



## К вопросу надежности стального рамного узла в сейсмоопасных зонах с пониженными температурами

Ю.С. Кость<sup>1✉</sup>, Т.Л. Дмитриева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** В статье представлен анализ существующих конструктивных решений стальных каркасов с колонной коробчатого сечения и ригелем из двутавра с целью их применения в сейсмоопасных зонах, включая территории с пониженной температурой. Такие решения позволят сооружению воспринимать инерционные силы сейсмического воздействия, сохраняя при этом его несущую способность в течение всего периода эксплуатации. Для решения этой проблемы предлагается использовать стальные рамные узлы, которые можно применять как для всего каркаса здания в целом, так и на отдельных этажах, для создания эффекта «гибкого этажа». Авторами изучены статьи, книги и патенты из России, США, Японии, Китая и Ирана, проведен анализ факторов, снижающих надежность и эксплуатационные характеристики узлов. Выявлено, что главным таким фактором является сварное соединение, которое используется для крепления ригелей к колоннам, поперечных ребер в теле колонны и формированию коробчатого сечения колонны из листов, уголков или швеллеров. Учитывая тот факт, что на территории России присутствуют сейсмоопасные зоны с пониженными температурами, надежность сварного соединения снижается еще сильнее. В то же время, узлы без сварного соединения требуют специальных литых деталей или устройств, что снижает их доступность. В связи с этим ставится задача по разработке новых оригинальных конструктивных решений узлов, удовлетворяющим требованиям надежности и доступности.

**Ключевые слова:** стальной рамный узел, коробчатое сечение, сейсмика, низкие температуры, сварной шов, «гибкий этаж»

**Для цитирования:** Кость Ю.С., Дмитриева Т.Л. К вопросу надежности стального рамного узла в сейсмоопасных зонах с пониженными температурами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 540–555. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-540-555>. EDN: JPAРВК.

### Original article

## On the reliability of steel frame joints in earthquake zones exposed to low temperatures

Yurii S. Kost<sup>1✉</sup>, Tatiana L. Dmitrieva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>North-Eastern State University, Magadan, Russia

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The paper analyzes the existing construction solutions of steel frames with a box-section column and an I-beam crossbar in order to use them in earthquake zones, including areas with low temperatures. Such solutions will allow the structure to accept the seismic inertial forces, while maintaining its bearing capacity throughout the entire period of operation. In order to solve this problem, the study proposes to use steel frame joints, which can be used both for the entire frame of the building and on individual floors, thereby creating a “flexible story” effect. The authors studied articles, books and patents issued in Russia, the United States, Japan, China and Iran, analyzed the factors that reduce the reliability and performance characteristics of the joints. The main factor consists in a welded joint, which

is used to attach the crossbars to the columns, transverse ribs in the column body, and to form the box section of the column from sheets, angles or channels. The reliability of the welded joint is reduced even more under conditions of seismic zones with low temperatures in Russia. However, units without welded joints require special cast parts or structures, thereby reducing their availability. In this regard, the task consists in developing new original construction solutions for joints that meet the requirements of reliability and availability.

**Keywords:** joint for steel frame, box-section column, seismic, low temperature, weld, soft story

**For citation:** Kost Yu.S., Dmitrieva T.L. On the reliability of steel frame joints in earthquake zones exposed to low temperatures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):540-555. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-540-555>. EDN: JPAPBK.

## ВВЕДЕНИЕ

Более 20 % территории России относится к сейсмоактивным районам (в том числе 5 % территории подвержено чрезвычайно опасным 8–10-балльным землетрясениям). Сейсмостойкое строительство оправдано в районах с интенсивностью землетрясений от 7 до 9 баллов, где согласно СП 14.13330.2018, проектировщик может принять один из двух вариантов развития событий во время сейсмодара, когда<sup>1</sup>:

- в конструкциях повреждения или неупругие деформации не допускаются;
- в конструкциях могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования.

Применительно к стальным каркасным сооружениям первый случай самый надежный, однако итоговая стоимость становится слишком дорогой, к тому же может возникнуть ситуация, когда невозможно подобрать сечения элементов каркаса, в которых возникнут только упругие деформации. Учитывая тот факт, что землетрясение крайне редкое явление, допускается рассеивание его энергии за счет остаточных деформаций элементов каркаса. Для снижения сейсмических нагрузок, кроме свойств материала, можно применять специальные конструктивные решения в виде сейсмоизоляторов или гасителей колебаний [1, 2]. Помимо этого, есть вариант использования эффекта «гибкого этажа», когда сейсмические нагрузки на здание снижаются за счет повышения его гибкости и улучшения динамических характеристик, либо использовать его как динамический гаситель колебания. Влияние «гибкого этажа», расположенного на разных этажах сооружения, изучено в работах [3] и [4]. Для реализации такого решения необходимо

применять полный рамный каркас, который имеет такое важное преимущество относительно рамно-связевого, как свободная планировка помещений здания в виду отсутствия вертикальных связей, что соответствует запросам заказчика и архитектора.

## МЕТОДЫ

Одной из самых важных частей каркаса, которая и обеспечивает его работу в соответствии со всеми расчетными предпосылками, является узел сопряжения ригеля с колонной. Данный узел должен быть одновременно податливым и прочным, чтобы при возникновении пластического шарнира, рассеивающего сейсмическую энергию, сохранялась его несущая способность при больших углах поворота. Перед поиском необходимого конструктивного решения узла, необходимо изучить требования, изложенные в СП 14.13330.2018<sup>1</sup>:

– п.6.9.1: «Стальные колонны многоэтажных каркасов рамного типа следует проектировать замкнутого (коробчатого или круглого) сечения, равноустойчивого относительно главных осей инерций» и «Ригели стальных каркасов следует проектировать из прокатных или сварных двутавров, в том числе с гофрированной стенкой»;

– п.6.9.2: «В колоннах рамных каркасов на уровне ригелей должны быть установлены поперечные ребра жесткости».

Таким образом, необходимо провести обзор существующих в России и за рубежом жестких узлов сопряжения ригеля из двутавра и колоны коробчатого сечения, усиленных поперечными ребрами жесткости.

*Варианты узловых соединений, полученные из отечественных источников*

На рис. 1 показаны пространственный элемент стального каркаса с неразрезными полками и стенками и зонами развития пластических деформаций (а); эскиз пространственного

<sup>1</sup>СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с Изменениями № 2, 3).

элемента (б) и деталь вырезов в уголках колонн для пропуска стенок и полок ригелей (в). Достоинством такого решения является формирование внутренних ребер колонны самим ригелем, однако под двутавр необходимо делать вырез в уголках колонны и все элементы узла соединяются с помощью сварки. На рис. 2 изображен узел со вставкой. Элементы вставки выполнены с помощью заводской сварки, соединение ригелей и колонны фланцевое. На рис. 3 изображены узлы, в которых

поперечная сила передается через вертикальную пластину, привариваемую к поясу колонны, а опорный момент передается через горизонтальные пластины. Горизонтальные пластины привариваются к колонне угловым швом с полным проваром и предварительным разделом кромок.

Ребра привариваются отдельно к каждому составляющему элементу колонны. Для увеличения прочности пластины усиливают вертикальными ребрами.

