

Список цитированных источников

1. Bažant, Z.P. Size effect in punching shear failure of slabs / Z.P. Bazant, Z. Cao // ACI-Struct. Journ. – 1987. – Vol. 84, Jan.-Febr. – P. 44–53.
2. Georgopoulos, T. Durchstanzlast und Durchstanzwinkel punktförmig gestützter Stahlbetonplatten ohne Schubbewehrung / T. Georgopoulos // Bauingenieur. – 1989. – № 64. – S. 187–191.
3. Kinnunen, S. Punching of concrete slabs without shear reinforcement / S. Kinnunen, H. Nylander // Transactions of the Royal Inst. of Technology. – Stockholm, 1960. – Nr. 158.
4. Menetrey, Ph. Numerical analysis of punching failure in reinforced concrete structures / Ph. Menetrey // Dep. de Genie Civil, EPFL Lausanne, 1994. – These № 1279. – P. 179.
5. Moe, J. Shearing strength of reinforced concrete slabs and footings under concentrated loads / J. Moe // Portland Cement Association Research and Development Laboratories. 5420 Old Orchard Road. – Skokie, Illinois, 1961. – April – P. 144.
6. Muttoni, A. Behavior of Beams and Punching in Slabs without Shear Reinforcement / A. Muttoni, J. Schwartz // IABSE Colloquium. – Zurich, Switzerland, 1991. – v. 62. – P. 703–708.
7. fib Model Code for Concrete Structures 2010. – Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland, 2013. – 432 p.
8. Молош, В.В. Сопротивление срезу при продавливании самонапряженных плоских железобетонных элементов без поперечного армирования: дис. к-та тех. наук : 05.23.01 / В.В. Молош. – Брест, 2000. – 225 л.
9. Основы проектирования строительных конструкций = Основы проектирования будаўнічых канструкцый: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2012. – Минск : СЕН/ТС 250 «Конструкционные Еврокоды»: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 70 с.

УДК 624.014

АНАЛИЗ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Надольский В. В.

1 Введение. Расчетные модели сопротивления, регламентированные в нормативных документах, подтверждаются большим количеством экспериментов и опытом проектирования. Однако ввиду высокой стоимости испытаний все большее распространение получает наиболее универсальный метод расчета посредством КЭ-моделей. Данное направление является очень актуальным и довольно интенсивно развивается, здесь следует отметить исследования [1, 2]. Однако при всей мощности данного метода существует ряд основных вопросов, нерешенных по настоящее время и сдерживающих применение КЭ-метода. Основные проблемы связаны с созданием КЭ-модели и интерпретацией результатов, что, как правило, требует больших теоретических знаний и практического опыта построения КЭ-модели. Существенно упрощает практическую реализацию расчетов соединений посредством МКЭ программный продукт IDEA StatiCa, разработанный в Чехии при существенной поддержке научного сообщества. Данный продукт позволяет очень хорошо выполнить качественный анализ соединений.

2 Обзор расчетных моделей сопротивления фланцевых соединений. В Республике Беларусь расчеты стальных конструкций ведутся согласно требованиям СНиП II-23-81* [3] или Еврокод 3 [4], но в данных стандартах нет методик по расчету фланцевого соединения элементов из замкнутого профиля.

В отечественной практике значительно облегчает эту ситуацию наличие Рекомендаций по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций [5]. В рамках отечественной методики конструирование фланцевого соединения обеспечивает его несущую способность, предъявляются требования к диаметрам болтов и толщинам фланцев, постановке дополнительных ребер жесткости, что позволяет вести расчет соединения только по прочности болтов и прочности сварных швов (прочность и деформации фланца обеспечиваются конструктивными требованиями). Такие принципы позволяют спроектировать соединение, равнопрочное сечению элемента, однако ограничивают разнообразие соединений и их экономичность.

