

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ США

Жданов Д.А., Ю Ченг

**Введение.** *Стальные тонкостенные холодногнутые профили (СТХП)* – это уже достаточно широко известный во всем мире строительный материал, который находит все большее применение при возведении зданий и сооружений самого различного назначения в качестве ограждающих, несущих или же несуще-ограждающих элементов. В русскоязычной специальной литературе конструкции, возводимые из такого рода материала, именуются *легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК)*.

Наиболее высокие темпы роста объемов строительства с использованием СТХП демонстрируют в настоящее время Китай, Индия, страны Северной и Южной Америки [1, с. 1]. Однако флагманом в использовании СТХП были и остаются, безусловно, США. Сегодня редко какая строительная площадка в США обходится без применения СТХП, при этом, при возведении каркасных систем, СТХП применяются как самостоятельно, так и в паре с другими строительными материалами, что позволяет, в последнем случае, добиваться максимально эффективного использования сильных сторон каждого из них.

По данным ассоциации *Steel Framing Industry Association (SFIA)* в первом квартале 2018 года в США было переработано в СТХП 282,36 тыс. тонн стали-сырца, что на 3,7 % больше, чем в последнем квартале 2017 года [2]. По прогнозам данной ассоциации, объединяющей более 1500 производителей рулонной стали, СТХП и конструкций из них, а также известных инженеров, ученых и других лиц, так или иначе связанных с производством, поставками и использованием СТХП в строительстве, рост объемов производства и использования СТХП в строительной индустрии США будет наблюдаться и в ближайшие годы.

Одним из факторов, обеспечивающим устойчивый рост объемов капитального строительства с использованием ЛСТК в США, является наличие в стране целого ряда организаций и институтов, занимающихся вопросами обмена опытом, унификации, стандартизации, оптимизации, разработки строительных норм и прогнозирования в области ЛСТК. Основными из них, помимо упомянутой выше ассоциации (SFIA, [sfia.memberclicks.net](http://sfia.memberclicks.net)), являются: *American Iron and Steel Institute (AISI, [steel.org](http://steel.org))*, *Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures (CCFSS, [ccfssonline.org](http://ccfssonline.org))*, *Steel Deck Institute (SDI, [sdi.org](http://sdi.org))*, *Metal Building Manufacturers Association (MBMA, [mbma.com](http://mbma.com))*, *Rack Manufacturers Institute (RMI, [mhi.org/rmi](http://mhi.org/rmi))*, *Steel Stud Manufacturers Association (SSMA, [ssma.com](http://ssma.com))*, *Steel Framing Alliance (SFA, [steel framing.org](http://steel framing.org))*, *Metal Construction Association (MCA, [metalconstruction.org](http://metalconstruction.org))*, *Metal Roofing Alliance (MRA, [metalroofing.com](http://metalroofing.com))*, а также *Cold-formed Steel Engineers Institute (CFSEI, [cfsei.org](http://cfsei.org))*.

Данная статья представляет собой краткий обзор книги [1], а также некоторых других имеющихся в открытой печати публикаций и нормативных документов, позволяющих сформировать общее представление как о текущем состоянии, так и областях применения СТХП в строительной индустрии США.

### **Применение СТХП при строительстве зданий и сооружений.**

**Ограждающие стеновые конструкции.** При строительстве торговых центров (рис. 1, а), многоэтажных многоквартирных домов (рис. 1, б) или зданий высотой в девять этажей и выше, каркасы из СТХП используются в качестве внутренних перегородок, а также для поддержки наружных стен или облицовки. Использование СТХП позволяет обеспечить противопожарные требования нормативных документов по «негорючести» материалов, а также, благодаря легкому весу материала, снижает нагрузку на фундаменты и расходы, связанные доставкой строительного материала на высоту.



Рисунок 1 – Использование СТП на строительных объектах в г. Дентон (США, штат Техас) в августе 2018 г.: а) наружное ограждение торгового центра; б) стропильная система и ограждающие конструкции жилого здания

Последние разработки в области несущих стеновых панелей связаны прежде всего с использованием в их конструкции так называемых «профилей нового поколения», отличающихся от их предшественников в первую очередь геометрией профиля (наличием ребер жесткости сложной конфигурации, отверстий с отгибом материала, дополнительных специальных выштамповок и рифлений) и более высокими значениями прочностных характеристик металла (с пределом текучести до 450 МПа), что позволяет снизить минимальную толщину профилей нового поколения до 0,4 мм и тем самым уменьшить удельный расход стали на производство таких профилей по сравнению с их «классическими» аналогами при одной и той же величине несущей способности (рис. 2, а) [1, с. 19].