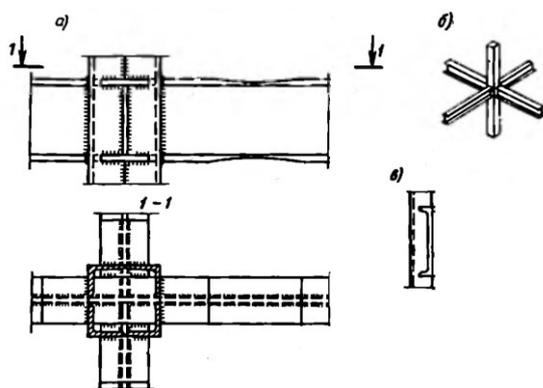


Рис. 1. Узел из книги С.В. Полякова, Л.Ш. Климник, А.В. Черкашина, 1989 г. [1]  
Fig. 1. Joint from the book by S.V. Polyakov, L.S. Klimnik, A.V. Cherkashin, 1989 [1]

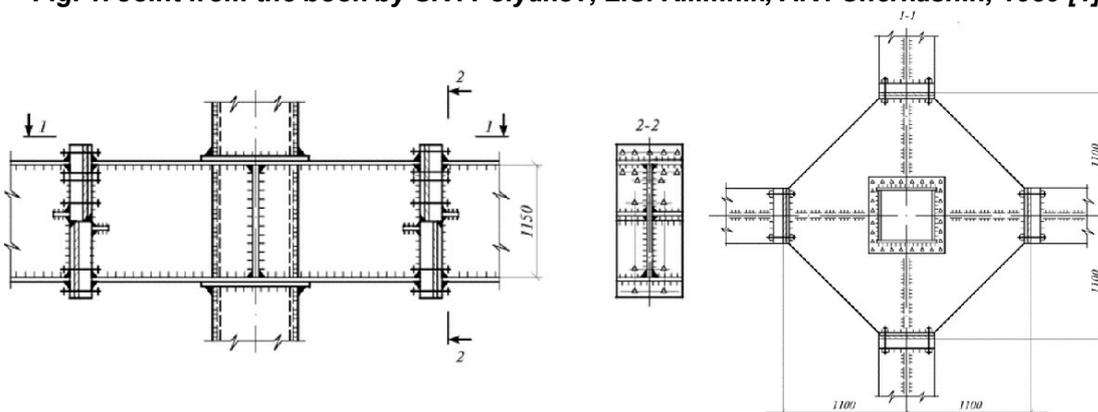


Рис. 2. Узел со вставкой из книги В.В. Кузнецова, 1999 г.  
Fig. 2. Joint with an insert from the book by V.V. Kuznetsov, 1999<sup>2</sup>

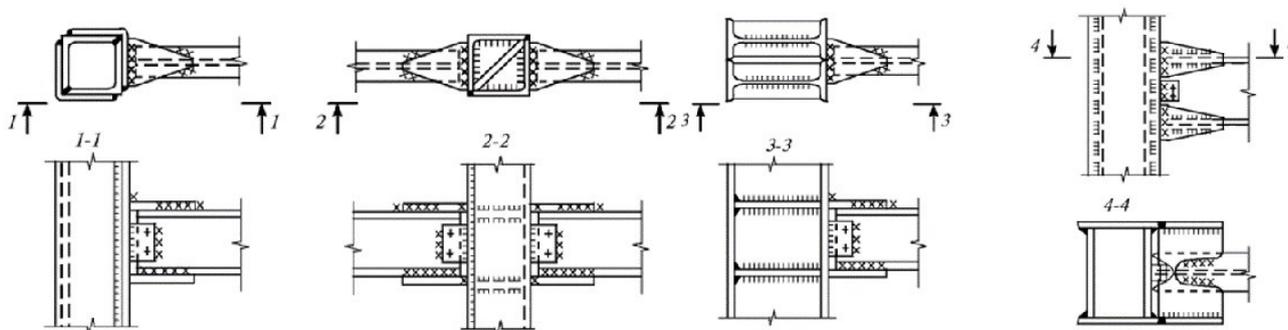


Рис. 3. Узлы из книги В.В. Кузнецова, 1999 г.  
Fig. 3. Joint from the book by V.V. Kuznetsov 1999

<sup>2</sup>Кузнецов В.В. Металлические конструкции: в 3 т. Стальные конструкции зданий и сооружений. Справочник проектировщика. М.: АСВ, 1999. Т. 2. 512 с.

На рис. 4 показаны узлы с уширением поясов ригелей (4а) и плавным переходом к основному сечению (4б). Колонны выполняются

квадратного трубчатого сечения из четырех равнобоких уголков или листов, а также двух швеллеров.

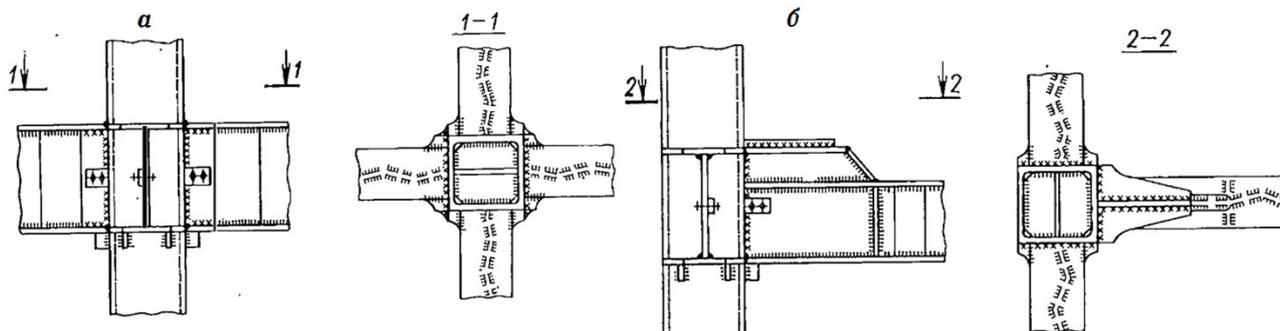


Рис. 4. Узлы из книги Г.М. Острикова, 1985 г. [5]  
Fig. 4. Joint from the book by G.M. Ostrikov, 1985 [5]

На рис. 5 представлен узел, где вместо обычных диафрагм внутри колонны устанавливаются корытообразные вкладыши, к которым с помощью высокопрочных болтов крепятся пояса ригелей. Вкладыши, отлитые из стали или сваренные из листов, одновременно слу-

жат кондукторами для сборки колонны из листовой стали. На рис. 6 показан узел со вставкой, усиленный болтами. На рис. 7 показано решение, аналогичное тому, что представлено на рис. 3 и 4, с дополнительным вертикальным ребром в теле колонны<sup>3</sup>.

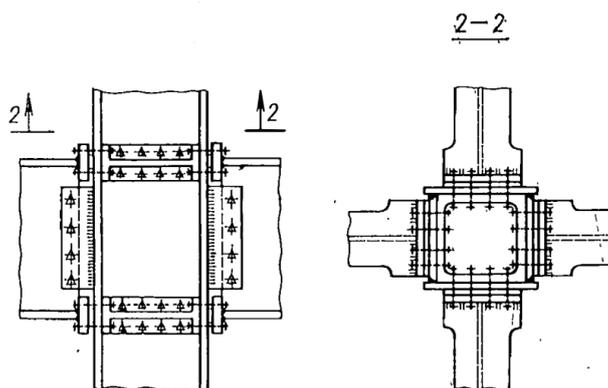


Рис. 5. Фланцевые узлы из книги Г.М. Острикова, 1985 г. [5]  
Fig. 5. Flange joint from the book by G.M. Ostrikov, 1985 [5]

