

Для анализа крановых воздействий был выполнен расчет определений нагрузок на колесо крана и давления на колонну по ТКП EN и СП РФ. Результаты расчета показали, что крановая нагрузка на колесо крана и опорное давление на колонну (при 2-х кранах), подсчитанные по ТКП EN, оказались, соответственно, больше значений по СП РФ в 1,3-1,5 раза. Это связано с тем, что в правилах EN более высокие частные коэффициенты надежности по нагрузке (1,35, в СП 1,2), не учитываются при расчете коэффициенты сочетаний $\psi=0,85$ (для 2-х кранов). Следует отметить, что вопрос касающийся сочетаний нагрузок, зависящий от количества кранов и режима работы, в европейских нормах, на наш взгляд, в полной мере не изучен, поскольку в промышленных зданиях в основном применяются напольные мостовые краны.

УДК 624

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ БОЛТОВЫХ ФЛАНЦЕВЫХ УЗЛОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЕ ЗДАНИЯ

БАКШАНСКИЙ И. С., ЖАБИНСКИЙ А. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время в зарубежной и отечественной практике строительства каркасов одноэтажных и многоэтажных зданий и сооружений узловые соединения балок с колоннами в основном проектируют с использованием фланцевых соединений на болтах. Это объясняется тем, что при таких соединениях значительно упрощается монтаж конструкций, исключается применение монтажной сварки на высоте и ее контроль, повышается надежность и безопасность каркаса в целом. Степень надежности каркаса в значительной мере зависит от правильного применения метода расчета и проектирования таких соединений.

Отечественные и европейские правила проектирования фланцевых соединений на болтах. Классификация соединений.

Проектирование фланцевых соединений на болтах балок с колоннами сечением из двутавров выполняют в соответствии с требованиями, приведенными в документах [1] – [6] или европейскими правилами (Еврокод 3), приведенными в [7] – [11].

В отечественной практике проектирования фланцевых соединений на болтах, приведенными в документах [1] – [4], устанавливают порядок расчета и конструирования соединений на жестких фланцах и высокопрочных болтах с контролируемым предварительным натяжением. В серия [5] (выпуск 7), содержится методика оценки несущей способности и вращательной жесткости для основных типов рамных узлов (рис. 1).

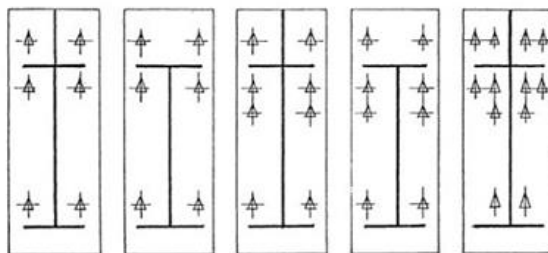


Рис. 1 Некоторые типы фланцевых соединений балок и колонн

В работе В.В.Катюшина – [6], приводится методика определения несущей способности и вращательной жесткости фланцевых соединений и оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) фланцев и болтов с учетом их совместной работы, а также физической и геометрической нелинейности элементов соединения.

Европейскими правилами, устанавливающими порядок расчета фланцевых соединений на болтах, является EN [7] и в РФ – ТКП EN [8]. В разделах 5 и 6 [8] приведены правила классификации, конструктивные решения, порядок и методы определения расчетных сопротивлений и вращательной жесткости узлов фланцевых болтовых соединений. В пособиях по проектированию [9], [10] и [11], содержится порядок расчета и конструирования шарнирных, жестких и полужестких фланцевых узлов.

Фланцевые соединения с высокой вращательной жесткостью (рис. 2) определенные в пособии [10], как и в отечественных документах [3, 5], проектируют с относительно толстыми фланцами с

или без усиления стенки колонны (рис. 3), или с опорными столиками под фланцами ([4] и [5]), что влияет на вращательную жесткость узла.

