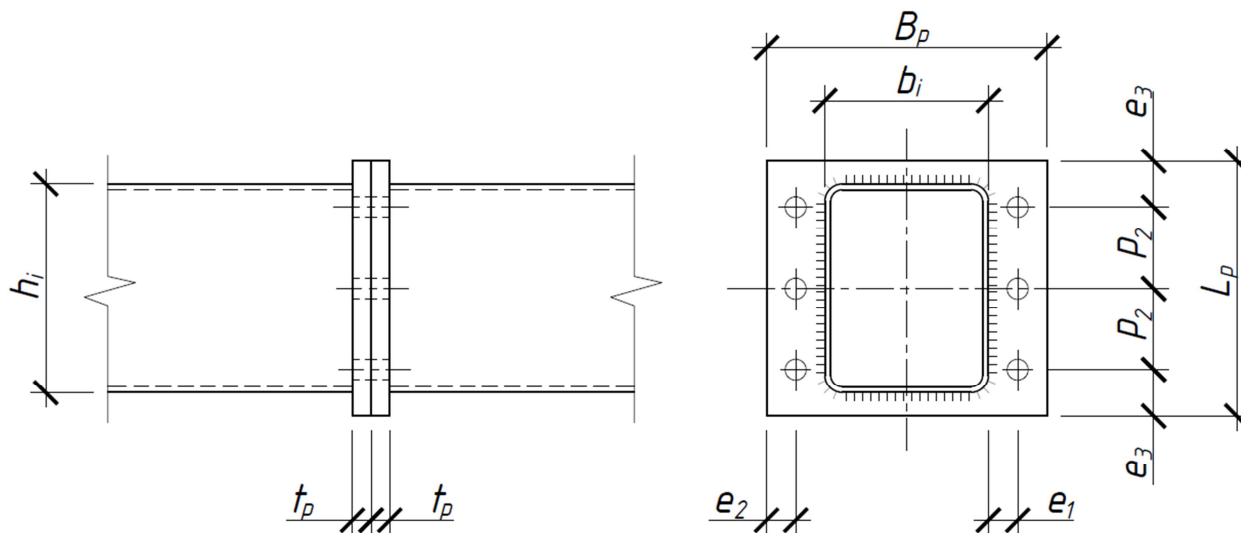
**Рисунок 1 – Фланцевые соединения для замкнутых профилей**

**Расчет фланцевого соединения по европейской методике [9].** В соответствии с данной методикой проверяются следующие компоненты фланцевого соединения:

- прочность и деформации фланца;
- прочность болтов на растяжение, включая влияние «эффекта рычага»;
- прочность сварных швов, прикрепляющих фланец к профилю.

Ограничениями применения методике являются: толщина фланца, которая должна находиться в пределах  $12 \text{ мм} \leq t_p \leq 26 \text{ мм}$ ; ось крайнего ряда болтов во фланцевом соединении не должна располагаться за контуром замкнутого профиля, расположение болтов допускается только по двум противоположным сторонам от профиля.

Все геометрические параметры, используемые в расчетной методике представлены на рисунке 2.



$h_i$  – высота сечения профиля, мм;  $b_i$  – ширина сечения профиля, мм;  $B_p$  – ширина фланца, мм;  $L_p$  – длина фланца, мм;  $t_p$  – толщина фланца, мм;  $p_2$  – шаг болтов, мм;  $e_1$  – расстояние от центра отверстия до стенки профиля, мм;  $e_2$  – расстояние от центра отверстия до ближайшей кромки фланца, мм;  $e_3$  – расстояние от центра отверстия до ближайшей кромки фланца, мм

**Рисунок 2 – Геометрические параметры фланцевого соединения труб прямоугольного очертания**

Расчет соединения выполняется следующим образом:

1. Определение необходимого количества болтов  $n$ , класса точности и размера требуемых болтов, на основании растягивающего усилия  $N_{Ed}$  и допуская некоторое влияние рычажных сил:

$$F_{t,Rd} \geq P_f, \quad (1)$$

где  $F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$  – расчетная несущая способность одного болта на растяжение, кН.

$k_2=0,9$  – во всех случаях, кроме болтов с потайной головкой;

$f_{ub}$  – временное сопротивление болта на растяжение, Н/мм<sup>2</sup>;

$A_s$  – площадь растянутого болта нетто, мм<sup>2</sup>;

$\gamma_{M2}=1,25$  – частный коэффициент.

2. Расчетное растягивающее усилие, приходящееся на один болт, кН:

$$P_f = \frac{N_{Ed}}{n}, \quad (2)$$

где  $N_{Ed}$  – растягивающее усилие, приложенное к соединению, кН;

$n$  – количество болтов, шт.