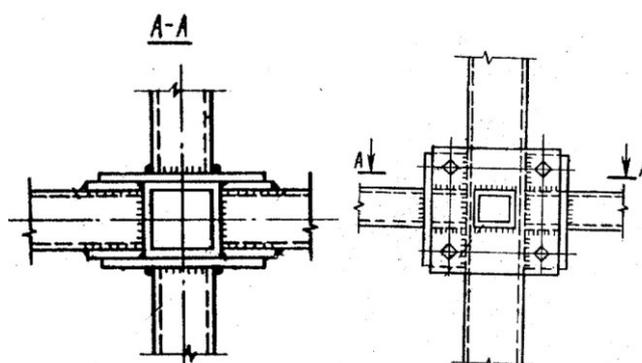
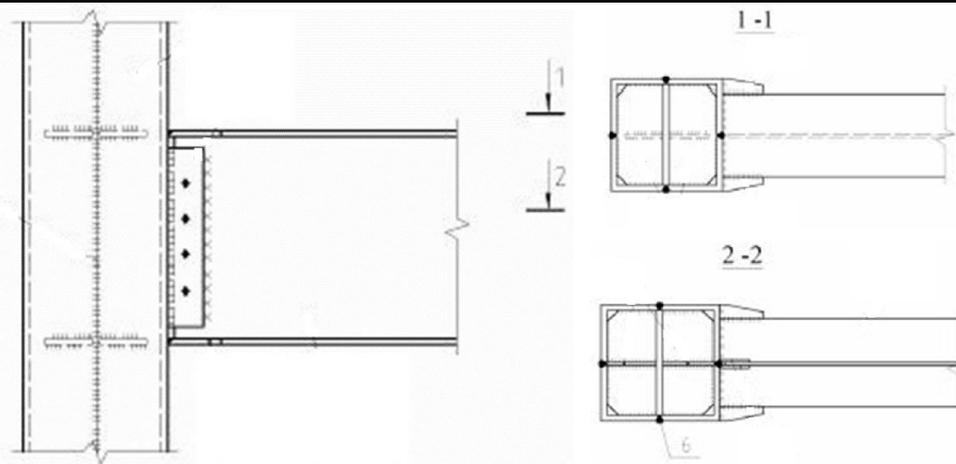


Рис. 6. Узел из патента № SU1030507A1, 1983 г. [6]  
Fig. 6. Joint from patent № SU1030507A1, 1983 [6]

<sup>3</sup>Перминов Д.А. Повышение несущей способности узлов рамных каркасов с колоннами коробчатого сечения: дис. ... к.т.н. Ростов-на-Дону, 2016. 180 с.



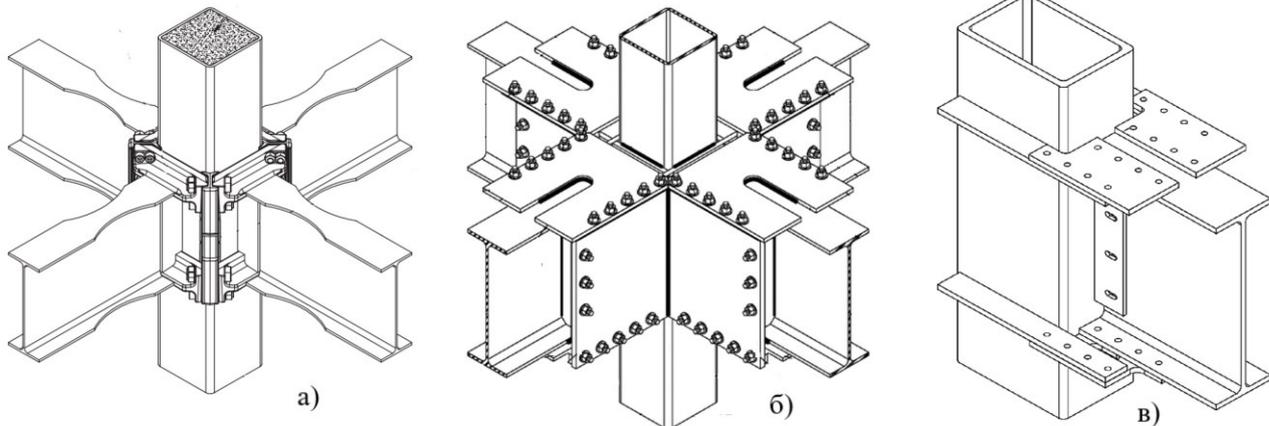
**Рис. 7. Узел из диссертации Д.А. Перминова**  
**Fig. 7. Joint from the dissertation by D.A. Perminov**

*Варианты узловых соединений, полученные из зарубежных источников*

Здесь можно отметить нормативный документ американского института стального строительства ANSI/AISC 358-22<sup>4</sup>.

В нем представлены стальные узлы, согласно их классификации, допущенные для применения в стальных рамах в сейсмоопасных районах.

На рис. 8а продемонстрирован узел, где соединение достигается за счет обоймы из специальных литых деталей, труба заполнена бетоном, ребра внутри трубы отсутствуют. На рис. 8б в узле передача момента от ригеля к колонне происходит через приваренные боковые пластины, ребра внутри трубы отсутствуют. На рис. 8в узел с тем же принципом, но другой ориентацией боковых пластин.



**Рис. 8. Узлы из ANSI/AISC 358-22**  
**Fig. 8. Joint from ANSI/AISC 358-22**

Рассмотрим варианты узлов из японских источников.

На рис. 9 показаны альтернативные варианты усиления узла внутри колонны вертикальными пластинами.

На рис. 10 показаны узлы с ребрами, выполненными вне колонны. На рис. 11 показан способ приварки внутренних ребер колонны с

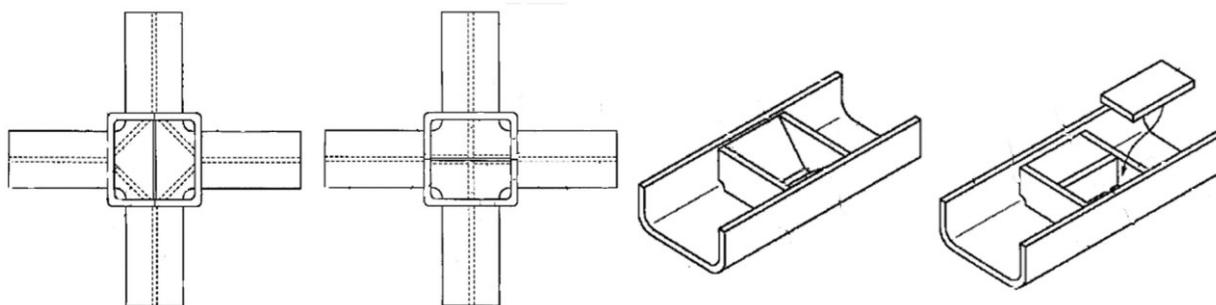
помощью электро-шлаковой сварки (ЭШС) и монтаж в заводских условиях опорных элементов ригелей. На рис.12 показан узел, полностью исполненный на болтовых соединениях. На рис. 13 вместо установки поперечных ребер устанавливается часть колонны с утолщенной стенкой. На рис. 14 показан способ болтового соединения полки ригеля со стенкой колонны с

<sup>4</sup>ANSI/AISC 358-22. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. Режим доступа: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-22w.pdf>. (дата обращения: 20.05.2024).

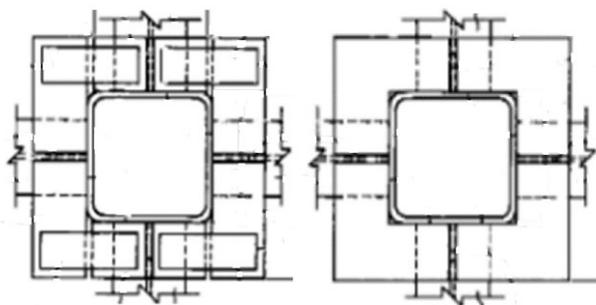
помощью специальной детали.