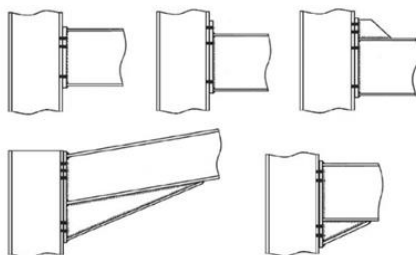


Рис. 2. Рамные фланцевые узлы согласно [10]

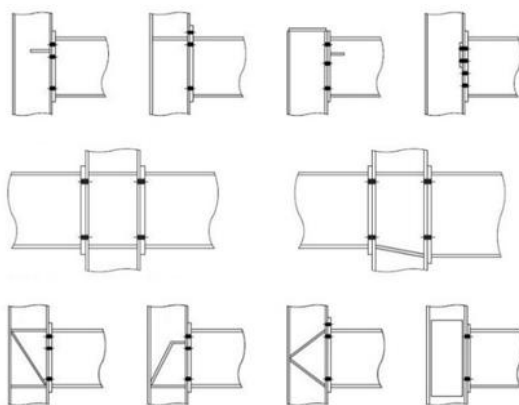


Рис. 3. Способы усиления фланцевых узлов согласно [10]

Конструктивные решения шарнирных узлов (рис. 4) на тонких фланцах (10 – 12мм) и методика их расчета приведена в пособии [9]. Полу жесткие соединения, согласно [11], имеют толщины фланцев 12-15мм (рис. 5), рассчитываются как шарнирные при действии вертикальных нагрузок, и передающие момент от действия горизонтальных нагрузок [12]. Для шарнирных и полу жестких узлов отсутствуют усиления в виде ребер, ответных планок и накладок, что соответствует критериям работы таких узлов, определенных в EN [7].

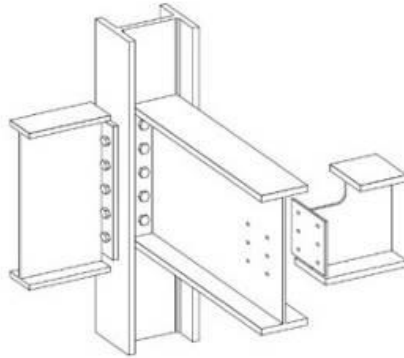


Рис. 4. Общий вид шарнирных фланцевых узлов

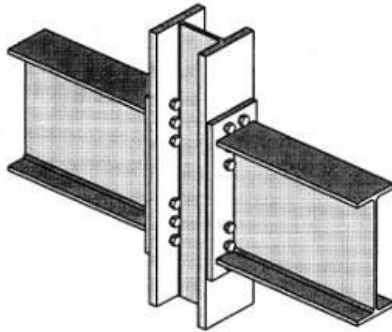


Рис. 5. Общий вид полужестких фланцевых узлов согласно [11]

Зависимость «изгибающий момент – угол поворота». Понятие вращательной жесткости

Согласно EN [7] и ТКП EN [8] расчетная зависимость «момент-угол поворота» описывает связь между изгибающим моментом в узле и углом поворота его опорного сечения, и определяет такие конструктивные свойства соединения, как сопротивление изгибу (прочность), вращательная жесткость и вращательная способность (рис. 6). В серии [5] данная зависимость (рис. 7) определяет прочность, изгибную жесткость и деформативность, что соответствует европейским нормам [7].

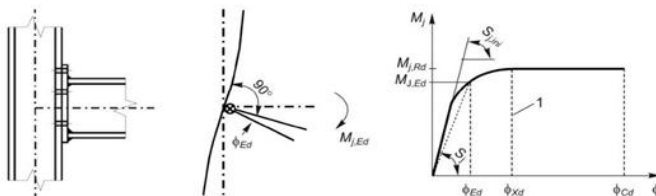


Рис. 6. Зависимость «момент – угол поворота», где:

$S_{j,ini}$ – начальная вращательная жесткость соединения, соответствующая упругой работе; S_j – секущая вращательная жесткость; $M_{j,Ed}$ – изгибающий момент в соединении; $M_{j,Rd}$ – предельный изгибающий момент (расчетное сопротивление узла); ϕ_{Ed} – угол поворота опорного сечения, соответствующий действующему моменту; ϕ_{Cd} – угол поворота опорного сечения, соответствующий расчетному сопротивлению и являющийся границей для определения S_j

