



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

№2, ТОМ 16 (2010) 93-104

УДК 624.078

(10)-0211-1

## **ПРОЕКТУВАННЯ БОЛТОВИХ ФЛАНЦЕВИХ З'ЄДНАНЬ ВІДПОВІДНО ДО EUROCODE ТА ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМ: УЗГОДЖЕНІСТЬ ТА ПРОТИРІЧЧЯ**

**А. В. Перельмутер<sup>1</sup>, Е. З. Кріксунов<sup>1</sup>, В. В. Юрченко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>SCAD Soft Ltd., вул. І. Кліменка, 4/20, м. Київ, Україна, 03037.*

*E-mail: vitalinay@rambler.ru*

*<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва та архітектури,  
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680.*

*E-mail: vitalinay@rambler.ru*

*Отримана 9 квітня 2010; прийнята 23 квітня 2010*

**Анотація.** Мета даної публікації — показати, як співвідносяться процедури проектування болтових з'єднань вузлів сталевих конструкцій, закладені у європейських та вітчизняних нормах проектування, а також виявити протиріччя у них. Необхідність такого порівняння виникла зокрема через активний імпорт європейських металевих конструкцій на вітчизняний будівельний ринок. Розроблена і представлена програма для проектування та розрахунку вузлів металевих конструкцій, що реалізує різні будівельні норми.

**Ключові слова:** вузли металевих конструкцій, болтові фланцеві з'єднання, болтові зрізні з'єднання, розрахункова схема, програмна реалізація.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЛТОВЫХ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СОГЛАСНО EUROCODE И УКРАИНСКИМ НОРМАМ: СОГЛАСОВАННОСТЬ И ПРОТИВОРЕЧИЯ**

**А. В. Перельмутер<sup>1</sup>, Э. З. Криксунов<sup>1</sup>, В. В. Юрченко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>SCAD Soft Ltd., ул. И. Клименка, 4/20, г. Киев, Украина, 03037.*

*E-mail: vitalinay@rambler.ru*

*<sup>2</sup>Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03680.*

*E-mail: vitalinay@rambler.ru*

*Получена 9 апреля 2010; принята 23 апреля 2010*

**Аннотация.** Цель данной публикации — показать, как соотносятся процедуры проектирования болтовых соединений узлов стальных конструкций, заложенные в европейских и отечественных нормах проектирования, а также найти противоречия в них. Необходимость такого сравнения возникла из-за активного импорта европейских металлических конструкций на украинский строительный рынок. Разработана и представлена программа для проектирования и расчета узлов металлических конструкций, реализующая различные нормы проектирования.

**Ключевые слова:** узлы металлических конструкций, болтовые фланцевые соединения, болтовые срезные соединения, расчетная схема, программная реализация.

## DESIGN OF FLANGE BOLT CONNECTIONS ACCORDING TO THE EUROCODE AND UKRAINIAN CODES: COORDINATION AND CONTRADICTIONS

A. V. Perel'muter<sup>1</sup>, E. Z. Kriksunov<sup>1</sup>, V. V. Yurchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SCAD Soft Ltd., 4/20, I.Klimenko Str., Kiev, Ukraine, 03037.

E-mail: vitalinay@rambler.ru

<sup>2</sup>Kiev National University of Civil Engineering and Architecture,

31, Vozdohoflotsky Ave., Kiev, Ukraine, 03037.

E-mail: vitalinay@rambler.ru

Received 9 April 2010; accepted 23 April 2010

**Abstract.** The purpose of the article is to show how the design of bolt connections of steel components given in the European and National Codes of design correlate and to find contradictions in them. A necessity of a such a comparison occurred because of an active import of the European metal structures into the Ukrainian building market. There has been developed and given a program of designing metal structure components implementing different design codes.

**Keywords:** metal structure components, bolt flange connections, bolt shear connections, design model, software implementation.

### Введение

В современной практике строительства в монтажных стыках и сопряжениях несущих элементов рамных конструкций широко применяются фланцевые соединения (рис. 1). К достоинствам таких соединений относят, прежде всего, простоту устройства соединения. Кроме того, фланцевые соединения обеспечивают возможность возведения каркаса здания при любых климатических условиях и возможность его демонтажа без повреждения несущих элементов. Фланцевые соединения характеризуются высокой надежностью при действии динамических нагрузок и простотой контроля соединения [5]. Отметим, что конструкции с фланцевыми соединениями требуют высокой точности изготовления, поскольку такие соединения не имеют компенсационной способности.

Большое количество металлических конструкций активно импортируется из Европы на украинский строительный рынок. Соответственно, большое количество европейских производителей приходят на украинский рынок с целью его снабжения металлическими конструкциями. При этом несущие элементы металлических конструкций проектируются и изготавливаются в Европе, а в дальнейшем транс-

портируются в Украину. Эти конструкции должны быть утверждены местными органами власти на их соответствие украинским строительным нормам.

В связи со сказанным, представляется весьма интересным рассмотреть и сравнить расчетные модели и процедуры проектирования болтовых фланцевых соединений, используемые в украинских нормах проектирования, а также в EuroCode, в частности, EN 1993-1-8 [14], посвященной проектированию и расчету узлов стальных конструкций.

### Расчетные модели фланцевых соединений

Расчет фланцевых соединений, в которых одновременно действуют продольное усилие и изгибающий момент при знакопеременной эпюре напряжений, является достаточно сложной задачей. Это обусловлено тем, что деформационные характеристики сжатой и растянутой зоны соединения различны и поэтому положение нейтральной оси и соответственно точное распределение напряжений в сечениях соединяемых элементов в околофланцевой зоне предварительно неизвестны.

