

## Экспериментальные исследования

УДК 624.04+624.014

DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-4-348-356

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

### Экспериментальные исследования прочности фланцевых соединений

**М.П. Сон**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Комсомольский проспект, 29, Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990

(поступила в редакцию: 17 апреля 2018 г.; принята к публикации: 10 июля 2018 г.)

В России экспериментальных исследований фланцевых соединений балок с колоннами ранее не проводилось, что повлекло за собой отсутствие нормативных методик их расчета и проектирования. В статье приводятся результаты полномасштабных натурных испытаний трех моделей фланцевых соединений. Модели различны по классу прочности болтов, толщине фланца и схеме нагружения. Цель экспериментов – исследование работы и несущей способности фланцевых соединений балок с колоннами в упругой и упругопластической стадии при действии статических нагрузок. Эксперименты проходили по многофакторному плану. Исследования проводились на разработанном автором испытательном стенде, представляющем замкнутый силовой контур, воспринимающий давление домкратов без возникновения реакций на силовой пол лаборатории. Давление в системе нагружения фиксировалось манометрами, перемещения – линейными датчиками перемещений, деформации – тензорезисторами. По результатам экспериментов показано, что возможно проектирование и эксплуатация фланцевых соединений без элементов усиления, таких как ребра жесткости, вуты, обратные фланцы, опорные столики и пр. До нагрузок 25–35 тс соединения работали линейно, разрушение образцов происходит при моментах силы 45–50 тс·м. Усилия, воспринимаемые натурными моделями, оказались в несколько раз выше усилий, вычисленных в программе «Комета-2» и рекомендуемых для расчета фланцевых соединений.

**Ключевые слова:** фланец, узел, колонна, полномасштабные испытания

#### Введение

Основная задача проектирования и расчета сооружений – это обеспечение надежности при минимизации затрат, т.е. снижение как материалоемкости, так и трудоемкости, что достигается введением методов оптимального проектирования, позволяющих максимально полно использовать несущие способности сооружения и его частей. Оптимальное проектирование возможно при соответствии расчетных схем с реальной физической работой конструкций, что может быть достигнуто только посредством экспериментальных и численных исследований. Дальнейшим шагом является разработка достаточно простой инженерной методики, позволяющей проектировщику создавать исследованные конструкции самостоятельно.

По причине отсутствия в России экспериментальных исследований фланцевых соединений балок (ригелей) с колоннами отечественные узлы выполняются нерационально (рис. 1).

#### Постановка проблемы

1. Отсутствие достаточного количества априорной информации (экспериментов). Советскими учеными проводились испытания на растяжение фланцевых соединений (ФС), усталостной прочности растянутых ФС [1], ФС изгибаемых элементов [2]. Испытаний узлов ФС типа балка – колонна в России (СССР) не проводились, поэтому узлы, вошедшие в серию 2.440-2 (рис. 1), имеют большое количество конструктивных элементов – вут, обратный фланец, опорный столик, ребра жесткости, фасонки – в установке которых нет необходимости. Дальнейшие исследования в этой области были приостановлены, что привело к практическому отказу от проектирования зданий жилого и общественного назначения на металлокаркасах. В странах Европы, США, Канаде, Китае, где доля гражданского строительства на металле занимает 40–70%, исследования ФС ведутся до сих пор [3–9]. Наиболее часто воспроизводимым экспериментом явля-

ется испытание элементарных Т-образных фланцевых соединений [10]. Это дает лишь относительное представление о работе ряда болтов и фланца, но не дает полного представления о работе соединения. На методике «расчленения» ФС на отдельные Т-образные элементы основан, например, принцип расчета таких узлов в Eurocode.

2. Расширение сортамента металлопроката в России. В настоящий момент вышел ГОСТ [11] по горячекатаному двутавру, согласно которому компоновка сечения двутавров отличается от принятой ранее [12]. Следовательно, решения принятые для старого сортамента могут оказаться ненадежными или неэкономичными по отношению к новому.

3. Отсутствие отечественных норм по проектированию и расчету ФС. В России (СССР) проблемой ФС активно занимались до 1990 г. Такие ученые, как И.Д. Грудев, В.В. Каленов, В.В. Катьошин, В.М. Горпиченко, В.Б. Глауберман внесли большой вклад в изучение прочности ФС [13]. Аккумулятивным эффектом их работы послужил выход рекомендаций по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций [14] и серии 2.440-2 [15] по проектированию жестких (рамных) узлов соединения балок и колонн. На сегодняшний день эти нормативные документы не имеют силы.