В европейской системе нормирования ТКП EN 1993-1-8 «Стальные конструкции. Расчет соединений» [4] существуют разделы, посвященные расчету фланцевых соединений элементов из двутавров (раздел 6) и узлов сопряжения элементов замкнутого профиля (раздел 7), но в данном нормативном документе не рассматриваются фланцевые соединения элементов из замкнутого профиля (труб). Существует европейская методика расчета NCCI «Design models for splices in structural hollow sections» [6], которая основывается на руководстве «Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading» [7]. Метод расчета, представленный в европейских рекомендациях [6], на практике прост в реализации, но при этом следует отметить некоторые ограничения области применения: узкий диапазон применимости по толщине фланца, отсутствие указаний по расчету при наличии дополнительных ребер жесткости. Также в источнике [6], получившем наибольшее распространение, имеются отклонения и неточности по отношению к оригинальному изложению данной методики [7].

Большое распространение на европейской территории получили фланцевые узлы с двухрядным и четырехрядным расположением болтов без ребер жесткости, по этой причине европейская методика разработана только для такого типа узлов. С производственной точки зрения такие типы узлов обладают неоспоримой простотой изготовления, однако достичь равнопрочности соединения и элементов в таком случае практически невозможно, так как прочность таких соединений ограничена прочностью сварных швов. При двухрядном и четырехрядном расположении болтов можно предположить, что швы работают только вдоль граней с болтами (иногда эта предпосылка не идет в запас прочности, т. к. наиболее интенсивно швы будут работать около болтов и угловых зон профиля). При этом расчетная толщина шва назначается меньше толщины профиля и прочностные свойства угловых швов – меньше свойств стали профиля. Анализ показывает, что при двухрядном расположении болтов можно достичь 30-40% прочности профиля соединяемых элементов, а при четырехрядном расположении болтов – 60-70%. Остается неисследованным вопрос деформативности таких видов соединений, так как в расчетной методике заложено допущение развития пластических деформаций и, как следствие, фланцы будут обладать значительными деформациями.

В статье [8] автором предложен новый более универсальный метод расчета фланцевого соединения элементов прямоугольного сечения на основе модифицированного метода эквивалентного Т-образного элемента. Предложенная ме-

тодика представляет интерес в силу своей большей универсальности и может быть адаптирована для фланцевых соединений с ребрами жесткости.

3 Анализ методов расчета фланцевых соединений. Для анализа практического применения МКЭ и сравнения с существующими методиками расчета рассмотрены три конфигурации узла, представленные на рисунке 1. Конструктивное решение представлено для соединения элементов квадратного сечения 140x140x10, из стали S355, фланцы приняты из пластины t20, из стали S355, болты приняты класса прочности 8.8, M20, толщина сварного шва принята 8мм, для типа III ребра приняты из пластины t8 и приварены сварным швом толщиной 4мм. Результаты представлены в таблице 1. Поскольку области применения отечественной и зарубежной методики не совпадают, то сравнить данные подходы на численном примере не представляется возможным.

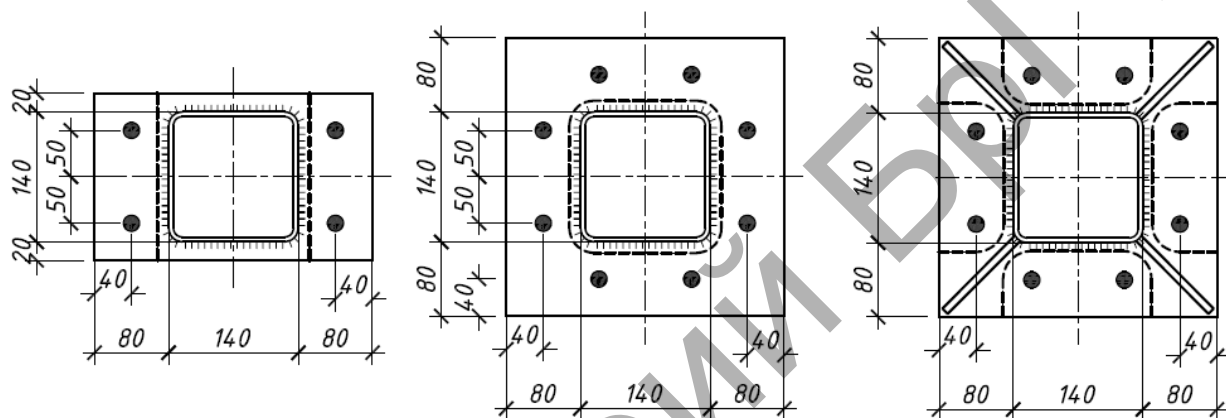


Рисунок 1 – Конфигурации фланцевых соединений с двухрядным (тип I) и четырехрядным расположением болтов без (тип II) и с ребрами жесткости (тип III)