На рис. 15 представлено такое же соедине-

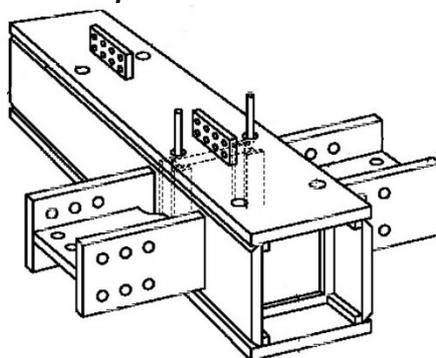
ние, как и на рис. 14, только болтовое соедине-  
ние осуществляется к стальной обойме.



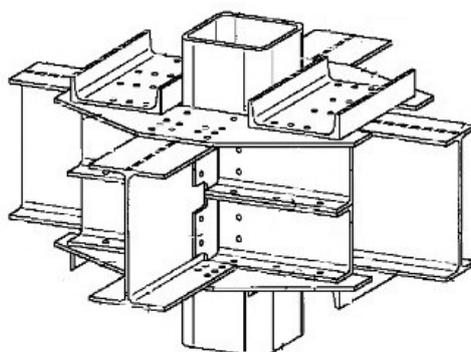
**Рис. 9. Узел из патента № JPH09328817A, 1997 г. [9]**  
**Fig. 9 Joint from patent № JPH09328817A, 1997 [9]**



**Рис. 10. Узел из патента № JP2002188208A, 2002 г. [10]**  
**Fig. 10. Joint from patent № JP2002188208A, 2002 [10]**



**Рис. 11. Узел из патента № JP2003227172A, 2003 г. [11]**  
**Fig. 11. Joint from patent № JP2003227172A, 2003 [11]**



**Рис. 12. Узел из патента № JPH11117389A, 1999 г. [12]**  
**Fig. 12. Joint from patent № JPH11117389A, 1999 [12]**

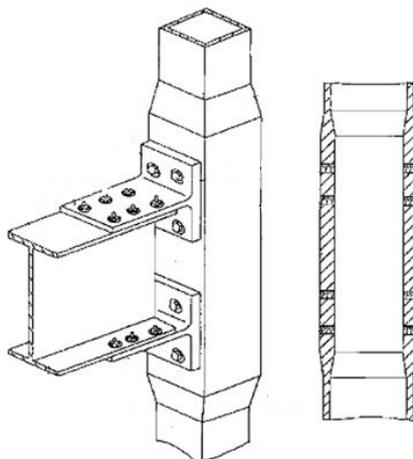


Рис. 13. Узел из патента № JP2821095B2, 1998 г. [13]  
Fig. 13. Joint from patent № JP2821095B2, 1998 [13]

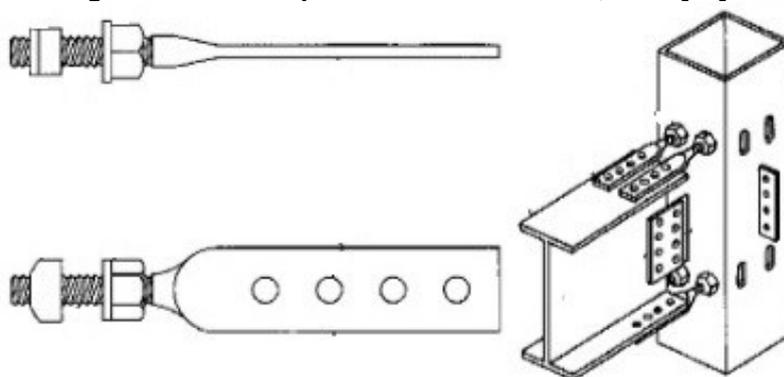


Рис. 14. Узел из патента № JP3116023B2, 2000 г. [14]  
Fig. 14. Joint from patent № JP3116023B2, 2000 [14]

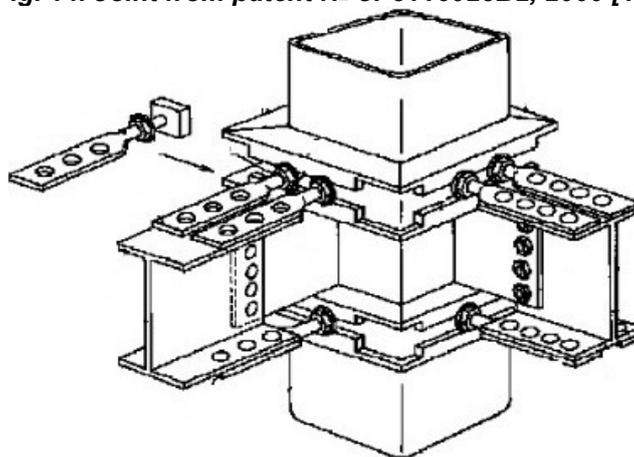


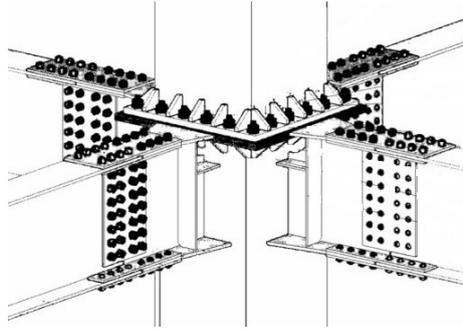
Рис. 15. Узел из патента № JPH11148174A, 1999 г. [15]  
Fig. 15. Joint from patent № JPH11148174A, 1999 [15]

Среди китайских источников представлены следующие варианты узлов.

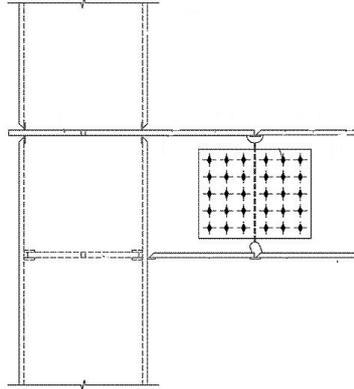
На рис. 16 фланцевый узел, где стык колонн расположен на уровне верхнего ребра.

На рис. 17 верхняя пластина заводского опорного элемента проходит насквозь колонны и является его ребром.

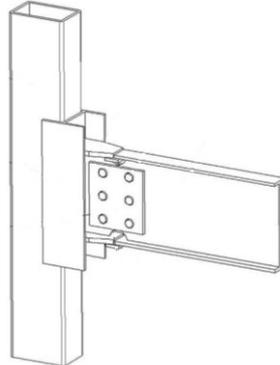
На рис. 18 усиление узла происходит за счет внешнего элемента двутаврового сечения. Минус такого решения состоит в невозможности сделать узел примыкания ригелей с четырех сторон. На рис.19 внутренние ребра реализованы с отверстием и усилены вертикальными пластинами.