Весьма приблизительный расчет фланцевого соединения выполняется в предположении,

что усилия в болтах распределяются пропорционально расстоянию от точки приложения равнодействующей силы в сжатой зоне (фактически, от центра сжатого пояса) до болта (рис. 2).

В этом случае усилие в наиболее напряженном болте определяют из уравнения:

$$N_{\max} = \frac{y_{\max}}{k \sum_{i=1}^m n_i y_i^2} M_x, \quad (1)$$

где  $M_x$  — расчетный изгибающий момент в узле;  $m$  и  $k$  — соответственно число горизонтальных и вертикальных рядов в болтовом соединении;  $n_i$  — количество болтов в  $i$ -ом горизонтальном ряду;  $y_i, y_{\max}$  — соответственно расстояния от

$i$ -го и от крайнего горизонтального ряда болтов до нейтральной оси сечения элемента в околофланцевой зоне. Толщина фланца при таком подходе подбирается из условия прочности на изгиб в упругой стадии работы и получается завышенной [1].

Расчет фланцевых соединений в Украине регламентируется действующими Рекомендациями [7, 8], составленными в дополнение к соответствующим главам СНиП II-23-81\* и СП 53-102-2004.

Согласно этим Рекомендациям при проектировании фланцевых соединений проверке подлежат: прочность болтов на растяжение и срез; прочность фланца при изгибе, а также при

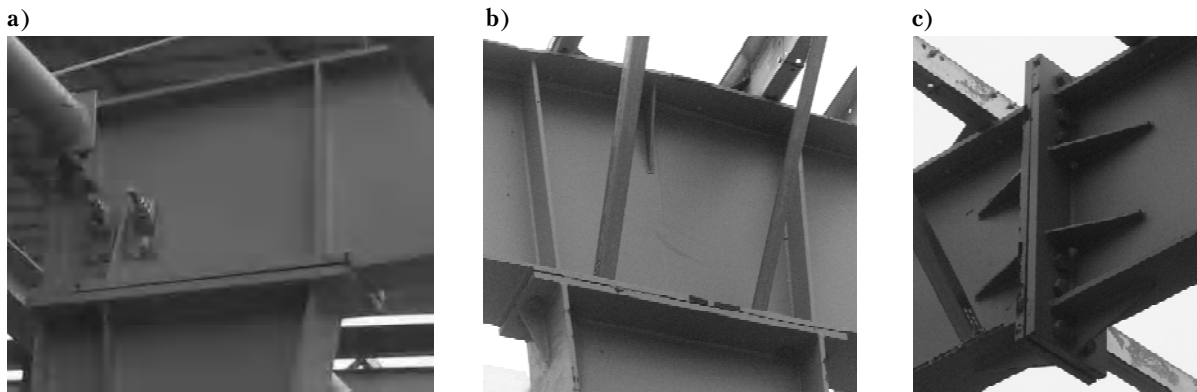


Рис. 1. Фланцевые соединения рамных узлов: а) сопряжение крайней колонны с ригелем; б) сопряжение средней колонны с ригелем; в) монтажный стык ригеля (фото предоставлены компанией ASTRON Buildings S.A.).

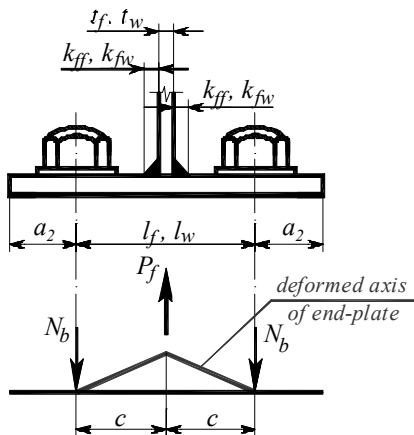


Рис. 2. Упрощенная расчетная модель фланцевого соединения.

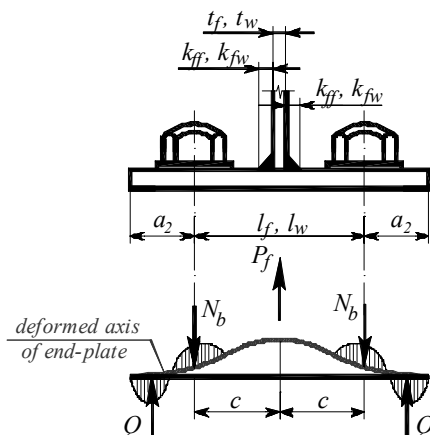


Рис. 3. Уточненная расчетная модель фланцевого соединения.

возможном поверхностном отрыве в околошовной зоне; прочность угловых сварных соединений, при помощи которых фланец приваривается к сечению несущего элемента.

При этом фланцевые соединения открытого профиля рассматриваются как совокупность Т-образных элементарных фланцевых соединений, прочность фланцевого соединения в целом определяется суммарной прочностью элементарных соединений. Методика расчета фланцевых соединений базируется на учете упругой работы Т-образных элементов, в состав которых входят болты и отнесенные к ним участки фланца (рис. 3).

