

УДК 699.841

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-98-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-98-109)

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ ИЗ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КАРКАСОМ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

А.А. БУБИС¹

И.Р. ГИЗЯТУЛЛИН^{1,✉}

А.И. ДОТТУЕВ¹

Т.В. НАЗМЕЕВА²

¹Центральный 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

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

Конструктивные системы зданий с применением технологии легких стальных тонкостенных конструкций неуклонно набирают популярность благодаря своим огромным преимуществам по сравнению с традиционными техническими решениями. В результате присущей технологии ЛСТК конкурентоспособности их использование постепенно увеличивается как при изготовлении несущих конструкций зданий, так и при изготовлении ненесущих конструкций. В то же время фактическое отсутствие национальных норм сейсмического проектирования требует разработки программ и выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по исследованию поведения зданий из ЛСТК в условиях сейсмических воздействий. В статье затронуты основные проблемы сейсмостойкого строительства зданий из ЛСТК, приведены результаты отечественных и зарубежных исследований.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции, сейсмостойкость, коэффициент допускаемых повреждений, испытания, экспериментальные исследования

Для цитирования: Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Доттуев А.И., Назмеева Т.В. Сейсмостойкость зданий из каркасно-обшивных конструкций с каркасом из стальных холодногнутох оцинкованных профилей // Вестник НИЦ «Строительство». 2021. Т. 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)

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

SEISMIC RESISTANCE OF FRAME-CLADDING BUILDINGS WITH A COLD-FORMED GALVANIZED STEEL PROFILE FRAMING

A.A. BUBIS¹

I.R. GIZYATULLIN^{1,✉}

A.I. DOTTUEV¹

T.V. NAZMEEVA²

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

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

Building structural systems with light gauge steel framing technology are steadily gaining popularity due to their huge advantages over traditional technical solutions. As a result of the competitiveness inherent in LGSF technology, its application is gradually increasing in the manufacture of both bearing and non-bearing structures. At the same time, the actual absence of national standards for seismic design requires the development of programs and the implementation of research and development work to study the behavior of LGSF buildings in the conditions of seismic impact. The article touches upon the main problems of antiseismic construction of LGSF buildings and presents the results of domestic and foreign research.

Keywords: light gauge steel framing structures, seismic resistance, seismic force reduction factor, tests, experimental studies

For citation: Bubis A.A., Gizyatullin I.R., Dottuev A.I., Nazmeeva T.V. Seismic resistance of frame-cladding buildings with a cold-formed galvanized steel profile framing. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021. Vol. 31. No. 4. P. 98–109 (In Russ.). 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)

Author contribution statements

All authors have contributed equally to the work.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Введение

Свыше 25 % территории Российской Федерации относится к сейсмоактивным районам, при этом значительную площадь занимают чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении 8–9 и свыше балльные зоны по шкале MSK-64. Некоторая часть из этих территорий особо привлекательна для освоения, поскольку обладает богатыми запасами природных ресурсов, другая часть территорий представляет собой зоны активного отдыха населения. Несмотря на труднодоступность, сейсмическую опасность, сложные грунтовые и климатические условия, строительство зданий и сооружений в сейсмоактивных районах активно развивается. Развитие данных территорий ставит перед строительной отраслью новые задачи по обеспечению сейсмостойкости зданий и сооружений.

Учитывая вышеуказанные факторы, применение традиционных строительных технологий для определенного класса зданий (малоэтажные и здания средней этажности) является



а



б

Рис. 1. Примеры построенных зданий из ЛСТК: *а* – трехэтажный трехподъездный многоквартирный жилой дом в г. Архангельске; *б* – 21-квартирный жилой дом в г. Никольске

Fig. 1. Examples of constructed LGSF buildings: *a* – three-storey three-entrance apartment building in Arkhangelsk; *b* – 21-apartment residential building in Nikolsk

менее рентабельным и привлекательным. В то время как технология строительства из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) обладает рядом преимуществ при строительстве зданий в сейсмоопасных районах, таких как: индустриальность изготовления, отсутствие мокрых процессов на строительной площадке, легкость, долговечность и экономичность. Примеры построенных на территории Российской Федерации зданий из ЛСТК представлены на рис. 1. Однако знания о сейсмическом поведении конструктивных систем зданий на основе ЛСТК по-прежнему ограничены, что, несомненно, является препятствием к их массовому применению.

