

**А.А. БУБИС¹, И.Р. ГИЗЯТУЛЛИН^{1,✉}, А.А. ДАВИДЕНКО¹,
И.А. ПЕТРОСЯН¹, Т.В. НАЗМЕЕВА², А.И. ДАВИДЕНКО³, Н.И. ПУШКО³**

¹ Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК)
им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Ассоциация развития стального строительства, Остоженка ул., д. 19, стр. 1,
г. Москва, 119034, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова»,
тер. ЛНАУ, д. 1, г. Луганск, 291008, Луганская Народная Республика, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ

Аннотация

Введение. Статья посвящена исследованию особенностей применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий, выполненных на основе легких стальных тонкостенных конструкций, при возведении зданий в сейсмоопасных районах. Эти конструкции отличаются легкостью, высокой несущей способностью относительно собственного веса и ускоряют процесс строительства. В совокупности такие свойства делают их конкурентоспособной альтернативой традиционным технологиям, применяемым при строительстве зданий, возводимых в сейсмических районах.

Целью исследования является обзорный анализ, демонстрация текущего прогресса, проблем и будущих направлений исследований, особенностей применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмических районах.

Материалы и методы. Выполнен систематический обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Использованы систематизация, структурный, сравнительный и сопоставительный анализы, теоретическое обобщение материалов, полученных при анализе отечественных и зарубежных нормативно-технических документов, а также литературных источников, содержащих ин-

формацию о результатах исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций.

Результаты. Рассмотрены и обобщены результаты экспериментальных исследований сейсмостойкости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Продемонстрированы текущие достижения, актуальные проблемы и перспективные направления дальнейших исследований. Результаты анализа подтверждают, что комбинированные сталежелезобетонные перекрытия на основе легких стальных тонкостенных конструкций обеспечивают конкурентоспособное и эффективное решение для строительства зданий, возводимых в сейсмоопасных районах. Результаты исследования подтверждают, что эффективное взаимодействие стального каркаса, профилированного настила и бетонного слоя обеспечивает оптимальный баланс между жесткостью и пластичностью конструкции комбинированного сталежелезобетонного перекрытия, что особенно важно для сопротивления сейсмическим нагрузкам и обеспечения надежности и механической безопасности здания. Однако отсутствие нормативных документов, регулирующих проектирование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций зданий, возводимых в сейсми-

ческих районах, ограничивает их широкое внедрение в строительной практике.

Выводы. Подтверждается необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований, разработки и совершенствования нормативно-технических документов, которые позволят расширить применение комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций, обеспечивая надежность и механическую безопасность зданий, возводимых с их применением, в том числе в сейсмических районах.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, изгибаемые конструкции, перекрытие, профнастил, сейсмостойкость

Для цитирования: Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Давиденко А.А., Петросян И.А., Назмеева Т.В., Давиденко А.И., Пушко Н.И. Особенности применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмоопасных районах // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 5–19. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-5-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-5-19). EDN: MYQGYP

Вклад авторов

Бубис А.А. – руководство исследованием.

Гизятуллин И.Р. – поиск и анализ информации по теме исследования, систематизация полученных результатов, написание статьи.

Давиденко А.А. – поиск и анализ информации по теме исследования, написание статьи.

Петросян И.А., Назмеева Т.В., Давиденко А.И., Пушко Н.И. – поиск и анализ информации по теме исследования.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме: «Исследование особенностей действительной работы сборных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, в т. ч. для их применения в сейсмических районах», по заказу ФАУ «ФЦС» (Рег. № НИОКТР 124112500086-6).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.12.2024

Поступила после рецензирования 15.12.2024

Принята к публикации 19.12.2024

**A.A. BUBIS¹, I.R. GIZIATULLIN^{1,✉}, A.A. DAVIDENKO¹, I.A. PETROSYAN¹,
T.V. NAZMEYEVA², A.I. DAVIDENKO³, N.I. PUSHKO³**

¹ Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

² Association for the Development of Steel Construction, Ostozhenka St., 19, bld. 1, Moscow, 119034, Russian Federation

³ FSBEI HE Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk city, Artyomovsky district, LSAU ter., 1, Lugansk, 291008, Lugansk People's Republic, Russian Federation

FEATURES OF THE APPLICATION OF COMBINED STEEL—REINFORCED CONCRETE FLOORS BASED ON LIGHTWEIGHT STEEL THIN—WALLED STRUCTURES IN SEISMIC—PRONE REGIONS

Abstract

Introduction. The article is devoted to the study of the features of the use of combined steel-reinforced concrete floors made on the basis of lightweight steel thin-walled structures in the construction of buildings in seismic areas. These structures are lightweight, have a high load-bearing capacity relative to their own weight and accelerate the construction process. Together, these properties make them a competitive alternative to traditional technologies used in the construction of buildings erected in seismic areas.

The aim of the study is to review, demonstrate the current progress, problems and future directions of research, features of the use of combined steel-reinforced concrete floors of buildings based on lightweight steel thin-walled structures in seismic areas.

Materials and methods. A systematic review and analysis of domestic and international studies on the seismic resistance of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures were conducted. The study used systematization, structural, comparative, and correlational analyses, as well as theoretical generalization of materials obtained from normative and technical documents and research literature regarding the seismic performance of these floors.

Results. The findings of experimental studies on the seismic resistance of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures were reviewed and summarized. Current achievements, pressing challenges, and future research directions were demonstrated. The analysis confirms that these floors offer a competitive and effective solution for construction of buildings being erected in re-

gions prone to seismic activity. The synergy between the steel frame, profiled decking, and concrete layer ensures an optimal balance of stiffness and ductility, which is critical for resisting seismic loads and ensuring structural reliability and mechanical safety. However, the lack of normative documents regulating the design of such floors in seismic regions hinders their broader adoption in construction practices.

Conclusions. The study confirms the necessity for theoretical and experimental research, as well as the development and refinement of normative and technical documents. These efforts will facilitate the wider application of composite steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures, ensuring the reliability and mechanical safety of buildings constructed with their use, particularly in regions prone to seismic activity.

Keywords: lightweight steel thin-walled structures, steel-reinforced concrete structures, flexural structures, ceiling, corrugated sheet, seismic resistance

For citation: Bubis A.A., Giziatullin I.R., Davidenko A.A., Petrosyan I.A., Nazmeyer T.V., Davidenko A.I., Pushko N.I. Features of the application of combined steel-reinforced concrete floors based on lightweight steel thin-walled structures in seismic-prone regions. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 5–19. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-5-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-5-19). EDN: MYQGY

Authors contribution statement

Bubis A.A. – research management.

Giziatullin I.R. – search and analysis of information on the research topic, systematization of the obtained results, writing the article.

Davidenko A.A. – search and analysis of information on the research topic, writing the article.