3. Компоновка соединения, исходя из требований к размещению болтов:

$$2,2d_0 \leq p_2 \leq \min(14t_p; 200\text{мм}), \quad (3)$$

$$\sum p_2 < h_i, \quad (4)$$

$$e_2 \geq 1,2d_0, \quad (5)$$

$$e_3 \geq 1,2d_0, \quad (6)$$

где  $d_0$  – диаметр отверстия для болта, мм, принимается равным:  $d_0=d+2$  мм при  $d \leq 24$  мм и  $d_0=d+3$  мм при  $d > 24$  мм.

$d$  – номинальный диаметр болта, мм.

Рекомендуемый шаг болтов  $p_2$  от 3 до 5 диаметров болтов, для минимизации эффекта рычага расстояние  $e_2$  рекомендуется равным  $1,25e_1$ .

4. Вычисляется параметр  $\delta$ :

$$\delta = 1 - \frac{d_0}{p_2}. \quad (7)$$

5. Находится диапазон для оптимальной толщины фланца,  $t_p$ :

$$\sqrt{\frac{KP_f}{1+\delta}} \leq t_p \leq \sqrt{KP_f}, \quad (8)$$

где  $K = \frac{4b' \cdot 10^3}{0,9f_{yp} p_2 / \gamma_{M0}}$  – параметр для расчета болтового соединения;

$b' = e_1 - d/2 + t_i$  – скорректированное расстояние  $e_1$ , мм;

$f_{yp}$  – предел текучести фланца, Н/мм<sup>2</sup>.

6. С уже известными параметрами соединения вычисляется коэффициент  $\alpha$ , необходимый для определения расчетной прочности фланца на растяжение,  $NR_d$ :

$$\alpha = \left( \frac{K \cdot F_{t,Rd}}{t_p^2} - 1 \right) \cdot \frac{e_2 + d/2}{\delta \cdot (e_1 + e_2 + t_i)}, \text{ но } \alpha \geq 0. \quad (9)$$

При этом  $e_2$  принимается не более  $1,25e_1$ . Следует иметь в виду, если соединение, работающее на растяжение, будет подвергаться многократно повторяющимся воздействиям, то фланец должен быть достаточно жестким, чтобы его деформация была практически исключена ( $\alpha \approx 0$ ) [10].

7. Тогда расчетная прочность фланца на растяжение,  $NR_d$ , кН:

$$N_{Rd} = \frac{t_p^2 \cdot (1 + \delta\alpha) \cdot n}{K \cdot \gamma_{M2}} \geq N_{Ed}. \quad (10)$$

8. Полное растяжение одного болта,  $F_f$ , включая влияние рычажных сил, кН:

$$F_f \approx P_f \cdot \left( 1 + \frac{b'}{a'} \cdot \left( \frac{\alpha\delta}{1 + \alpha\delta} \right) \right) \leq F_{t,Rd}, \quad (11)$$

где  $a' = e_2 + d/2$  – скорректированное расстояние  $e_2$ , мм;

$$\alpha = \left( \frac{KP_f}{t_p^2} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\delta} - \text{скорректированный коэффициент } \alpha.$$

9. Подобранные болты проверяются по несущей способности на вырыв:

$$N_{Ed} \leq n \cdot B_{p,Rd}, \quad (12)$$

где  $B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$  – расчетная несущая способность на вырыв;

$d_m$  – среднее значение расстояний между краями и гранями головки болта или гайки, принимаемое по меньшему из значений;

$f_u$  – временное сопротивление стали фланца, Н/мм<sup>2</sup>.

10. Сварные швы выполняются по всему периметру замкнутого профиля, обычно угловые. Если расчетная толщина шва превышает 8 мм, то более экономичным решением для соединения, возможно, будет выполнение стыковых сварных швов. Швы рассчитываются согласно требованиям, изложенным в ТКП EN 1993-1-8-2009 [2]:

10.1. Требуемая толщина сварного шва на основании равнопрочности с сечением трубы:

$$a \geq t_i \cdot f_y \cdot \left( \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right), \quad (13)$$

где  $f_y$  – предел текучести профиля, Н/мм<sup>2</sup>;

$\beta_w$  – поправочный коэффициент, в зависимости от класса стали более слабого соединяемого элемента.

$f_u$  – номинальное значение временного сопротивления на растяжение более слабого соединяемого элемента, Н/мм<sup>2</sup>.

