

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 624.014

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-3-18-24>

Энергопоглощающие фасонки связей стального каркаса

М.П. Котенко¹  , С.В. Скачков² 

¹ Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 maria.kotenko2016@yandex.ru



EDN: LFBASG

Аннотация

Введение. Настоящая работа посвящена актуальной проблеме обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений в зонах с повышенной сейсмической активностью. Целью исследования является комплексный анализ существующих методов защиты от сейсмических воздействий и разработка инновационных конструктивных решений для повышения устойчивости зданий. Актуальность исследования обусловлена растущей необходимостью защиты населения и инфраструктуры в сейсмически активных регионах мира.

Материалы и методы. В ходе исследования рассмотрены два основных подхода к повышению сейсмостойкости: традиционный метод увеличения сечений конструкций и специальный метод снижения нагрузки через изменение динамической схемы работы сооружения. Особое внимание уделено разработке и анализу работы узла крепления связи каркаса с использованием фасонки из гнутой тонкостенной пластины. Для проведения исследования применялись современные методы математического моделирования и компьютерного анализа.

Результаты исследования. Выполнен анализ архитектурно-планировочных и конструктивных решений, направленных на повышение сейсмостойкости зданий. Сформулированы принципы проектирования сейсмостойких зданий, обеспечивающих минимизацию ущерба от землетрясений. Проведено исследование пластических свойств стали как эффективного способа поглощения сейсмической энергии. Представлена классификация энергопоглощающих устройств по пяти основным типам: стержневые, кольцевые, трубчатые, балочного типа и работающие на сдвиг. Детально изучены конструктивные особенности энергопоглотителей, их преимущества и недостатки.

Обсуждение и заключение. Проведен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния узла крепления с использованием программного комплекса Stark ES. Результаты анализа позволили оценить эффективность предложенного конструктивного решения. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанных решений при проектировании и строительстве сейсмостойких зданий в зонах повышенной сейсмической активности. Предложенные методы и конструкции позволяют повысить устойчивость зданий, снизить металлоемкость и обеспечить простоту замены элементов при необходимости. Разработанные решения могут быть масштабированы для применения в различных типах строительных конструкций и климатических условиях.

Ключевые слова: сейсмостойкость, энергопоглотители, сейсмическое воздействие, конструктивные решения, проектирование зданий, активная сейсмозащита, системы сейсмоизоляции, демпфирование, гасители колебаний, конструктивные решения

Для цитирования. Котенко М.П., Скачков С.В. Энергопоглощающие фасонки связей стального каркаса. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2025;4(3):18–24. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-3-18-24>

Energy-Absorbing Gusset of Steel Frame Bonds

Maria P. Kotenko¹ , Sergey V. Skachkov² 

¹ Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ maria.kotencko2016@yandex.ru

Abstract

Introduction. This study looks at the urgent problem of ensuring the seismic resistance of buildings and structures in areas with increased seismic activity. The aim of the study is a comprehensive analysis of existing methods of protection against seismic impacts and the development of innovative design solutions in order to increase the stability of buildings. The study is relevant due to the growing need to protect the population and infrastructure in seismically active regions around the globe.

Materials and Methods. Two major approaches to increasing seismic resistance were considered: the traditional method of increasing structural cross-sections and a special method of reducing load by means of changing the dynamic scheme of the structure. Special attention is paid to the development and analysis of the operation of the fastening unit of the frame using a curved thin-walled plate. Modern methods of mathematical modeling and computer analysis were employed.

Research Results. Architectural, planning and constructive solutions for increasing the earthquake resistance of buildings were analyzed. The principles of designing earthquake-resistant buildings to minimize earthquake damage were formulated. The plastic properties of steel as an effective method of absorbing seismic energy were studied. Energy-absorbing devices are classified into five main types: rod-type, annular, tubular, beam-type and shear-type. The design features of energy absorbers, their advantages and disadvantages were thoroughly investigated.

Discussion and Conclusion. A finite element analysis of the stress-strain state of the fastening unit was conducted by means of the Stark ES software package. The results of the analysis enabled us to evaluate the efficiency of the suggested constructive solution. The practical importance of the study lies in the possibility of applying the developed solutions in the design and construction of earthquake-resistant buildings in areas of increased seismic activity. The suggested methods and designs make it possible to increase the stability of buildings, reduce metal consumption, and easy to replace elements if needed. The developed solutions can be scaled for use in different types of building structures and climatic conditions.