Petrosyan I.A., Nazmeyerova T.V., Davidenko A.I., Pushko N.I. – search and analysis of information on the research topic.

Funding

The study was carried out as part of the research and development work on the topic: “Study of the features

of the actual operation of precast steel-reinforced concrete floors based on LSTS, including for their use in seismic areas”, by order of the Federal Autonomous Institution “FCS” (Reg. No. NIOKTR 124112500086-6).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.12.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 19.12.2024

Введение

В районах, подверженных сейсмической активности, проектирование и возведение зданий и сооружений требуют комплексного подхода, направленного на обеспечение их надежности и безопасности при воздействии сейсмических нагрузок. Необходимо учитывать особенности сейсмических воздействий, исследовать действительную работу материалов, элементов и конструкций зданий и сооружений, а также внедрять современные технологические решения, направленные на повышение их сейсмостойкости. Такой подход позволяет существенно снизить риски ненормативных повреждений и разрушений, обеспечивая высокую надежность и безопасность зданий и сооружений в условиях воздействия сейсмических нагрузок.

Одним из ключевых элементов конструктивной системы здания, участвующих в обеспечении его устойчивости к сейсмическим воздействиям, является система перекрытий. Она играет важнейшую роль в перераспределении и передаче сейсмических нагрузок на несущие вертикальные конструкции здания. Растущий спрос на безопасные и эффективные конструктивные решения и методы строительства стимулирует исследование гибридных конструктивных решений, которые могут сочетать легкость с высокой, по отношению к собственному весу, несущей способностью. Одним из примеров таких конструктивных решений является использование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе каркаса из холодногнутых тонкостенных профилей и профилированного настила с устройством железобетонной плиты поверх нее.

Комбинированные сталежелезобетонные перекрытия с использованием легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) представляют собой современную альтернативу традиционным строительным решениям, сочетающую в себе легкость, высокую прочность и жесткость. Данные конструкции обеспечивают значительное снижение веса здания, что снижает нагрузку на фундамент и позволяет увеличить устойчивость к сейсмическим воздействиям. Благодаря высокой несущей способ-

ности и гибкости проектирования такие перекрытия подходят как для малоэтажного, так и для многоэтажного строительства, предлагая более экономичное и эффективное решение в сравнении с классическими системами.

Применение комбинированной системы позволяет использовать преимущества стали, такие как: высокая прочность, пластичность и скорость монтажа, при сохранении преимуществ бетона, в частности жесткости и огнестойкости. Включение профилированного настила в качестве несъемной опалубки обеспечивает дополнительные преимущества, включая улучшение конструктивных характеристик и эффективности строительства.

Конструктивные системы зданий с применением каркасов из ЛСТК достаточно давно востребованы на рынке строительства, но в кризисные времена, как показала пандемия COVID-19, технология сухого и быстровозводимого строительства с использованием ЛСТК оказалась особенно актуальной. По этим причинам конструктивные системы зданий на основе ЛСТК переживают бум на протяжении многих лет как в области их применения для несущих конструкций, так и для ненесущих и самонесущих конструкций и, прежде всего, для строительства зданий в сейсмоопасных районах, где легкость играет одну из ключевых ролей в обеспечении их сейсмостойкости.

В настоящей статье рассматриваются особенности и преимущества применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в сейсмических районах.

Материалы и методы

Данное исследование является результатом выполненной авторами с целью обзорного анализа, демонстрации текущего прогресса, проблем и будущих направлений исследований работы, связанной с поиском и анализом литературных источников, содержащих информацию об особенностях применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе легких стальных тонкостенных кон-

струкций в сейсмических районах. В процессе работы использованы: систематизация, структурный, сравнительный и сопоставительный анализы, теоретическое обобщение материалов, полученных при анализе отечественных и зарубежных литературных источников, содержащих информацию о результатах исследований комбинированных сталежелезобетонных перекрытий зданий на основе каркасов из легких стальных тонкостенных конструкций, возводимых в сейсмических районах. Информация, полученная в ходе работы, систематизирована и структурирована, основные результаты исследования представлены в данной статье.

Результаты исследования

Основными конструктивными элементами каркасно-обшивных конструкций по технологии ЛСТК в зданиях являются стены и перекрытия, в том числе стропильные системы покрытий. Принцип устройства каркасно-обшивной конструкции состоит в том, что элементы каркаса из стальных холодногнутых профилей заполняются эффективным утеплителем и обшиваются плитными материалами с последующей отделкой и, обеспечивая совместную работу, образуют таким способом единую конструкцию стен и перекрытий (покрытий).

Каркасно-обшивные конструкции стен и перекрытий (покрытий) состоят из вертикальных стоек (в случае стен) и горизонтальных балок (в случае перекрытий), расположенных на расстоянии от 300 до 600 мм, концы которых крепятся к направляющим, которые поддерживают стойки или балки каркаса для стен и перекрытий соответственно.

В качестве каркаса несущих стен и перекрытий (покрытий) могут использоваться элементы различной конфигурации, проиллюстрированные на рис. 1. Профили различаются между собой несущей способностью и жесткостью. Также для увеличения жесткости и прочности каркасно-обшивной несущей конструкции можно использовать состав-

ные сечения (например, двутавровые сечения, коробчатые и т. д.).

Основой комбинированного сталежелезобетонного перекрытия с применением легких стальных тонкостенных конструкций служит каркас из холодногнутых профилей. Наиболее часто для устройства каркаса конструкций перекрытий применяются профили С- и Z-образной формы, а также составные двутавровые сечения.

Как правило, холодногнутые стальные профили применяются в следующем диапазоне размеров:

- по толщине металла – от 1,2 до 4 мм;
- по высоте стенок – от 200 до 380 мм;
- по ширине полок – от 50 до 125 мм.

Основной шаг балок каркаса перекрытия, как правило, соответствует шагу стоек в каркасах стеновых панелей и принимается равным 600 мм. Пролет балок назначается с учетом объемно-планировочных решений конкретного проекта здания. Для организации горизонтальных дисков жесткости может предусматриваться использование панелей обшивки из конструкционных плитных материалов, профилированного настила, в том числе с устройством монолитной плиты поверх настила или с заполнением каркаса панели перекрытия пенобетоном неавтоклавного твердения.

Профилированный настил в сталежелезобетонных перекрытиях применяют в качестве элементов несъемной опалубки. Использование профилированного настила в таких перекрытиях позволяет достичь оптимального сочетания несущей способности и легкости конструкции, что особенно актуально для зданий, возводимых в сейсмически активных районах. Разница в весе несущих конструкций на единицу площади между ЛСТК и традиционными конструктивными системами может составлять от 1,7 до 8,5 раза в зависимости от типа конструктивной системы здания и его этажности. В табл. 1 приведено сравнение среднего веса несущих конструкций здания на 1 м² его площади.