Таблица 1 – Сравнение методов расчета фланцевых соединений

| Методика расчета | Вид отказа | тип I | тип II | тип III |
|----------------------|-------------------------------|------------|------------|-------------|
| Т-образного элемента | Прочность и деформации фланца | 414 | 736 | 1604 |
| | Прочность болтов | 386 | 748 | 984 |
| | Прочность швов | 564 | 1129 | 1129 |
| Европейская | Прочность и деформации фланца | 662 | 1324 | 1698 |
| | Прочность болтов | 378 | 750 | – |
| | Прочность швов | 564 | 1129 | |
| Отечественная | Прочность болтов и фланца | 662 | 1324 | |
| | Прочность швов | – | – | 933 |
| КЭ метод | | – | – | 1973 |
| | | 410 | 775 | 1080 |

Все три типа соединения были смоделированы в программе IDEA StatiCa, результаты представлены на рисунке 2. Предельное значение пластических деформаций принято 0,2%. Для типа I соединений по КЭ-методу расчетное сопротивление составило 410кН, при этом характер работы соответствует классическим представлениям работы Т-элемента, за исключением зоны развития максимального изгибающего момента: эта зона смещается внутрь профиля, тогда как в модели Т-элемента она находится по грани сварного шва. Для типа II соединений по КЭ методу расчетное сопротивление составило 775 кН, при этом

характер работы и линии текучести более сложные чем по представлениям Т-элемента: зоны развития максимального изгибающего момента располагаются не только по периметру профиля, но включают угловые зоны за счет изгибных деформаций фланца в двух направлениях. Для типа III соединений по КЭ-методу расчетное сопротивление составило 1080 кН, при этом характер работы и линии текучести более сложные чем по представлениям Т-элемента: в конкретном примере более интенсивный изгиб фланца возникал вдоль линии ребер жесткости.