Либо можно воспользоваться формулами:

$$a \geq 0,93t_i \text{ для стали S235,} \quad (14)$$

$$a \geq 0,96t_i \text{ для стали S275,} \quad (15)$$

$$a \geq 1,11t_i \text{ для стали S355.} \quad (16)$$

10.2. Требуемая толщина сварного шва, необходимая для восприятия приложенного растягивающего усилия:

$$a \geq \left( \frac{N_{Ed}}{2h_i} \right) \cdot \left( \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right). \quad (17)$$

Расчетная длина сварного шва принята равной  $2h_i$ , так как в зависимости от жесткости фланца, привариваемый периметр замкнутого профиля может подвергаться неравномерному распределению напряжений.

#### Размещение болтов по всему контуру профиля

Согласно рекомендациям [10] при размещении болтов по всему контуру трубы допускается использовать описанную методику, при этом параметр  $t_i$  необходимо исключить из формулы  $b' = e_1 - d/2 + t_i$ . Если форма сечения трубы прямоугольная либо расстояние между болтами отличается друг от друга, то в расчетах принимается минимальный шаг болтов. Чтобы эта расчетная модель работала, болты должны располагаться вблизи стенок профиля, где действует растягивающее усилие.

**Заключение.** В статье представлен метод расчета фланцевых соединений элементов из труб, данный метод выглядит очень простым и легко реализуемым, при этом следует отметить некоторые ограничения применения: узкий диапазон применимости к толщине фланца, отсутствие указаний по расчету при наличии дополнительных ребер жесткости. При этом согласно отечественным рекомендациям соединения конструируются из других требований: толщина фланца должна находиться в пределах  $20 \text{ мм} \leq t_\phi \leq 40 \text{ мм}$ ; обязательно наличие дополнительных ребер жесткости [3]. Поэтому практический и теоретический интерес представляет сравнение рассмотренной европейской методики расчета с отечественными, а также анализ этих соединений с помощью метода конечных элементов.

Одно из возможных направлений дальнейшего развития расчетной методики является разработка нового более универсального метода расчета фланцевого соединения элементов из труб на основе эквивалентного Т-образного элемента, используемого в ТКП EN 1993-1-8-2009 [2] для расчета фланцевых соединений элементов из двутавров.

#### **Список цитированных источников**

1. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81\*. – Москва : ЦНИИСК, 1990.

2. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. – Часть 1-8. Расчет соединений: ТКП EN 1993-1-8-2009 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010.

3. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций // СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова. – Москва, 1988. – С. 6–19.

4. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*). – Москва : ЦНИИСК, 1989. – С. 111–115.
5. Серия 1.460.3-14 Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Чертежи КМ / ОАО Проектный институт. Ленпроектстальконструкция. – Москва, 1981.
6. Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет: СТО 0041-2004 / ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова. – Москва, 2004.
7. Строительные конструкции. Металлические конструкции, основания и фундаменты: учебное пособие для строительных специальностей учреждений, обеспечивающих получение среднего специального образования / Е. Ю. Давыдов, М. И. Никтенко и Л. Д. Шайтаров // Технопринт. – Минск, 2005. – С. 155–161.
8. Металлические конструкции / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов [и др.] – Москва : Высшая школа, 2004. – Т. 1: Элементы конструкций: учебное пособие для строительных вузов – С. 461–469.
9. NCCI: Design models for splices in structural hollow sections // Access Steel. – 2010. – P. 1–8.
10. Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading / J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte and Y. Kurobane // CIDECT. – 2009. – P. 83–89.

**УДК 330.322.2:004.9**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ВНЕДРЕНИЮ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В КОНТЕКСТЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

*Срывкина Л. Г., Кисель Е. И.*

***Аннотация:** В статье выполнен анализ процессов внедрения BIM-технологий в Республике Беларусь. Обозначены основные эффекты от внедрения на примере мирового опыта. Представлена структура уровней управления объектами недвижимости и взаимосвязь моделей BIM-управления. Определена значимость стадии эксплуатации объектов и её взаимосвязь с процессами проектирования, строительства и ликвидации.*

***Summary:** The analysis of BIM processes implementing in the Republic of Belarus is carried out. The main effects from the using on the word experience example are indicated. The structure of management of real estate objects and interconnection of BIM-management models are presented. The significance of objects operation phase and its relationship with the processes of design, construction and liquidation are determined.*

**Введение.** Эффективность внедрения BIM-технологий уже доказана снижением затрат рабочего времени при создании проектов, сокращением стоимости строительства, оптимизацией использования ресурсов, ростом качества проектов и степени удовлетворённости клиентов. Учитывая активное внедрение данных технологий в технологически развитых странах, в Республике Беларусь ведется работа по разработке правовых, организационных, экономических подходов при ведении инвестиционно-строительных проектов. С целью получения максимальных эффектов при создании объектов недвижимости необходимо обеспечить внедрение всех D-уровней управления.