

7. Потерщук В.А., Пецольт Т.М., Пастушков Г.П., Тур В.В. Конструктивная система многоэтажного каркасного здания с плоскими сборно-монолитными перекрытиями // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подбор инженерных кадров Республики Беларусь: сб. науч. труд. – Брестский политехнический институт, 1997. – 111 с.

8. <https://www.webkursovnik.ru/kartgotrab.asp?id=-59968>.

9. <http://docplayer.ru/27497499-Monolitnoe-bolsheproletno-rebristoeperekrytie-s-postnapryazheniem.html>.

10. <http://docplayer.ru/44637472-Perspektivy-primeneniya-nanobetonav-monolitnyh-bolsheproletnyh-rebristyhperekrytyah-s-postnapryazheniem.html>.

УДК 624.078.4

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СНИП II-23-81* И EN 1993-1-8

ЗГИРОВСКИЙ А. И., КОНОНОВИЧ К. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время в строительстве широко применяются стальные конструкции: их отличает небольшие затраты (по сравнению с железобетоном) на их проектирование и изготовление, а также короткие сроки монтажа с минимальными затратами на различные механизмы. Проектирование, производство и монтаж стальных конструкций выполняются согласно стандартам (нормативным документам), принятых в строительной отрасли. С 1 июля 2015 года на территории Республики Беларусь проектирование, производство и монтаж стальных конструкций осуществляется в соответствии с требованиями Еврокод 3. Данный нормативный документ предоставляет расширенные возможности для проектирования металлических конструкций по сравнению с СНиП II-23-81*, однако оперирует несколькими отличающимися расчетными методами и положениями.

В связи с отсутствием опыта проектирования конструкций с использованием данных норм, возникает проблема несовпадения новых норм и действующих сборников сортаментов. Решением данного вопроса может стать создание уже готовой базы конструкций, узлов сопряжения и т. д. Создание такой базы поможет повысить скорость проектирования и оптимизировать затраты труда.

В строительной механике обычно рассматривают шарнирное или жесткое сопряжение стержней друг с другом и с фундаментом. В реально изготовленных конструкциях специально изготовленные шарниры встречаются редко, в арочных конструкциях, мостах и т. д. В иных случаях используют конструктивные решения, обеспечивающие взаимный поворот стержней за счет податливости соединений. Шарнирное сопряжение конструкций позволяет решать определенные задачи: исключить или ослабить влияние на работу конструкций осадки фундамента, температурных воздействий, упростить монтаж и т. п. Для создания шарнирного соединения необходимо предусмотреть конструктивные мероприятия, обеспечивающие возможность взаимного поворота стержней соединенных шарниров, что в большинстве случаев можно сделать за счет податливости соединений.

Существует множество конструктивных схем с использованием шарнирных узлов. В связевых схемах и рамно-связевых конструктивных схемах каркасных многоэтажных зданий нагрузка через перекрытия передается на ригели, которые шарнирно примыкают к колоннам и к жестким элементам – стенкам или ядрам жесткости или к связевым блокам. За счет этого обеспечивается жесткость и геометрическая неизменяемость конструкций. Такие конструктивные схемы позволяют максимально эффективно использовать материал: маленькие пролеты позволяют выполнить ригели небольшого сечения, как и сечения колонн, работающих при такой схеме как центрально-сжатый стержень.

Соединения главной балки с колонной и второстепенных балок с главной проектируют шарнирным. Такое соединение второстепенных балок с главной позволяет не передавать на главную балку дополнительный крутящий момент. При использовании в конструктивных схемах многопролетных рам шарнирного соединения балки с колонной, на колонны передается только вертикальная нагрузка,

что позволяет определить характер их работы как центрально-сжатые стержни. Такая конструктивная схема приводит к значительной экономии материала, так как сечения колонн становятся меньше чем при жестком соединении. Однако это приводит к возрастанию момента в балке, что делает целесообразным переход к конструктивной схеме с использованием ферм. Шарнирные узлы используются при проектировании большепролетных рамных конструкций. В таких рамах почти всегда используется шарнирное соединение рамы с фундаментом, что позволяет существенно снизить влияние перемещений фундаментов. Нагрузки с покрытия передаются на рамы через ригели опертые шарнирно, для уменьшения влияния крутящего момента. Так же часто используются трехшарнирные рамы, имеющие шарнирные узлы в середине пролета и в местах соединения с фундаментом.

