

УДК 699.841

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАБОТУ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ

В.С. Семенов, А.В. Токарский, Р.И. Смирнов

Рассматриваются эффективные конструктивные решения узлов стальных каркасов сейсмостойких зданий: "безрыбочные" узловые соединения ригелей (постоянной и увеличенной высотой у опор) с колонной, болтовые узловые соединения ригелей с колоннами двутаврового и трубчатого сечений. Рассматриваются узловые соединения стальных колонн и ригелей рамных и рамно-связевых каркасов для площадок с сейсмичностью 8,9 и более 9 баллов, применяемые в практике современного проектирования и строительства на территории Кыргызской Республики. Приведены результаты численных исследований влияния шарнирных и жестких узлов на работу стального каркаса при сейсмических нагрузках: мозаика усилий в элементах колонн и ригелей, значения горизонтальных перемещений стального каркаса от сейсмических нагрузок. Дана сравнительная характеристика, сделаны выводы по результатам инженерных расчетов, а также определено направление дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: проектирование; сейсмостойкость; стальной каркас; жесткий узел; шарнирный узел; пластическая деформация.

СЕЙСМИКАЛЫК ТУРУКТУУ ИМАРАТТАРДЫН БОЛОТ КАРКАСТАРЫНЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН ИШИНЕ БИРИКТИРҮҮЧҮ ТҮЙҮНДӨРДҮН КАТУУЛУГУНУН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

Бул макалада жер титирөөгө туруктуу имараттардын болот каркастарынын түйүндөрүнүн натыйжалуу конструктивдүү чечимдери каралды: балыкка окшош эмес ригелдердин түркүк менен бирикмеси (туруктуу жана таянычта чоңойтулган бийиктиги менен), ригелдин эки таврлуу жана түтүктүү кесилиши бар түркүк менен бурама түйүндүү бирикмеси. Кыргыз Республикасынын аймагында заманбап долбоорлоо жана куруу иш-тажрыйбасында колдонулуучу сейсмикалуулугу 8,9 жана 9 баллдан жогору аянтчалар үчүн болот түркүк менен рамалык ригелдин жана рамалык байланыш каракастардын түйүндүү бирикмеси каралды. Сейсмикалык басым убагында болот каракастын иштөөсүнө допшолуу жана катуу түйүндөрдүн таасиринин сандык изилдөөлөрүнүн жыйынтыктары келтирилди: түркүк менен ригелдердин элементтериндеги күчтөрдүн мозаикасы, сейсмикалык күчтөрдүн негизинде болот каркастын горизонталдык жылышуусунун мааниси. Инженердик эсептөөлөрдүн жыйынтыгы боюнча салыштырма мүнөздөмө жана корутунду берилди, ошондой мындан аркы илимий изилдөөлөрдүн багыты аныкталды.

Түйүндүү сөздөр: долбоорлоо; сейсмикалык туруктуулук; болот каркас; катуу түйүн; допшолуу түйүн; пластикалык деформация.

INFLUENCE OF HARDNESS OF NODE CONNECTIONS ON WORKING ELEMENTS OF STEEL FRAMES OF SEISMIC RESISTANT BUILDINGS

V.S. Semenov, A.V. Tokarskiy, R.I. Smirnov

Effective constructive solutions of knots of steel frameworks of aseismic buildings are considered: "bezrybochny" nodal connections of crossbars (a constant and the increased height at support) with a column, bolt nodal connections of crossbars with columns of dvutavrovoy and tubular sections. Nodal connections of steel columns and crossbars frame and frame связевых frameworks for platforms with seismicity of 8,9 and more than 9 points, applied in practice of modern design and construction in the territory of the Kyrgyz Republic are considered. Results of numerical researches of influence of hinged and rigid knots for work of a steel framework are given at seismic loadings: a mosaic of efforts in elements of columns and crossbars, values of horizontal movements of a steel framework from seismic loadings. The comparative characteristic and conclusions by results of engineering calculations is given and also the direction of further scientific research in the context of the question considered in article is defined.

Keywords: design; earthquake resistance; steel frame; rigid assembly; hinge assembly; plastic deformation.