1. Конструкции зданий с применением ЛСТК

Основными конструктивными элементами каркасно-обшивных конструкций по технологии ЛСТК в зданиях являются стены и диски перекрытий (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, выполняя совместную работу, образуют таким способом единую конструкцию (стену или перекрытие (покрытие)).

Каркасно-обшивные конструкции стен состоят из вертикальных стоек, расположенных на расстоянии от 300 до 600 мм, концы которых крепятся к направляющим, поддерживающим стойки. Для направляющих и стоек используются холодногнутые профили, изготовленные из оцинкованной стали толщиной до 4 мм. Для строительных конструкций, как правило, применяют следующие типы сечений профилей (рис. 2) [1]:

- С-профиль – холодногнутый профиль, образованный стенкой, двумя полками и двумя отгибами на полках. В зависимости от размера полок С-образные профили могут быть равнополочными и неравнополочными (рис. 2а и 2б соответственно). С-профиль применяется для несущих и ограждающих конструкций, для стоек и балок, элементов ферм и стропил.
- Швеллерообразный профиль – холодногнутый профиль, образованный стенкой и двумя полками, расположенными по одну сторону от стенки под прямым углом (рис. 2в). Используется в качестве направляющей для объединения элементов из С-профилей в общую работу (панель) и последующего их крепления к фундаменту или другим конструкциям. Швеллерообразный профиль запрещается использовать для несущих стоек каркаса стен, в связи с его низкой сопротивляемостью потери устойчивости ввиду отсутствия отгибов на полках.
- Z-профиль – холодногнутый профиль, образованный стенкой и двумя полками, расположенными по разные стороны от стенки. Z-профили могут быть равнополочными и неравнополочными (рис. 2г). Z-профиль применяется, как правило, для прогонов и элементов факхверка, но допускается использовать комбинированные сечения из нескольких Z-профилей для несущих и ограждающих конструкций.
- Σ -профиль – С-образный профиль со стенкой, усиленной сгибом или рифом (рис. 2д и 2е соответственно). Σ -профили могут быть равнополочными и неравнополочными. Применяются для несущих и ограждающих конструкций, для стоек и балок, элементов ферм и стропил. Наличие рифа повышает сопротивление профиля потери устойчивости. Рекомендуется для длинных стоек.
- Ω -профиль (П-образный или шляпный профиль) – холодногнутый профиль, образованный тремя стенками, две из которых одинакового размера и направлены в одну сторону и двумя полками, направленными наружу профиля (рис. 2ж). Как правило, изготавливают равнополочные П-профили, которые применяют для обрешетки и прогонов.

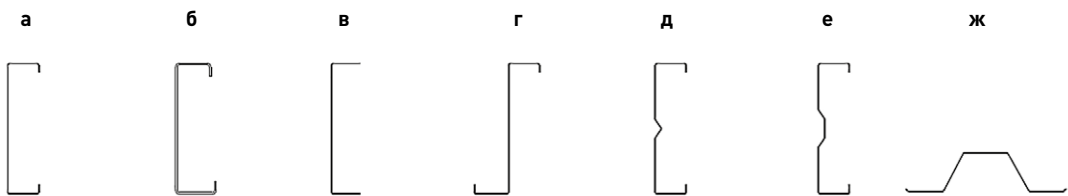


Рис. 2. Основные типы сечений холодногнутых профилей [1]: а – С-образное равнополочное сечение (С-профиль); б – С-образное неравнополочное сечение (С-профиль); в – швеллерное сечение (швеллерообразный профиль); г – Z-образное сечение (Z-профиль); д – Σ -образное сечение (Σ -профиль); е – Σ -профиль с вытянутым вдоль стенки рифом; ж – П-образное сечение (Ω -профиль)

Fig. 2. Main section types of cold-formed profiles [1]: а – C-shaped equal-flange (C-profile); б – C-shaped unequal (C-profile); в – U-shaped (U-profile); г – Z-shaped (Z-profile); д – Σ -shaped (Σ -profile); е – Σ -profile with a reef elongated along the wall; ж – Ω -shaped (Ω -profile)