В странах европейского союза шарнирные узлы так же называют «простое соединение». Такое определение этих узлов подчеркивает направление в проектировании многоэтажных связевых рам в которых балки передают нагрузку на колонны, которые работают на центральное сжатие.

Конструктивно шарнирные узлы выполняются на гибких фланцах, через соединительный уголок, на овальных отверстиях, на опорных столиках. Для стран Европейского союза самыми распространенными видами шарнирных узлов являются: гибкие фланцы (полным и частичные), соединительный уголок или пластина.

В сварных шарнирных соединениях основными являются угловые вертикальные швы. Такие шва обладают достаточной деформативностью и не передают изгибающий момент, воспринимая только срезающее усилие.

Согласно методике изложенной в СНиП II-23–81* прочность сварных швов зависит от длины шва, катета шва, материала сварной проволоки и от глубины проплавления, которая зависит от вида сварки и катета шва. Расчет производится с допущением, что сварной шов может потерять несущую способность по границе сплавления или по металлу шва, а за расчетное принимается минимальное численное значение.

Наиболее удобными в монтажных условиях являются болтовые соединения. Простота выполнения без сложного дорогостоящего

оборудования обеспечило широкое их применение вместо клепаных и сварных соединений.

В ТКП EN 1993-1-8 [2] представлены два метода расчета сварных соединений.

Первый из предложенных методов расчета (направленный метод) предложен из допущения что напряжения являются равномерно распределенными по сечению сварного шва и сводятся к нормальным и касательным напряжениям. Этот метод является достаточно трудоемким, поэтому на практике используется второй представленный метод (упрощенный метод).

Прежде всего стоит отметить что предпосылки касающиеся характера работы узла совпадают в обеих методиках. Шарнирные узлы не передают моменты и основной расчетной нагрузкой для них, является усилие на срез, возникающее вследствие действия на узел поперечных усилий. Одинаковыми являются и компоненты узлов воспринимающие срезающие усилие – вертикальные сварные швы и болты, работающие на срез. Хотя ТКП EN 1993-1-8 допускает использование заклепок в таких соединениях, согласно Национальному Приложению [3] на территории нашей страны заклепки не используются в связи с отсутствием документов регламентирующим их характеристики и свойства, а также технологию изготовления и использования. Так же стоит отметить, что конструктивное решение шарнирных узлов в практике так же схожи: шарнирное соединение достигается соединением элементов через гибкий фланец (фланец, не приваренный к полкам балки) или через соединительную пластину, примыкающую к стенке балки.

Так как процесс перехода на использование новых норм проектирования является комплексным, в нашей стране были также введены новые документы, связанные с ТКП EN 1993-1-8 [2] документы, касающиеся материалов сварной проволоки болтов, а также их характеристик и технологии изготовления. Вследствие этого были переделаны и адаптированы уже использующиеся на территории нашей страны документы, что означает идентичность расчетных характеристик используемых в обеих методиках.

Стоит отметить тот факт, что в ТКП EN 1993-1-8 [2] изложена методика по расчету вращательной жесткости и вращательной способности узлов, позволяющая численным образом определить возможность узла передавать изгибающие моменты, вследствие чего

узлы можно разделить на три класса: жесткие, полужесткие и номинально шарнирные. В нормах, использовавшихся в нашей стране ранее подобных методик по определению жесткости узла не было, а все узлы классифицировались как жесткие и шарнирные.

При сравнении методик расчета сварных соединений стали явными некоторые различия:

При расчете по СНиП II-23-81*[1] определяется несущая способность сварного шва по границе сплавления с основным металлом и по металлу шва. За расчетное значение принимается наименьшее. Значение несущей способности по металлу шва сильно зависит от материала сварной проволоки и технологии сварки. По методике, изложенной в ТКП EN 1993-1-8 [2], расчетная несущая способность шва зависит только от номинального сопротивления на растяжение более слабого соединяемого элемента, а разрушение всегда происходит по металлу шва.

