

*Рыженко С.С.  
(КНУСА, г. Киев, Украина)*

## **ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В РАМАХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ПОПЕРЕЧНО ГОФРИРОВАННЫХ ДВУТАВРОВ**

*Розглянуті існуючі методики проектування фланцевих з'єднань, показані залежності НДС фланців від їх геометричних характеристик, запропонована методика розрахунку рам із БГС з урахуванням жорсткості фланцевих вузлів.*

**Ключові слова:** *фланцеве з'єднання, балки с гофрованою стінкою, контактні поверхні.*

*Рассмотрены существующие методики проектирования фланцевых соединений, показаны зависимости НДС фланцев от их геометрических характеристик, предложена методика расчета рам из БГС с учетом жесткости узлов.*

**Ключевые слова:** *фланцевые соединения, балки с гофрированной стенкой, контактные поверхности.*

Фланцевые соединения относятся к наиболее эффективным соединениям элементов рам из балок с гофрированной стенкой. Применение данного типа соединений позволяет уйти сварки при монтаже конструкций, а по сравнению с другими болтовыми соединениями - снизить количество болтов в узлах, что приводит к снижению трудоемкости производства и монтажа. Так как балка с гофрированной стенкой выше балок с плоской стенкой на 20...40%, то и количество болтов по сравнению с фрикционными соединениями значительно ниже.

Следует отметить, что работа БГС отличается от «обычного» двутавра, в котором стенка частично воспринимает изгибающий момент и передает его на фланец. В БГС весь изгибающий момент воспринимается полками, а поперечная сила – стенкой. Такая работа балок приводит к изменению расчетов фланцевых соединений в БГС.

В настоящее время на территории Украины действующие нормативные документы по расчету фланцевых соединений [1], [2] рассматривают работу болтов двух типов: внутренние и наружные, при этом сопряжение полки двутавра с фланцем представлено в виде тавра. Такое предположение работы фланцевого соединения реально отображает

распределение усилий между болтами и фланцами, но для БГС данная методика расчета не является объективной, поскольку болты «внутренней» зоны в них отсутствуют. Сравнительный анализ расчета фланцев по [1], [2] с учетом наличия в них только «наружных» болтов показывает, что болт может воспринимать от 30 до 50% усилия, которое при реальном рассмотрении напряженно деформированного состояния он способен воспринять. Также не учтено влияние изгибающего момента на расчет болтов от изгиба фланцев.

**Целью** данной работы есть рассмотрение действительного НДС фланцевых соединений рам из элементов БГС и влияния податливости соединений на металлоемкость каркаса.

Достаточно точную оценку местных напряжений в соединении можно получить с помощью МКЭ, применяя его для каждого отдельного узла конструкции. Существующие отечественные программные комплексы позволяют рассмотреть модель фланцевого соединения с большими допущениями: для задания контакта необходимо расстояние между поверхностями соединяемых элементов, поскольку применяются стержневые элементы, описывающие взаимодействие между фланцами и болтами. Также при рассмотрении действительной работы фланца установлено, что необходимо использовать упругопластическую работу элементов соединения, что приводит к значительным изменениям результатов расчетов. Для решения такой задачи используется комплекс NASTRAN NX7, который при решении модели в нелинейной постановке задачи подключает программу ADINA.

Расчетная модель соединения представлена двумя фланцами и растянутыми полками и отображена на рисунке 1. Фланцы соединены в пакет болтами с преднапряжением, соответствующим по величине действующим нормам. Между телом болта и телом отверстия фланца существует зазор – чернота отверстия в 2 мм. Рассмотрены модели фланцев с толщиной 12, 14, 16, 18 и 20 мм; болты приняты М20. Все геометрические характеристики взяты в соответствии с требованиями [3]. Такое представление модели позволяет наиболее близко подойти к реальному напряженно деформированному состоянию соединения. Нелинейная нагрузка, приложенная к полкам фланцев, соответствует напряжению 240 МПа. Для моделирования соединения использовались следующие конечные элементы:

- а) 10 – узловая треугольная призма, каждая сторона которой разбивается дополнительным узлом;
- б) 2 – узловой балочный элемент, моделирующий преднапряжение болтов;
- в) контактные поверхности с нулевой толщиной.