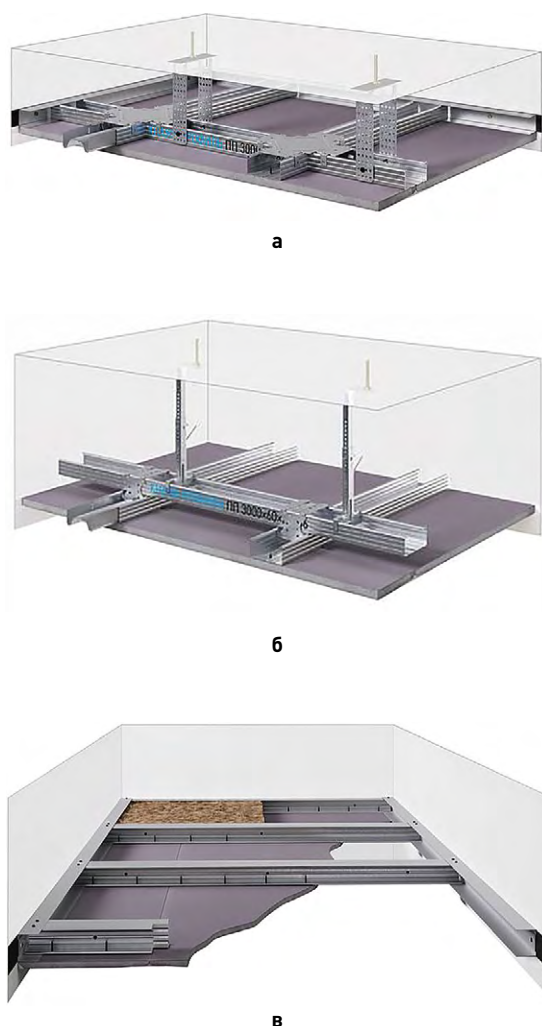


Рис. 3. Распространенные решения подвесных потолков из ЛСТК: а – каркас подвесного потолка по одноуровневой технологии; б – каркас подвесного потолка по двухуровневой технологии; в – каркас потолка с креплением к ограждающим конструкция помещения (стенам)

Fig. 3. Common solutions for LGSF suspended ceilings: а – one-level suspended ceiling frame; б – two-level suspended ceiling frame; в – ceiling frame with attachment to the cladding structure of the building (walls)

Типовое применение каркасно-обшивных конструкций по технологии ЛСТК в области несущих ограждающих конструкций – перегородки, подвесные потолки и фасадные системы (устройство заполнения проемов наружных стен, навесные фасадные панели). Каркасно-обшивные конструкции перегородок, как правило, изготавливаются из С- и швеллерообразных холодногнутых профилей. Направляющие из швеллерообразных профилей крепятся к полу и потолку, а стойки из С-профилей обычно размещаются на расстоянии, равном половине ширины панелей обшивки (обычно не более 600 мм), которые представляют собой гипсокартонные, гипсоволокнистые, цементные и прочие листы, прикрепленные к каркасу из ЛСТК через самонарезающиеся винты. Перегородки, изготовленные из каркасно-обшивных конструкций, могут достигать очень высоких технических характеристик. Например, высота стен может достигать до 12 м, звукоизоляция до 80 дБ, а предел огнестойкости до 120 мин.

Распространенные решения каркасов подвесных потолков из ЛСТК обычно изготавливают по одноуровневой технологии, когда несущие профили расположены в одном уровне (рис. 3а) и по двухуровневой технологии (рис. 3б), когда несущие профили расположены в разных уровнях. В помещениях с ограниченной высотой, как правило, применяется конструктивное решение каркаса потолка из ЛСТК, состоящего из профилей перегородочных систем, которые крепятся не к потолку, а к ограждающим конструкция помещения (стенам) (рис. 3в).

Каркасы из ЛСТК также применяются для изготовления ограждающих конструк-

ций зданий (рис. 4). Основным преимуществом использования ограждающих конструкций из ЛСТК является значительное снижение материальных и трудовых затрат, при этом использование рассматриваемой технологии позволяет сохранять высокие качественные и эксплуатационные характеристики.