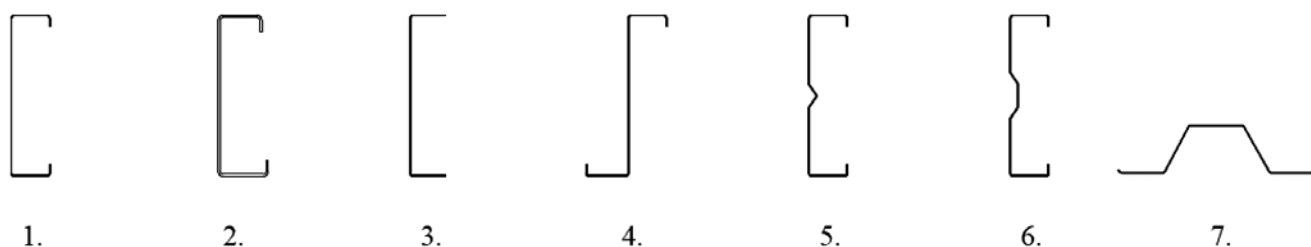


Рис. 1. Основные типы сечений холодногнутых профилей: 1 – С-образное равнополочное сечение (С-профиль); 2 – С-образное неравнополочное сечение (С-профиль); 3 – швеллерное сечение (швеллерообразный профиль); 4 – Z-образное сечение (Z-профиль); 5 – Σ (сигма)-образное сечение (Σ -профиль); 6 – Σ -профиль с вытянутым вдоль стенки рифом; 7 – П-образное сечение (Ω -профиль)

Fig. 1. Main types of cross sections of the cold-formed profiles: 1 – C-shaped equal-flange section (C-profile); 2 – C-shaped unequal-flange section (C-profile); 3 – channel section (channel-shaped profile); 4 – Z-shaped section (Z-profile); 5 – Σ (sigma)-shaped section (Σ -profile); 6 – Σ -profile with a reef extended along the wall; 7 – U-shaped section (Ω -profile)

Таблица 1

Table 1

Значения среднего веса несущих конструкций здания на 1 м² его площади
Values of the average weight of load-bearing structures of a building per 1 м² of its area

Тип конструктивной системы	Средний вес несущих конструкций на единицу площади здания, кН/м ²
Здания из каменных конструкций	7–10
Каркасные здания из монолитного железобетона	4–6
Стальные каркасные здания с железобетонными плитами перекрытий	2,5–4
Каркасно-обшивная система из ЛСТК	0,8–1,5

Основным элементом, обеспечивающим жесткость и устойчивость сталежелезобетонного перекрытия, является железобетонная плита. В комбинированных сталежелезобетонных перекрытиях, как правило, используется бетон средней прочности (25–35 МПа), но в зависимости от проектных решений и требований возможно применение бетона более высокой прочности.

Для обеспечения совместной работы элементов ЛСТК каркаса, профилированного настила и железобетонной панели перекрытия используются различные виды соединения: болты, сварные швы, саморезы. Наиболее часто используются соединения на саморезах, как самые простые в устройстве в постройных условиях на строительной площадке.

Совместная работа профнастила с бетоном обеспечивается за счет элементов крепления профлиста с каркасом ЛСТК, анкерных выпусков, соединенных с балками в местах опирания профнастила и установки арматурной сетки, штампованными рифами на контактных поверхностях профнастила. Однако анкеровка профнастила лишь на опорах эффективна для увеличения сдвиговой жесткости комбинированной системы перекрытия, но может быть недостаточной для обеспечения его несущей способности при значительных знакопеременных сдвиговых деформациях, возникающих при сейсмических воздействиях. Исследование [1] свидетельствует, что отсутствие анкеровки в пролете плиты приводит к снижению в 3,8 раза предельных деформаций сжатия бетона, в 1,28 раза деформаций в растянутом профнастиле и, как следствие, к снижению в 1,9 раза несущей способности конструкции бетонного перекрытия, армированного профнастилом (рис. 2).

Применение профнастила с зигзагообразными штампованными рифами в качестве единственного элемента внешнего армирования без анкеровки в пролете и стержневой арматуры в растянутой зоне требует особой осторожности, учитывая повышенную деформативность такой системы даже при вертикальных эксплуатационных нагрузках (рис. 3). Такие плиты перекрытий, как правило, не создают жесткий диск

и не вносят вклад в распределение жесткостей между вертикальными конструкциями здания. Профнастил с зигзагообразными штампованными рифами следует использовать преимущественно как дополнительную меру для повышения сдвигового сопротивления на контакте «сталь – бетон», особенно в условиях значительных знакопеременных сдвиговых деформаций, возникающих при сейсмических воздействиях.

Профилированный настил играет ключевую роль в повышении жесткости и устойчивости комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций. Профнастил выступает в качестве элемента армирования для бетонной плиты, улучшая несущую способность и снижая риск образования трещин при сейсмических воздействиях. При этом форма и конфигурация профилированного настила могут оказывать значительное влияние на поведение перекрытия при сейсмических воздействиях.

Специфика возведения зданий со сталежелезобетонными перекрытиями в районах повышенной сейсмичности вызывает необходимость совершенствования конструктивных решений железобетонных конструкций перекрытий, армированных стальным профнастилом, с целью восприятия крутящих моментов, знакопеременных нагрузок и перекосов при условии необходимости снижения собственного веса перекрытия. На рис. 4 приведены некоторые эффективные конструкции перекрытий повышенной сдвиговой и крутильной жесткости, армированные стальным профнастилом с поперечными анкерами в пролете [2, 3].

Проектирование сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК требует учета ключевых факторов, влияющих на обеспечение их надежности и эффективности при сейсмических воздействиях. Одним из наиболее важных факторов является сдвиговая прочность соединения между стальным каркасом из ЛСТК, профилированным настилом и бетонной плитой. Для обеспечения надежной передачи нагрузок между элементами системы при эксплуатационных нагрузках и сейсмических воздействиях необ-