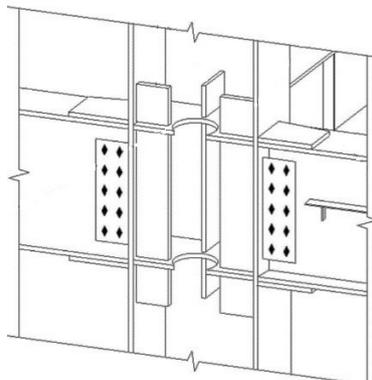
**Рис. 16. Узел из патента № CN217379243U, 2022 г. [16]**  
**Fig. 16. Joint from patent № CN217379243U, 2022 [16]**



**Рис. 17. Узел из патента № CN206220248U, 2017 г. [17]**  
**Fig. 17. Joint from patent № CN206220248U, 2017 [17]**



**Рис. 18. Узел из патента № CN215106097U, 2021 г. [18]**  
**Fig. 18. Joint from patent № CN215106097U, 2021 [18]**



**Рис. 19. Узел из патента № CN217782366U, 2021 г. [19]**  
**Fig. 19. Joint from patent № CN217782366U, 2021 [19]**

На рис. 20 показан узел, похожий на рис. 8б, но с овальными отверстиями, повышающими податливость соединения. Рассмотрим иранские варианты узлов. На рис. 21 продемонстрировано решение, в котором вместо горизонтальных ребер в колонне установлено

одно сквозное вертикальное через угол колонны. На рис. 22 узел, в котором вместо горизонтальных ребер в колонне установлено одно или два вертикальных. Минус такого решения состоит в невозможности сделать узел примыкания ригелей с четырех сторон.

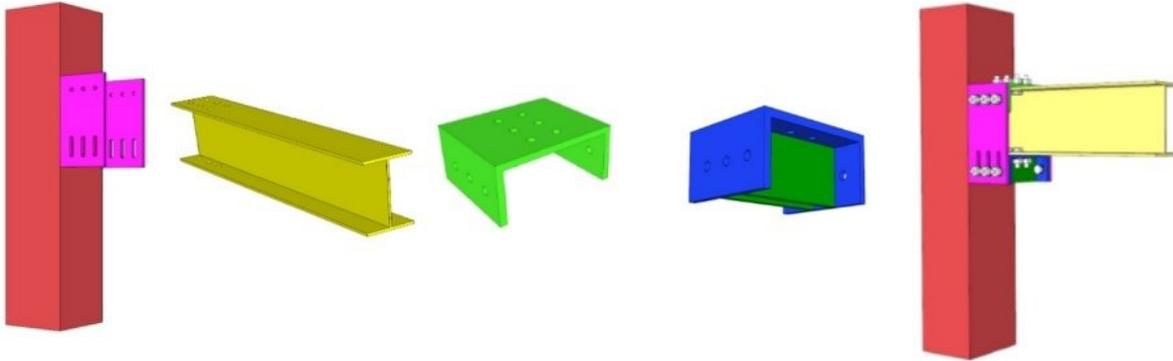


Рис. 20. Узел из статьи, 2024 г. [20]  
Fig. 20. Joint from the article, 2024 [20]

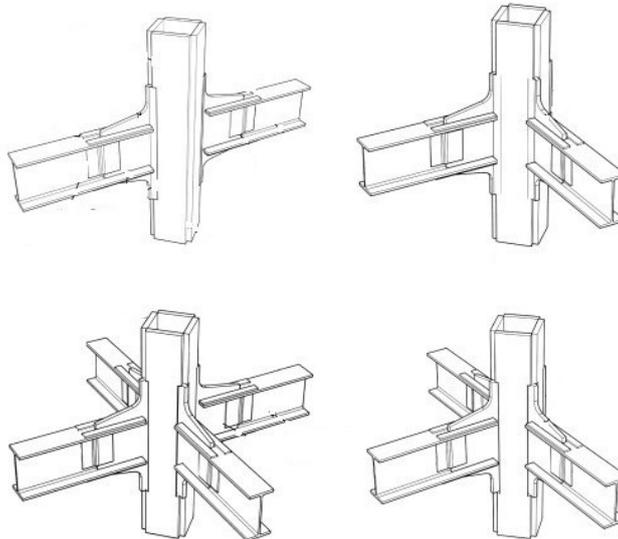


Рис. 21. Узел из статьи, 2012 г. [21]  
Fig. 21. Joint from the article, 2012 [21]

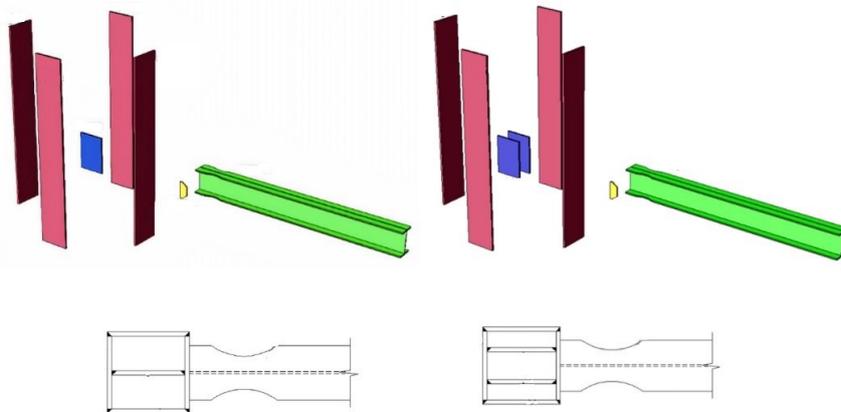


Рис. 22. Узел из статьи, 2023 г. [22]  
Fig. 22. Joint from the article, 2023 [22]

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучив приведенные выше схемы узлов, можно сделать следующие выводы:

1. Основное решение, благодаря которому внутри колонны можно установить ребро жесткости, связано с установкой сварной колонны из четырех равносторонних уголков или листов, либо из двух швеллеров.

2. Из-за особенностей коробчатого сечения в большинстве узлов нагрузка от ригеля к колоннам передается через сварку.

3. Некоторые решения требуют специальных литых деталей или устройств.

Сварка является слабым звеном в данных узлах (рис. 23). Эксперименты, проведенные с различными типами соединений и марок стали,

показали, что при возникновении переменных нагрузок будет значительно падать прочность сварного соединения [23]. Землетрясение в Нортридже (штат Калифорния) в январе 1994 г. показало, что сварные швы были подвержены повреждениям из-за дефектов в корне сварного шва, остаточных напряжений, концентрации напряжений и геометрических нарушений, что повлекло за собой работу узлов, не соответствующую ожиданиям проектировщиков. Уроки, извлеченные из этого землетрясения приведены в статье Д. Миллера [24]. Исследования в [8] и [25] для рам колонн коробчатого сечения также показывают хрупкую работу сварных узлов полков двутавров к полкам колонн из-за концентраций напряжений.

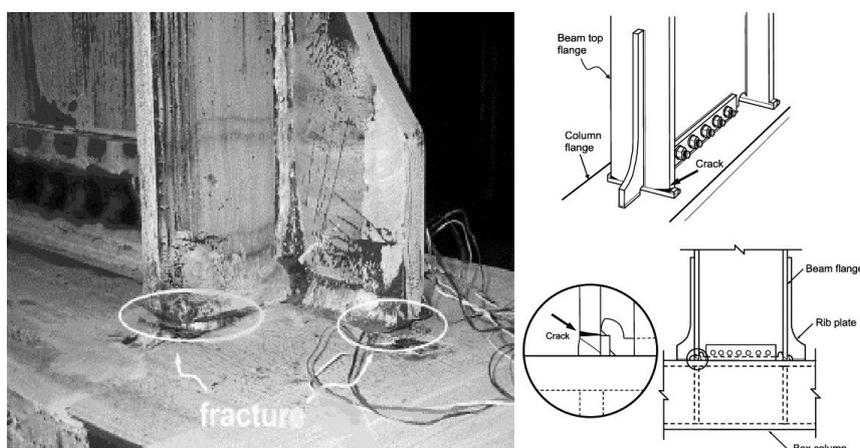


Рис. 23. Хрупкая работа сварных швов в двух разных образцах [25]  
Fig. 23. Brittle work of welds in 2 different samples [25]

Многие дефекты легко не заметить, для их обнаружения требуются продвинутое методы контроля. Более того, трещины в сварных швах могут появиться после землетрясений. Если соединение не было своевременно усилено и отремонтировано, оно получает большие повреждения при афтершоках. В статье [26] приведено исследование сварных соединений с изначальными сварочными дефектами

(рис. 24). Соединения с начальной трещиной будут растрескиваться и разрушаться независимо от глубины начальной трещины и типа соединения.