Рис. 4. Применение каркасов из ЛСТК в ограждающих конструкциях зданий
Fig. 4. Application of LGSF in cladding structures of buildings

Сопротивление сейсмическому воздействию конструкций из ЛСТК обеспечивается с помощью различных систем: крестообразной связи из стальных лент (рис. 5а), панелей наружной и внутренней обшивок (рис. 5б), смешанные решения, совмещающие применение связей и панелей обшивок.

В каркасных конструкциях стен из ЛСТК с крестообразными связями рассеивание энергии сейсмического воздействия происходит за счет деформирования (растяжение–сжатие) связей и развития в них пластических деформаций, в то время как в конструкциях стен из ЛСТК с панелями обшивок, рассеивание энергии сейсмического воздействия происходит за счет деформации соединений обшивок и каркаса, а также повреждения панелей обшивок. При сопротивлении сейсмическим силам оба конструктивных решения испытывают существенное снижение прочности и жесткости.

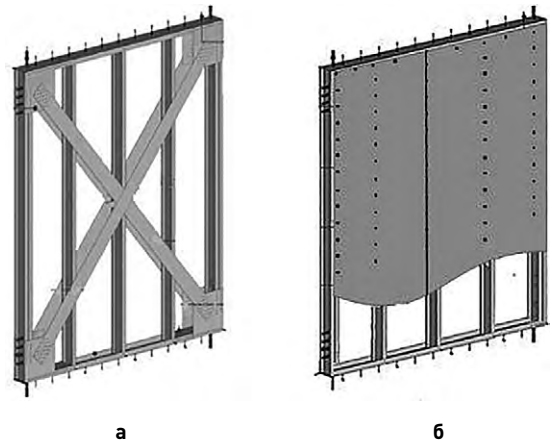


Рис. 5. Элементы, сопротивляющиеся сейсмическому воздействию [2]:

- а – конструкция стены из ЛСТК с крестообразной связью;
- б – конструкция стены из ЛСТК с панелями обшивки

Fig. 5. Elements resistant to seismic impact [2]:

- а – LGSF wall structure with a cruciform connection;
- б – LGSF wall structure with cladding panels

2. Нормативное регулирование

В настоящее время в России правила проектирования и методы расчета конструкций из ЛСТК регламентируются требованиями СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов» [3].

В некоторых странах действуют нормативно-технические документы для проектирования зданий из ЛСТК [4, 5]. При этом только в некоторых из них: AISI S400 [6], ASCE 7 [7] и NBCC [8] устанавливают требования к проектированию зданий из ЛСТК для их строительства в сейсмоопасных районах. В Еврокоде по сейсмическому проектированию EN 1998-1 [9] отсутствует отдельный раздел, посвященный проектированию зданий из ЛСТК.

Наиболее развитым нормативно-техническим документом по проектированию зданий из ЛСТК, возводимых в сейсмических районах, является североамериканский стандарт AISI S400 [6]. В частности, AISI S400 [6] регламентирует следующие конструктивные решения с применением ЛСТК: каркасно-обшивные конструкции несущих стен с панелями обшивок из деревянных конструкционных панелей; каркасно-обшивные конструкции несущих стен с панелями обшивок из стального листа; каркасно-обшивные конструкции несущих стен с крестообразными связями из стальных лент; рамные каркасы с болтовыми соединениями (по принципу стальных каркасов на основе горячекатаного металлопроката); каркасно-обшивные конструкции перегородок, обшитые деревянными панелями с одной стороны и гипсокартонными панелями с другой; каркасно-обшивные конструкции перегородок, обшитые гипсокартонными панелями с двух сторон. Для каждого конструктивного решения AISI S400 [6] устанавливает требования к расчету и проектированию конструктивных элементов, а также регламентирует правила конструирования рассеивающих элементов.