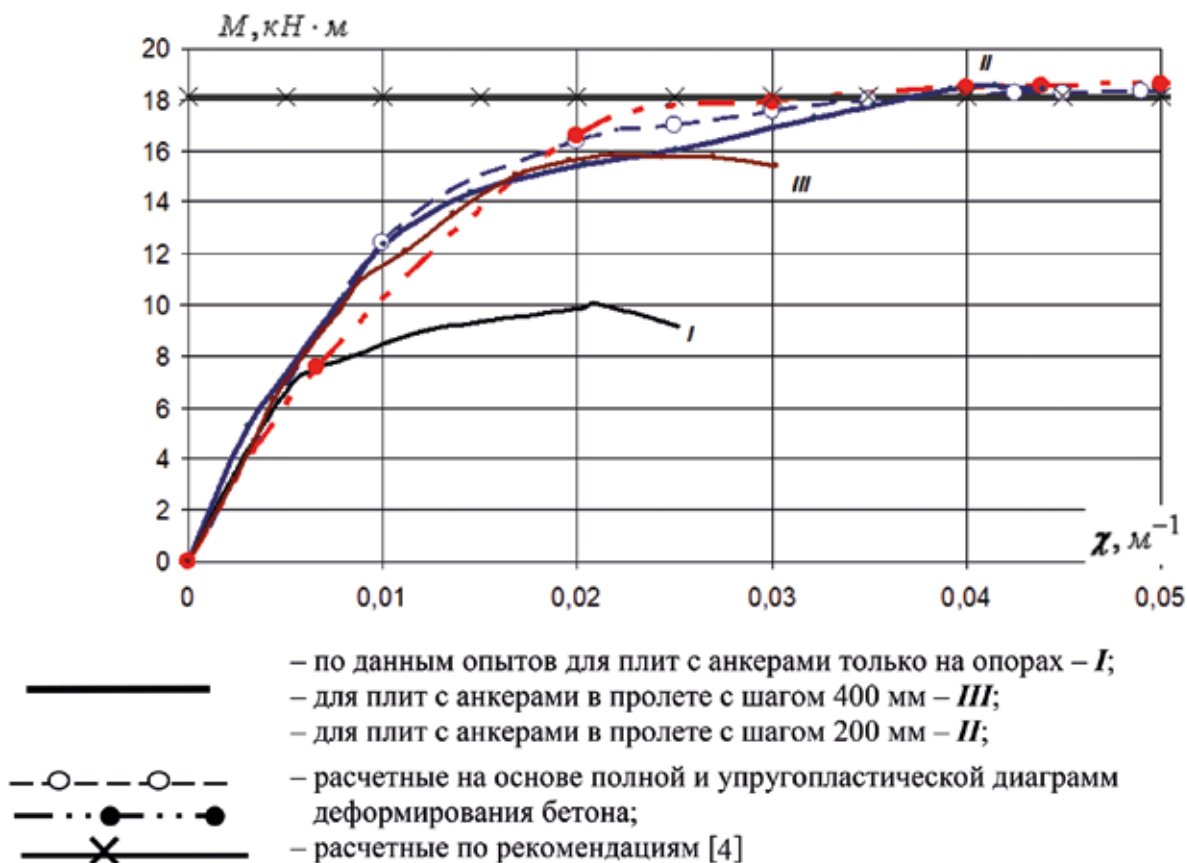


Рис. 2. Диаграммы «М – χ » для плит с анкерами в пролете и на опорах [1]

Fig. 2. “M – χ ” diagrams for slabs with anchors in the span and on supports [1]

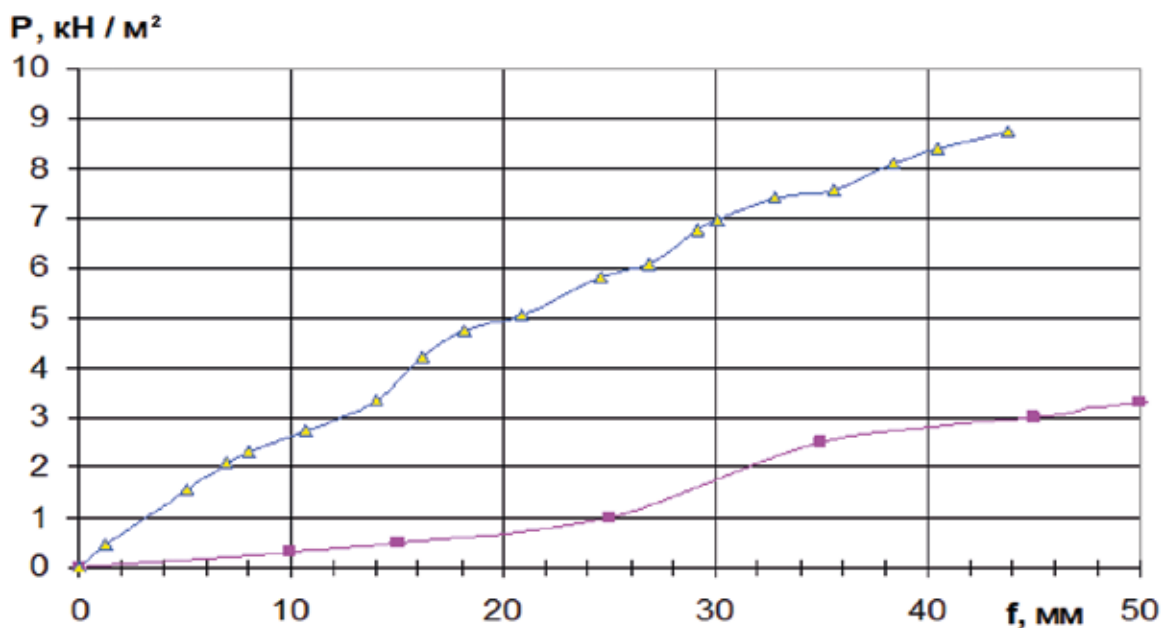


Рис. 3. Сопоставление зависимостей «нагрузка – прогиб» пустотнорёбристых плит пролетом 6 м с поперечными анкерами в пролете (синяя линия) [5] и плит, армированных профнастилом SKH 90-1000Z с зигзагообразной штамповкой рифами (розовая линия) [6]

Fig. 3. Comparison of the “load – deflection” dependencies of ribbed slabs with a span of 6 m with transverse anchors in the span (blue line) [5] and slabs reinforced with SKH 90-1000Z corrugated sheeting with zigzag stamping of ribs (pink line) [6]



Рис. 4. Эффективные конструкции перекрытий повышенной сдвиговой жесткости, армированные стальным профнастилом с поперечными анкерами в пролете [2, 3]
Fig. 4. Efficient structures of floors with increased shear rigidity, reinforced with steel corrugated sheets with transverse anchors in the span [2, 3]

ходимо тщательно прорабатывать конструкцию этих соединений. Применение самонарезающих винтов или других типов механических соединений на опорах и в пролете плиты перекрытия может значительно увеличить композитное взаимодействие стали и бетона, что способствует повышению жесткости и несущей способности комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК.

Толщина бетонной плиты является ключевым фактором для обеспечения необходимой несущей способности и деформативности сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК при сейсмических нагрузках. Она должна быть рассчитана таким образом, чтобы гарантировать достаточную несущую способность и жесткость для восприятия эксплуатационных нагрузок и сейсмических воздействий, соответствовать требованиям динамической комфортности и одновременно минимизировать общий вес конструкции. Не менее важное значение имеют тип и количество арматуры в плите. Арматура должна быть рассчитана таким образом, чтобы обеспечивать достаточную прочность на растяжение, предотвращая образование трещин, и придавать конструкции пластичность, необходимую для эффективного восприятия сейсмических воздействий.