Keywords: seismic resistance, energy absorbers, seismic impact, design solutions, building design, active seismic protection, seismic isolation systems, damping, vibration absorbers, seismic resistance of buildings, design solutions

For citation. Kotenko MP, Skachkov SV Energy-Absorbing Gusset of Steel Frame Bonds. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(3):18–24. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-3-18-24>

Введение. Землетрясения представляют собой одно из самых разрушительных природных явлений, наносящих огромный ущерб зданиям и сооружениям, особенно в зонах с повышенной сейсмической активностью. Обеспечение сейсмостойкости зданий является одной из ключевых задач современной архитектуры и инженерии, направленной на защиту жизни и здоровья людей, а также на сохранение материальных ценностей.

В условиях частых землетрясений критически важно разрабатывать и внедрять инновационные конструктивные решения, способные минимизировать ущерб и обеспечить безопасность зданий. Одним из актуальных вопросов в этой области является создание конструктивных методов повышения сейсмостойкости зданий в целом и отдельных их элементов.

Основной задачей данной работы является всестороннее исследование существующих методов защиты зданий от сейсмического воздействия, а также разработка и расчет эффективного узла крепления связи каркаса здания.

В ходе исследования рассматриваются два основных подхода к повышению сейсмостойкости:

- традиционный метод, заключающийся в увеличении сечений конструкций;
- специальный метод, направленный на снижение нагрузки путем изменения динамической схемы работы сооружения.

Особое внимание уделяется архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, которые позволяют повысить сейсмостойкость зданий. Также исследуются различные типы энергопоглотителей, которые эффективно поглощают энергию сейсмических колебаний, предотвращая разрушение несущих конструкций.

Анализ характерных повреждений при землетрясениях позволяет сформулировать способы и методы повышения сейсмостойкости здания:

- уменьшение инерционных нагрузок при сейсмическом воздействии за счет применения легких и эффективных строительных материалов;
- равномерное и симметричное распределение жесткостей и масс относительно осей здания;
- расположение стыковых соединений вне зон наибольших усилий;
- обеспечение пластической работы конструкций для поглощения энергии сейсмических воздействий.

В работе также рассматриваются современные системы активной сейсмозащиты, включая сейсмоизоляцию, адаптивные системы, демпфирование и гасители колебаний.

Особое внимание уделено разработке и анализу узла крепления связи каркаса с использованием фасонки из гнутой тонкостенной пластины. Это решение позволяет эффективно передавать усилия от сейсмического воздействия и обеспечивать высокую сейсмостойкость здания.

Таким образом, данное исследование направлено на разработку инновационных конструктивных решений, которые повышают надежность зданий и сооружений, создают условия для снижения возможного ущерба и повреждения несущих конструкций.

Учитывая характерные повреждения при землетрясениях, здания и сооружения в регионах с сейсмической активностью 8, 9, 10 баллов необходимо проектировать таким образом, чтобы воздействие сейсмической силы было минимальным. Целью данной работы является исследование существующих вариантов защиты зданий от сейсмического воздействия, а также расчет возможного узла крепления связи каркаса здания.

Материалы и методы. Существуют два пути повышения сейсмостойкости: традиционный — за счет увеличения сечений конструкций и специальный — снижение нагрузки за счет изменения динамической схемы работы сооружения [1].

Основными способами повышения сейсмостойкости зданий являются архитектурно-планировочные и конструктивные решения¹, а также различные энергопоглотители.

Исходя из результатов инженерного анализа последствий землетрясений, были получены следующие принципы проектирования сейсмостойких зданий [2]:

- уменьшение сейсмических сил за счет применения более легких и эффективных строительных материалов, тем самым уменьшая массу конструкций;
- оптимизация изгибных жесткостей, расположение узловых масс равно удаленных, в т. ч. симметрично, по наиболее опасным направлениям сейсмической нагрузки;
- расположение стыковых соединений вне зоны наибольших усилий;
- обеспечение пластической работы конструкций.

В нормах проектирования стальных конструкций допускается использование пластических свойств. Данные свойства можно использовать также для снижения энергии, передаваемой на конструкции при сейсмическом воздействии. Такие специальные элементы называют энергопоглотители. При этом дополнительных конструктивных решений, направленных, например, на повышение жесткости, прочности, устойчивости, не потребуется. При превышении предела текучести энергопоглотители могут быть заменены без потери эксплуатационных качеств конструкции [3, 4].