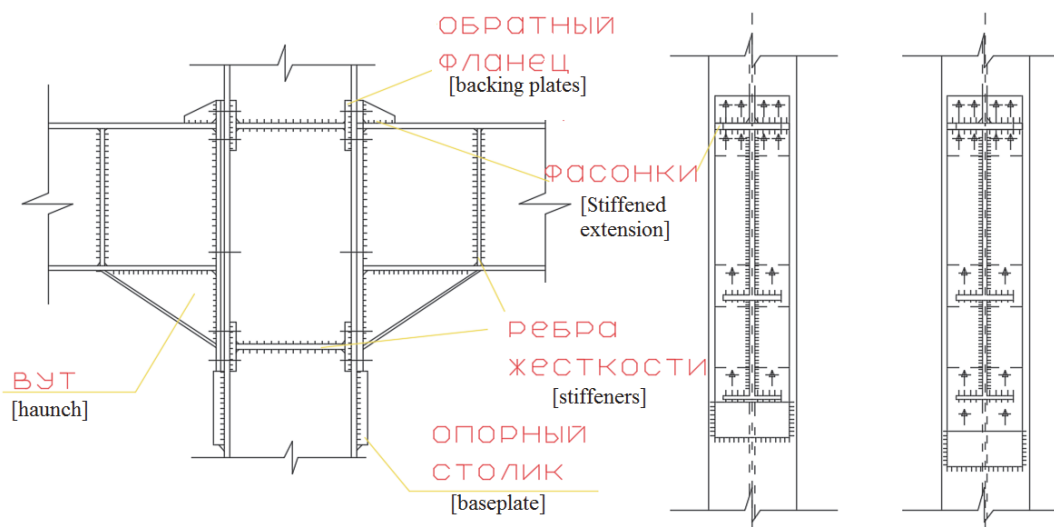


Рис. 1. Узел по серии 2.440-2  
[Figure 1. Node for the 2.440-2 series]

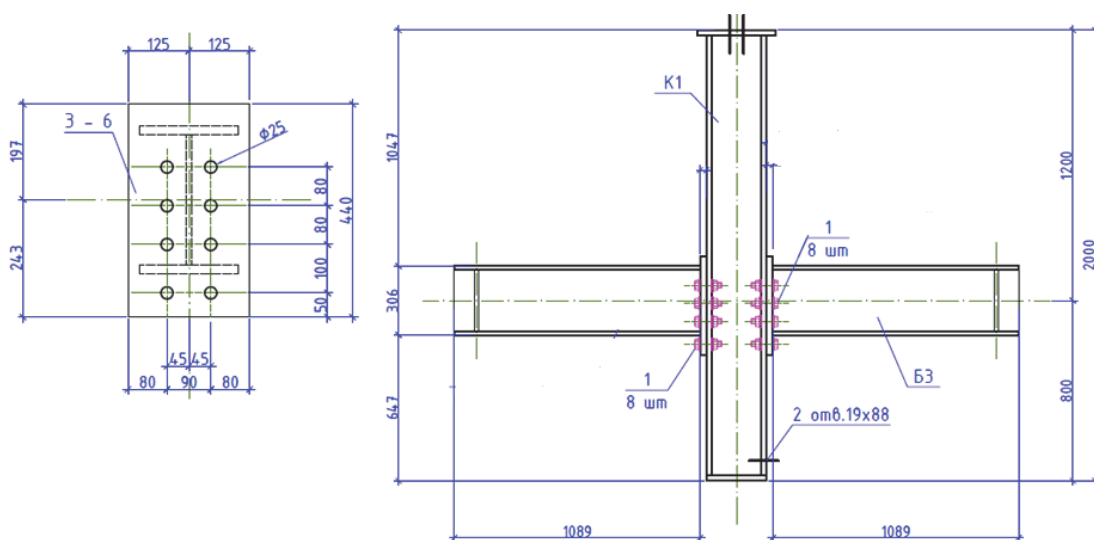


Рис. 2. Чертеж натурной модели  
[Figure 2. Drawing of the full-scale model]

Справочные материалы [14; 15] требуют проектировать соединения только на высокопрочных болтах из стали 40Х «Селект» с временным сопротивлением не ниже 1100 МПа, допускать во фланце только упругие деформации, в каждый узел устанавливать опорный столик и обратные фланцы в растянутую зону. Стремиться к применению в узлах вутов. В серии 2.440-2 узлы разбиты на два типа: с гибкими фланцами толщиной 27 мм и жесткими фланцами толщиной 45 мм. В Европе предпочитают использовать более тонкие фланцы и болты класса прочности 8.8.