Рисунок 2 – Усовершенствования в геометрии СТП: а) несущий профиль с ребрами и выштамповками; б) несущая балка из спаренных С-профилей фирмы *Metwood, Inc.*

**Перекрытия.** В случае перекрытий, в особенности со значительным пролетом, использование СТП с наличием в их стенках упомянутых выше отверстий эффективно не только с точки зрения экономии материалов, но и упрощения прокладки инженерных коммуникаций (рис. 2, б). По этой причине достаточно большое число экспериментально-теоретических исследований посвящено в последнее время разработке наиболее эффективной геометрии такого рода отверстий и схем их расположения, а также расчета конструкций, изготавливаемых из СТП такого типа [1, с. 85–89].

Легкий вес СТП, обуславливающий во многом их экономические преимущества над традиционными строительными материалами, оборачивается одним из их недостатков, а именно: подверженностью вибрации от самых разнообразных воздействий, в том числе от

обыкновенной ходьбы человека по полу. Последние исследования в этой области направлены прежде всего на установление допустимых значений таких вибраций, методов их расчета, а также зависимости вибрации от конструктивных особенностей междуэтажных перекрытий, таких как способ опирания конструкции пола, вид материала подшивки и покрытия, характер их крепления, шаг метизов и ряд других факторов [1, с. 181–199].

**Вертикальные несущие конструкции.** Конструктивные каркасно-стеновые системы из СТП могут воспринимать как вертикальные нагрузки (постоянные, полезные, снеговые), так и горизонтальные (ветровые). Изначально, такие системы чаще всего применялись исключительно при строительстве офисных зданий, однако в последнее время они начали активно применяться для торговых центров и жилых зданий высотой до 7 этажей. Базовыми элементами типовой несущей стеновой панели являются стойки, поперечные, обрамляющие, соединяющие и распределительные элементы, а также крепежные накладки и метизы.

В стандартных каркасно-стеновых системах передача нагрузки осуществляется следующим образом: от стропил или балок, расположенных перпендикулярно стеновой панели, через стойки на прогоны, которые в свою очередь опираются на нижестоящие стойки, расположенные на одной линии с вышестоящими. Таким образом, стойки стеновых панелей, совместно со стропилами, образуют каркас здания, воспринимающий вертикальные нагрузки. Проводимые в этой области исследования в основном направлены на поиск оптимальной формы поперечного сечения сжатых стоек каркаса [1, с. 140–144] и определения соответствующих им кривых потери устойчивости, в том числе в случае воздействия высоких температур [1, с. 163–168].

Для восприятия горизонтальных ветровых и сейсмических нагрузок в зданиях рассматриваемого конструктивного типа устанавливаются стены-диафрагмы жесткости (англ. «*shear walls*»), главное назначение которых воспринимать, помимо вертикальных нагрузок, сдвиговые усилия и передавать их на фундаменты. Несмотря на то, что вопросами проектирования диафрагм жесткости из СТП занимаются, как известно, уже достаточно долгое время, проблемам расчета сдвиговой прочности, оптимального расположения элементов решетки и способа закрепления панели, включения в работу материала обшивки, выбора типа и количества крепежных деталей по-прежнему посвящается достаточно большое число экспериментально-теоретических исследований [1, с. 54–62]. Так, например, вопросу несущей способности диафрагм жесткости для зданий средней высоты посвящены два научно-исследовательских отчета, опубликованных на сайте AISI в 2018 году.

**Кровли.** За последнее десятилетие, наряду с ростом применения каркасно-стеновых систем, значительно возросло использование СТП в стропильных системах крыш. Обычная стропильная система состоит из прогонов, стропил, связей и других элементов, соединяемых в единую конструкцию непосредственно во время строительства. Основное преимущество стропильной системы заключается в том, что она, как правило, требует меньшее количество стальных элементов, что, соответственно, снижает количество соединений и трудозатрат на их выполнение (рис. 1, б). Недостаток заключается в том, что на сборку стропильной системы требуется значительно больше времени, чем на установку предварительно собранных монтажных единиц фермы. Кроме того, при сборке на высоте, монтажникам необходимо использовать строительные леса и подъемники в течение длительного времени.

В связи с этим, применение стропильных ферм (рис. 3) является значительно более популярным решением в последнее время, поскольку позволяет задействовать все известные преимущества ЛСТК и, в паре с предварительной сборкой, дает возможность значительно сократить сроки строительства. Используя различные комбинации высоты фермы и толщины металла, такого рода фермами перекрывают пролеты до 21 м [1, с. 27–28].