Технология ЛСТК была внедрена в практику строительства более двух десятилетий назад, однако нормативно-техническая база, регулирующая нормы и правила к расчету и проектированию конструкций зданий из ЛСТК, в России начала формироваться только после 2016 года с вступлением в силу СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» [7]. Следует отметить, что данный стандарт не охватывает проектирование конструкций зданий из ЛСТК, предназначенных для возведения в сейсмически активных районах. В России проектирование зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, регламентируется СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная

редакция СНиП II-7-81*» [8]. В рамках изменения № 4 к СП 14.13330.2018 [8], на основании проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, включающих обширные экспериментальные исследования, были установлены требования к расчету и проектированию зданий из каркасно-обшивных конструкций с применением каркасов из стальных холодногнутых оцинкованных профилей.

Зарубежные нормативные документы, такие как AISI S400-15 [9] и NBCC [10], содержат требования к проектированию зданий из ЛСТК. Эти требования охватывают каркасно-обшивные конструкции с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей с панелями обшивок из деревянных конструкционных панелей, стального листа или гипсокартонных обшивок, каркасы с крестообразными связями из стальных лент, а также рамные каркасы с болтовыми соединениями (по принципу стальных каркасов на основе горячекатаного металлопроката). Однако, как и отечественные стандарты, они не регламентируют требования для расчета и проектирования комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций.

Экспериментальные исследования по изучению поведения каркасно-обшивных конструкций из ЛСТК под действием сейсмических нагрузок начались в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века. В последние годы было проведено множество экспериментальных исследований сейсмостойкости конструкций из ЛСТК. Большая часть этих работ была сосредоточена на исследованиях сейсмостойкости вертикальных несущих конструкций каркасно-обшивных стен [11–18]. Ведутся многочисленные работы в области исследования соединений элементов каркаса между собой [19–22] и поведения ненесущих конструкций из ЛСТК [23–25] при действии на них нагрузок, моделирующих сейсмические. В Российской Федерации на базе центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко также ведутся активные исследования в данных направлениях [26–29].

Несмотря на значимость горизонтальных дисков перекрытий и покрытий в перераспределении сейсмических нагрузок, сопоставимую с ролью вертикальных несущих конструкций, их поведение при сейсмических воздействиях изучено значительно меньше. Исследования в этой области ограничены, что подтверждается отдельными работами, проведенными в Канаде на горизонтальных диафрагмах из ЛСТК, обшитых деревянными конструкционными панелями

(рис. 5а), с различными конструктивными решениями и слоями отделочного материала [30], а также в Италии на горизонтальных диафрагмах из ЛСТК со стальным настилом (рис. 5б) [31].

В рамках проекта LAMIEREDIL [32, 33] была проанализирована сейсмическая реакция двух трехэтажных моделей в масштабе 1:3, выполненных из ЛСТК с ленточными крестообразными связями (рис. 6).



a (a)



б (b)

Рис. 5. а – образец горизонтальной диафрагмы (перекрытия) с обшивкой из деревянных конструкционных панелей [30];

б – образец горизонтальной диафрагмы (перекрытия) со стальным настилом [31]

Fig. 5. a – a specimen of a horizontal diaphragm (ceiling) with sheathing made of wooden structural panels [30];

b – a specimen of a horizontal diaphragm (ceiling) with steel decking [31]

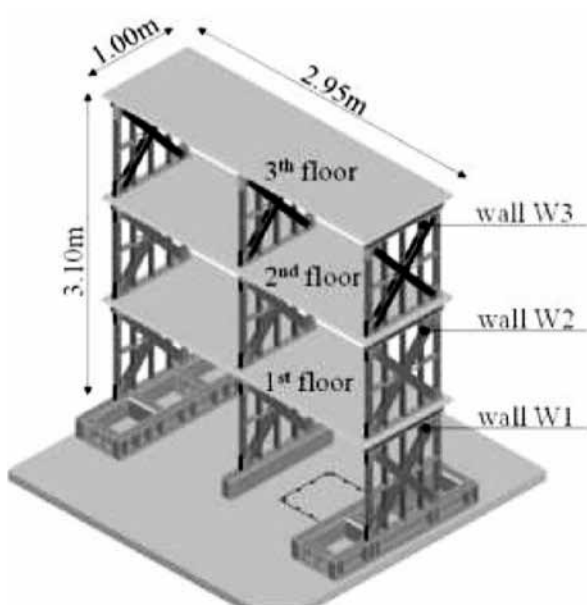


Рис. 6. Полномасштабные испытания экспериментального образца LAMIEREDIL [32]

Fig. 6. A full-scale testing of the LAMIEREDIL sample [32]

Опытные образцы различались конструктивным решением перекрытий: для первого типа образца были выполнены сталежелезобетонные перекрытия по профлисту, для второго типа образца были выполнены перекрытия с обшивкой из ориентированно-стружечной плиты (ОСП) толщиной 18 мм (рис. 7). Исследование проводилось на сейсоплатформе, результаты испытаний показали, что глобальная реакция конструктивной системы была почти линейной для обоих образцов в рамках проектных уровней сейсмического воздействия. Для испытаний с более высокой интенсивностью сейсмического воздействия глобальная реакция системы отклонялась от линейной, образец получал повреждения, идентифицируемые при визуальном осмотре конструкций (деформации ленточных крестообразных связей, ослабление соединений).

Максимальное межэтажное смещение, зарегистрированное на третьем уровне экспериментального образца, составило 3,62 % для образца со сталежелезобетонными плитами перекрытий и 2,44 % для плит перекрытий с обшивкой ОСП панелями. Наблюдаемые повреждения образца представляли собой пластические деформации вертикальных ленточных связей и ослабление болтов анкерующих элементов узлов соединений стеновых панелей с фундаментом и плитами перекрытий для обоих типов испытанных образцов. Для экспериментального образца с плитами перекрытий с обшивкой ОСП панелями также наблюдалась локальная потеря устойчивости полок вертикальных стоек каркаса стеновой панели. Плиты перекрытий обоих типов экспериментальных образцов в процессе испытаний работали как жесткие горизонтальные диски.

В России исследование особенностей действительной работы сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, в том числе для их применения в сейсмических районах, до настоящего времени не проводилось.