Тело болта разбито на две части и вставлен 2 – узловой элемент с соответствующей жесткостью.

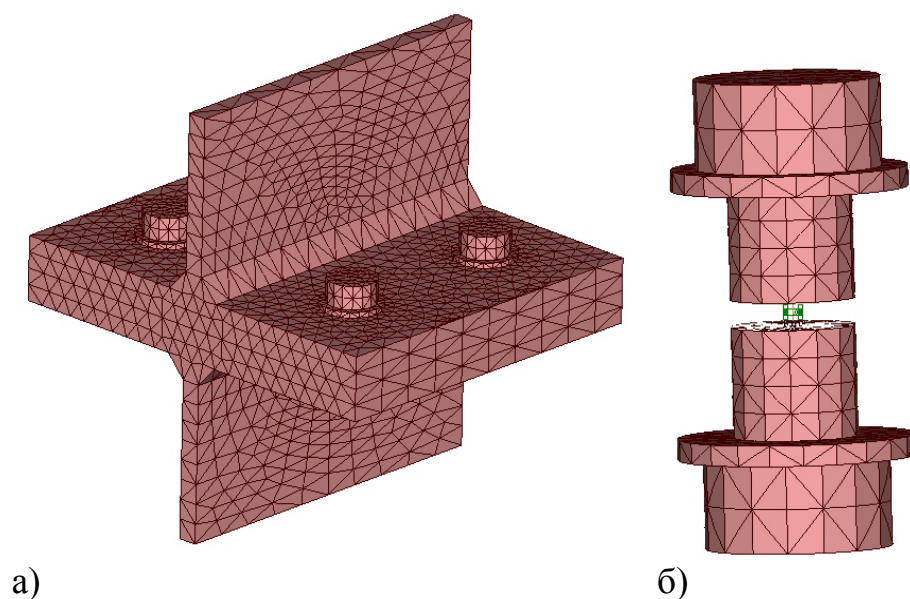


Рисунок 1 – Конечно элементная модель фланцевого соединения:  
а) общий вид; б) болт с преднапряжением

Физические характеристики сталей приняты соответственно для фланцев С345, болтов – С1100 и для полок – С 245. Зависимости  $\sigma - \varepsilon$  отображены на рисунке 2.

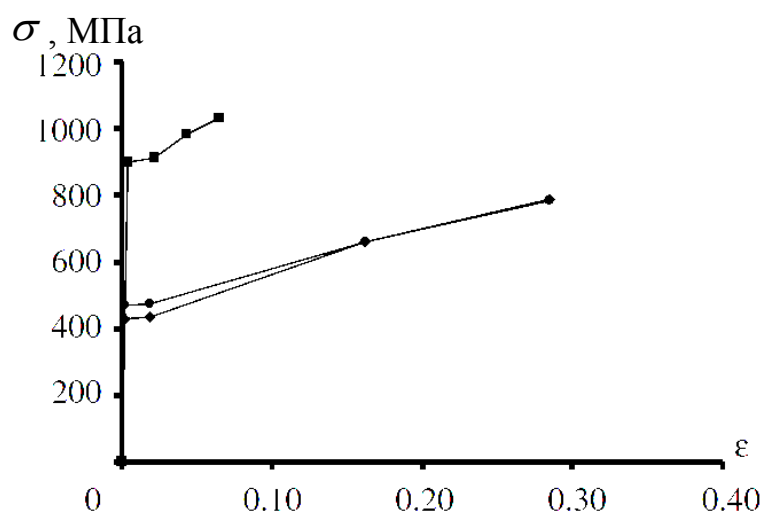


Рисунок 2 – Физические характеристики сталей, используемых во фланцевом соединении

В результате произведенных расчетов установлена нелинейная работа фланцев в районе обжатия их болтами. На рисунке 3 прослеживается зона пластических деформаций во фланце у полки и болтов.