**Системы со смешанным каркасом.** Для того, чтобы сочетать в себе архитектурную привлекательность с достаточной жесткостью, прочностью, долговечностью и экономической эффективностью, современные здания должны удовлетворять достаточно жестким архитектурным и инженерным требованиям. Добиться наиболее удачного проектного решения чаще всего позволяют системы со смешанным каркасом, представляющие собой конструкции, вы-

полняемые из различных видов строительных материалов в тех или иных их сочетаниях с СТХП, наиболее часто используемыми из которых являются следующие: СТХП совместно со сборными железобетонными плитами; СТХП совместно с деревянным каркасом (рис. 2, б); СТХП совместно с горячекатаной сталью (рис. 1, а).



Рисунок 3 – Большепролетные стропильные фермы из нескольких отправочных элементов

**Бескаркасные арочные здания.** Бескаркасные арочные здания из СТХП – особый вид ЛСТК, совмещающих в себе несущие и ограждающие функции. Технология изготовления таких зданий была запатентована в США в середине прошлого века [3] и, претерпев ряд усовершенствований и инноваций, стала весьма востребованной в различных отраслях промышленности, прежде всего в военной, сельскохозяйственной и авиационной. Сегодня такие конструкции могут производиться прямо на строительной площадке на специальной мобильной профилегибочной установке путем прокатки из рулонной стали прямолинейного профиля, с последующей его гибкой по дуге с заданным радиусом. Дугообразные профили соединяются между собой путем завальцовки фальцевого замка. Последние технологические усовершенствования, заключающиеся в возможности регулировки радиусагиба по длине профиля, позволяют создавать различные, отличающиеся от классической круговой, формы арочного здания, что повышает архитектурную выразительность конструкции. Научные исследования в области бескаркасных арочных зданий направлены на разработку методов их расчета, а также оптимизацию поперечного сечения профилей [4].

**Соединения.** Чаще всего СТХП соединяются между собой и с другими конструкциями на сварке, при помощи болтов, самонарезающих винтов или заклепок. Соединения на самонарезающих винтах и сварке обычно используются при креплении друг с другом элементов стоек и прогонов (как промежуточных, так и вспомогательных). Болты обычно используются для крепления СТХП к нижележащим опорным конструкциям (бетонным, деревянным, металлическим), а заклепки – для крепления металлических или полимерных листов к профилям из СТХП, а также профилей к стальным бетонным или каменным конструкциям. Последние исследования в этой области направлены в первую очередь на проектирование соединений для максимально быстрой сборки на строительной площадке, а также возможности быстрой разборки в случае демонтажа [1, с. 245–255].

**Нормативные документы в области ЛСТК.** Нормативные документы в США разрабатываются различными организациями, однако для того чтобы документ считался американским национальным стандартом, он должен пройти контролируемые американским национальным институтом стандартизации *American National Standards Institute* (ANSI), общественное обсуждение и процесс утверждения.

**Нормативные документы AISI.** Начало в разработке нормативов в области ЛСТК в США было положено в феврале 1939 года, когда комитет по нормированию в строительстве

AISI спонсировал исследовательский проект в университете Корнелл (г. Итака, штат Нью-Йорк), отчет по результатам которого лег в основу первого издания нормативного документа AISI «Правила проектирования легких стальных конструктивных элементов» (“Specifications for the Design of Light Gage Steel Structural Members”) вышедшего в 1946 году [1, стр. 5–6]. В настоящее время стандарты и правила, издаваемые и поддерживаемые AISI (комитетом стандартов по расчету холодноформованных стальных конструктивных элементов и комитетом стандартов каркасного строительства), являются основными нормативными документами, используемыми в проектной практике в США, Канаде и Мексике и регулярно утверждаются ANSI. Перечень основных издаваемых AISI действующих нормативных документов по проектированию ЛСТК, с указанием года публикаций и переизданий, приведен в таблице 1. Все указанные стандарты и некоторые другие доступны бесплатно для скачивания на сайте CFSEI.