3. Результаты выполненных исследований

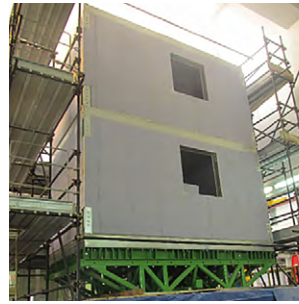
Экспериментальные исследования по изучению поведения каркасно-обшивных конструкций из ЛСТК под действием сейсмических нагрузок начались в конце 80-х – начале 90-х гг. [10, 11]. В последние годы было проведено множество экспериментальных исследований по сейсмостойкости зданий из ЛСТК, как по решениям с обшивками, так и с ленточными стальными связями. Большая часть этих исследований была сосредоточена на статических испытаниях, в то время как динамические испытания всей конструктивной системы здания с применением ЛСТК были очень редки. В предыдущие годы испытания каркасов из ЛСТК с применением сейсмоплатформ выполнялись в США и Европе, хотя первый эксперимент был проведен в Австралии [12]. В США, в рамках проекта «CFS-NEES» проводились испытания на сейсмоплатформе двухэтажного натурного экспериментального образца здания (рис. 6а), конструкции стен и перекрытий которого были обшиты ориентированно-стружечными плитами (ОСП) [13].

В Италии в рамках европейского проекта «ELISSA» были проведены исследования, включающие испытания на сейсмоплатформе полномасштабного двухэтажного здания (рис. 6б) с облицовкой конструкций стен гипсовыми панелями [14]. В рамках проекта «LAMIEREDIL» [15] была проанализирована сейсмическая реакция двух трехэтажных моделей в масштабе 1:3, выполненных из ЛСТК с ленточными крестообразными связями (рис. 7).

Результаты выполненных исследований полномасштабных фрагментов зданий с применением сейсмоплатформ свидетельствуют о целесообразности учета ненесущих и ограждающих элементов и конструкций зданий при расчете и проектировании зданий в сейсмоопасных районах. Учет ненесущих и ограждающих элементов и конструкций при проведении экспериментальных исследований свидетельствовал об увеличении сдвиговой жесткости испытанных образцов фрагментов зданий до 4,5 раза [13, 14].



а



б

Рис. 6. Экспериментальные образцы зданий из ЛСТК: а – общий вид экспериментального образца здания проекта «CFS-NEES» на этапе 2е [13]; б – общий вид экспериментального образца здания проекта «ELISSA» [14]

Fig. 6. Experimental samples of LGSF buildings: а – general view of the experimental sample of the “CFS-NEES” project building at the 2e stage [13]; б – general view of the experimental sample of the “ELISSA” project building [14]

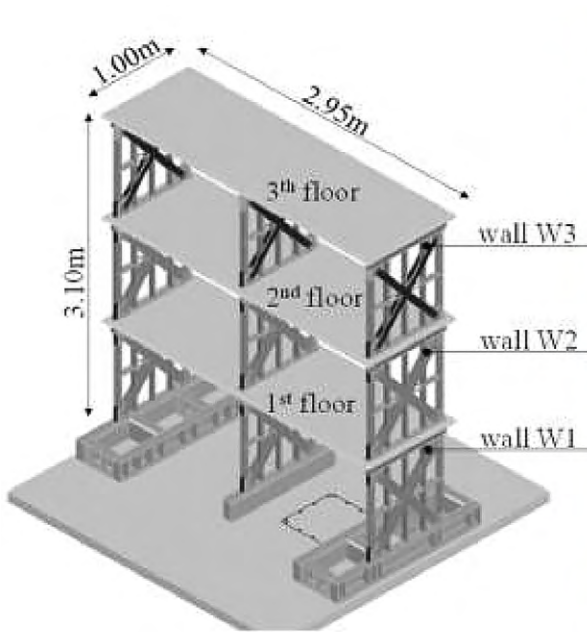
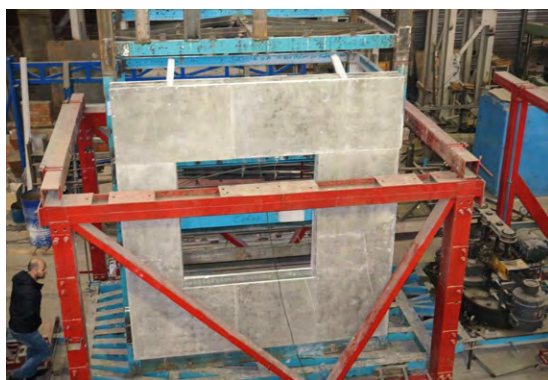