Изначальная трещина практически не влияет на начальную жесткость соединений, в то время как предел прочности, деформация, пластичность и рассеяние энергии значительно снижаются.

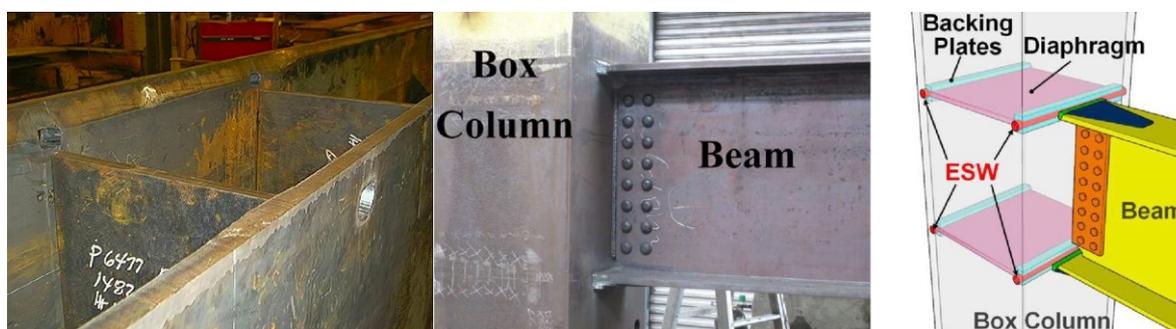


Рис. 24. Устройство поперечных ребер в колоннах коробчатого сечения с помощью электрошлаковой сварки  
Fig. 24. Arrangement of transverse ribs in box-shaped columns using electroslag welding

В Азиатско-Тихоокеанском регионе широко распространены сварные колонны коробчатого сечения из четырех листов. И если угловое сварное соединение между пластинами показало себя достаточно пластичным, согласно результатам исследования [27], то для приварки ребер используют ЭШС через предварительно просверленные отверстия в пластинах.

В соединениях ЭШС могут возникнуть хрупкие разрушения из-за эксцентриситетов между

полкой ригеля и ребрами и самого сварного шва.

Результаты исследования таких соединений и рекомендации по повышению надежности приведены в статьях [28] и [29] (рис. 25).

Все вышесказанное не означает, что в сейсмоопасных районах нужно полностью отказаться от сварных соединений, но надежность их остается под вопросом и требует пристального внимания.



**Рис. 25. Оценка сейсмического разрушения соединений ребер с помощью электрошлаковой сварки**

**Fig. 25. Assessment of seismic fracture of rib joints using electroslag welding**

По этой причине, например, в СП 16.13330.2017 с последними изменениями для предотвращения хрупкого разрушения есть требование в п 13.2: «...при расположении сварных швов в зонах действия растягивающих напряжений, превышающих  $0,4 R_y$ , следует назначать повышенные объемы неразрушающих методов их контроля». Стоит также отметить, что в версии оригинальном СП 16.13330.2017, была другая формулировка: «...избегать расположения сварных швов в зонах действия растягивающих напряжений, превышающих  $0,4 R_y$ », что значительно снижало прочность проектируемого сварного соединения<sup>5</sup>.

Отметим еще один факт, связанный с применением сварных соединений. На территории России имеются (согласно СП 20.13330.2016) арктические и субарктические климатические пояса, характеризующиеся низкими температурами и относящиеся к сейсмоопасным зонам, куда входят Магаданская область, Якутия, Хабаровский край, Амурская область. Данные

регионы относятся к Дальневосточному федеральному округу<sup>6</sup>. Согласно монографии [7], при эксплуатации в условиях с низкими температурами усталостная трещина небольшого размера, расположенная в зоне термического влияния соединения, может стать очагом хрупкого разрушения сварного элемента. Таким образом, для повышения надежности, следует минимизировать количество сварных швов и, по возможности, выполнять их в заводских условиях с разделом кромок и полным проплавлением. Среди узлов, в которых сварка представлена в минимальном количестве, можно отметить узлы на рисунках: 5, 8, 12, 13, 14, 20. Однако среди них есть узлы, которые требуют специальных литых деталей или приспособлений, что снижает их доступность.

В большинстве представленных узлов присутствуют ребра жесткости. Это согласуется с требованием п.6.9.2 и является следствием того, что благодаря ребру значительно лучше распределяется напряжение в узле<sup>7</sup>. Также, согласно исследованию [30], соединения балки

<sup>5</sup> СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*»

<sup>6</sup> СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1-5)

<sup>7</sup> СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с Изменениями № 2, 3)

с колонной на участке, непосредственно прилегающем к стенке колонны, не могут считаться жесткими.

Узлы, у которых отсутствуют внутренние ребра, представлены на рисунках:

- 8а – нагрузка приложена через литые детали на углы колонны, заполненной бетоном;
- 8б, 8в, 20 – нагрузка приложена на стенки колонны параллельные ригелю;
- 10, 12 – ребра выполнены снаружи;
- 14 – вместо ребер производится локальное утолщение стенки колонны в месте примыкания ригеля;
- 21 – используется вертикальное ребро, проходящее через угол сварной колонны;
- 22 – используются пару ребер внутри сварной колонны.

Узлы, продемонстрированные в [20] и [22], показывают свои сейсмостойкие качества. Пример работы узла «SIDEPLATE» можно увидеть на официальном канале<sup>8</sup>. Однако, для применения подобных узлов на территории России, необходимо разрабатывать специальные технические условия (СТУ) для обхода требования п.6.9.2.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данная статья охватывает конструктивные решения рамных узловых соединений ригеля из двутавра и колонны коробчатого сечения, применяемые в России и за рубежом. Основная проблема большинства узлов связана с их сварными соединениями, которые в условиях

сейсмике и низких температур показывают хрупкую работу и снижают надежность конструкции. Вместе с тем, узлы, имеющие минимум сварных швов, либо требуют специальных литых деталей и устройств, либо не соответствуют требованиям отечественных норм, и, таким образом, для них необходима разработка СТУ.

Отсюда следует востребованность в таких конструктивных решениях узловых соединений, которые:

- позволяют повысить надежность строительных конструкций в условиях сейсмике и низких температур;
- имеют простоту в исполнении без использования специальных литых деталей и устройств;
- соответствуют требованиям норм и не требуют разработки СТУ.