Таблица 1 – Основные действующие нормативные документы AISI

| Обозначение | Наименование на английском   | Наименование в переводе на русский  | Годы публикаций и переизданий   |
|-------------|--|---|---|
| AISI S100   | North American Specification For The Design Of Cold-Formed Steel Structural Members                          | Североамериканские правила по расчету холодноформованных конструктивных элементов   | 1946, 1956, 1960, 1962, 1968, 1980, 1986, 1996, 2004, 2007, 2012, <b>2016</b> |
| AISI S201   | North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Product Data   | Североамериканский стандарт для каркасов из холодноформованной стали – данные о продукции   | 2007, 2012, <b>2017</b>   |
| AISI S202   | Code of Standard Practice for Cold-Formed Steel Structural Framing   | Технический кодекс установившейся практики для каркасов из холодноформованной стали   | 2005, 2006, 2011, <b>2015</b>   |
| AISI S220   | North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Nonstructural Members                                | Североамериканский стандарт для каркасов из холодноформованной стали – неконструктивные элементы                                    | 2011, <b>2015</b>   |
| AISI S230   | North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings | Североамериканский стандарт для каркасов из холодноформованной стали – предписывающий метод для жилых помещений на одну и две семьи | 2007, 2012, <b>2015</b>   |
| AISI S240   | North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing   | Североамериканский стандарт для конструктивных каркасов из холодноформованной стали   | <b>2015</b> (объединил документы S200, S210 – S214)                           |
| AISI S400   | North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems                           | Североамериканский стандарт по проектированию конструктивных систем из холодноформованной стали с учетом сейсмических воздействий   | <b>2015</b> (включил в себя стандарт S110)                                    |

Помимо правил и стандартов, AISI регулярно публикует руководства по проектированию, первое из которых было издано в 1949 году и называлось «Руководство по проектированию из тонколистовой стали» (“Light Gage Steel Design Manual”). Документ неоднократно дорабатывался и обновлялся, и позже получил название «Руководство по расчету из холодноформованной стали» (“Cold-Formed Steel Design Manual”) [1, стр. 53]. Последнее издание датируется 2017 годом (AISI D100-17) и предназначено для использования совместно с AISI S100-16. Документ состоит из двух томов: том I охватывает размеры и свойства СТХП, рас-

чет балок, расчет колонн, соединения, дополнительную информацию и библиографию соответствующих методов испытаний; том II представляет собой стандарт AISI S100-16 с комментариями. Руководства AISI издаются в электронной и бумажной версиях, при этом обе – платные.

**Нормативные документы SDI.** Начиная с 1939 года SDI предоставляет единые отраслевые стандарты для проектирования, производства и монтажа стальных настилов для перекрытий и покрытий. В настоящее время SDI объединяет 18 производителей стальных настилов и 10 производителей смежных материалов. Основные стандарты SDI (таблица 2) аккредитованы ANSI и включены в международный строительный кодекс (“International Building Code” (IBC)). Стандарты SDI действуют совместно с нормами AISI и, как правило, дополняют их положения, при этом в случае противоречий являются доминирующими.

Таблица 2 – Основные действующие стандарты SDI

| Обозначение         | Наименование на английском  | Наименование в переводе на русский                                      |
|---------------------|---|---|
| ANSI/SDI C-2017     | Standard for Composite Steel Floor Deck-Slabs                                     | Стандарт для композитных стальных плит перекрытий                       |
| ANSI/SDI NC-2017    | Standard for Non-Composite Steel Floor Deck                                       | Стандарт для некомпозитных стальных настилов перекрытий                 |
| ANSI/SDI RD-2017    | Standard for Steel Roof Deck  | Стандарт для стальных кровельных настилов                               |
| ANSI/SDI QA/QC-2017 | Standard for Quality Control and Quality Assurance for Installation of Steel Deck | Стандарт для контроля и гарантии качества при монтаже стальных настилов |

SDI также широко известен своими руководствами по проектированию для кровельных настилов (“Roof Deck Design Manual”), настилов перекрытий (“Floor Deck Design Manual”) и диафрагм жесткости (“Diaphragm Design Manual”). Совсем недавно SDI опубликовал руководство по проектированию стальных настилов со стальным каркасом (“Steel Deck on Cold-Formed Steel Framing Design Manual”). Все документы доступны для скачивания на сайте института, часть из них предоставляется бесплатно.

**Техническое руководство SFIA.** Техническое руководство SFIA для холодногнутого стального каркасных изделий (“Technical Guide for Cold-Formed Steel Framing Products”) представляет собой комплексный инструмент для проектирования с использованием СТП. Издание включает характеристики поперечного сечения как конструктивных, так и неконструктивных профилей, выпускаемых членами SFIA, а также таблицы допустимых нагрузок и пролетов для большинства возможных расчетных случаев. Кроме того, издание 2017 года включает перечень рекомендуемых нормативных документов, которые содержат информацию о материалах и требованиях к монтажу. Представленные в этом руководстве данные получены с учетом положений AISI S100-12 и отвечают требованиям строительного кодекса IBC 2015. Электронная версия документа предоставляется бесплатно.