Применение комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК в зданиях, возводимых в сейсмически активных районах, обладает значительными преимуществами, однако сопровождается рядом технических вызовов и ограничений. Одной из ключевых задач будущих исследований является разработка технических решений, обеспечивающих эффективную работу всех элементов системы. Особое внимание должно быть уделено соединениям между стальным каркасом, профилированным настилом и бетонной плитой, так как они играют важную роль в обеспечении надежной передачи нагрузок и композитном взаимодействии между элементами системы при эксплуатационных нагрузках и сейсмических воздействиях. Кроме того, разрабатываемые решения сдвигоустойчивых соединений требуют обязательных экспериментальных исследований для подтверждения их надежности и эффективности.

Заключение и обсуждение

В статье проанализированы и обобщены результаты существующих исследований, посвященных особенностям использования комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе легких стальных тонкостенных конструкций в зданиях, возводимых в сейсмоопасных районах.

Основные результаты исследования можно резюмировать следующим образом:

1. Комбинированные сталежелезобетонные перекрытия на основе ЛСТК являются перспективным и эффективным решением, способствующим повышению сейсмостойкости зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах. Эти конструкции отличаются легкостью, высокой несущей способностью относительно собственного веса и ускоряют процесс строительства. В совокупности такие свойства делают их конкурентоспособной альтернативой традиционным технологиям, применяемым при строительстве зданий, возводимых в сейсмических районах.

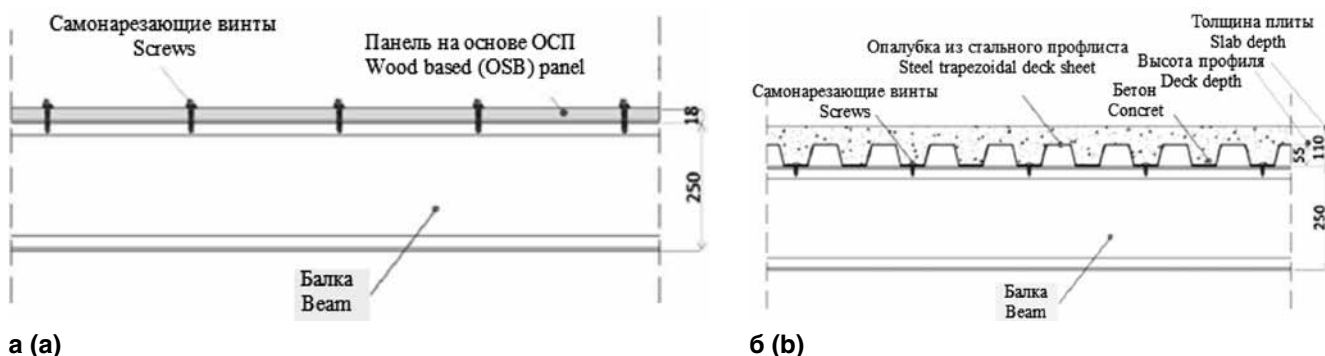


Рис. 7. Конструкция плит перекрытий экспериментального образца LAMIEREDIL (размеры в мм) [33]:

а – сталежелезобетонное перекрытие по профлисту (образец первого типа);

б – перекрытие с обшивкой ОСП панелями (образец второго типа)

Fig. 7. Construction of the experimental floor slabs of LAMIEREDIL sample (lengths in mm) [33]:

a – steel-reinforced concrete shaped sheet floors (Type 1 sample); b – floor made of wood-based (OSB) panels (Type 2 sample)

2. Тонкостенные сечения подвержены различным режимам потери устойчивости, включая глобальные и локальные, особенно при их использовании в качестве изгибаемых элементов, что является одним из их возможных конструктивных ограничений для применения в различных конструкциях. С учетом этого оптимальной конструкцией комбинированной сталежелезобетонной плиты перекрытия на основе ЛСТК является конструкция, в которой нейтральная ось проходит по границе бетонной плиты и балок из ЛСТК. В этом случае достигается максимальная эффективность работы всех компонентов композитной системы: тонкостенные балки воспринимают растягивающие усилия, что позволяет им развивать пластические деформации при сейсмических воздействиях в полной мере, а бетон работает на сжатие.

3. За счет эффективного взаимодействия стального каркаса, профилированного настила и бетонного слоя обеспечивается оптимальный баланс между жесткостью и пластичностью конструкции комбинированного сталежелезобетонного перекрытия, что особенно важно для сопротивления сейсмическим нагрузкам и обеспечения надежности и механической безопасности здания.

4. Несмотря на значительный потенциал технологии, в отечественных и зарубежных нормативных документах отсутствуют положения, регулирующие проектирование комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК зданий, возводимых в сейсмических районах. Этот пробел в нормативной базе ограничивает их широкое внедрение в строительной практике.

5. Для преодоления данной проблемы требуется проведение комплексных исследований действительной работы таких конструкций, включая изучение их поведения под воздействием сейсмических нагрузок. Важными задачами являются изучение прочности и деформативности соединений комбинированной конструкции, разработка критериев проектирования и нормирование параметров сейсмостойкости, обеспечивающих их надежность и механическую безопасность.

6. Учитывая огромные масштабы территории Российской Федерации, разнообразие климатических и сейсмических зон, а также особенности и широкий спектр потенциальных решений комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, исследование их действительной работы при действии сейсмических воздействий становится приоритетной задачей. Это позволит значительно расширить возможности применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК при строительстве зданий в сейсмических районах.

Дальнейшее развитие нормативной базы и прикладных исследований в данной области станет важным шагом к обеспечению надежного и безопасного

применения комбинированных сталежелезобетонных перекрытий на основе ЛСТК, способствуя развитию современного сейсмостойкого строительства.

Список литературы

1. Беляева С.Ю., Присяжнюк Н.В., Давиденко А.И. К вопросу совершенствования методики расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов, армированных стальным профилированным настилом // *Строительные конструкции: Межвед. научн-техн. сб. науч. работ*. Киев: НИИСК, 2004. Вып. 60. С. 542–546.
2. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом / НИИЖБ, ЦНИИПромизданий. Москва: Стройиздат, 1987. 40 с.
3. Давиденко А.И., Давиденко М.А., Беляева С.Ю., Присяжнюк Н.В. Трубчато-ребристая железобетонная плита со стальным профилированным настилом: конструктивное решение и расчет прочности // *Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. научных трудов*. Одесса, 2005. Ч. 1. С. 62–67.
4. Боярский А.В., Елисеев Ю.И. Новые эффективные профилированные настилы для армирования композитных плит // *Строительные материалы и технологии*. 2007. Вып. 24. С. 9–12.
5. Давиденко А.И., Давиденко М.А., Присяжнюк Н.В., Райтаровский А.Н., Мазур С.Е., Белов И.Д. Трубчато-ребристая конструкция перекрытия со стальным профилированным настилом. Патент 9769 Е 01 В 5/40. ДонДТУ. № 200503027. Заявл. 04.04.05. Оpubл. 17.10.05. Бюл. № 10.
6. Беляева С.Ю. К расчету прочности монолитной железобетонной конструкции перекрытия с двойным профилированным настилом // *Межвед. научн-техн. сб. науч. работ*. Киев: НИИСК, 2005. Вып. 63. С. 37–42.
7. СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2016.
8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ, 2018.
9. AISI S400-15. North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems. Washington, DC, USA: American Iron and Steel Institute (AISI), 2015.
10. NBCC. National Building Code of Canada. Ottawa, ON, Canada: National Research Council of Canada (NRCC), 2005.
11. Schafer B.W., Ayhan D., Leng J., Liu P., Padilla-Llano D., Peterman K.D., Stehman M., Buonopane S.G., Eatherton M., Madsen R., et al. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Structures*. 2016, no. 8, pp. 197–212.