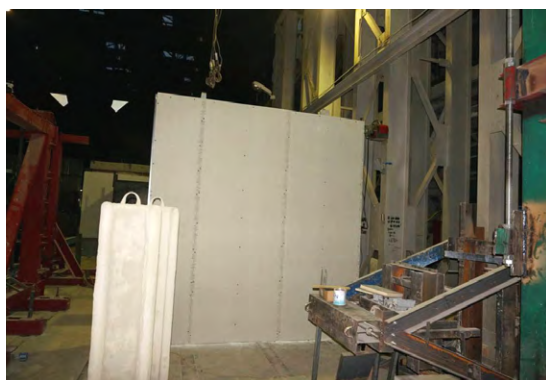
Рис. 7. Полномасштабные испытания экспериментального образца проекта «LAMIEREDIL» [15]

Fig. 7. Full-scale tests of an experimental sample of the “LAMIEREDIL” project [15]

Активные исследования ведутся в области исследования соединений элементов каркаса между собой и в области исследования поведения несущих конструкций из ЛСТК [15–19]. На базе Центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко проведены экспериментальные исследования навесных фасадных панелей производства фирмы ООО «Сен-Гобен Строительная Продукция Рус» при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64 (рис. 8а). Экспериментальные исследования предусматривали проведение



а



б

Рис. 8. а – Экспериментальный образец фасадной панели в процессе динамических испытаний;

б – общий вид силовой рамы для испытаний на перекос образца фасадной панели

Fig. 8. а – Experimental sample of the facing panel during the dynamic testing;

б – the general view of the load frame for obliquity tests of the facing panel sample

статических и динамических испытаний фасадных панелей. Опытные образцы фасадных панелей были изготовлены из стальных холодногнутых оцинкованных профилей с обшивками из гипсокартонных листов марки «Гургос Стронг» толщиной 12,5 мм и цементно-стружечных плит марки «Тамак» толщиной 12 мм. При проведении динамических испытаний фасадной панели возбуждение колебаний осуществлялось с помощью вибромашины ВИД-12М, установленной на специальную виброплатформу маятникового типа. Вибромашина ВИД-12М позволяет обеспечить необходимые параметры динамических воздействий на исследуемые образцы в широком диапазоне частот и инерционных нагрузок путем возбуждения механических колебаний платформы в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В процессе испытаний ускорение виброплатформы по данным акселерометров, установленных на ней, изменялось в интервале от 0,7 до 10,9 м/с² в горизонтальном направлении и от 0,1 до 1,6 м/с² в вертикальном направлении. Ускорения контрольных точек образцов по данным акселерометров изменялись в интервале от 0,6 до 13,4 м/с² в горизонтальном направлении и от 0,1 до 1,6 м/с² в вертикальном направлении. По результатам динамических испытаний фасадной панели механическая безопасность, конструктивная целостность и эксплуатационная пригодность системы не были нарушены.

Для оценки сдвигового сопротивления и предельных перекосов фасадных панелей были проведены испытания на сдвиговые статические нагрузки (рис. 8б). По результатам испытаний на статическую нагрузку, при достижении нагрузки $N = 15$ кН и перемещениях торцевых стенок фасадной панели, равных ~1,4 мм, на образце фасадной панели появились первые трещины с шириной раскрытия 0,1–0,2 мм в местах крепления наружной цементно-стружечной плиты к стальному каркасу фасадной панели. При достижении нагрузки $N = 25,35$ кН произошло разрушение наружной цементно-стружечной панели в местах ее крепления при помощи самонарезающих винтов к стальному каркасу (рис. 9). При дальнейшем нагружении образца наблюдался рост деформаций при неизменной величине нагрузки.

Специалистами ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко при поддержке Ассоциации развития стального строительства (АРСС) подготовлена и начата обширная программа