**Руководства MBMA.** Ассоциация MBMA выпускает ряд руководств по проектированию и монтажу зданий, в которых основной несущий каркас выполняется из горячекатаной стали, а кровля и ограждающие элементы – из ЛСТК. Наиболее важными являются документы “Metal Building Systems Manual” и “Metal Roofing Systems Design Manual”, которые, помимо текстовой части, включают компакт-диск с чертежами различных узлов рассматриваемых зданий в формате AutoCAD.

**Нормативные документы RMI.** Институт RMI выпускает целый ряд документов, посвященных вопросам проектирования, возведения, планирования при использовании, а также утилизации промышленных стеллажей. Основным документом, утвержденным ANSI, “Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Cantilevered Storage

Racks” (ANSI MH16.3-2016) распространяется как на стеллажи из горячекатаных стальных профилей, так и из СТХП. Документ включает правила и комментарии к ним.

**Технические заметки CFSEI.** Институт CFSEI объединяет проектные и научные организации, а также рядовых инженеров и ученых, занятых в области ЛСТК, и на данный момент насчитывает 686 членов. Технические заметки “CFSEI Technical Notes” представляют собой своего рода краткие руководства с пояснениями или комментариями (как правило на 3–5 страницах) по какому-либо конкретному узкому вопросу в области проектирования из СТХП и условно разделены на 9 категорий: долговечность и защита от коррозии; метизы и крепежные устройства; фермы и стеновые панели; общие вопросы; перекрытия и балочные системы; системы стен; кровельные и потолочные системы; Вопросы, связанные с акустикой, воздействием тепла и огня; сдвиговые системы. Последняя заметка, выпущенная в 2018 году (“Tech Note F502-18”), содержит рекомендации по креплению каркасов из СТХП к сборным, преднапряженным и пустотелым бетонным элементам. По утверждению CFSEI, технические заметки соответствуют нормативным документам на момент их выпуска, при этом сам институт не несет ответственность за последствия, которые могут возникнуть в результате их применения. Заметки доступны для скачивания на сайте CFSEI бесплатно для членов и за символическую плату для всех желающих.

#### **Заключение.**

1. Согласно имеющимся экспертным оценкам [2], есть все основания полагать, что рост объемов применения СТХП как в качестве ограждающих, так и в качестве несущих элементов, в сфере гражданского строительства в США продолжится и в ближайшие годы.

2. Одним из факторов, обеспечивающих устойчивый рост объемов капитального строительства с использованием ЛСТК в США, является наличие в стране целого ряда организаций и институтов, занимающихся вопросами обмена опытом, унификации, стандартизации, оптимизации, разработки норм, оценки рынка и рядом других вопросов.

3. Основными направлениями научно-экспериментальных исследований в США в области СТХП и ЛСТК являются: усовершенствование форм поперечного сечения и других геометрических параметров профилей, исследования сдвиговой жесткости стен-диафрагм, изучение сопротивления воздействию высоких температур, улучшение способов соединений, а также разработка и совершенствование методов расчета различных систем.

4. Технические документы в области ЛСТК в США представлены доступными для скачивания в интернете правилами расчета, стандартами, рекомендациями, руководствами, примерами расчета, заметками и другими документами, которые разрабатываются и регулярно обновляются специальными комитетами, включающими в себя ведущих ученых и инженеров северной Америки.

#### **Список источников**

1. Recent Trends in Cold-Formed Steel Construction / C. Yu [et al.] ; ed.: C. Yu. – Woodhead Publishing Limited, Elsevier, 2016. – 315 p.

2. SFIA Releases Q-1 Market Data Report on Cold-Formed Steel Framing and Nonresidential Volume [Electronic resource] : Steel Framing Industry Association. – Mode of access: <https://sfia.memberclicks.net/assets/Q1%202018%20Market%20Data%20Report.pdf>. – Date of access: 24.09.2018.

3. Жданов, Д. А. Бескаркасные арочные покрытия из стальных тонкостенных профилей: история, современное состояние и перспективы применения в Республике Беларусь / Д. А. Жданов, В. П. Уласевич // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 1 : Строительство и архитектура. – С. 30–34.

4. Curved building panel, building structure, panel curving system and methods for making curved building panels : pat. US 2010/0146789 A1 / T. E. Anderson, F. Morello. – Publ. date 17.06.2010.