При расчете несущей способности болтов учитывается дополнительное усилие (контактное усилие), обусловленное "рычажным" эффектом. Контактное усилие представляет собой равнодействующую, возникающую от совместного прижатия двух фланцев друг к другу; его положение зависит от толщины фланцев. Дополнительно при расчете фланцев на изгиб учитывается упругое их защемление под болтом, что позволяет уменьшить значение расчетного изгибающего момента. Учет контактного усилия позволяет уменьшить толщину фланца. Данная методика базируется на результатах численных экспериментальных исследований, выполненных авторами работы [4, 12, 27].

Прочность фланцевого соединения считается обеспеченной при выполнении следующего неравенства [7, 8]:

$$N \leq n_b N_{b,int} + \sum_{i=1}^{n_{ext}} N_{b,ext,i}, \quad (2)$$

где  $N_{b,int}$  — несущая способность болта внутренней зоны, принимаемая равной усилию предельного напряжения болта,  $N_{b,int} = \gamma_{b0} R_{bt} A_{bn}$ ;  $\gamma_{b0}$  — коэффициент, учитывающий особенности работы болтов, релаксацию напряжений и неоднородность напряженного состояния;  $R_{bt}$  — расчетное сопротивление болта разрыву;  $A_{bn}$  — площадь сечения болта нетто;  $n_b$  — количество болтов внутренней зоны;  $N_{b,ext,i}$  — расчетное усилие, приходящееся на болт наружной зоны  $i$ -го Т-образного участка фланца, определяемое как:

$$N_{b,ext,i} = \min \left\{ \lambda_i R_{bt} A_{bn}; 1,3 \frac{\alpha_i + 1}{\mu_i \alpha_i} R_{bt} A_{bn} \right\}, \quad (3)$$

тут  $\lambda_i$  — коэффициент, зависящий от безразмерного параметра жесткости болта  $\chi_i$ :

$$\lambda_i = 0,5088 - 0,23561 \lg \chi_i, \quad (4)$$

$$\chi_i = \frac{d^2}{\omega_i (t_f + 0,5d)} \times \left( \frac{b_i}{t_f} \right)^3, \quad (5)$$

$$\mu_i = 0,9 R_{bt} A_{bn} b_i \times \frac{6}{\omega_i t_f^2 R_y}, \quad (6)$$

где  $b_i$  — расстояние от оси болта до края сварного шва  $i$ -го Т-образного участка фланца;  $\omega_i$  — ширина фланца, приходящаяся на один болт наружной зоны  $i$ -го Т-образного участка фланца;  $t_f$  — толщина фланца;  $\alpha_i$  — параметр, выражающий соотношение расстояний от центра болта до места приложения контактных усилий, обусловленных наличием "рычажного" эффекта, и до края профиля соединяемого элемента, определяемый из уравнения:

$$1,4 \chi_i (\alpha_i - 1,0)^3 - \alpha_i^2 + \mu_i \alpha_i (\alpha_i - 1,0) = 0. \quad (7)$$

Существенным отличием европейских норм проектирования от отечественных норм при расчете фланцевых соединений является то, что они регламентируют учет развития пластических деформаций. При таком подходе появляется возможность использовать резервы несущей способности фланцевых соединений за счет допущения развития пластических деформаций во фланце, а также в сечениях соединяемых элементов в околофланцевой зоне. Требуемая толщина фланца в этом случае будет минимальной.

Расчет фланцевых соединений с учетом развития пластических деформаций выполняют с применением метода предельного равновесия [24, 25]. При этом различают три возможных механизма разрушения, а именно: разрушение болтов, разрушение болтов с частичным развитием пластических деформаций во фланце и развитие глубоких пластических деформаций во фланце [21, 23, 26] (рис. 4).

Если фланец принять значительной изгибной жесткости, тогда разрушение фланцевого соединения происходит вследствие разрушения болтов, нагруженных внешними силами при отсутствии контактного усилия, обусловленного наличием "рычажного" эффекта. Несущая способность такого соединения будет

полностью определяться несущей способностью болтов на растяжение [26]:

$$F_{T,I} = \sum_i B_{t,i}. \quad (8)$$

В случае уменьшений изгибной жесткости фланца (проектирование фланцев меньшей толщины), разрушение фланцевого соединения происходит вследствие разрушения болтов при частичном развитии пластических деформаций во фланце. Несущая способность такого соединения может быть определена из уравнения равновесия работы внешних и внутренних сил [18, 26]:

$$F_{T,II} = \frac{M_{pl,1} + eB_t}{2(e + m)}. \quad (9)$$

При использовании тонких фланцев разрушение соединения происходит вследствие развития пластических деформаций во фланце. Несущая способность соединения, в этом случае, определяется несущей способностью самого фланца:

$$F_{T,III} = \frac{2M_{pl,1} + 2M_{pl,2}}{m}. \quad (10)$$

Необходимо отметить, что развитие пластических деформаций во фланцах и в сечениях соединяемых элементов в околофланцевой зоне вызывает значительное повышение общей деформативности конструкции [11, 16], которая должна быть соответствующим образом учтена дальнейшим нелинейным анализом стержневой системы.

### Согласованность и противоречия

Главным и весомым отличием европейских норм проектирования от отечественных норм является то, что они регламентируют учет влияния реальной жесткости узлов металлоконструкций на действительное поведение стального каркаса под нагрузкой, и тем самым позволяют реализовать одно из перспективных современных направлений в области расчета строительных конструкций. Оценка работоспособности узлов выполняется не только по критерию их прочности, как это предусматривают отечественные нормы проектирования, но также и по критерию их деформативности и податливости [13].