В 2016–2017 гг. в лаборатории строительного факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) при участии Ассоциации развития стального строительства (АРСС) проводились испытания полномасштабных моделей фланцевых соединений (рис. 2). Цель экспериментов – исследование работы и несущей способности фланцевых соединений балок с колоннами в упругой и упругопластической стадии при действии статических нагрузок. Эксперименты проходили по многофакторному плану.

Сечение балок и колонны – сварные двутавры 30Ш3 и 25К6 соответственно [11], болты М24. Длины балок также соответствуют натуре. Во-первых, длины достаточны, чтобы уйти от краевых эффектов. Во-вторых, балки реального каркаса и балки натурной модели описываются одинаковыми уравнениями (Эйлера – Бернулли). В-третьих, достигается аналогичный масштаб в модели и конструкции по соотношению изгибающего момента к поперечной силе  $M/Q$ . Для 6-метрового пролета конструкции, нагруженного равномерной нагрузкой  $q$ , опорный момент составит  $M = ql^2/12$ , а  $Q = ql/2$ . Соответственно  $M/Q = 1$  м. В натурной модели плечо от центра давления домкрата до расчетного сечения равно 1 м (рис. 2).

Данный узел не имеет никаких дополнительных конструктивных элементов, что значительно упрощает его изготовление и монтаж несущих и ограждающих конструкций, который проходит согласно СП 70.13330.2012 в следующей последовательности. Очищается поверхность фланцев от следов масла растворителем, затем механической круглой щеткой по металлу. Кипятятся болты, гайки и шайбы в воде 10–15 мин., после чего в горячем состоянии промываются в приготовленной смеси, состоящей из 75% неэтилированного бензина и 25% минерального масла. Не позже чем через 8 часов выполняется сборка. Сначала затягиваются болты монтажным ключом,

следом на 0,9 несущей способности болтов затягиваются динамометрическим ключом, натяжение производится от середины к краям (рис. 3). Плотность стыка ФС контролируется щупом 0,1 мм.

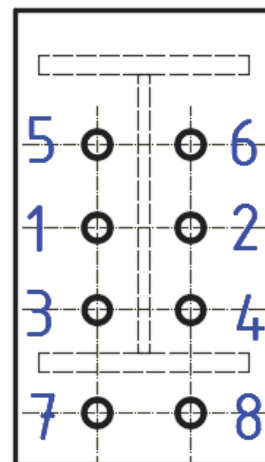


Рис. 3. Последовательность предварительной затяжки болтов. Монтаж узла  
[Figure 3. Sequence of preliminary tightening of bolts. Assembly of the node]

Для расчета узла используется сателлит программы SCAD – «Комета-2» [16], который помогает рассчитать и спроектировать узлы (рис. 4, табл. 1). Расчетная несущая способность балки 30Ш3 составляет порядка 35 тс·м. Проверим узел на усилии 30 тс·м.

По результатам расчета видно, что узел не проходит в два с лишним раза. В основном не проходит стенка колонны, но также условиям прочности не удовлетворяют и фланец, и сварные швы. Выходит, что такой узел, по практикуемым в России расчетам, можно использовать для восприятия момента в 13 тс·м. Если увеличить толщину фланца, то можно добиться 15 тс·м на 30 мм фланце.