Расчетное сопротивление изгибу (прочность) – способность соединения воспринимать изгибающий момент, его значение соответствует максимальному значению изгибающего момента на кривой зависимости момента и угла поворота ($M_{j,Rd}$ на рис. 6 и $M_{A,B,B}$ на рис. 7). Вращательная (изгибная) жесткость характеризует жесткость всех элементов соединения и определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой «момент – угол поворота» в определенной точке согласно [5], и является секущей жесткостью согласно [7] (S_j и $S_{j,ini}$ на рис. 6). Вращательная способность (деформативность) – способность узла поворачиваться под действием момента, согласно [7] определяется максимальным значением угла поворота на диаграмме (ϕ_{Cd} на рис. 7).

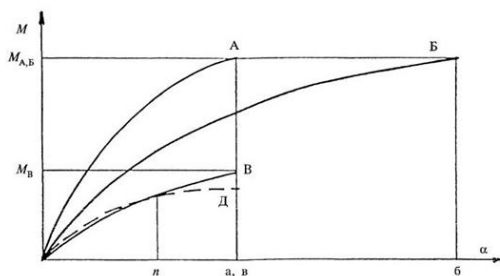


Рис.7 Зависимости «момент – угол поворота» для соединений различной конструктивной формы согласно [5], где: M_A , M_B и M_B – изгибающие моменты в соединениях; α – угол поворота опорного сечения; А, В, В – кривые зависимости «момент-угол поворота» для узлов с различной вращательной жесткостью

EN [7] определяет граничные области для значений вращательной жесткости (рис. 8), в зависимости от которых соединение можно классифицировать как жесткое, полужесткое или шарнирное.

Расчетное сопротивление изгибу (прочность) – способность соединения воспринимать изгибающий момент, его значение соответствует максимальному значению изгибающего момента на кривой зависимости момента и угла поворота ($M_{j,Rd}$ на рис. 6 и $M_{A,B,B}$ на рис. 7). Вращательная (изгибная) жесткость характеризует жесткость всех элементов соединения и определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой «момент – угол поворота» в определенной точке согласно [5], и является секущей жесткостью согласно [7] (S_j и $S_{j,ini}$ на рис. 6). Вращательная способность (деформативность) – способность узла поворачиваться под действием момента, согласно [7] определяется максимальным значением угла поворота на диаграмме (на рис. 8).

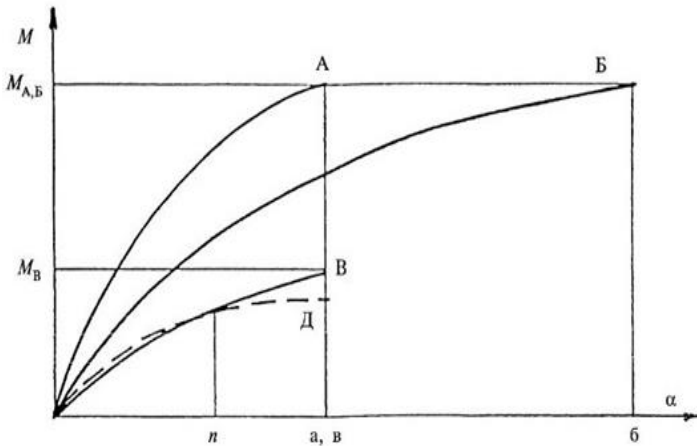


Рис. 8. Зависимости «момент – угол поворота» для соединений различной конструктивной формы согласно [5], где: M_A , M_B и M_V – изгибающие моменты в соединениях; α – угол поворота опорного сечения; A, B, В – кривые зависимости «момент-угол поворота» для узлов с различной вращательной жесткостью;

EN [7] определяет граничные области для значений вращательной жесткости (рис. 9), в зависимости от которых соединение можно классифицировать как жесткое, полужесткое или шарнирное.

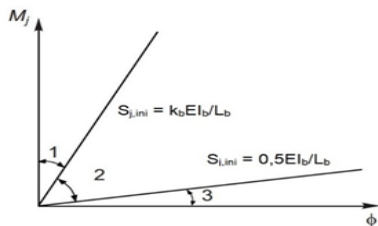


Рис. 9. Границы классификационных зон согласно [7]

На рис. 9, зоны 1, 2 и 3 – области жестких, полужестких и шарнирных узлов соответственно; $S_{j,ini}$ – вращательная жесткость; I_b – момент инерции сечения балки; L_b – пролет балки (расстояние между центрами колонн).