При проектировании стальных каркасов сейсмостойких зданий к известным принципам конструктивных решений добавляется еще один, очень важный критерий – обеспечение надежности работы элементов и узлов при сейсмических воздействиях. Наиболее простым и эффективным путем решения этой задачи является использование пластических резервов работы стали. Допуская упругопластическую работу элементов каркаса, мы создаем благоприятные условия для поглощения энергии внешних сейсмических воздействий,

благодаря чему повышается сейсмостойкость здания и одновременно увеличивается предельная несущая способность этих элементов. Эффективность этого пути повышения сейсмостойкости зависит от того, насколько удачно выбраны конструктивные формы элементов стальных каркасов и особенно узлов их соединений, от надежности которых зависит сейсмостойкость здания.

На рисунке 1 показаны эффективные конструктивные решения сварных узловых соединений для рамных стальных каркасов с непосредственным

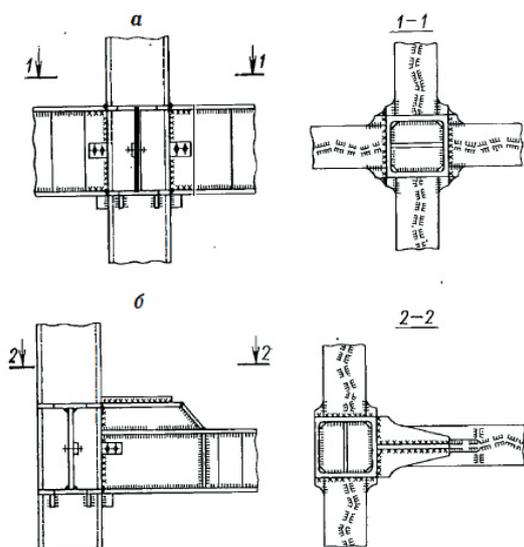


Рисунок 1 – Безрыбчатые узловые соединения ригелей с колонной: а – ригель постоянной высоты; б – ригель с увеличенной высотой у опор

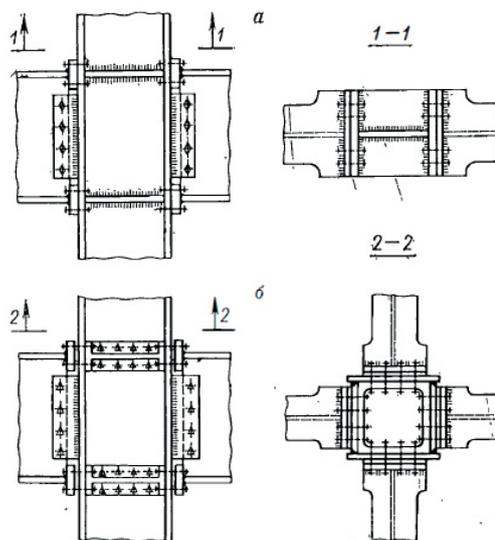


Рисунок 2 – Болтовые узловые соединения ригелей с колоннами: а – двутаврового сечения; б – трубчатого сечения

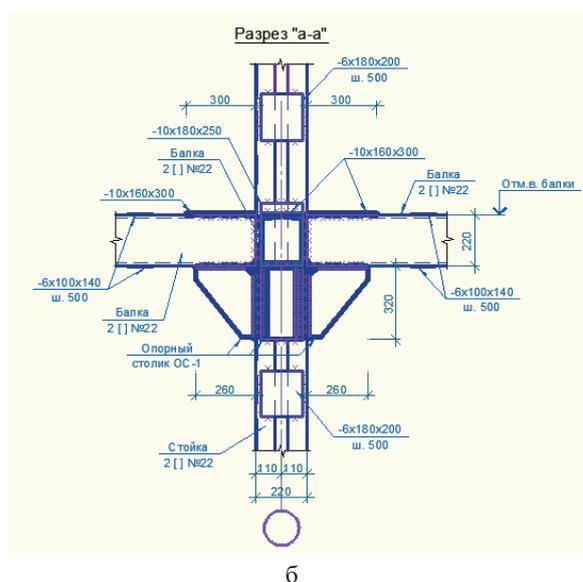
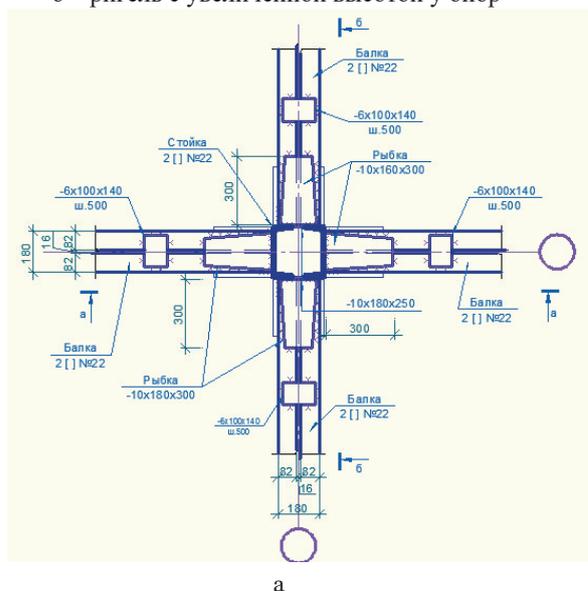