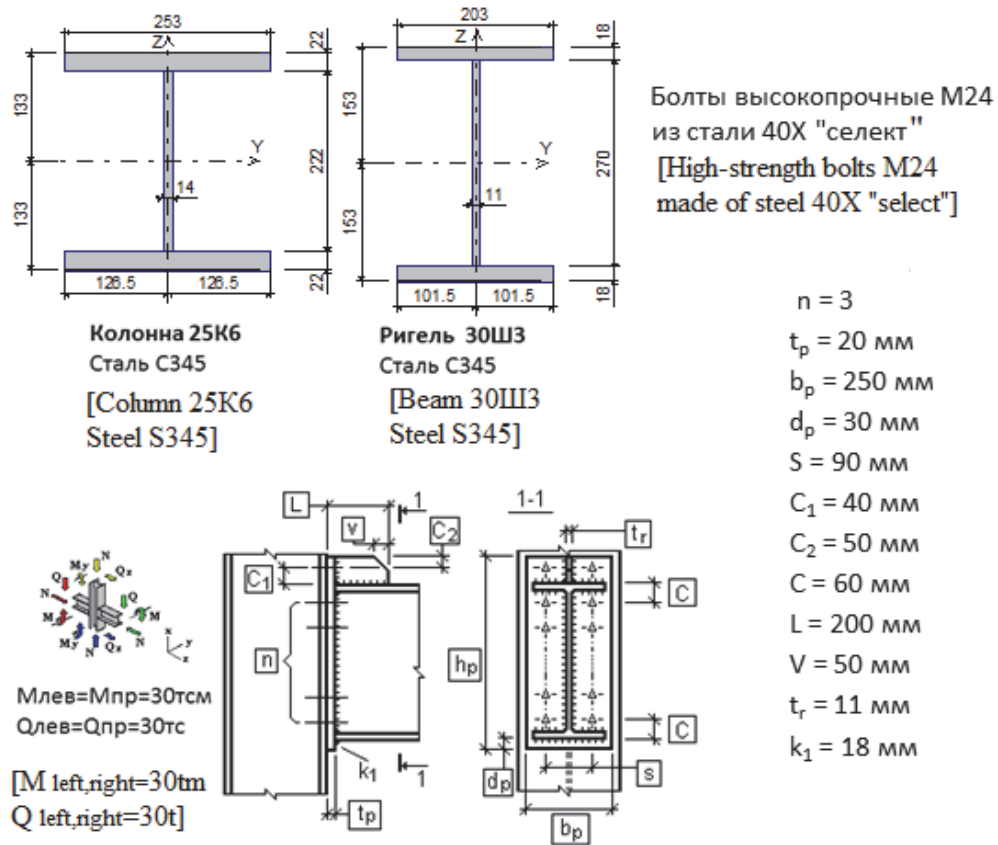


Рис. 4. Данные для расчета узла в программе «Комета-2»  
[Figure 4. Data for the calculation of the node in "Kometa-2" program]

Таблица 1

Проверка прочности фланцевого соединения  
[Table 1. Checking the strength of the flange connection]

Проверено по СП [Checked by Set of Rules]	Проверка [Checking]	Коэффициент использования [Ratio of bearing capacity]
	Прочность фланца из условия смятия торцевой поверхности [The strength of the flange from the condition of crushing of the end surface]	0,091
п. 8.1.3, (7)	Прочность фланца из условия общей устойчивости [The strength of the flange from the condition of general stability]	0,161
п. 9.5.14, (82)	Прочность фланца из условия местной устойчивости свеса полки [The strength of the flange from the local stability condition of the overhang shelf]	0,424
	Прочность фланца при изгибе с учетом ослабления отверстиями [Bending strength of the flange, taking into account the weakening of the holes]	1,679
п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	Прочность сварного соединения ригеля с фланцем [Strength of a welded joint with a flange]	1,372
п. 15.3.3, (170), п. 15.3.4, (171)	Прочность болтового соединения фланца с полкой колонны [The strength of the bolted connection of the flange to the column shelf]	0,481
п. 9.2.2, (40), (41)	Прочность стенки колонны по местным напряжениям [The strength of the column wall by local stresses]	2,323
п. 9.2.2, (38)	Прочность стенки колонны по приведенным напряжениям [The strength of the column wall by reduced stresses]	2,02
п. 9.5.2, (71), (72), п. 9.5.3, (73)	Местная устойчивость стенки колонны [Local stability of the column wall]	0,046

Определим несущую способность узлов по результатам эксперимента.

### Описание оборудования

Стенд представляет замкнутый силовой контур (рис. 3), воспринимающий давление домкратов без возникновения реакций на силовой пол лаборатории. Поскольку ФС балок с колоннами могут быть двух типов: в колоннах центральных рядов – с двусторонним примыканием балок (узлы типа +), в колоннах крайнего ряда – с односторонним примыканием балки (узлы типа Т), испытательный стенд должен проектироваться на оба режима работы. Балки нагружаются домкратами Д1, развивающими усилия до 56 т и Д2 (до 110 т).