Таким образом, в СНиП II-23-81*[1] при расчете сварного шва указываются материалы сварной проволоки, используемые при сварке, и учитываются ее характеристики, тогда как в ТКП EN 1993-1-8 [2] согласно п. 4.2.2: Значения предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения при разрыве должны быть эквивалентны или выше значений, установленных для основного металла.

Так же некоторые отличия имеют конструктивные особенности сварных швов касающиеся значений эффективной длины сварного шва.

Методики по расчету болтов на срез, в обоих методиках очень похожи: они заключаются в определении несущей способности болта на срез и металла соединяемых элементов на смятие. За несущую способность принимается наименьшее из этих значений. Порядок определения этих значений различен в обоих случаях.

Также стоит отметить различные конструктивные требования по расположению болтов. Также в ТКП EN 1993-1-8 [2] даны конструктивные требования по проектированию соединений на овальных отверстиях а так же проводится учет в соединении резьбовой части болта.

В обеих методиках описан учет ослабленного отверстиями сечения. В СНиП II-23-81*[1] эта методика сводится к уменьшению сечения за счет отверстий и проверке уменьшенного сечения

на прочность как для полного сечения. В ТКП EN 1993-1-8 [2] представлена иная модель учета ослабленного сечения, которая сводится к определению вырываемой части сечения и проверки этой части по определенным формулам. Такой подход более полно описывает поведение материала под нагрузкой в ослабленной зоне. Следовательно, можно отметить кардинально различный подход к учету данного ослабления.

Сравнение методик проводилось сравнением численных значений несущей способности соединения вычисленной по обоим методам. Расчет несущей способности сварного шва проводился для соединения металлической пластины к стенке двутавра из стали С235 угловым швом $l_w = 100$ мм с катетом $k_t = a = 5$ мм. Для методики по СНиП II-23-81*[1]:

Далее были проведены расчеты для различных катетов швов, стальной соединяемых элементов и видов сварки. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Подобным образом было рассчитано болтовое соединение. Расчет несущей способности болтового соединения проводился для соединения металлической пластины к стенке двутавра из стали С235 с $t = 5$ мм соединенных болтами класса 4.6, $d = 16$ мм. Для методики по СНиП II-23-81*[1].

Для обеспечения наглядности далее приведены графики показывающие результаты расчетов несущей по обоим методикам в каждом варианте исходных данных.

На рис. 1 представлен график несущей способности шва. Как видно этот график имеет большое расхождение результатов (Среднее квадратичное отклонение процента расхождения составляет 24,1262 %). Оно связано с тем, что по методике, описанной в СНиП II-23-81*[1], за расчетную несущую способность шва принимается наименьшее из двух значений: несущей способности по материалу шва и несущей способности по границе сплавления с основным металлом. Тогда как в ТКП EN 1993-1-8 [2] согласно п. 4.2.2 Значения предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения при разрыве должны быть эквивалентны или выше значений, установленных для основного металла. Это значит, что несущая способность сварного шва зависит только от материалов соединяемых элементов. В отличии от СНиП II-23-81*[1] расчет угловых швов по ТКП EN 1993-1-8 не позволяет металлу сварного шва обуславливать работу соединения, и, хоть согласно теории

изложенной в [2] разрушение сварных швов происходит по металлу шва, показатель в СНИП II-23–81*[1] близкий по теоретическим предпосылкам – несущая способность шва по границе сплавления. Принимая во внимание такое допущение далее представлены результаты сравнения значений несущей способности по границе сплавления по методике СНИП II-23–81*[1], с результатами полученными по методике ТКП EN 1993-1-8. Графики сравнения представлены на рис. 2. Как видно результаты показали гораздо большую сходимость. Графики, построенные по результатам вычислений болтов на срез, приведены на рис. 3. Стоит отметить, что методы показали достаточно хорошую сходимость. Среднеквадратичное отклонение процента расхождения составило 6,41 %.