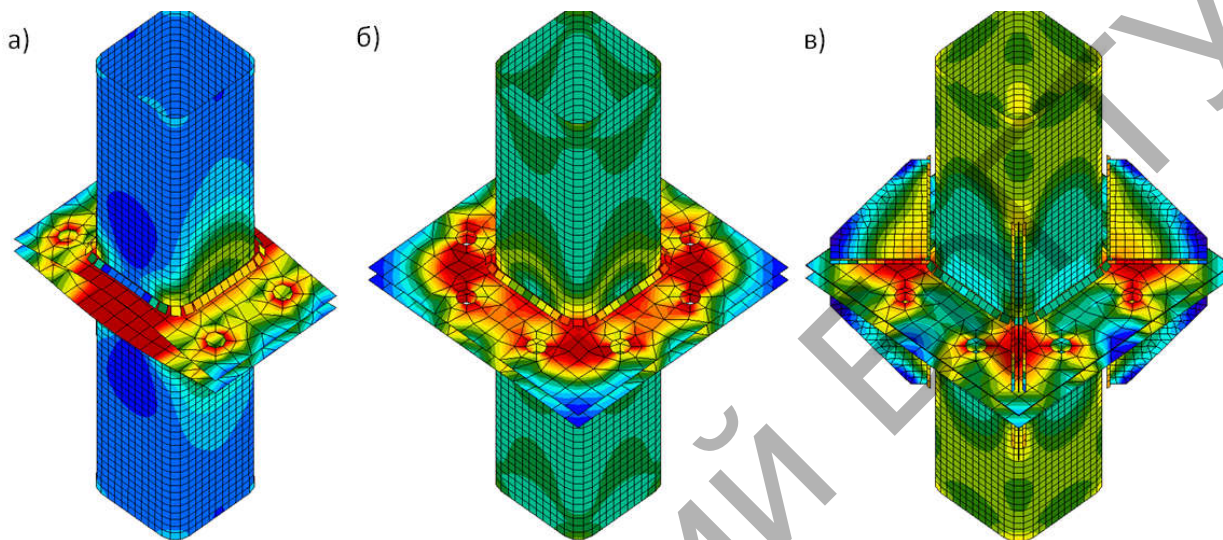


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние фланцевых соединений: а) с двухрядным расположением болтов (тип I); б) с четырехрядным расположением болтов без ребер жесткости (тип II); в) с четырехрядным расположением болтов с ребрами жесткости (тип III)

Заключение. На основании численного и качественного анализа результатов расчета фланцевых соединений посредством программного комплекса IDEA StatiCa и инженерных методик [5, 6, 8] можно отметить большую перспективу развития методов расчета, основанных на КЭ-методе, в силу их универсальности. Результаты настоящей работы могут быть использованы в качестве основы для дальнейшей верификации КЭ-моделей и частичного замещения реальных экспериментов моделированием. Более подробные результаты данного исследования представлены в статье [8].

Список цитированных источников

1. Семенов, А.А. Напряженно-деформированное состояние высокопрочных болтов фланцевых соединений в крупнительных стыках стропильных ферм / А.А. Семенов, А.А. Малярченко, И.А. Порываев, М.Н. Сафиуллин // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – No5 – С.54-62.
2. Пельмутер, А.В. Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в «SCAD Office» / А.В. Пельмутер, Э.З. Крискунов, В.В. Юрченко // CADMaster. – 2010. - No3 – С.110-115.
3. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-23-81*. – Москва: ЦНИИСК, 1990.
4. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений.: ТКП EN 1993-1-8-2009 – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – 2010.

5. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций / СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 1988. – 83с.

6. NCCI: Design models for splices in structural hollow sections // Access Steel. – 2010. – 10p.

7. 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.

8. Надольский, В.В. Расчет и конструирование фланцевого соединения элементов прямоугольного сечения, подверженных центральному растяжению / В. В. Надольский // Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2018. – № 16. – С. 121–130.

УДК 624.073.2

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ИХ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Семенюк С. Д., Кумашов Р. В.

Введение.

Применение сборно-разборных покрытий дорог из железобетонных плит позволяет избежать чрезмерного расхода материалов и средств. Будучи надежными в эксплуатации, эти дороги отвечают требованиям, выдвигаемым нуждами народного хозяйства. Такие дороги можно строить в любое время года, на любом грунте и сразу же эксплуатировать; строительство их поддается полной механизации, не требуется специального оборудования и машин. Сборные плиты могут изготавливаться как в заводских, так и в полигонных условиях без применения специального оборудования.

Однако неравномерные деформации основания и несимметричность приложения нагрузки приводят к возникновению в сечениях дорожных плит изгибающих и крутящих моментов, что пагубно сказывается на эксплуатационных характеристиках данных плит. В общем случае плиты работают на поперечный изгиб с кручением, в частности – на поперечный изгиб. Поэтому требуется учитывать влияние каждого из воздействий на несущую способность железобетонных плитных конструкций при их проектировании и изготовлении.

Способ Жемочкина. Статический расчет плиты на упругом полупространстве выполняем способом Жемочкина. Данный подход позволяет рассчитывать плиты на произвольном линейно-упругом деформируемом основании любой формы в плане и загруженные произвольной нормальной к срединной плоскости плиты внешней нагрузкой [1].

Алгоритм статического расчета железобетонной плиты на упругом полупространстве предусматривает шаговый метод последовательных приближений с использованием итерационного метода упругих решений для вычисления относительных деформаций в элементарных площадках.

Плита разбивается на *mхп* прямоугольных участков (рисунок 1). В середине каждого участка ставится связь, через которую осуществляется контакт плиты с