Европейские нормы проектирования описывают методику вычисления поворотной жесткости  $S_j$  узлов стальных конструкций, которая рассчитывается в зависимости от коэффициентов жесткости  $k_i$  отдельных конструктивных элементов узла (см. табл. 6.11 EN 1993-1-8, рис. 6). Для фланцевых соединений узлов рамных конструкций исходная поворотная жесткость  $S_{j,ini}$  может быть определена по формуле:

$$S_{j,ini} = \frac{z^2 E}{\sum_i \frac{1}{k_i}}, \quad (11)$$

где  $E$  — модуль упругости;  $z$  — параметр узла (см. рис. 6.15 EN 1993-1-8).

Согласно значению поворотной жесткости  $S_{j,ini}$  предлагается классификация узлов на шарнирные, жесткие или полужесткие узлы (рис. 5).

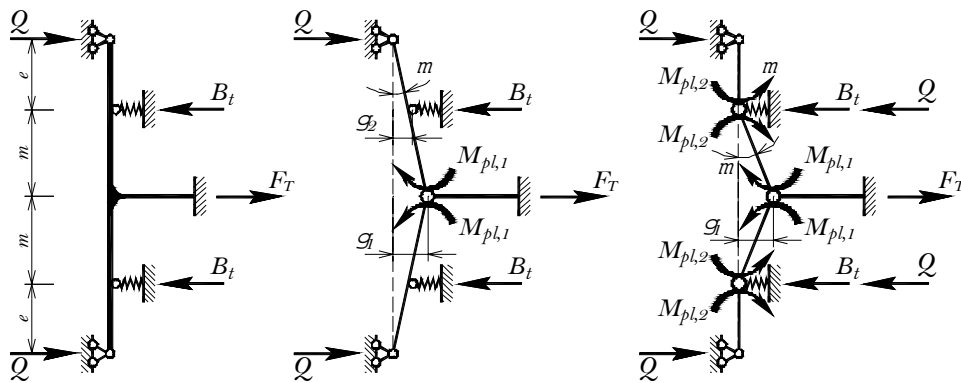


Рис. 4. Расчетные схемы фланцевых соединений согласно EN 1993-1-8.

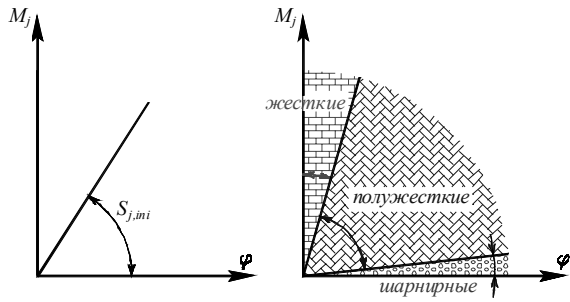


Рис. 5. Классификация узлов по значению их поворотной жесткости.

При этом очень важно, чтобы конструктивные свойства узлов соответствовали расчетным предпосылкам, принятым как на стадии статического анализа стержневой системы, так и на стадии проектирования несущих элементов конструкции. В частности, вычисленная податливость узла должна быть достаточной, чтобы обеспечить тот угол поворота узла, который следует из статического анализа конструкции [15, 26].

Необходимо отметить, что учет влияния реальной жесткости узлов стальных конструкций приобретает особое значение для узлов со срезными болтовыми соединениями, которые характеризуются достаточно высокой деформативностью по сравнению со сварными соединениями и болтовыми соединениями других типов, что обусловлено, прежде всего, деформациями смятия, возникающими в отверстиях соединяемых элементов болтами [19, 20].

Весьма интересным также представляется сопоставление нормативных баз в части требований к размещению болтов в болтовом соединении. Отечественные и европейские нормы проектирования регламентируют минимально и максимально допустимые расстояния при размещении отверстий в болтовых соединениях между центрами отверстий и от центра отверстий до края элемента (см. табл. 1 и табл. 2). При этом для растянутых элементов соединений ограничения на максимально допустимое расстояние продиктованы, главным образом, необходимостью обеспечить надлежащую плотность болтового соединения, не допускающую развития коррозии. Для сжатых элементов болтовых соединений максимально допустимые

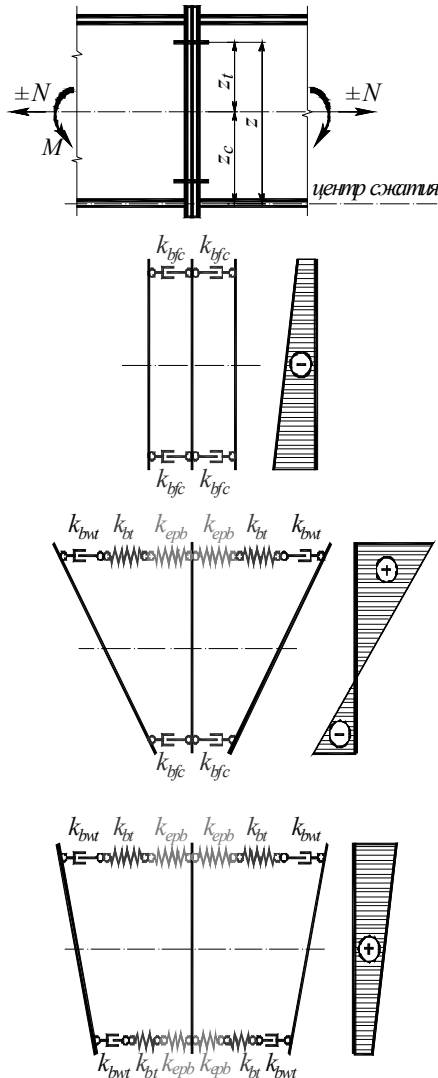


Рис. 6. К определению коэффициентов жесткости конструктивных элементов узла ( $k_{bat}$  — стенка балки при растяжении;  $k_{bfc}$  — полка балки при сжатии;  $k_{epb}$  — фланец при изгибе;  $k_{bt}$  — болт при растяжении).