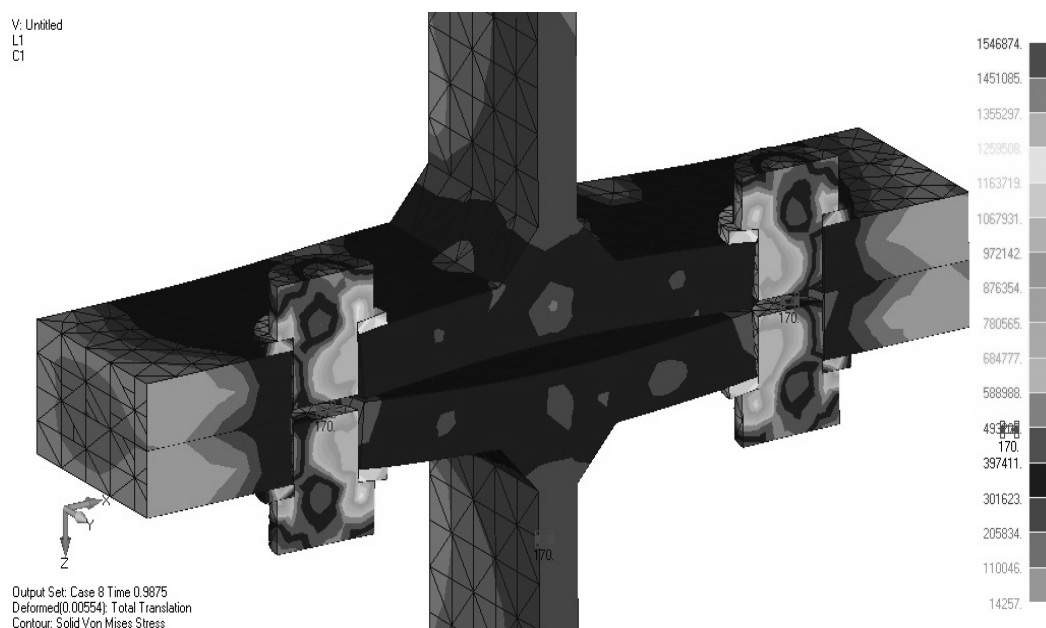


Рисунок 3 – Рассчитанное по 4 – ой теории прочности фланцевое соединение с учетом нелинейного поведения стали

Из результатов расчета видно внецентренное растяжение тела болта, которое обусловлено раскрытием фланцев. В расчетных схемах отечественных норм же говорится, что преднапряженный болт работает только на центральное растяжение. Учет изгибающего момента при расчетах в болтах этих соединений понижает несущую способность их на 17...25%, в зависимости от толщин фланцев. Исходя из этого, можно сказать о необходимости внесения изменений в методику расчетов фланцевых соединений.

Под телом шайбы образуется зона пластических деформаций уже на стадии предварительного натяжения болтов, что приводит к снижению напряжений в теле болта. Данный результат отличается от классического понимания работы высокопрочного болта во фланцевом соединении, поскольку ранее считалось, что усилие в болте является постоянным на протяжении приложения внешней нагрузки после преднапряжения. Из рисунка 4 видим как изменяется напряжение, рассчитанное по 4 – ой теории прочности, в зависимости от приложенной нагрузки на один болт. Существенное влияние на работу болтов оказывает толщина фланцев