Для проведения сложных экспериментов необходимо применять современное измерительное оборудование и системы записи, хранения и обработки данных. В наших экспериментах все деформации измеряются тензорезисторами FLA-10-11 с базой 10 мм, такой же тензорезистор крепится на термокомпенсатор, все перемещения измеряются линейными датчиками перемещений ДПЛ 100. Каждые 2 секунды идет опрос показателей всех приборов с записью и хранением данных на универсальный многоканальный измеритель-регистратор «Терем-4.1». Давление в системе фиксируется манометрами. Перемещение точек натурной модели замеряется относительно специально выставленной отсчетной базы, не связанной с силовой рамой (рис. 4). ДПЛ крепится соосными шарнирами к отсчетной базе и точке модели, что предотвращает их порчу во время чрезмерного деформирования модели на последних стадиях нагружения.

Для установления удлинений и вычисления приращения усилий в болты растянутой зоны устанавливаются ДПЛ. Замер размеров и начальных несовершенств: геометрия сечений и линейные размеры замеряются металлическими линейками – линейкой 30 см с погрешностью определения размера 0,1 мм и линейкой 1 м с погрешностью 0,2 мм. Толщины листов определялись штангенциркулем с замером толщины в нескольких точках. В листах, заваренных со всех сторон, сверлилось небольшое отверстие, замер толщины производился выдвижным штоком. Больше контрольных точек измерения толщины имели фланцы и полки колонн в местах стыка, т.к. в этих местах толщина более неравномерна из-за фрезеровки поверхностей, которая необхо-

дима для достижения нужной плотности контакта (зазор 0,1 мм уже недопустим). Общее отклонение точек моделей от плоскости фиксировалось путем замера расстояний от натянутой струны.

Расклейка тензорезисторов (ТР) и расстановка ДПЛ осуществляется согласно данным численных моделей. Для места наклейки ТР выбираются характерные точки натурной модели с большими деформациями, но относительно малыми их градиентами.

### Описание экспериментов и результатов испытаний

Эксперимент № 4<sup>1</sup> (рис. 5). Узел типа *m*, толщина фланцев 20 мм, класс прочности болтов 10.9, сталь 40Х «Селект» с временным сопротивлением  $R_u = 1060$  МПа (согласно испытаниям болтов на разрыв). Затяжка болтов производилась динамометрическим ключом на момент  $M = 1100$  Нм. Плечо от равнодействующей силы домкрата до контакта фланцев равно 1 м плюс толщина фланца, итого 1,02 м. Нагружение образца осуществляется одним домкратом. Разрушающая сила  $P$  составила 42,8 тс. При этой величине воздействия произошел разрыв болта нижнего ряда.

Эксперимент № 8 (рис. 6). Узел типа +, толщина фланцев 30 мм, класс прочности болтов 8.8, сталь 20Г2Р с временным сопротивлением  $R_u = 960$  МПа (согласно испытаниям болтов на разрыв). Момент затяжки болтов 900 Нм. Плечо от равнодействующей силы домкрата до контакта фланцев 1,03 м. Нагружение образца осуществлялось тремя домкратами: слева 100-тонный, справа и снизу 50-тонный. Разрушение модели произошло при нагрузке на левом домкрате 48,6 тс (на правом соответственно 24,8 тс). При этой величине воздействия одновременно разорвалось два нижних болта.

Эксперимент № 9 (рис. 7). Узел типа +, толщина фланцев 16 мм, болты 8.8. Момент затяжки болтов 900 Нм. Нагружение образца осуществлялось тремя домкратами: снизу 100-тонный, справа и слева 50-тонный (рис. 7). При достижении силой  $P$  44,2 т треснул фланец под швом. Наблюдались большие остаточные деформации, нижние два ряда болтов были сильно изогнуты, на одном болте имелись следы начинающегося разрыва.

<sup>1</sup> Соответствует фактическому порядковому номеру испытания.



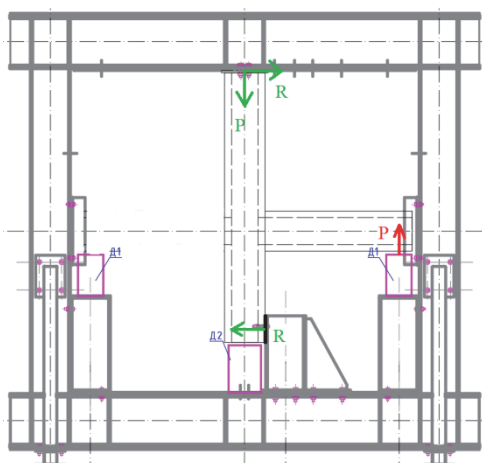


Рис. 5. Натурная модель № 4  
[Figure 5. The full-scale model № 4]