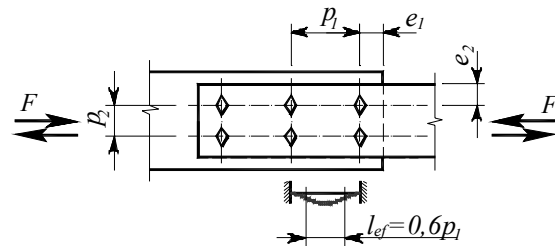


Рис. 7. К вопросу о максимальном расстоянии между болтами в направлении действия внешнего усилия из условия местной устойчивости сжатых элементов соединения.

расстояния определяются из условия предотвращения потери их местной устойчивости.

Как можно видеть из таблиц 1 и 2, EuroCode во всех случаях регламентирует меньшие значения как минимально допустимых, так и максимально допустимых расстояний при размещении болтов в болтовом соединении. При этом дополнительно для оговоренных случаев необходимо выполнять проверку местной устойчивости пластины в сжатых элементах соединения на участке между болтами в направлении действия внешнего усилия (рис. 7).

Что касается распределения внешних усилий в болтовых соединениях, то европейские нормы проектирования учитывают некоторую

неравномерность распределения внешнего усилия между болтами длинного многоболтового срезного соединения. Для таких случаев Еврокод предлагает использование коэффициента  $\beta_L$  при определении сопротивления болтов на срез  $F_{v,Rd}$  как показано ниже:

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_L \alpha_v f_{ub} n_s A}{\gamma_{M_2}}, \quad (12)$$

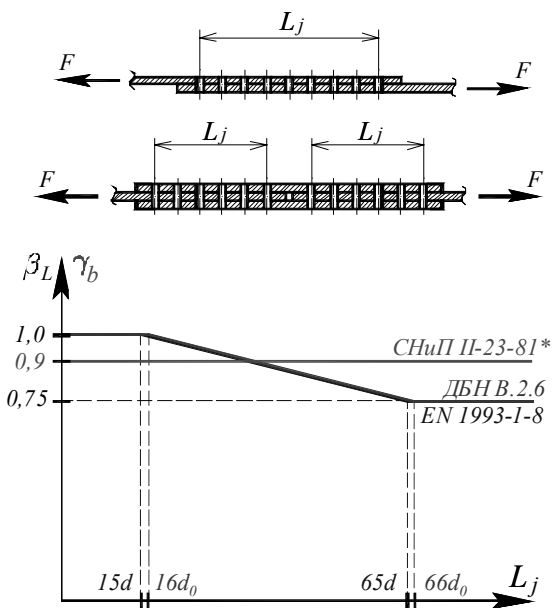
где  $A$  — площадь сечения болта;  $\gamma_{M_2}$  — коэффициент надежности для болтового соединения;  $f_{ub}$  — предел прочности на разрыв болтов;  $n_s$  — количество плоскостей среза;  $\alpha_v$  — коэффициент, определяемый по табл. 3.4 EN 1993-1-8 в зависимости от класса прочности болта.

**Таблица 1.** Допустимые минимальные расстояния между центрами отверстий под болты, а также от центра отверстия до края элемента соединения.

Допустимое минимальное расстояние	Предельное значение		
	СНиП II-23-81	ДБН В.2.6 (проект)	EN 1993-1-8
<b>1. между центрами отверстий в зависимости от направления внешнего усилия:</b>			
а) по направлению действия усилия, $p_{1,min}$ :			
при $R_{yn} < 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d_0$	$2d_0$	$2,2d_0$
при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d_0$	$3d_0$	$2,2d_0$
б) поперек линии действия усилия, $p_{2,min}$ :			
при $R_{yn} < 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d_0$	$2d_0$	$2,4d_0$
при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d_0$	$3d_0$	$2,4d_0$
<b>2. от центра отверстия до края элемента:</b>			
а) по направлению действия усилия, $e_{1,min}$ :			
при $R_{yn} < 375 \text{ Н/мм}^2$	$2d_0$	$1,5d_0$	$1,2d_0$
при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$	$2d_0$	$2,5d_0$	$1,2d_0$
б) поперек линии действия усилия, $e_{2,min}$ :			
для обрезных кромок	$1,5d_0$	$1,5d_0$	$1,2d_0$
для прокатных кромок	$1,2d_0$	$1,2d_0$	$1,2d_0$
в) для фрикционных болтовых соединений при различных кромках и различном направлении действия внешних усилий, $e_{1,min}, e_{2,min}$	$1,3d_0$	$1,3d_0$	$1,2d_0$
Обозначения, принятые в таблице: $d_0$ — диаметр отверстия; $R_{yn} = f_y$ — номинальная граница текучести материала.			

**Таблица 2.** Допустимые максимальные расстояния между центрами отверстий под болты, а также от центра отверстия до края элемента соединения.