Граничные значения вращательной жесткости зависят от жесткостных характеристик соединяемых элементов: стенки и полки колонны, размеров фланца, расположения болтов и наличия или отсутствия системы связей по каркасу.

В шарнирных и полужестких болтовых фланцевых соединениях необходимая величина вращательной жесткости достигается за счет тонких фланцев, порядка размещения болтов и отсутствия элементов усиления (ребер жесткости и др.). В виду деформативности фланцев и полок ответной части колонн достигается необходимый угол поворота опорного сечения, но без достижения предельного состояния каким-либо из элементов узла. Деформированные схемы шарнирных и полужестких соединений согласно [9] и [1] приведены на рис. 10 и 11.

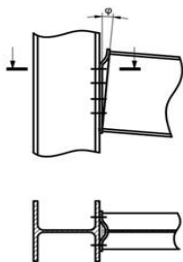


Рис. 10. Работа шарнирного фланцевого узла согласно [9]

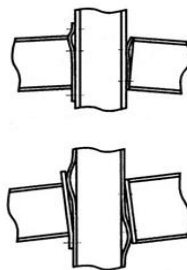


Рис. 11. Работа полужесткого фланцевого узла согласно [11]

Влияния вращательной жесткости узлов на распределение изгибающих моментов в поперечной раме.

В качестве примера в данной статье приведены результаты расчета П – образной рамы из элементов двутаврового профиля (35Б2 для балки, 30Ш2 для колонны) на действие равномерно распределенной нагрузки. Значения вращательной жесткости соединений балки и колонн вычислены для трех классификационных зон (рис. 8) согласно EN [7] приведены на рис. 11. Значения изгибающих моментов в элементах рамы с различными значениями вращательной жесткости узлов приведены на рис. 12.

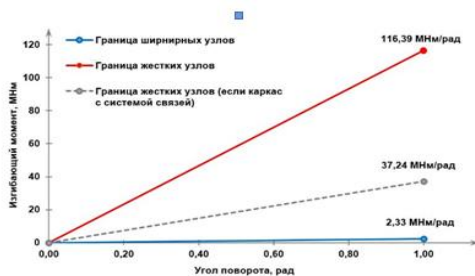


Рис. 12. Граничные значения вращательной жесткости для рамы

На рис. 13 изображен график изменения изгибающих моментов в раме в зависимости от величины вращательной жесткости узловых соединений.

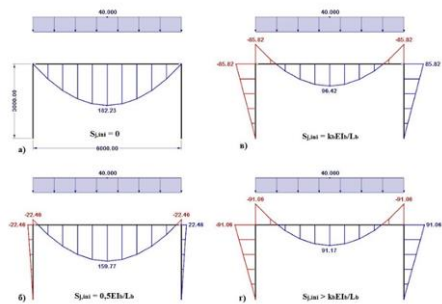


Рис. 13. Определение изгибающих моментов в П-образной раме в зависимости от вращательной жесткости соединений балки и колонн согласно [7] (моменты – кНм, нагрузка – кН/м)