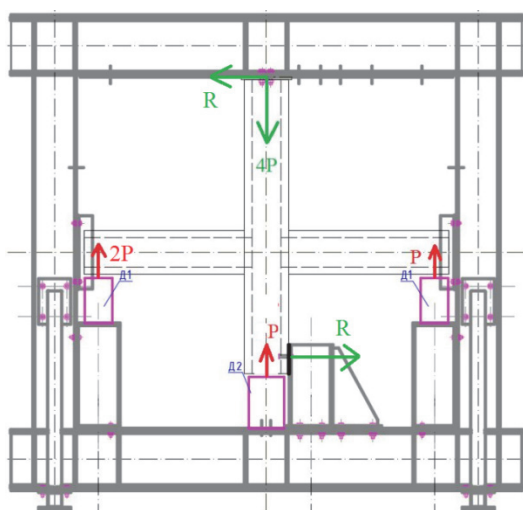


Рис. 6. Натурная модель № 8  
[Figure 6. The full-scale model № 8]

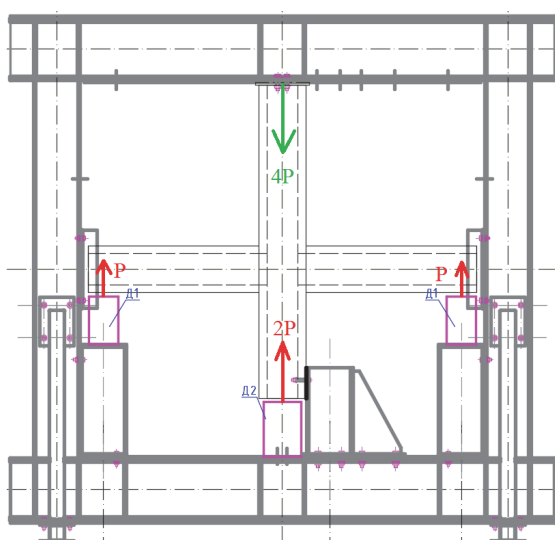


Рис. 7. Натурная модель № 9  
[Figure 7. The full-scale model № 9]

Графики «сила – перемещение» описанных выше испытаний представлены на рис. 8. Измерение перемещений происходит для точек, расположенных на расстоянии 85 см от контакта фланцев (рис. 5). Нагружение натурных моделей производилось ступенями нагрузки – разгрузка с шагом приращения 2–4 тс. Графики показаны только по точкам нагрузки, но с учетом кратковременной ползучести. Точки, соответствующие разрушению образцов на рис. 8 не показаны, т.к. часть ДПП перед разрушением снимается с модели.

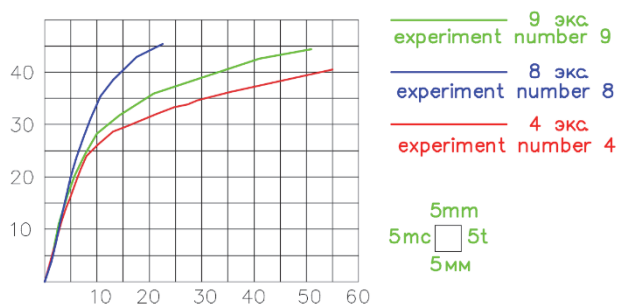


Рис. 8. Графики «сила – перемещение»  
[Figure 8. Power – displacement graphs]

По графикам видно, что до нагрузок 25–35 тс узлы работают линейно, разрушение происходит от сил свыше 40 тс. Для данных узлов, в зависимости от толщины фланца, класса прочности болтов и схемы нагружения, предельный момент составил 45–50 тс·м. Расчетные значения усилий в «Комете-2» (табл. 1.) получились в 2,5 раза меньше, чем усилия в натурной модели, при которых она находилась в нормативном состоянии, и до 4-х раз меньше предельных усилий. Основным сценарием разрушения моделей являлся разрыв 1-го ряда растянутых болтов, по таблице 1 наоборот не проходило все, кроме болтов.

## Выводы

Проведенное исследование показывает необходимость разработки методик расчета фланцевых соединений балок с колоннами и внесение их в строительные нормы. Проведенные натурные испытания показывают, что возможно проектирование и эксплуатация фланцевых соединений без элементов усиления, таких как ребра жесткости, вуты, обратные фланцы, опорные столики и пр., обязательные по серии 2.440-2. Испытание фланцевых соединений на болтах класса прочности 8.8 не выявили негативных эффектов по сравнению с использованием болтов класса 10.9.