12. Buonopane S.G., Bian G., Tun T.H., Schafer B.W. Computationally Efficient Fastener-Based Models of Cold-Formed Steel Shear Walls with Wood Sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 110, pp. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.03.008>
13. Ayhan D., Schafer B.W. Cold-formed steel member bending stiffness prediction. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 115, pp. 148–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.07.004>
14. Liu O., Peterman K.D., Yu C., Schafer B.W. Impact of construction details on OSB-sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014, vol. 101, pp. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.05.003>
15. Ayhan D., Qin Y., Torabian S., Schafer B.W. Characterizing joist-ledger performance for cold-formed steel light frame construction. *Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 15 p.
16. Schafer B.W. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the Eight International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 22 p.
17. Peterman K.D., Schafer B.W. Experimental determination of base shear from full-scale shake table testing of two cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015.
18. Bian G., Padilla-Llano D.A., Leng J., Buonopane S.G., Moen C.D., Schafer B.W. OpenSEES modeling of cold formed steel framed wall system. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23911.65441>
19. Swensen S., Deierlein G.G., Miranda E. Behavior of screw and adhesive connections to gypsum wallboard in wood and cold-formed steel-framed wallframes. *Journal of Structural Engineering*. 2016, vol. 142, issue 4, E4015002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001307](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001307)
20. Ye J., Wang X., Zhao M. Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016, vol. 121, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.12.027>
21. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Experimental characterization of quick mechanical connecting systems for cold-formed steel structures. *Advances in Structural Engineering*. 2017, vol. 20, issue 7, pp. 1098–1110. DOI: <https://doi.org/10.1177/1369433216671318>
22. Fiorino L., Pali T., Bucciero B., Macillo V., Terracciano M.T., Landolfo R. Experimental study on screwed connections for sheathed CFS structures with gypsum or cement based panels. *Thin-Walled Structures*. 2017, vol. 116, pp. 234–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.03.031>
23. Jenkins C., Soroushian S., Rahmanishamsi E., Maragakis E.M. Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems. *Thin-Walled Structures*. 2016, vol. 103, pp. 115–127.
24. Wang X., Pantoli E., Hutchinson T.C., Restrepo J.I., Wood R.L., Hoehler M.S., Grzesik P., Sesma F.H. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building. *Journal of Structural Engineering*. 2015, vol. 141, no. 10, 04015014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001245)
25. Magliulo G., Petrone C., Capozzi V., et al. Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014, vol. 12, pp. 1657–1677. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9567-8>
26. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Доттуев А.И., Назмева Т.В. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. Том 31. № 4. С. 98–109. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-98-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-98-109)
27. Гизятуллин И.Р. Экспериментальные исследования каркасно-обшивочных конструкций стен из легких стальных тонкостенных конструкций при действии сейсмических нагрузок // *Научный потенциал строительной отрасли: Сборник материалов II научно-практической конференции, Москва, 22 сентября 2021 года*. Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2021. С. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-13-17>
28. Гизятуллин И.Р. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей: обзор и анализ современного состояния вопроса // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. Том 32. № 1. С. 30–52. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-30-52](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-30-52)
29. Гизятуллин И.Р. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей // *Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству*. 2022. № 1 (13). С. 19–49. DOI: <https://doi.org/10.38054/iaeee-202203>
30. Nikolaidou V., Latreille P., Rogers C.A., Lignos D.G. Characterization of cold-formed steel framed/woodsheathed floor and roof diaphragm structures. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE*. Santiago, Chile, 9–13 January 2017. 2017, p. 452.

31. Baldassino N., Bernardi M., Zandonini R., Zordan M. Study of cold-formed steel floor systems under shear loadings. *Proceedings of the Eighth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2018)*. Lisbon, Portugal, 24–27 July 2018.
32. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Shake table tests of a full-scale two-story sheathing-braced cold-formed steel building. *Engineering Structures*. 2017, vol. 151, pp. 633–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.056>
33. Campiche A. Numerical modelling of CFS three-story strap-braced building under shaking-table excitations. *Materials*. 2021, vol. 14, no. 1, p. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010118>
9. AISI S400-15 North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems. Washington, DC, USA: American Iron and Steel Institute (AISI), 2015.
10. NBCC. National Building Code of Canada. Ottawa, ON, Canada: National Research Council of Canada (NRCC), 2005.
11. Schafer B.W., Ayhan D., Leng J., Liu P., Padilla-Llano D., Peterman K.D., Stehman M., Buonopane S.G., Eatherton M., Madsen R., et al. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Structures*. 2016, no. 8, pp. 197–212.
12. Buonopane S.G., Bian G., Tun T.H., Schafer B.W. Computationally Efficient Fastener-Based Models of Cold-Formed Steel Shear Walls with Wood Sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 110, pp. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.03.008>