В литературе выделяют несколько основных типов энергопоглотителей. К ним относятся: стержни или пластины — применяются в каркасных системах, характеризуются низкой энергоемкостью; кольца или трубы — как правило, устанавливаются в связях для передачи усилий растяжения, сжатия через раскосы, применяются соединения на болтах; балки — применяются взамен раскосных связей, энергопоглощение предусматривается за счет изгибной или крутильной жесткости элемента; конструкции, работающие на сдвиг — характеризуются относительно большой удельной энергоемкостью.

В элементах конструкций для исключения концентраций напряжений не следует предусматривать резкие изменения сечений для повышения циклической прочности и долговечности [5].

Актуальным является вопрос разработок систем активной сейсмозащиты. Основные принципы таких систем заключается в самоизоляции зданий в целом или отдельных элементов, для чего применяются адаптивные системы с переменными характеристиками, демпферы и гасители колебаний [6].

¹ СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ; 2018. 114 с.

Результаты исследования. Наиболее простым и эффективным примером такого энергопоглотителя может являться фасонка из гнутой тонкостенной пластины, устанавливаемая в узле соединения связи с колонной со смещением относительно оси связи. При этом фасонка позволяет передать усилия от сейсмического воздействия в пределах упругой работы материала. На рис. 1 представлена схема узла крепления связи каркаса, на рис. 2 — разрез 1–1.

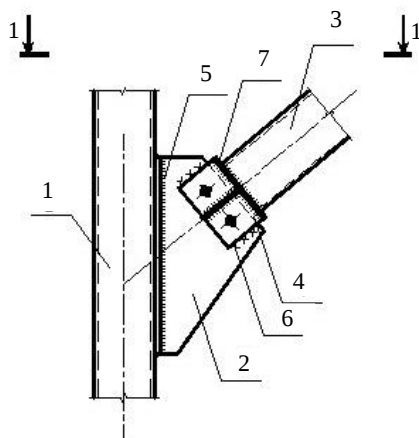


Рис. 1. Схема узла крепления связи каркаса

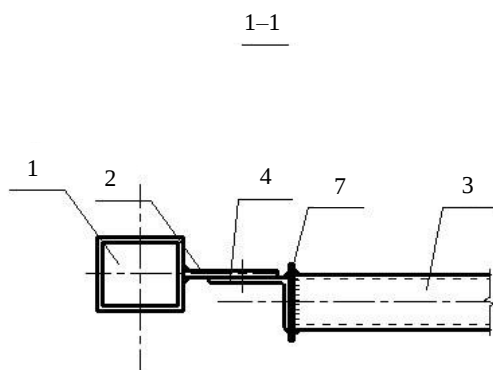


Рис. 2. Разрез 1–1

1. К колонне каркаса 1, имеющей фасонку 2, прикрепляется элемент связи 3. Крепление фасонки 2 к колонне 1 предусматривается с помощью заводских сварных швов 5. Крепление фасонки 4 связи 3 к фасонке 2 предусматривается с помощью болтов и монтажной сварки 6. Крепление фасонки 4 предусматривается через заглушку 7 элемента связи 3 из замкнутого гнуто-сварного профиля.

2. Передача усилий от элемента связи 3 к колонне 1 происходит через фасонку 4, прикрепленную со смещением относительно оси связи 3. Работа узла заключается в следующем: фасонка 4 воспринимает усилия от элемента связи 3, при этом, упруго деформируясь, за счет податливости снижает внутренние усилия, передающиеся на колонну 1. Работа в упругой области не приводит к появлению остаточных деформаций и обеспечивает достаточную надежность узла крепления связи с колонной.

3. При воздействии горизонтальной сейсмической нагрузки в местах соединения связи 3 с колонной 1 возникают упругие деформации в фасонке 4, за счет чего поглощается значительная часть колебаний, что повышает сейсмоустойчивость здания.

4. Проведен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния фасонки при действии на нее сжимающей силы в программном комплексе Stark ES. Определены главные напряжения и деформации, возникающие в элементе. Расчетная схема представлена на рис. 3, распределение напряжений — на рис. 4. Суть метода конечных элементов заключается в том, что рассчитываемая конструкция разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам элементов, которые в зависимости от типа конструкции и характера ее деформации могут иметь различную форму. Пример расчета данным методом рассмотрен в статье [7], где моделью исследования является свободно опертая однопролетная балка из тонкостенного профиля с сечением в виде швеллера. В качестве конечных элементов приняты изотропные пластины толщиной 1,2 мм.