Проблемы эксплуатации стальных каркасов в условиях сейсмике и низких температур применимы к таким регионам, как Дальневосточный федеральный округ. В настоящее время правительство России заинтересовано в активном развитии и повышении естественного прироста населения в этом округе. Действует Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока с перспективой до 2035 г., которая предполагает интенсивное промышленное и гражданское строительство. В свете этого тема настоящего исследования актуальна и своевременна.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1988. 320 с.
2. Выскребенцева М.А., Ву Ле.К. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 1–20. EDN: NKHMJV.
3. Белаш Т.А. Использование эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2023. № 2. С. 45–53. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53>. EDN: EQNFVM.
4. Ujwal M.S., Kumar G.S., Sathvik S., Ramaraju H.K. Effect of Soft Story Conditions On the Seismic Performance of Tall Concrete Structures // Asian Journal of Civil Engineering. 2024. Vol. 25. P. 3141–3149. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00968-9>.
5. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. Алма-Ата: Казахстан, 1985. 120 с.
6. Пат. № 1030507, СССР, E04B 1/24, E04B 1/58. Узел рамного каркаса / М.И. Герзон, Г.Ф. Коваль, Т.А. Ковтун-Горбачева, А.Г. Килиевич; заявитель и патентообладатель Государственный проектный институт Днепропроектстальконструкция. Заявл. 29.03.1982; опубл. 23.07.1983.
7. Труфяков В.И. Усталость сварных соединений. Киев: Наукова думка, 1973. 216 с.
8. Wu Jian, Tong Wei Guang Experimental Seismic Behavior of RHS Column-To-I Beam Connection with Additional Plates // Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering. 2022. Vol. 46. P. 2053–2065. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00770-0>.
9. Pat. № JPH09328817A, Japan, B23K9/00, E04B1/24, E04C3/32. Reinforcing Construction of Joint Section

<sup>8</sup>SidePlate Connection Designs // YouTube. Режим доступа: <https://www.youtube.com/@SidePlateConnectionDesigns> (дата обращения: 10.05.2024)

- and Manufacturing of Pipe-Like Body Used Therefor / F. Yoshio, M. Mikio, G. Shokichi, O. Hideo, T. Yasuhiko, S. Koichi, S. Kenji; applicant and the patent holder Ohbayashi Corp, Nittetsu Column KK; appl. 11.06.1996; publ. 22.12.1997.
10. Pat. № JP2002188208A, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Steel-Framed Beam-Column Connecting Section Structure of Box-Shaped Section Column / Y. Atsuhide, Y. Tatsuo, U. Masahiko, T. Ryoichi, S. Isao; applicant and the patent holder H. Atsuhide, Tomoe Corp.; appl. 18.12.2000; publ. 05.07.2002.
11. Pat. № JP2003227172A, Japan, B23K25/00, B23K9/00. Manufacturing Method of Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with Built-In Diaphragm, and Building Iron Frame Column and Beam Joint Part Using the Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with The Built-In Diaphragm Manufactured by The Manufacturing Method / A. Seizaburo; applicant and the patent holder Nippon Steel Corp.; appl. 05.02.2002; publ. 15.08.2003.
12. Pat. № JPH11117389A, Japan, E04B1/24. Beam-Column Joint Method of Steel Frame Construction / A. Tsutomu, F. Yoshihiro, N. Katsuhisa; applicant and the patent holder OHBAYASHI Corp.; appl. 14.10.1997; publ. 27.04.1999.
13. Pat. № JP2821095B2, Japan, E04B1/24. Column-Beam Connective Structure and Method Therefor / F. Akira, N. Susumu, W. Yasuo; applicant and the patent holder Daiwa House Ind, Dai Ichi High Frequency CO LTD; appl. 22.12.1994; publ. 05.11.1998.
14. Pat. № JP3116023B2, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Joint Device for Steel Column and Steel Beam / I. Shoei, H. Kazufumi; applicant and the patent holder ITO Shoei, H. Kazufumi; appl. 07.08.1997; publ. 11.12.2000.
15. Pat. № JPH11148174A, Japan, E04B1/24, E04B1/58. Connecting Structure of Closed Type Sectional Column and Beam / S. Kuniaki, I. Shoei, M. Eiji; applicant and the patent holder Arutesu KK; appl. 18.11.1997; publ. 02.06.1999.
16. Pat. № CN217379243U, China, E04B1/24, E04B1/58. Joint for Steel Frame Box Section Column Bolt Welding and Flange Connection / Z. Haijun; applicant and the patent holder Z. Haijun; appl. 27.05.2022; publ. 06.09.2022.
17. Pat. № CN206220248U, China, E04B1/24, E04B1/58. Steel Frame Joint Structure / Z. Haoxiang; applicant and the patent holder Shenzhen A+E Design CO LTD; appl. 22.11.2016; publ. 06.06.2017.
18. Pat. № CN215106097U, China, E04B1/24, E04B1/58. Novel Steel Structure Beam Column Rigid Connection Joint / Z. Chuanxin, L. Hui, D. Yuhui, S. Yanyong, G. Mojun; applicant and the patent holder China IPPR INT Engineering CO LTD; appl. 14.12.2020; publ. 10.12.2021.
19. Pat. № CN217782366U, China, E04B1/24, E04B1/58, E04C3/04, E04C3/32. Steel Structure Beam-Column Joint Adopting Integral H-Shaped Steel Connecting Piece / X. Qiang; applicant and the patent holder Hangzhou Jiurong Arch Design Studio; appl. 15.08.2022; publ. 11.11.2022.
20. Zhiwei Zhang, Dong Li, Huajie Wang, Songling Li, Hongliang Qian, Yanhua Bi [et al.] Static and Seismic Experimental Study of Novel Prefabricated Beam-Column Joints with Elongated-Hole Brackets // *International Journal of Steel Structures*. 2024. Vol. 24. P. 118–131. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00804-5>.
21. Torabian S., Mirghaderi S.R., Keshavarzi F. Moment-Connection Between I-Beam and Built-Up Square Column by A Diagonal Through Plate // *Journal of Constructional Steel Research*. 2012. Vol. 70. P. 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.017>.
22. Peykari K., Najafgholipour M.A. Behavior of Steel Beam to Built-Up Box Column Moment Connections with Vertically Stiffened Panel Zone // *Journal of Building Pathology*. 2023. Vol. 8. P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00253-3>.
23. Труфяков В.И. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. Киев: Наукова думка, 1990. 255 с.
24. Miller D.K. Lessons Learned from The Northridge Earthquake // *Engineering Structures*. 1998. Vol. 20. Iss. 4–6. P. 249–260.
25. Cheng-Chih Chen, Chun-Chou Lin, Chia-Liang Tsai Evaluation of Reinforced Connections Between Steel Beams and Box Columns // *Engineering Structures*. 2004. Vol. 26. Iss. 13. P. 1889–1904. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.017>.
26. Jiaming Li, Haoran Yu, Weibin Li, Weijia Cheng Seismic Performance of Welded Steel Beam-To-Column Connections with Initial Weld Defects // *International Journal of Steel Structures*. 2022. Vol. 22. P. 566–584. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00591-5>.
27. Satoshi Yamada, Yuko Shimada, Takanori Ishida, Yuka Matsumoto, Jun Iyama, Hiroumi Shimokawa [et al.] Experimental Study of the Ductility of a Submerged Arc Welded Corner Joint in A High-Performance Steel Built-Up Box Column // *International Journal of Steel Structures*. 2020. Vol. 20. P. 1454–1464. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00379-5>.
28. Chui-Hsin Chen, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang, Heui-Yung Chang Seismic Performance Evaluation of Steel Box-Column Connections with ESW Stiffeners // *International Journal of Steel Structures*. 2020.

Vol. 20. P. 766–776. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00321-9>.

29. Ching-Yi Tsai, Keh-Chyuan Tsai, Chao-Hsien Li, Chung-Che Wu, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang Seismic Fracture Evaluation of Diaphragm Joints in Welded Beam-To-Box Column Moment Connections // *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2020. Vol. 49. Iss. 13. P. 1344–1362. <https://doi.org/10.1002/eqe.3293>.

30. Tushina O.A., Danilov A.I. The Stiffness of Rigid Joints of Beam with Hollow Section Column // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Iss. 4 (64). P. 40–51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4> EDN: WWPEYH.