Рисунок 3 – Конструкция жесткого рамного узла с опорными столиками: а – вид сверху; б – разрез “а-а”



Рисунок 4 – Жесткий узел с опорными столиками в строящемся кафе, г. Бишкек

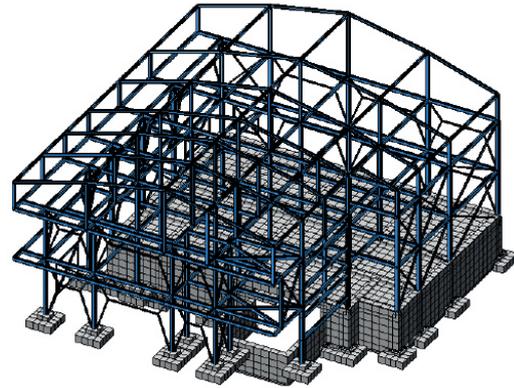


Рисунок 5 – Пространственная модель трехэтажного здания

креплением ригелей к колоннам трубчатого или двутаврового сечения. Главным достоинством этих узлов является высокая надежность их работы на

знакопеременные сейсмические нагрузки при минимальном расходе стали. Эффективная работа при сейсмических нагрузках достигается за счет

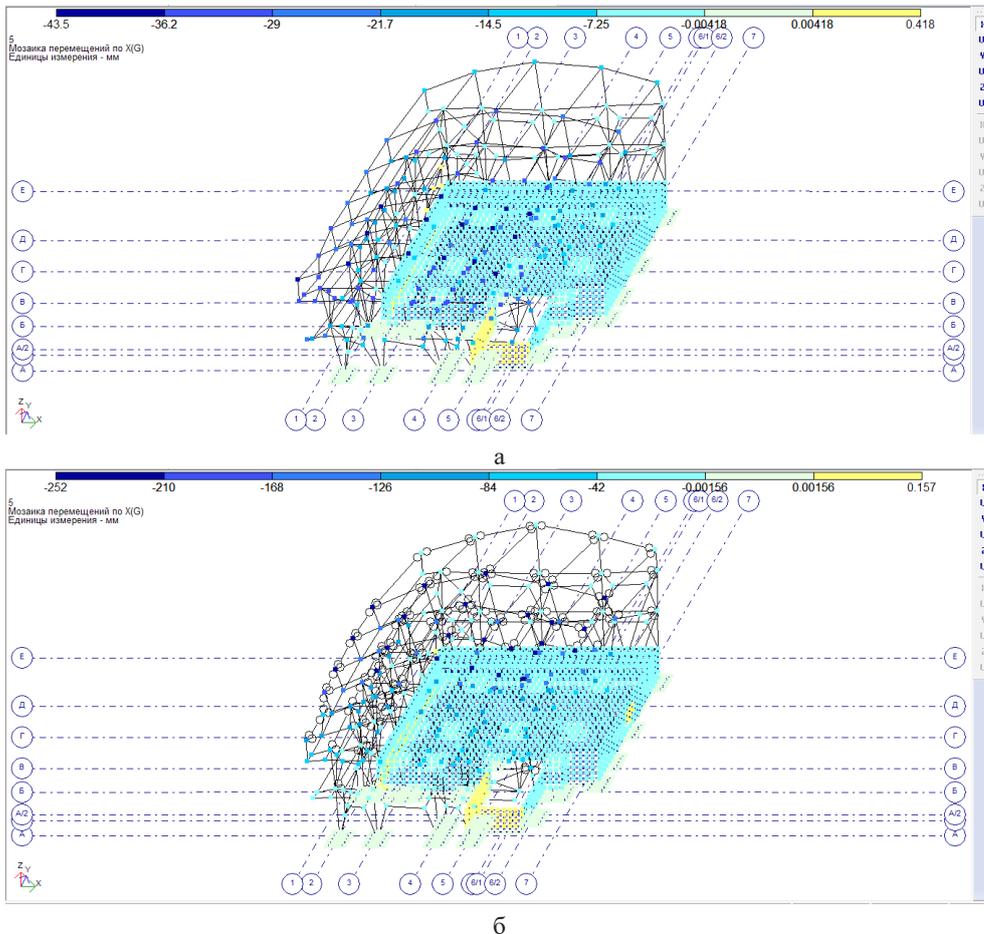


Рисунок 6 – Мозаика перемещений по X:
а – для схемы с жесткими узлами; б – для схемы с шарнирными узлами

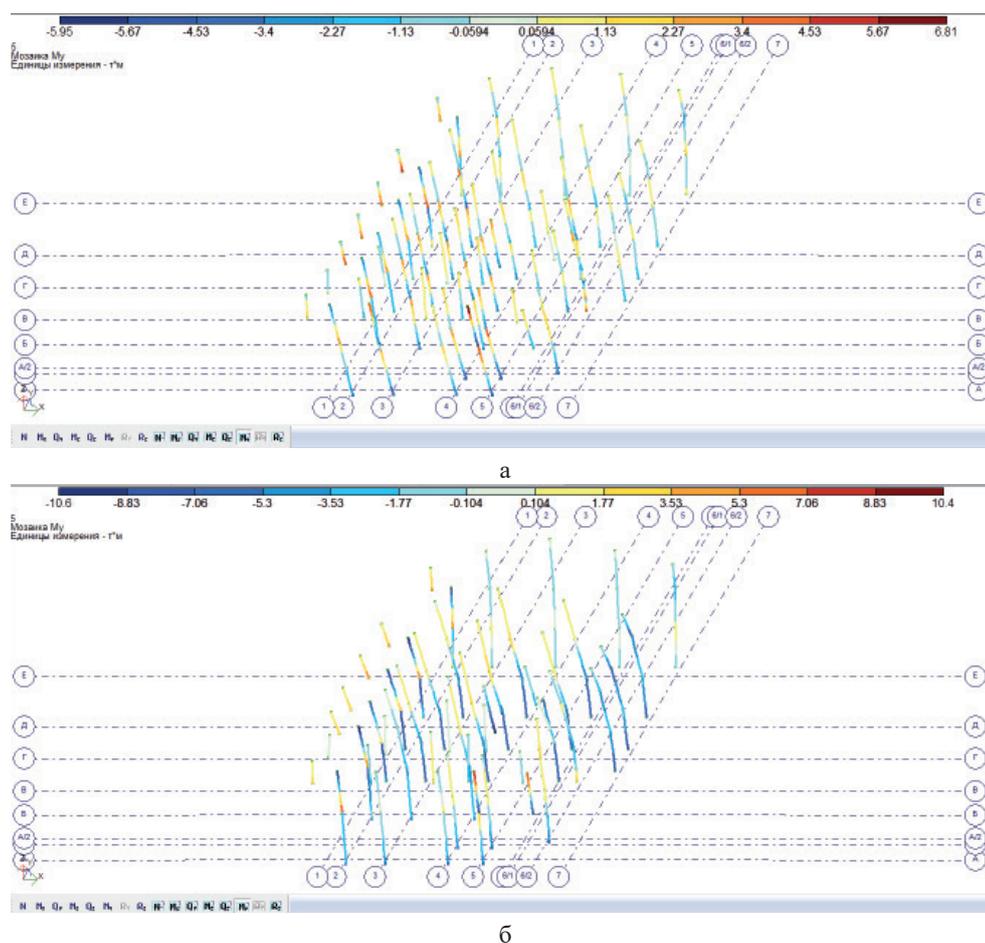


Рисунок 7 – Мозаика моментов в колоннах стального каркаса:
а – для схемы с жесткими узлами; б – для схемы с шарнирными узлами

значительного уширения поясов ригелей в месте прикрепления к колонне с плавным переходом к основному сечению, что позволяет вынести области пластических деформаций в поясах ригелей из зоны сварных соединений и тем самым существенно повысить надежность работы каркаса в целом. Отказ от рыбок и накладок позволяет на 6–7 % снизить расход металла на каркас и в 1,5–2 раза – объем монтажной сварки [1].