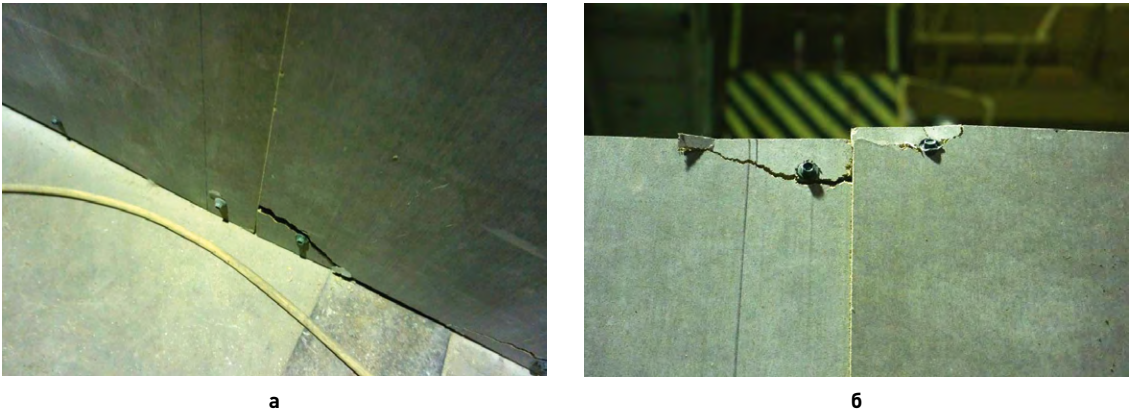


Рис. 9. Характер разрушения цементно-стружечной плиты в зоне: *а* – нижнего стыка соединения обшивок к стальному каркасу; *б* – верхнего стыка соединения обшивок к стальному каркасу

Fig. 9. *a* – Nature of the destruction of the cement bonded particle board in the zones of the lower; *b* – the upper joint of the sheathing joint to the steel frame

экспериментальных исследований несущих и ненесущих конструкций зданий из ЛСТК, а также их элементов для улучшения понимания и расширения знаний о сейсмическом поведении несущих и ненесущих конструкций зданий из ЛСТК при действии сейсмических нагрузок. Экспериментальные исследования предусматривают испытания различных типов конструктивных решений несущих стеновых и навесных фасадных панелей, перегородок из ЛСТК с разнообразными видами и комбинациями наружных и внутренних обшивок, а также образца двухэтажного фрагмента здания из ЛСТК на статические и динамические нагрузки, моделирующие сейсмические воздействия.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке нормативно-технических и организационно-методических документов, в частности при подготовке изменений к СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах», в части расчета и проектирования несущих и ненесущих конструкций из ЛСТК, возводимых в сейсмоопасных регионах с расчетной сейсмичностью площадок 7–9 баллов по шкале MSK-64.

Заключение

По результатам краткого обзора проведенных исследований можно сделать следующие ключевые выводы.

На сегодняшний день отсутствие нормативных требований к проектированию каркасов зданий из ЛСТК, возводимых в сейсмоопасных районах, сдерживает ее широкое распространение в строительстве в РФ.

Сейсмическое поведение конструкций зданий из ЛСТК характеризуется существенным снижением прочности и жесткости. На динамическую реакцию всего здания в значительной степени влияют ненесущие и ограждающие элементы и конструкции, что может привести к значительному увеличению поперечной жесткости и сопротивлению сейсмическим воздействиям здания.

Первостепенной задачей будущих исследований является преодоление разрыва между существующими нормативными документами зарубежных стран и нормативными документами России в отношении расчета и проектирования зданий из ЛСТК в сейсмоопасных районах.