References

1. Belyaeva S.Yu., Prisyazhnyuk N.V., Davidenko A.I. On the Improvement of the Methodology for Calculating the Strength of Reinforced Concrete Flexural Elements Reinforced with Steel Profiled Decking. *Construction Structures: Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Research Papers*. Kyiv: NNISK, 2004, issue 60, pp. 542–546. (In Russian).
2. Recommendations for the design of monolithic reinforced concrete floors with steel profiled decking / NIIZHB, TsNIIPromizdany. Moscow: Stroyizdat Publ., 1987, 40 p. (In Russian).
3. Davidenko A.I., Davidenko M.A., Belyaeva S.Yu., Prisyazhnyuk N.V. Tubular-Ribbed Reinforced Concrete Slab with Steel Profiled Decking: Design Solution and Strength Calculation. *Modern Building Structures Made of Metal and Wood: Collection of Scientific Papers*. Odessa, 2005, Part 1, pp. 62–67. (In Russian).
4. Boyarsky A.V., Eliseev Yu.I. New Effective Profiled Decking for Reinforcement of Composite Slabs. *Building Materials and Technologies*. 2007, issue 24, pp. 9–12. (In Russian).
5. Davidenko A.I., Davidenko M.A., Prisyazhnyuk N.V., Raitarovskiy A.N., Mazur S.E., Belov I.D. Patent 9769 E 01 B 5/40. Tubular-Ribbed Flooring Structure with Steel Profiled Decking. DonSTU. Application No. 200503027. Filed April 4, 2005. Published October 17, 2005. Bulletin No. 10. (In Russian).
6. Belyaeva S.Yu. Strength Calculation of Monolithic Reinforced Concrete Slabs with Double Profiled Decking. *Construction Structures: Interdepartmental Scientific and Technical Collection of Research Papers*. Kyiv: NIISK, 2005, issue 63, pp. 37–42. (In Russian).
7. SP 260.1325800.2016. Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design rules. Moscow: Standardinform Publ., 2016. (In Russian).
8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNIIP II-7-81*. Moscow: Standardinform Publ., 2018. (In Russian).
13. Ayhan D., Schafer B.W. Cold-formed steel member bending stiffness prediction. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015, vol. 115, pp. 148–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.07.004>
14. Liu O., Peterman K.D., Yu C., Schafer B.W. Impact of construction details on OSB-sheathed cold-formed steel framed shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*. 2014, vol. 101, pp. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.05.003>
15. Ayhan D., Qin Y., Torabian S., Schafer B.W. Characterizing joist-ledger performance for cold-formed steel light frame construction. *Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 15 p.
16. Schafer B.W. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the Eight International Conference on Advances in Steel Structures*. Lisbon, Portugal, July 22–24. 2015, 22 p.
17. Peterman K.D., Schafer B.W. Experimental determination of base shear from full-scale shake table testing of two cold-formed steel framed buildings. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015.
18. Bian G., Padilla-Llano D.A., Leng J., Buonopane S.G., Moen C.D., Schafer B.W. OpenSEES modeling of cold formed steel framed wall system. *Proceedings of the 8th International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas – STESSA 2015*. Shanghai, China, July 1–4. 2015. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23911.65441>
19. Swensen S., Deierlein G.G., Miranda E. Behavior of screw and adhesive connections to gypsum wallboard in wood and cold-formed steel-framed wall-joints. *Journal of Structural Engineering*. 2016, vol. 142, issue 4, E4015002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001307](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001307)

20. Ye J., Wang X., Zhao M. Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016, vol. 121, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.12.027>
21. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Experimental characterization of quick mechanical connecting systems for cold-formed steel structures. *Advances in Structural Engineering*. 2017, vol. 20, issue 7, pp. 1098–1110. DOI: <https://doi.org/10.1177/1369433216671318>
22. Fiorino L., Pali T., Bucciero B., Macillo V., Terracciano M.T., Landolfo R. Experimental study on screwed connections for sheathed CFS structures with gypsum or cement based panels. *Thin-Walled Structures*. 2017, vol. 116, pp. 234–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.03.031>
23. Jenkins C., Soroushian S., Rahmanishamsi E., Maragakis E.M. Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems. *Thin-Walled Structures*. 2016, vol. 103, pp. 115–127.
24. Wang X., Pantoli E., Hutchinson T.C., Restrepo J.I., Wood R.L., Hoehler M.S., Grzesik P., Sesma F.H. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building. *Journal of Structural Engineering*. 2015, vol. 141, no. 10, 04015014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001245)
25. Magliulo G., Petrone C., Capozzi V., et al. Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014, vol. 12, pp. 1657–1677. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9567-8>
26. Bubis A.A., Giziattullin I.R., Dottuev A.I., Nazmeeva T.V. Seismic resistance of frame-cladding buildings with a cold-formed galvanized steel profile framing. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021, vol. 31, no. 4, pp. 98–109. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-98-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-98-109)
27. Giziattullin I.R. Experimental study on seismic performance of cold-formed steel shear walls. *Scientific Potential of the Construction Industry: Proceedings of the II Scientific and Practical Conference*, September 22, 2021. Moscow: JSC Research Center of Construction Publ., 2021, pp. 13–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.37538/2713-1157-2021-13-17>
28. Giziattullin I.R. Seismic resistance of frame-cladding buildings having cold-formed galvanized steel construction: review and analysis of current status. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022, vol. 32, no. 1, pp. 30–52. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-30-52](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-30-52)
29. Giziattullin I.R. Seismic resistance of frame-cladding buildings having cold-formed galvanized steel construction. *Bulletin of the International Association of Experts on Seismic-Resistant Construction*. 2022, no. 1 (13), 19–49. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.38054/iaeee-202203>
30. Nikolaidou V., Latreille P., Rogers C.A., Lignos D.G. Characterization of cold-formed steel framed/woodsheathed floor and roof diaphragm structures. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE*. Santiago, Chile, 9–13 January 2017. 2017, p. 452.
31. Baldassino N., Bernardi M., Zandonini R., Zordan M. Study of cold-formed steel floor systems under shear loadings. *Proceedings of the Eighth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2018)*. Lisbon, Portugal, 24–27 July 2018.
32. Fiorino L., Macillo V., Landolfo R. Shake table tests of a full-scale two-story sheathing-braced cold-formed steel building. *Engineering Structures*. 2017, vol. 151, pp. 633–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.056>
33. Campiche A. Numerical modelling of CFS three-story strap-braced building under shaking-table excitations. *Materials*. 2021, vol. 14, no. 1, p. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010118>

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Александрович Бубис, канд. техн. наук, руководитель центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
Alexander A. Bubis, Cand. Sci. (Engineering), Chief of Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Ильнур Разлеви́ч Гизятуллин[✉], заведующий сектором расчета сооружений лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
 e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Ilnur R. Giziattullin[✉], Head of the Structures Analysis Sector, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
 e-mail: ilnur@seismic-research.ru

Алексей Александрович Давиденко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
Aleksey A. Davidenko, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake

Protection, Structures Earthquake Resistance Research Center, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Инна Артемовна Петросян, младший научный сотрудник лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Inna A. Petrosyan, Junior Researcher, Laboratory of Earthquake-Resistant Structures and Innovative Methods of Earthquake Protection, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Татьяна Вильсовна Назмеева, канд. техн. наук, руководитель проектов инженерного центра, Ассоциация развития стального строительства, Москва

Tat'yana V. Nazmeyeva, Cand. Sci. (Engineering), Project Manager, Engineering Center, Association for the Development of Steel Construction, Moscow

Александр Иванович Давиденко, д-р техн. наук, профессор кафедры проектирования и строительства сельскохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова», Луганск

Alexander I. Davidenko, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Design and Construction of Agricultural Facilities, FSBEI HE Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk

Никита Игоревич Пушко, аспирант кафедры проектирования и строительства сельскохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет», Луганск

Nikita I. Pushko, Graduate student, Department of Design and Construction of Agricultural Facilities, FSBEI HE Lugansk State Agrarian University, Lugansk

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author