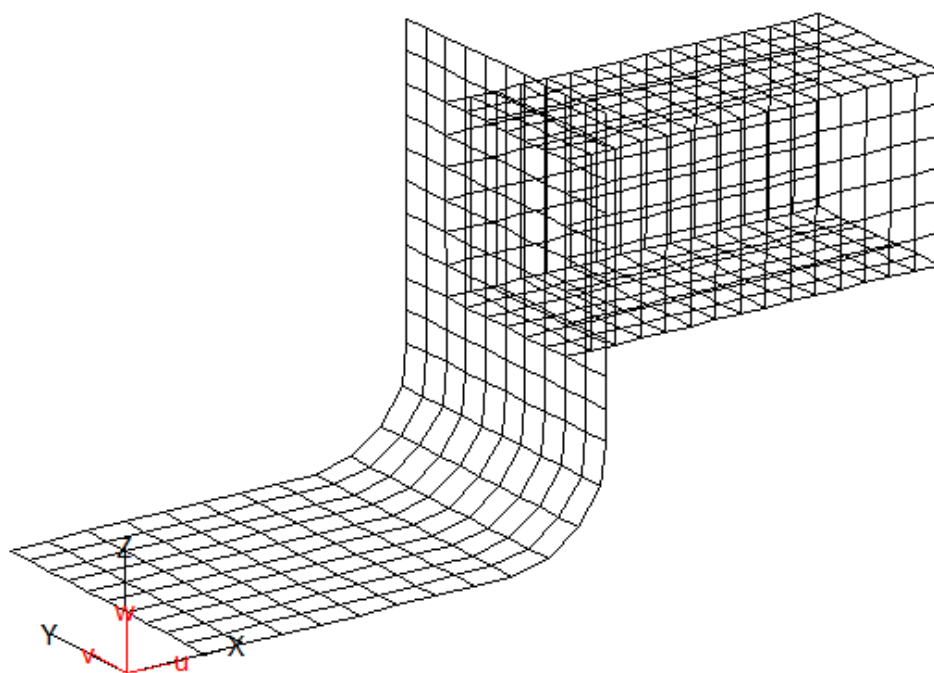


Рис. 3. Расчетная схема

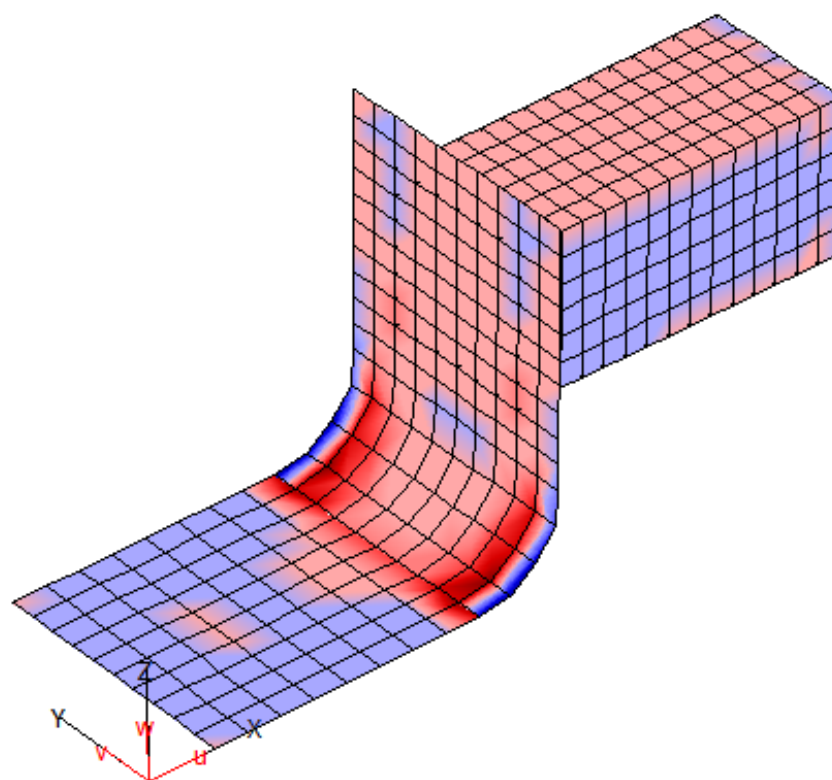


Рис. 4. Главные напряжения в фасонке

5. Конструкция каркаса проста в изготовлении, позволяет снизить металлоемкость, обеспечивает высокую сейсмическую устойчивость, а также легко заменяется новой, что позволяет быстро восстановить несущую способность каркаса в полном объеме.