Список литературы

1. Пособие по проектированию строительных конструкций малоэтажных зданий из стальных холодногнутых оцинкованных профилей (ЛСТК) [Электронный ресурс] / под. ред. Т.В. Назмеевой. – Санкт-Петербург: Первый ИПХ, 2021. – Режим доступа: https://steel-development.ru/images/projects/downloads/LSTK_Book_2021.pdf
2. *Shakeel S.* Numerical evaluation of the behaviour factor of lightweight steel lateral force resisting systems according to FEMA P695 / *S. Shakeel, L. Fiorino, R. Landolfo* // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN 2019). – Crete, Greece, 2019. <https://doi.org/10.7712/120119.7348.20812>
3. СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов: свод правил: введ. 04.06.2017. – Москва, 2016. – 124 с.
4. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members [Electronic Resource]: AISI S100-16 / American Iron and Steel Institute (AISI). – Washington, DC, USA, 2016. – Mode of access: https://cfsei.memberclicks.net/assets/docs/publications/aisi-standards/aisi%20s100-16%20%20s100-16-c_e_s.pdf
5. Cold-Formed Steel Structures [Electronic Resource]: Australia / New Zealand Standards AUS/NZS 4600. – Sydney, NSW, Australia, 2005. – Mode of access: <https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/as/as4000/4600/4600-2005.pdf>
6. North American Standard for Seismic Design of Cold Formed Steel Structural Systems: AISI S400-15 / American Iron and Steel Institute (AISI). – Washington, DC, USA, 2015.
7. Minimum Design Loads for Buildings and other Structures: ASCE 7-10 / American Society of Civil Engineers. – Reston, VA, USA, 2010.
8. National Building Code of Canada [Electronic Resource] / National Research Council of Canada (NRCC). – Ottawa, ON, Canada, 2005. – Mode of access: <https://nrc.canada.ca/en/certifications-evaluations-standards/codes-canada/codes-canada-publications/national-building-code-canada-2005>
9. EN 1998-1 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings [Electronic Resource]. – European Committee for Standardization. – Brussels, Belgium, 2004. – Mode of access: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
10. Shear wall resistance of lightgauge steel stud wall systems: Final technical report, prepared for national science foundation under grant no. R-8716-6263, Dec 1988 / S.A. Adham, V. Avanesian, G.C. Hart [et al.].
11. Shear wall resistance of lightgauge steel stud wall systems / S.A. Adham, V. Avanesian, G.C. Hart [et al.] // Earthquake Spectra. – 1990. – Vol. 6, no. 1. – P. 1–14. <https://doi.org/10.1193/1.1585555>
12. Lateral performance of cold-formed steel-framed domestic structures / E.F. Gad, C.F. Duffield, G.L. Hutchinson [et al.] // Engineering Structures. – 1999. – Vol. 21, no. 1. – P. 83–95. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)90129-2](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)90129-2)
13. Seismic response and engineering of cold-formed steel framed buildings / B.W. Schafer, D. Ayhan, J. Leng [et al.] // Structures. – 2016. – Vol. 8. – P. 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.05.009>
14. *Fiorino L.* Shake table tests of a full-scale two-story sheathing-braced cold-formed steel building / *L. Fiorino, V. Macillo, R. Landolfo* // Engineering Structures. – 2017. – Vol. 151. – P. 633–647. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.056>
15. *Campiche A.* Numerical Modelling of CFS Three-Story Strap-Braced Building under Shaking-Table Excitations. Materials 2021, 14, 118. <https://doi.org/10.3390/ma14010118>.
16. *Serrette R.* Wood structural panel to cold-formed steel shear connections with pneumatically driven knurled steel pins / *R. Serrette, D. Nolan* // Pract. Period. Struct. Des. Constr. – 2017. – Vol. 22, no. 3. – P. 04017002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000321](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000321)

17. Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems / C. Jenkins, S. Soroushian, E. Rahmanishamsi [et al.] // *Thin-Walled Structures*. – 2016. – Vol. 103. – P. 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2016.02.015>

18. Seismic performance of cold-formed steel wall systems in a full-scale building / X. Wang, E. Pantoli, T.C. Hutchinson [et al.] // *Journal of Structural Engineering*. – 2015. – Vol. 141, no. 10. – P. 04015014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001245)

19. Seismic performance evaluation of plasterboard partitions via shake table tests / G. Magliulo, C. Petrone, V. Capozzi [et al.] // *Bulletin of Earthquake Engineering*. – 2014. – Vol. 12, no. 4. – P. 1657–1677.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Александрович Бубис, заместитель руководителя центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Aleksandr A. Bubis, Deputy Head, Center for Research of Seismic Resistance of Structures, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Ильнур Разевич Гизятуллин*, заведующий сектором расчета сооружений лаборатории сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты (ЛССИМС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: gizatullin1994@yandex.ru

Il'nur R. Gizyatullin,* Section Leader, Section for Structure Calculation (LSIMS), Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: gizatullin1994@yandex.ru

tel.: +7 (499) 170-10-87

Артур Исмаилович Доттуев, заведующий лабораторией обследования и усиления сейсмостойких конструкций (ЛОУСК) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Artur I. Dottuev, Head of Laboratory, Laboratory for Survey and Strengthening of Earthquake-Resistant Structures, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Татьяна Вильсовна Назмеева, руководитель проектов Инженерного центра Ассоциации развития стального строительства, Москва

Tat'yana V. Nazmeeva, Project Manager, Engineering Center, Association for the Development of Steel Construction, Moscow

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author