На рисунке 2 показаны болтовые узловые соединения ригелей с колоннами двутаврового и трубчатого сечений для стальных рамных каркасов сейсмостойких зданий. Отличительной особенностью этих соединений является также увеличенная ширина поясов ригелей в месте приварки планок фланцевого стыка, что обеспечивает удаление области развития пластических деформаций от болтовых соединений. При болтовом соединении ригеля с трубчатой колонной вместо обычной диафрагмы внутри колонны устанавливаются корыто-

образные вкладыши, к которым с помощью высокопрочных болтов крепятся пояса ригелей. Вкладыши, отлитые из стали или сваренные из листов, одновременно служат кондукторами для сборки колонн из листовой стали. Монтажные соединения колонн квадратного трубчатого сечения выполняются с помощью сварки встык при одинаковых габаритах м через стальную прокладку при разных размерах поперечных сечений. Концы колонн в стыках должны обязательно иметь заглушки из стального листа толщиной 2–4 мм, обеспечивающих полную герметизацию внутренних полостей колонн от проникновения влаги в период транспортировки и монтажа [1].

Согласно действующего СНиП КР 20-02: 2009 “Сейсмостойкое строительство, нормы проектирования” в Кыргызстане допускаются стальные каркасы рамной, рамно-связевой и связевой конструктивных схем с жесткими узлами [2]. На рисунке 3 представлена конструкция часто применяемого

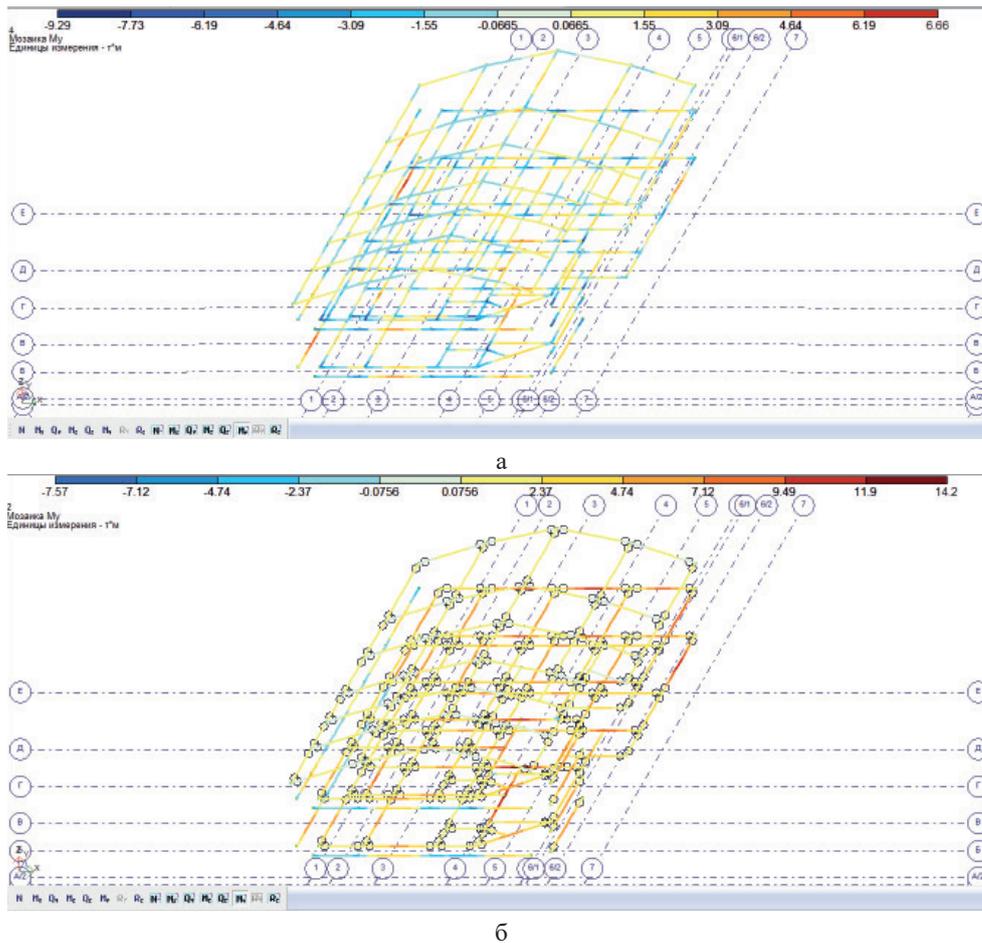


Рисунок 8 – Мозаика моментов в ригелях стального каркаса:
а – для схемы с жесткими узлами; б – для схемы с шарнирными узлами

в практике строительства многоэтажных зданий в Кыргызской Республике жесткого узла стального рамного каркаса (разработка ОсОО “Гарант Проект”, главный конструктор В.В. Мануковский).