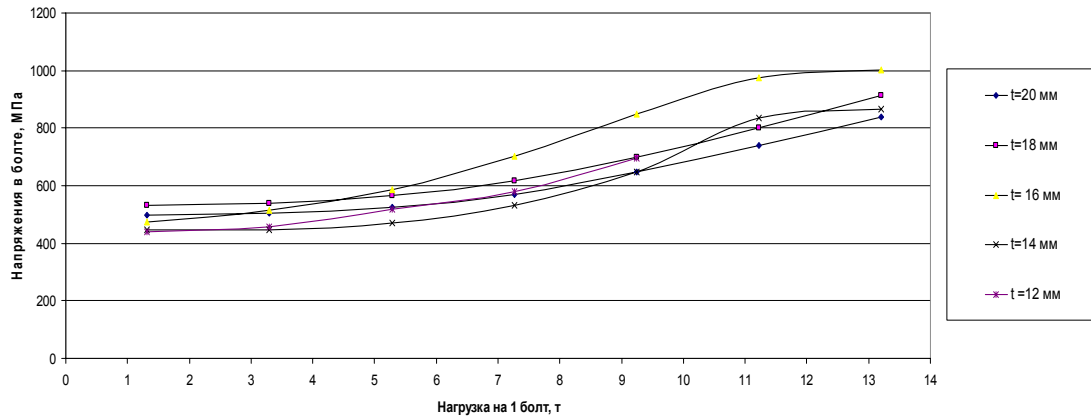


Рисунок 4 – Зависимость напряжений в теле болта от приложенной внешней нагрузки, приведенной к одному болту

При толщине фланца 16 мм и нагрузке на один болт 13,2 т максимальные напряжения в теле болта составляют 1000 МПа. Данную нагрузку болт выдерживает и напряжения не превышают расчетных значений. Максимально допустимая нагрузка на 1 болт, рассчитанная в соответствии с отечественными нормами составляет при данных характеристиках фланцевого соединения не более 50% от выше указанной (в зависимости от толщины фланцев и диаметра болтов). Начальные значения напряжений в теле болта, рассчитанных в соответствии с 4 – ой теорией прочности от величины преднапряжения ниже на 30 – 40%, это обусловлено обжатием болтами фланцев и появлением в них локальных пластических деформаций. Используя данные зависимости можно подбирать толщину фланцевого пакета зная приложенную внешнюю нагрузку, приведенную на 1 болт, а произведенные расчеты станут основой для разработки и внедрении рекомендаций по расчету фланцевых соединений рам из элементов БГС.

При рассмотрении расчетной схемы рам из стержневых элементов необходимо включить в узлы связи конечной жесткости, т.е. учитывать податливость узлов. Это связано с раскрытием фланцев в зоне растянутых полок. Из рисунка 3 видно, что раскрытие происходит под полкой и за болтом не оказывает влияния на поведение соединения. В зависимости от толщины фланцев данное раскрытие составляет от 1 до 4 мм. Используя сортамент гофрированных балок [4], можно определить отношение оптимальной высоты стенки балки к пролету. Для пролетов 24–30 м наиболее рационально применять БГС с высотой стенки 1250 и 1500 мм. При данных высотах несущих конструкций покрытия получаем расход стали однопролетных рам 24–26 кг/м.кв. С применением в рамных узлах соединения колонн с балками покрытия связей конечной жесткости получаем изменение распределения усилий. Изгибающий

момент в карнизном узле снижается в зависимости от соотношения жесткостей колонны и ригеля на 8–10%, в коньковом же узле возрастает, т.е. происходит выравнивание карнизного и пролетного моментов. При новом распределении усилий нет необходимости менять сечения поясов БГС, при пролетах в 18–24 м не делают монтажный стык отдельных отправочных элементов для уменьшения металлоемкости, значительно уменьшается трудоемкость изготовления и монтажа конструкций.

**Выводы.** На основании произведенного исследования, можно разрешить применение гибких фланцевых соединений в элементах рам из БГС, поскольку данное конструктивное решение узла не только легче, чем предлагаемые в отечественных нормах, но и приводит к уменьшению металлоемкости каркаса в целом на 10–15%, также снижает трудоемкость изготовления и монтажа конструкций.

### **Библиографический список**

1. *Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. Госстрой СССР, 1989. – 52 с.*

2. *СНиП II–23–81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 90 с.*

3. *Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II–23–81\*). ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М. - 1989. – 451 с.*

4. *ТУ У В.2.6-28.1-30653953-007:2007. Балки двутавровые гофрированные облегченные. Технические условия. – К. - 2007. – 35 с.*

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.*