Допустимое минимальное расстояние	Предельное значение		
	СНиП II-23-81*	ДБН В.2.6 (проект)	EuroCode 3 EN 1993-1-8
1. между центрами отверстий, $p_{1,max}$ , $p_{2,max}$ :			
а) в крайнем ряду при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	$8d_0$ или $12t_{min}$	$8d_0$ или $12t_{min}$	$14t_{min}$ или $200mm$
б) в среднем ряду, а также в крайнем ряду при наличии окаймляющих уголков:			
при растяжении	$16d_0$ или $24t_{min}$	$16d_0$ или $24t_{min}$	$14t_{min}$ или $200mm$
при сжатии	$12d_0$ или $18t_{min}$	$12d_0$ или $18t_{min}$	$14t_{min}$ или $200mm$
и центра отверстия до края элемента:			
$e_{1,max}$ , $e_{2,max}$	$4d_0$ или $8t_{min}$	$4d_0$ или $8t_{min}$	$4t_{min} + 40mm$
Обозначения, принятые в таблице: $d_0$ – диаметр отверстия; $t_{min}$ – толщина наиболее тонкого элемента болтового соединения.			
Примечание: Максимально допустимые расстояния между центрами отверстий, а также от центра отверстия до края элемента представлены для металлических конструкций, изготовленных из стали согласно EN10025 за исключением стали согласно EN10025-5.			



**Рис. 8.** Уменьшение несущей способности болтов для длинных нахлесточных болтовых соединений.

Значение коэффициента  $\beta_L$  варьируют в диапазоне от 1,00 до 0,75 и зависит от расстояния между центрами крайних отверстий болтового соединения  $L_j$  (рис. 8), а также от диаметра болта  $d$ :

$$\beta_L = 1 - 0,005 \left( \frac{L_j}{d} - 15 \right), \beta_L \geq 0,75. \quad (13)$$

СНиП II-23-81\* в аналогичных случаях для срезных многоболтовых соединений ограничивается лишь использованием коэффициента условий работы болтового соединения, принимаемого равным  $\gamma_b = 0,9$ , при вычислении несущей способности болтов на срез и смятие, чем фактически учитывает возможное неодновременное включение болтов в работу соединения.

В проекте новых государственных строительных норм на стальные конструкции [3] регламентируется использование коэффициента



условий работы болтового соединения со значением 0,9 при расчете многоболтовых соединений, работающих на срез и смятие. Кроме того, в проект этих норм внесена поправка, касающаяся учета неравномерного распределения внешнего усилия между болтами соединения, для случаев, когда расстояние между центрами крайних отверстий болтового соединения в направлении действия усилия превышает 16 диаметров отверстий (рис. 8).

При действии на соединение изгибающего момента распределение усилий между болтами принимают в зависимости от типа болтового соединения. Согласно отечественной нормативной базе для фрикционного соединения распределение усилий между болтами принимают равномерным (т.е. по прямоугольной эпюре), а для срезного и фрикционно-срезного соединения распределение усилий между болтами принимают пропорционально расстоянию от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта (т.е. по треугольной эпюре).

Что же касается европейских норм проектирования, то они строго регламентируют упругое распределение внешних усилий между болтами соединения для категории С болтового соединения, т.е. для фрикционных соединений на высокопрочных болтах класса прочности 8.8 и 10.9 с контролируемым усилием натяжения при их расчете по первой группе предельных состояний. Кроме того, упругое распределение усилий регламентируется для других типов болтовых соединений в случаях, когда расчетное сопротивление болтов смятию превышает сопротивление срезу. В остальных случаях предполагается пластическое распределение внешних усилий между болтами в узлах стальных конструкций.

### Программная реализация

Программная реализация расчета и проектирования фланцевых соединений рамных узлов стальных конструкций нашла свое отображение в программе КОМЕТА, функционирующей в составе вычислительного комплекса "SCAD Office" [5]. Данная программа предназначена для расчета и проектирования узлов стальных конструкций зданий и сооружений в промышленном и гражданском строительстве. Про-

грамма КОМЕТА реализует подход, в котором при проектировании используется набор параметризованных конструктивных решений узлов (прототипов) [5]. В процессе проектирования параметры прототипов изменяются в зависимости от заданных условий применения (внутренних усилий, типов материалов и т.д.) и ограничений, регламентированных нормами проектирования.

Основной задачей, решаемой программой КОМЕТА, является получение проектного решения узла, параметры которого удовлетворяют всем нормативным требованиям и заданным условиям применения. Результатами работы программы служат чертеж узла и данные о несущей способности его отдельных конструктивных элементов (деталей конструкции узла, сварных швов, болтов и т.д.), обеспечивающие возможность оценить качество полученного проектного решения.

Расчетные режимы программы КОМЕТА выполняют проверку несущей способности конструктивных элементов и соединений узлов металлических конструкций в соответствии с требованиями СНиП II-23-81\* [8], СП 53-102-2004 [9], Рекомендаций [6, 7] и EN1993-1-8 [11], а также подбор неизвестных параметров узлового решения. Исходными данными при этом являются конфигурация или тип узла, тип и размеры поперечных сечений несущих элементов, сходящихся в данном узле, а также усилия, действующие в этих элементах. Подбор неизвестных параметров узла в программе выполняется при удовлетворении следующих ограничений:

- условий *обеспечения несущей способности* конструктивных элементов узла, регламентированных строительными нормами;
- *сортаментных* ограничений для металлопроката фасонной и листовой стали;
- *конструктивных* ограничений (условия изготовления элементов узлов; ограничения, накладываемые на размещение элементов относительно друг друга, обусловленные возможностью устройства сварных и болтовых соединений; условия свариваемости элементов различной толщины и другие);
- *критериальных* ограничений (ограничения минимума массы вспомогательных деталей и минимума трудоемкости изготовления узла).

