

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), являются: *American Iron and Steel Institute (AISI, steel.org)*, *Wei-Wen Yu Center for Cold-Formed Steel Structures (CCFSS, ccfssonline.org)*, *Steel Deck Institute (SDI, sdi.org)*, *Metal Building Manufacturers Association (MBMA, mbma.com)*, *Rack Manufacturers Institute (RMI, mhi.org/rmi)*, *Steel Stud Manufacturers Association (SSMA, ssma.com)*, *Steel Framing Alliance (SFA, steel framing.org)*, *Metal Construction Association (MCA, metalconstruction.org)*, *Metal Roofing Alliance (MRA, metalroofing.com)*, а также *Cold-formed Steel Engineers Institute (CFSEI, 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 СТХП 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 СТХП: 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 СТХП 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 СТХП такого типа [1, с. 85–89].

Легкий вес СТХП, 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, 2016
AISI S201	North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Product Data	Североамериканский стандарт для каркасов из холодноформованной стали – данные о продукции	2007, 2012, 2017
AISI S202	Code of Standard Practice for Cold-Formed Steel Structural Framing	Технический кодекс установившейся практики для каркасов из холодноформованной стали	2005, 2006, 2011, 2015
AISI S220	North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – Nonstructural Members	Североамериканский стандарт для каркасов из холодноформованной стали – неконструктивные элементы	2011, 2015
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, 2015
AISI S240	North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing	Североамериканский стандарт для конструктивных каркасов из холодноформованной стали	2015 (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	2015 (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.