## REFERENCES

1. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashin A.V. *Modern Methods of Seismic Protection of Buildings*. Moscow: Stroyizdat, 1988. 320 p. (In Russ.).
2. Vyscrebentseva M.A., Vu Le.Q. Methods of Seismic and Seismic Isolation Using Special Devices. *Engineering journal of Don*. 2019;1(52):1-20. (In Russ.). EDN: NKHMJV.
3. Belash T.A. The Use of The "Flexible Floor" Effect in Buildings of Rigid Structural Systems. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2023;2:45-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53>. EDN: EQNFVM.
4. Ujwal M.S., Kumar G.S., Sathvik S., Ramaraju H.K. Effect of Soft Story Conditions On the Seismic Performance of Tall Concrete Structures. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2024;25:3141-3149. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00968-9>.
5. Ostrikov G.M., Maksimov Yu.S. *Steel Earthquake-Resistant Frames of Multi-Storey Buildings*. Alma-Ata: Kazakhstan, 1985. 120 p. (In Russ.).
6. Gerzon M.I., Koval' G.F., Kovtun-Gorbacheva T.A., Kilievich A.G. *Frame Assembly*. Patent USSR, no. 1030507; 1983. (In Russ.).
7. Trufyakov V.I. *Fatigue of Welded Joints*. Kyiv: Naukova Dumka, 1973. 216 p. (In Russ.).
8. Wu Jian, Tong Wei Guang Experimental Seismic Behavior of RHS Column-To-I Beam Connection with Additional Plates. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*. 2022;46:2053-2065. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00770-0>.
9. Yoshio F., Mikio M., Shokichi G., Hideo O., Yasuhiko T., Koichi S., Kenji S. *Reinforcing Construction of Joint Section and Manufacturing of Pipe-Like Body Used Therefor*. Patent Japan, no. JPH09328817A; 1997.
10. Atsuhide Y., Tatsuo Y., Masahiko U., Ryoichi T., Isao S. *Steel-Framed Beam-Column Connecting Section Structure of Box-Shaped Section Column*. Patent Japan, no. JP2002188208A; 2002.
11. Seizaburo A. *Manufacturing Method of Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with Built-In Diaphragm, and Building Iron Frame Column and Beam Joint Part Using the Box-Shaped Cross Section Steel Column Material with The Built-In Diaphragm Manufactured by The Manufacturing Method*. Patent Japan, no. JP2003227172A; 2003.
12. Tsutomu A., Yoshihiro F., Katsuhisa N. *Beam-Column Joint Method of Steel Frame Construction*. Patent Japan, no. JPH11117389A; 1999.
13. Akira F., Susumu N., Yasuo W. *Column-Beam Connective Structure and Method Therefor*. Patent Japan, no. JP2821095B2; 1998.
14. Shoei I., Kazufumi H. *Joint Device for Steel Column and Steel Beam*. Patent Japan, no. JP3116023B2; 2000.
15. Kuniaki S., Shoei I., Eiji M. *Connecting Structure of Closed Type Sectional Column and Beam*. Patent Japan, no. JPH11148174A; 1999.
16. Haijun Z. *Joint for Steel Frame Box Section Column Bolt Welding and Flange Connection*. Patent China, no. CN217379243U; 2022.
17. Haoxiang Z. *Steel Frame Joint Structure*. Patent China, no. CN206220248U; 2017.
18. Chuanxin Z., Hui L., Yuhui D., Yanyong S., Mojun G. *Novel Steel Structure Beam Column Rigid Connection Joint*. Patent China, no. CN215106097U; 2021.
19. Qiang X. *Steel Structure Beam-Column Joint Adopting Integral H-Shaped Steel Connecting Piece*. Patent China, no. CN217782366U; 2022.
20. Zhiwei Zhang, Dong Li, Huajie Wang, Songling Li, Hongliang Qian, Yanhua Bi [et al.] Static and Seismic Experimental Study of Novel Prefabricated Beam-Column Joints with Elongated-Hole Brackets. *International Journal of Steel Structures*. 2024;24:118-131. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00804-5>.
21. Torabian S., Mirghaderi S.R., Keshavarzi F. Moment-Connection Between I-Beam and Built-Up Square Column by A Diagonal Through Plate. *Journal of Constructional Steel Research*. 2012;70:385-401. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.017>.
22. Peykari K., Najafgholipour M.A. Behavior of Steel Beam to Built-Up Box Column Moment Connections with

- Vertically Stiffened Panel Zone. *Journal of Building Pathology*. 2023;8:1-21. <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00253-3>.
23. Trufyakov V.I. *Strength of Welded Joints Under Variable Loads*. Kyiv: Naukova Dumka, 1990. 255 p. (In Russ.).
24. Miller D.K. Lessons Learned from The Northridge Earthquake. *Engineering Structures*. 1998;20(4–6):249-260.
25. Cheng-Chih Chen, Chun-Chou Lin, Chia-Liang Tsai Evaluation of Reinforced Connections Between Steel Beams and Box Columns. *Engineering Structures*. 2004;26(13):1889-1904. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.017>.
26. Jiaming Li, Haoran Yu, Weibin Li, Weijia Cheng Seismic Performance of Welded Steel Beam-To-Column Connections with Initial Weld Defects. *International Journal of Steel Structures*. 2022;22:566-584. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00591-5>.
27. Satoshi Yamada, Yuko Shimada, Takanori Ishida, Yuka Matsumoto, Jun Iyama, Hiroumi Shimokawa [et al.] Experimental Study of the Ductility of a Submerged Arc Welded Corner Joint in A High-Performance Steel Built-Up Box Column. *International Journal of Steel Structures*. 2020;20:1454-1464. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00379-5>.
28. Chui-Hsin Chen, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang, Heui-Yung Chang Seismic Performance Evaluation of Steel Box-Column Connections with ESW Stiffeners. *International Journal of Steel Structures*. 2020;20:766-776. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00321-9>.
29. Ching-Yi Tsai, Keh-Chyuan Tsai, Chao-Hsien Li, Chung-Che Wu, Ker-Chun Lin, Sheng-Jhih Jhuang Seismic Fracture Evaluation of Diaphragm Joints in Welded Beam-To-Box Column Moment Connections. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 2020;49(13):1344-1362. <https://doi.org/10.1002/eqe.3293>.
30. Tushina O.A., Danilov A.I. The Stiffness of Rigid Joints of Beam with Hollow Section Column. *Magazine of Civil Engineering*. 2016;4(64):40-51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4> EDN: WWPEYH.

**Информация об авторах**

**Кость Юрий Сергеевич**,  
аспирант,  
Северо-Восточный государственный  
университет,  
685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 13, Россия,  
✉e-mail: kost.svgu@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-9784-2668>  
Author ID: 1138840

**Дмитриева Татьяна Львовна**,  
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой механики  
и сопротивления материалов,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: dmitrievat@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>  
Author ID: 312501

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors**

**Yurii S. Kost**,  
Postgraduate Student,  
North-Eastern State University,  
13 Portovaya St., Magadan 685000,  
Russia,  
✉e-mail: kost.svgu@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-9784-2668>  
Author ID: 1138840

**Tatiana L. Dmitrieva**,  
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Head of the Department of Mechanics  
and Resistance of Materials,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: dmitrievat@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>  
Author ID: 312501

**Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 30.05.2024  
Одобрена после рецензирования 28.06.2024.  
Принята к публикации 03.07.2024.

### **Information about the article**

The article was submitted 30.05.2024.  
Approved after reviewing 28.06.2024.  
Accepted for publication 03.07.2024.