© Сон М.П., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Список литературы

1. Каленов В.В., Соскин А.Г., Евдокимов В.В. Исследования и расчет усталостной прочности фланцевых соединений растянутых элементов конструкций // Болтовые и специальные монтажные соединения в стальных строительных конструкциях: труды Международного коллоквиума, СССР, Москва, 15–20 мая 1989 г. В 3 т. Т. 2. С. 41–17.
2. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения. М.: Стройиздат, 2005. 450 с.
3. 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.
4. 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.
5. Pisarek Z., Kozłowski A. End-plate steel joint with four bolts in the row // Proceeding of the International Conference "Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures" / Gizejowski, Kozłowski, Slecza & Ziolkowski (eds.). London: Taylor & Francis Group, 2006. Pp. 257–826.
6. 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.
7. 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.
8. Cerfontaine F., Jaspert J.P. Analytical study of the interaction between bending and axial force in bolted joints // Eurosteel Coimbra. 2002. Pp. 997–1006.
9. Jaspert J.P. General report: session on connections // Journal of Constructional Steel Research. 2000. Vol. 55. Pp. 69–89.
10. James A. Swanson. Ultimate Strength Prying Models for Bolted T-stub Connections // Engineering journal. Third quarter. 2002. Pp. 136–147.
11. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.
12. Ведяков И.И., Конин Д.В. О совершенствовании отечественных сортовых двутавровых профилей с параллельными гранями полок для колонн и развитии норм проектирования современных металлических конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 3. С. 50–56.
13. Грудев И.Д. Прочность фланцевых соединений элементов открытого профиля // Болтовые и специальные монтажные соединения в стальных строительных конструкциях: труды Международного коллоквиума, СССР, Москва, 15–20 мая 1989 г. В 3 т. Т. 2. С. 7–13.
14. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций // СО Стальмонтаж, ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова. М., 1988. 83 с.

15. Серия 2.440-2. Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий. Вып. 1: Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам. Чертежи КМ. ЦИТП Госстроя СССР. 1989. 80 с.

16. Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в SCAD Office // Бюллетень строительной техники. 2010. № 1. С. 56–59.

#### Об авторе

Сон Марк Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и вычис-

лительной механики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. *Область научных интересов:* нелинейные задачи строительной механики, устойчивость сооружений, узлы строительных конструкций. *Контактная информация:* e-mail – mark-son@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4094-8376. E-library SPIN-код: 9375-6707.

#### Для цитирования

Сон М.П. Экспериментальные исследования прочности фланцевых соединений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 4. С. 348–356. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-4-348-356.

SCIENTIFIC ARTICLE

## Experimental studies of strength flanged connections

Mark P. Son

Perm National Research Polytechnic University  
29 Komsomolsky prospect, Perm, 614600, Russian Federation

(received: April 17, 2018; accepted: July 11, 2018)

**Abstract.** In Russia experimental studies of flange joints of beams with columns have not been carried out previously, which led to the absence of normative methods for their calculation and design. The article presents the results of full-scale tests of three models of flange connections. Models vary in bolt strength, flange thickness, and loading pattern. The purpose of the experiments was to study the operation and bearing capacity of flange joints of beams with columns in the elastic and elastoplastic stage under the action of static loads. The experiments were carried out according to a multifactorial plan. The researches were carried out on a test bench developed by the author, representing a closed power circuit receptive the pressure of the jacks without the occurrence of reactions to the laboratory's power floor. The pressure in the loading system was fixed by pressure gauges, the displacement by linear displacement sensors, and deformations by strain gauges. According to the results of the experiments, it has been shown that it is possible to design and operate flange joints without reinforcement elements, such as stiffeners, haunches, back flanges, support tables, etc. Up to loads of 25–35 tf, the connections worked linearly, samples are destroyed at moments of 45–50 tf·m. Efforts perceived by full-scale models proved to be several times higher than those calculated in the “Kometa-2” program and recommended for calculating flange connections.