В программе КОМЕТА предусмотрены следующие группы узлов металлических конструкций: шарнирные и жесткие базы колонн, монтажные стыки балок и ригелей, узлы жесткого и шарнирного сопряжений ригеля с колонной, а также узлы ферм (рис. 5). При этом весьма существенная часть прототипов узлов монтажных стыков балок и узлов жестких сопряжений ригеля с колонной используют в качестве несущих конструктивных элементов фланцевые соединения. Для расчета и проектирования таких узлов программа КОМЕТА реализует действующие Рекомендации [6, 7] и EN1993-1-8 [11], а также использует описанные выше расчетные модели фланцевого соединения.

Интерфейс режимов "Стыки балок" и "Сопряжение ригеля с колонной" программы КОМЕТА представлены соответственно на рисунках 9 и 10.

## Выводы

Рассмотрены основные принципы проектирования узлов стальных конструкций в соответствии с EuroCode и украинскими строительными нормами. Показано, как соотносятся процедуры проектирования болтовых соединений узлов стальных конструкций, заложенные в EuroCode и в украинских нормах проектирования, а также выявлены противоречия в них.

Выполнена программная реализация процедур проектирования и расчета болтовых фланцевых соединений узлов металлических конструкций. Программа помогает выполнять оценку проектного решения и разрабатывать проектные решения типовых узлов стальных конструкций, широко используемых в промышленном и гражданском строительстве.

## Литература

1. Алпатов В. Ю., Соловьев А. В., Холопов И. С. К вопросу расчета фланцевых соединений на прочность при знакопеременной эпюре напряжений // Промышленное и гражданское строительство. — № 2. — 2009. — С. 26-30.
2. Бирюлев В. В., Катюшин В. В. Проектирование фланцевых соединений с учетом развития пластических деформаций // Труды международного коллоквиума "Болтовые и специальные монтажные соединения в стальных строительных конструкциях". — Том 2. — М.: ВНИПИ Промстальконструкция. — 1989. — С. 32-36.
3. ДБН В.2.6-...: 200... Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [online]. Київ, Мінрегіонбуд України. Доступний в мережі Internet за адресою: <[http://www.urdisc.com.ua/arhiv/dbn\\_steel.pdf](http://www.urdisc.com.ua/arhiv/dbn_steel.pdf)>.
4. Каленов В. В., Глауберман В. Б. Исследования Т-образных фланцевых соединений на моделях из оптически активного материала // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1985. — № 9. — С. 14-17.
5. Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения. — М.: Стройиздат, 2005. — 450 с.

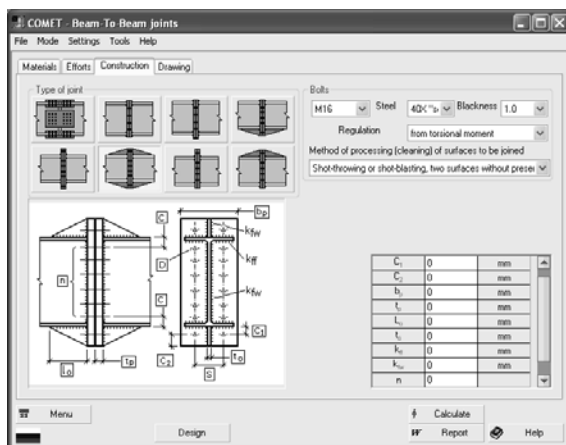


Рис. 9. Интерфейс режима "Стыки балок" программы КОМЕТА.

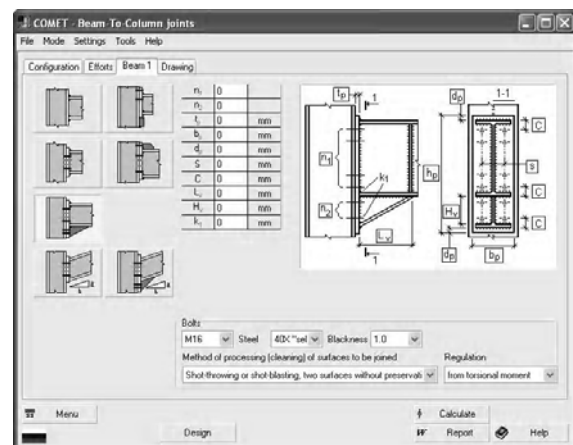


Рис. 10. Интерфейс режима "Сопряжение ригеля с колонной" программы КОМЕТА (жесткие узлы).

6. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. — М.: Издательство АСВ, 2008. — 592 с.
7. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова. — М., 1988. — 83 с.
8. Руководство по проектированию, изготовлению и сборке монтажных фланцевых соединений стропильных ферм с поясами из широкополочных двутавров. — М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1981.
9. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
10. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций // ЦНИИСК им. Кучеренко, ЗАО ЦНИИПСК им. Мельникова, ОАО Ин-т "Энергосеть".
11. Cerfontaine F., Jaspert J. P. Analytical study of the interaction between bending and axial force in bolted joints // Eurosteel Coimbra, 2002. — PP. 997-1006.
12. De Lima, L. R., da Silva, L. S., da S. Vellasco, P. C. G., de Andrade, S. A. L. 2002. Experimental analysis of extended end-plate beam-to-column joints under bending and axial force // Proceedings of III European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2002", Coimbra, 2002, PP. 1121-1130.
13. Da Silva, L. S., Santiago, A., Real, P. V. Post-limit stiffness and ductility of end-plate beam-to-column steel joints // Computer and Structures, 80. — 2002. — PP. 515-531.
14. EN 1993-1-8. Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.8: Design of joints. CEN, 2005.
15. Faella C., Piluso V., Rizzano G. Structural steel semi-rigid connections: theory, design and software. — Boca Ration: CRC Press LLC, 2000. — 494 p.
16. Jaspert J. P. General report: session on connections // / Journal of Constructional Steel Research, 2000. — Vol. 55. — PP. 69-89.
17. Kennedy, N. A., Vinnakota, S., Sherbourne, A. The split-tee analogy in bolted splices and beam-column connections // Joints in Structural Steelwork, 1981. — 2.138-2.157.
18. Kozłowski, A. and Pisarek, Z. 2005. Characteristics of bolted end plate joints with four bolts in the row // Proceedings of 10th Scientific Conference Rzeszow-Lviv-Kosice "State of Art, Trends of Development and Challenges in Civil Engineering". September 11-13, 2005, Kosice, Slovakia.
19. Krumm, R. Calculation of rigid face plate connections according to the DSTV/DAST Guidelines. Stahlbau. vol. 60/3. Berlin, 1991.
20. Kuhlmann, U., Davison, J. B., Kattner M. Structural systems and rotation capacity // Proceeding of COST Conference on Control of the Semi-rigid Behavior of Civil Engineering Structural Connections, Liege, Belgium, 1998, 167-76.
23. Sokol Z., Wald F., Delabre V., Muzeau J. P., Svarc M. Design of end plate joints subject to moment and normal force // Eurosteel Coimbra, 2002. — pp. 1219-1228.
24. Sumner E. A., Murray T. M. Behaviour and design of multi-row extended end-plate moment connections // Proceedings of International Conference Advances in Structures (ASCCA'03). — Sydney, 2003.
25. Undermann D., Schmidt B. Moment Resistance of Bolted Beam to Column Connections with Four Bolts in each Row // Proceedings of IV European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2005". — Maastricht, 2005.
26. Urbonas K., Daniunas A. Behaviour of steel beam-to-beam connections under bending and axial force // Proceedings of 8th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques" (Lithuania, Vilnius, May 19-21, 2004) — PP. 650-653.
27. Vertes, K. and Ivanyi, M. 2005. Investigation of minor axis and 3D bolted end-plate connections — experimental and numerical analysis — load tests // Periodica Polytechnica. Ser. Mechanical Engineering. Vol. 49, No. 1, 47-58.

**Перельмутер Анатолий Викторович** — головний науковий співробітник SCAD Soft Ltd., іноземний член РААБН. Наукові інтереси: нелінійні задачі будівельної механіки, теорія стійкості рівноваги, проблеми надійності та безпеки будівельних конструкцій, методики автоматизованого проектування.

**Криксунов Едуард Зинов'євич** — директор SCAD Soft Ltd. Наукові інтереси: методики автоматизованого проектування, системи автоматизованого проектування у будівництві.

**Юрченко Віталіна Віталіївна** — доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури, член міжнародної організації структурної та багатопрофільної оптимізації ISSMO. Наукові інтереси: структурна та параметрична оптимізація стержневих металевих конструкцій, оптимальне проектування та методики розрахунку каркасів будівель з тонкостінних холодногнутих профілів, вузли металевих конструкцій.

**Перельмутер Анатолий Викторович** — главный научный сотрудник SCAD Soft Ltd., иностранный член РААСН. Научные интересы: нелинейные задачи строительной механики, теория устойчивости равновесия, проблемы надежности и безопасности строительных конструкций, методики автоматизированного проектирования.

**Криксунов Эдуард Зиновьевич** — директор SCAD Soft Ltd. Научные интересы: методики автоматизированного проектирования, системы автоматизированного проектирования в строительстве.

**Юрченко Виталина Витальевна** — доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры, член международной организации структурной и многопрофильной оптимизации ISSMO. Научные интересы: структурная и параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций, оптимальное проектирование и методики расчета каркасов зданий из тонкостенных холодногнутых профилей, узлы металлических конструкций.

**Perel'muter Anatoly Victorovich** — Dr. Sc. (Eng.), chief researcher of SCAD Soft Ltd., a foreign member of the RAACES. Scientific interests: nonlinear problems of building mechanics, theory of equilibrium stability, problems of reliability and safety of steel structures, techniques of computer-aided design.

**Kriskunov Eduard Zinov'yevich** — Director of SCAD Soft Ltd. Scientific interests: techniques of computer-aided design, systems of computer-aided design in construction.

**Yurchenko Vitalina Vital'yevna** — Ph.D. (Eng.), an associate professor of the department of metal and wood structures of Kiev National University of Civil Engineering and Architecture, a member of the International Association of Structural and Multisectoral Optimization ISSMO. Scientific interests: structural and parametric optimization of metal framing, optimal design and techniques of designing building frames of thin-walled cold-bent profiles, metal structure components.