Стойки и балки стального каркаса в данном случае выполнены из прокатных швеллеров “в короб”, соединенных планками из листовой стали толщиной 6 мм, опорные столики и “рыбки” из листа 10–12 мм. Класс стали не менее С235. Моменты по верхнему поясу передаются через “рыбки” – планки в верхней части балки, а по нижнему поясу – через опорные столики. Для зон с сейсмичностью свыше 9 баллов, где при расчетах возникают большие моменты на кручение, применяется конструкция узла, усиленная прорезными косынками, которые значительно увеличивают жесткость соединения.

Расчеты показали довольно высокую эффективность данной конструкции узла при работе на сейсмические нагрузки. Также к преимуществам можно отнести простоту изготовления деталей

и технологичность монтажа. При этом существует и ряд недостатков. Это относительно высокая металлоемкость и повышенная трудоемкость при проведении отделочных работ (рисунок 4).

С целью анализа влияния жесткости узлов на работу стального каркаса при сейсмических нагрузках были проведены численные исследования. В качестве расчетной модели было выбрано 3-х этажное здание сложной формы в плане, где первые два этажа решены в стальном рамно-связевом каркасе, а 3-й легкий эксплуатируемый этаж – в рамном стальном каркасе (рисунок 5). Сечения колонн и ригелей приняты из спаренных швеллеров, а конструкции связей их уголков “в тавр”.

Расчет произведен на ПК Лира 9.6 R9 по 2 расчетным схемам:

- 1) с жесткими узлами соединения колонн с ригелями;
- 2) с шарнирными стыковыми узлами колонн с ригелями.

Ниже приведены некоторые результаты выполненных исследований. На рисунке 6, а, б показана мозаика горизонтальных перемещений при особом сочетании нагрузок (сейсмика) для схем с жесткими и шарнирными узлами соответственно.

На рисунке 7 показаны значения изгибающего момента в колоннах.

На рисунке 8 – значения изгибающего момента в ригелях.

Выполненные расчеты показали, что значения продольных сил в колоннах для двух схем практически совпадают, а в ригелях продольные силы значительно выше для схемы с шарнирными узлами (мозаики не приводятся).

Анализ результатов численных исследований работы стального каркаса с шарнирными и жесткими узлами соединения ригелей с колоннами на сейсмические нагрузки позволил сделать следующие выводы:

Горизонтальные перемещения каркаса с жесткими узлами при сейсмических нагрузках значительно меньше, чем с шарнирными, а значит существенно выше его пространственная жесткость и сейсмобезопасность здания в целом.

Усилия в элементах каркаса с шарнирными узлами больше, чем при жестких, что влечет за собой увеличение материалоемкости несущих конструкций и, как следствие, его удорожание.

Целесообразно сосредоточить внимание на разработке конструктивных решений узловых сое-

динений каркасов зданий из облегченных стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) [3]. Обеспечение жестких узловых соединений элементов из таких профилей является весьма проблематичным не только с технологической точки зрения, но и с точки зрения восприятия сейсмических нагрузок.

В заключение хотелось бы отметить, что существует достаточно много эффективных конструкций жестких узлов для стальных каркасов в сейсмических районах [4]. В данной статье рассмотрены лишь некоторые из них.

Литература

1. *Остриков Г.М.* Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий / Г.М. Остриков, Ю.С. Максимов. Алма-Ата: Казахстан, 1985. 120 с.
2. СНиП КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек: Госстрой КР, 2009. 103 с.
3. *Семенов В.С.* Узловые соединения стальных тонкостенных конструкций. Основные типы. Особенности работы / В.С. Семенов, И.А.Черных-Рашевский, А.В. Токарский // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 27–33.
4. *Семенов В.С.* Принципы обеспечения сейсмобезопасности. Основные концепции и подходы / В.С. Семенов // Вестник КРСУ. 2012. Том 12. № 6. С. 70–75.