**Keywords:** flange, node, column, full-scale testing

#### References

1. Kalenov V.V., Soskin A.G., Evdokimov V.V. (1989). Issledovaniya i raschet ustalostnoj prochnosti flancevnyh soedinenij rastyanutyh ehlementov konstrukcij [Investigations and calculation of resistance to fatigue of flanged joints of stretched structural elements]. *Boltovye i special'nye montazhnye soedineniya v stal'nyh stroitel'nyh konstrukciyah. Trudy Mezhdunarodnogo kollokviuma, [Bolted and special assembly joints in steel building structures. International colloquium]*, 2, 41–17. (In Russ.)
2. Katyushin V.V. (2005). *Zdaniya s karkasami iz stal'nyh ram peremennogo secheniya [Buildings with skeletons of steel frames of variable section]*. Moscow, Strojizdat Publ., 450. (In Russ.)
3. Sumner E.A., Murray T.M. (2003). Behaviour and design of multi-row extended end-plate moment connections. *Proceedings of International Conference Advances in Structures (ASCCA'03), Sydney*.
4. Undermann D., Schmidt B. (2005). 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*.
5. Pisarek Z., Kozlowski A. (2006). End-plate steel joint with four bolts in the row. *Proceeding of the International Conference “Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures”*. Gizejowski, Kozlowski, Slecza & Ziolkko (eds.). Taylor & Francis Group, London, 257–826.



6. Sokol Z., Wald F., Delabre V., Muzeau J.P., Svarc M. (2002). Design of end plate joints subject to moment and normal force. *Eurosteel Coimbra*, 1219–1228.
7. Urbonas K., Daniunas A. (2004). 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*, 650–653.
8. Cerfontaine F., Jaspard J.P. (2002). Analytical study of the interaction between bending and axial force in bolted joints. *Eurosteel Coimbra*, 997–1006.
9. Jaspard J.P. (2000). General report: session on connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 55, 69–89.
10. Swanson James A. (2002). Ultimate Strength Prying Models for Bolted T-stub Connections. *Engineering journal*, Third quarter, 136–147.
11. GOST R 57837-2017. *Dvutavry stal'nye goryachekatannye s parallel'nymi granyami polok. Tekhnicheskie usloviya* [GOST R 57837-2017. *I-beams steel hot-rolled with parallel sides of shelves. Technical conditions*].
12. Vedyakov I.I., Konin D.V. (2014). O sovshenstvovani otechestvennyh sortamentov dvutavrovyyh profilej s parallel'nymi granyami polok dlya kolonn i razviti norm proektirovaniya sovremennyh metallicheskih konstrukcij [On the improvement of domestic grades of H-profiles with parallel faces of shelves for columns and development of standards for the design of modern steel structures]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions], (3), 50–56. (In Russ.)
13. Grudev I.D. (1989). Prochnost' flancevyh soedinenij ehlementov otkrytogo profilya [Strength of flange connections of open profile elements]. *Boltovye i special'nye montazhnye soedineniya v stal'nyh stroitel'nyh konstrukciyah. Trudy Mezhdunarodnogo kollokviuma* [Bolted and special assembly connections in steel building structures. *International Colloquium*], 2, 7–13. (In Russ.)
14. *Rekomendacii po raschetu, proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu flancevyh soedinenij stal'nyh stroitel'nyh konstrukcij* [Recommendations for the calculation, design, manufacture and installation of flanged joints of steel building structures]. (1988). SO Stal'montazh, VNIPI Promstal'konstrukciya, CNIIPSK im. Mel'nikova. Moscow, 83. (In Russ.)
15. Seriya 2.440-2. Uzly stal'nyh konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy promyshlennyh predpriyatij [Series 2.440-2. Joints of steel structures of industrial buildings of industrial enterprises]. (1989). *Vypusk 1. Sharnirnye uzly balochnyh kletok i ramnye uzly primykaniya rigelej k kolonnam. Chertezhi KM* [Issue 1. Hinge nodes of beam cells and frame assemblies of abutments to columns. Drawings of CM]. TsITP Gosstroy USSR, 80. (In Russ.)
16. Kriksunov Eh.Z., Perel'muter A.V., Yurchenko V.V. (2010). Raschetnye modeli flancevyh soedinenij ramnyh uzlov metallicheskih konstrukcij i ih programmna realizaciya v SCAD Office [Design models of flange joints of frame units of metal structures and their software implementation in SCAD office]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki* [Bulletin of construction equipment], (1), 56–59. (In Russ.)

#### About the author

**Mark P. Son** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Building Structures and Computational Mechanics, Perm National Research Polytechnic University. *Scientific interests*: nonlinear problems of structural mechanics, stability of structures, nodes of building structures. *Contact*: e-mail – mark-son@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4094-8376. E-library SPIN-код: 9375-6707.

#### For citation

Son M.P. (2018). Experimental studies of strength flanged connections. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(4), 348–356. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-4-348-356. (In Russ.)