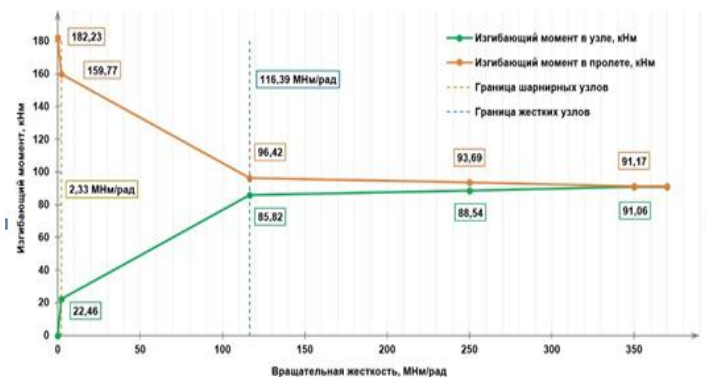


Рис. 14. Зависимость изгибающих моментов в раме от вращательной жесткости узлов

Наклонные части графиков соответствуют области полужестких узлов. Изменение изгибающих моментов для балок в пролете и на опоре (при жесткостях от границы шарнирного до границы жесткого узла в соответствии с рис. 14) составляет в среднем 55%. Это подтверждает необходимость соблюдать соответствие вращательных жесткостей узловых соединений, принимаемых для статического расчета, с реальными значениями, зависящими от конструкции узлов. Если при статическом расчете узел соединения балки с колонной принимался жестким, а по каким-либо причинам при проектировании или монтаже он оказался полужестким, то произойдет увеличение момента в пролете балки, что может стать причиной аварийной ситуации.

Выводы. Анализ выполненных исследований показал, что работа болтовых фланцевых соединений балок и колонн имеет сложный характер и сопряжена со значительным влиянием нелинейности в распределении внутренних усилий в элементах. Рассмотренные методики расчета в полной мере позволяют гарантировать безопасность и долговечность принятых по ним решений – это обусловлено большим практическим опытом, который является основой европейских и отечественных норм.

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Болтовые фланцевые соединения балок и колонн, запроектированные согласно отечественных норм, в основном являются

жесткими узлами. В соответствии с европейскими нормами возможно проектирование жестких, полужестких и шарнирных болтовых фланцевых соединений.

2. Правила определения вращательной жесткости узлов и ее учета при расчете каркасов (работы Каленова В. В.) не нашли отражения в отечественных нормах. Европейские нормы EN содержат методики вычисления вращательной жесткости и ее учета при определении усилий в элементах каркасов зданий.

3. Согласно EN в шарнирных и полужестких болтовых фланцевых узлах без усиления необходимый уровень вращательной жесткости достигается на счет пластических деформаций фланца и полки ответной части колонны. Отечественные нормы ограничивают работу узла упругой стадией. Теория расчета болтовых фланцевых соединений с учетом развития пластических деформаций содержится в работах Каленова В.В. и Катюшина В.В., но она не получила распространения.

4. Одним из обязательных конструктивных требований отечественных правил является применение в фланцевых соединениях высокопрочных болтов с контролируемым предварительным натяжением, что обеспечивает передачу поперечной силы за счет сопротивления трению контактных поверхностей. Согласно европейским нормам это не является обязательным: фрикционные соединения используются там, где это необходимо (для снижения деформативности или при действии динамических нагрузок), в остальных случаях расчетом учитывается передача поперечной силы на болты. В таких случаях болты рассчитываются на растяжение и сдвиг как обычные без предварительного натяжения.

5. Уровень влияния вращательной жесткости соединений на распределение изгибающих моментов в элементах каркаса (балках и колоннах) достаточно высок, поэтому необходимо соблюдать соответствие вращательных жесткостей узловых соединений, принимаемых для статического расчета, со значениями, вычисленными для принятой конструкции узлов.

6. Методики оценки вращательной жесткости соединений и ее влияния на распределение внутренних усилий в элементах каркасов представляют практический интерес и требуют подробного изучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП П-23-81* «Стальные конструкции».
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП П-23-81*, «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя
3. СССР. – М., 1989. – 148с.
4. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / ЦНИИ проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова. – М., 1989. – 51с.
5. Серия 2.440-2 «Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий», Выпуск 1 «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам» / ЦНИИ проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова. – М., 1989. – 80с.
6. Серия 2.440-2 «Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий», Выпуск 7 «Болтовые фланцевые рамные соединения балок с колоннами стальных каркасов зданий и сооружений» / НИПИПромстальконструкция – М., 1994. – 83с.
7. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство) / Катюшин В.В. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 656 с.: ил.
8. EN 1993-1-8 «Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints».
9. ТКП EN 1993-1-8-2009* «Проектирование стальных конструкций. Расчет соединений».
10. Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3. – The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association 2014. Publication Number: SCI P358. ISBN 978-1-85942-201-4.
11. Joints in steel construction: Moment-resisting joints to Eurocode 3. – The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association 2013. Publication Number: P398. ISBN 978-1-85-942209-0.