Статистические данные результатов расчета приведены в табл. 1. Разброс значений для сварного соединения связан с тем, что в методике по СНИП II-23–81*[1] в зависимости от вида сварки и материала сварной проволоки используются различные коэффициенты глубины проплавления, которые изменяются от 0,7 до 1,15, в ТКП EN 1993-1-8 подобных коэффициентов нет. Результаты исследования показывают, что общие допущения и предпосылки в этих методиках схожи, однако конкретные формулы и используемые коэффициенты различны.

Таблица 1

Статистические данные расчетов

	Максимальный процент расхождения	Среднее арифметическое значение процента расхождения	Среднее квадратичное отклонение процента расхождения	Средняя погрешность среднего значения
Болтовое соединение	18,52 %	11,67 %	11,7 %	0,044 %
Сварное соединение с учетом результатов расчетов по металлу шва	107,96 %	23,31 %	24,17 %	0,423 %
Сварное соединение без учета результатов расчетов по металлу шва	23,36 %	5,51 %	9,99 %	0,176 %



Рис. 1. Графики к расчету сварного шва

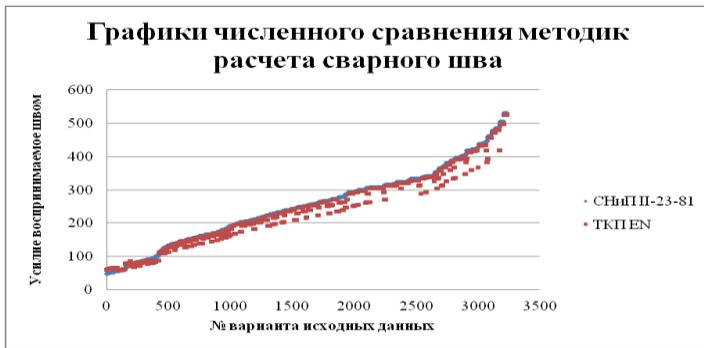


Рис. 2. Графики к расчету сварного шва без учета значений по металлу шва.

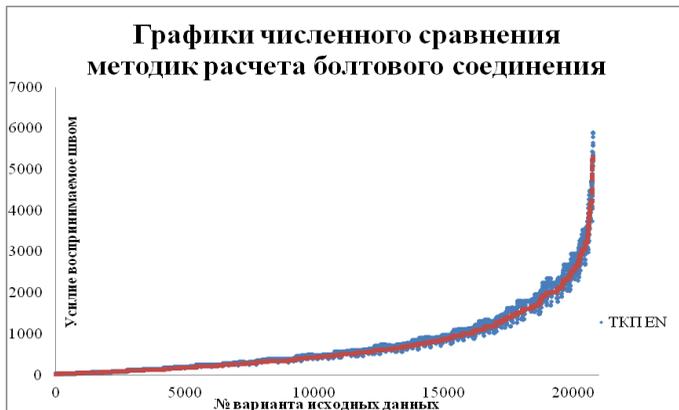


Рис. 3. Графики к расчету болтового соединения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-23–81*. Стальные конструкции. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 90 с.
2. ТКП EN 1993-1-8-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений. – Минск: МАиС Республики Беларусь. – 2006. – 128 с.
3. ТКП EN 1993-1-1-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Минск: МАиС РБ. – 2006. – 96 с.
4. EN 1993-1-8. Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.8: Design of Joints. – Brussels: CEN Brussels Belgium. – 2005. – 128 с.
5. Катюшин, В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство) / В.В. Катюшин. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 656 с.
6. Joints in Steel Construction. Simple Connections. – London: SCI and BCSCA. – 2002. – 490 p.
7. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов/Е.И.Беленя, В.А.Баладин, Г.С.Ведеников и др.; Под общ. ред. Е.И.Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с., ил.
8. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Общая часть (Справочник проектировщика) / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИ-проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 576 стр.
9. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс. Учеб. пособие для вузов/ под ред. В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990 – 432 стр.
10. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Элементы конструкций; учеб. для строит. вузов. / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 551 с.: ил.
11. ТКП EN 1992-1-1–2009. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Минск: МАиС Республики Беларусь. – 2015. – 205 с.
12. ТКП 45-5.04-274–2012 Стальные конструкции. Правила расчета – Минск: МАиС Республики Беларусь. – 2013. – 159 с.