Обсуждение и заключение. В результате исследования были предложены инновационные конструктивные решения для повышения сейсмостойкости зданий. Эти решения включают использование энергопоглощающих фасонки из гнутых тонкостенных пластин в узлах крепления связей каркаса.

Применение предложенных конструктивных решений позволяет:

- снизить металлоемкость конструкций;
- обеспечить простоту замены элементов при необходимости;
- масштабировать решения для различных типов строительных конструкций и климатических условий.

Таким образом, разработанные решения представляют собой важный вклад в развитие сейсмостойкого строительства и могут быть успешно применены в различных регионах с повышенной сейсмической активностью.

Список литературы/References

1. Синицын С.Б. Теория сейсмостойкости: курс лекций. Москва: МГСУ; 2014. 88 с.
Sinityn SB Earthquake Resistance Theory: a Course of Lectures. Moscow: MGSU; 2014. 88 p. (In Russ.)
2. Мартемьянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмостойких районах: учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат; 1985. 255 с.
Martemyanov AI Design and Construction of Buildings and Structures in Earthquake-Resistant Areas: a Textbook for Universities. Moscow: Stroyizdat; 1985. 255 p. (In Russ.)
3. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. Алма-Ата: Казахстан; 1985. 120 с.
Ostrikov GM, Maksimov YuS Steel Earthquake-Resistant Frames of Multi-Storey Buildings. Alma-Ata: Kazakhstan; 1985. 120 p. (In Russ.)
4. Кочетов О.С. Сейсмостойкая конструкция здания. Патент РФ № RU 2020 106 976. 2021. 2 с.
Kochetov OS Earth-Resistant Structure of a Building. RF Patent № RU 2020 106 976. 2021. 2 p.
5. Семенов В.С., Токарский А.В., Алферова Т.П. Энергопоглощатели в стальных каркасах сейсмостойких зданий. Вестник КРГСУ. 2016;16(5):136–139. URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/38/1678> (дата обращения 28.05.2025).
Semenov VS, Tokarskiy AV, Alferova TP Energy Absorbers in Steel Frames of Earthquake-Resistant Buildings. Herald of KRSU. 2016;16(5):136–139. (In Russ.) URL: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/38/1678> (accessed: 28.05.2025).
6. Чигринская Л.С. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие. Ангарск: АГТА; 2009. 107 с.
Chigrinskaya LS Earthquake Resistance of Buildings and Structures: a Textbook. Angarsk: AGTA; 2009. 107 p. (In Russ.)
7. Скачков С.В. Особенности автоматизированных расчетов элементов из тонкостенных стальных профилей. Наукоедение. 2012;3:1–6. URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-118.pdf> (дата обращения 28.05.2025).
Skachkov SV Features Calculation of Structures of Thin-Walled Steel Profiles. Naukovedenie. 2012;3:1–6. (In Russ.) URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-118.pdf> (accessed: 28.05.2025).

Об авторах:

Котенко Мария Павловна, аспирант Ростовского государственного университета путей сообщения (344038, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2), [ORCID, maria.kotencko2016@yandex.ru](mailto:maria.kotencko2016@yandex.ru)

Скачков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID, orskachkov@donstu.ru](mailto:orskachkov@donstu.ru)

Заявленный вклад соавторов:

С.В. Скачков: исследование существующих вариантов защиты зданий от сейсмического воздействия, изучение различных энергопоглощателей и систем активной сейсмозащиты, а также разработка конструктивных решений для повышения сейсмостойкости зданий.

М.П. Котенко: разработка содержания статьи, концепция статьи, обоснование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Maria P. Kotenko, PhD student of Rostov State Transport University (2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation), [ORCID](#), maria.kotencko2016@yandex.ru

Sergey V. Skachkov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Metal, Wood and Plastic Structures, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ORCID](#), sskachkov@donstu.ru

Claimed contributorship:

SV Skachkov: study of existing options for protecting buildings from seismic effects, study of various energy sinks and active seismic protection systems, as well as the development of constructive solutions to improve the earthquake resistance of buildings.

MP Kotenko: development of the content and concept of the manuscript, substantiation of the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 06.06.2025

Поступила после рецензирования / Revised 20.06.2025

Принята к публикации / Accepted 07.07.2025