

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ЗДАНИЙ ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

DEVELOPMENT OF BUILDINGS FROM COLD-FORMED PROFILES

И. И. ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук

Д. В. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук

А. И. КОВАЛЕНКО

А. С. ГУДЕНКО

А. В. СМАГИН

В последнее годы в области металлоконструкций в строительстве большое внимание уделяется конструкциям из тонколистовых холодногнутому профилей (ХГП), ведутся активные дискуссии, в том числе в научных кругах, вокруг недавно появившегося СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутому оцинкованных профилей и гофрированных листов». При этом, как известно, здания из холодногнутому профилей появились давно, имеется достаточно большой опыт возведения и эксплуатации подобных конструкций как в России, так и за рубежом.

В статье представлены основные этапы развития стальных конструкций из холодногнутому профилей. Рассмотрен процесс их развития с момента появления на рынке, вплоть до их реализации в уникальных современных сооружениях нашего времени.

История развития ХГП берет свое начало в США, параллельно развивается в России. Мощный скачок в развитии таких конструктивных элементов

In recent years, in the field of metal structures great attention has been paid to the construction of thin-sheeted cold-formed profiles, active discussions, including scientific circles, are taking place around the newly-issued SP 260.1325800.2016 "Steel thin-walled constructions from cold-formed profiles and corrugated sheets". At the same time, buildings from cold-formed profiles have appeared for a long time, there is quite a lot of experience in erecting and operating such structures both in Russia and abroad.

The article presents the main stages of the development of steel structures from the cold-formed profile. We observed the process of their development from the moment of their appearance on the market up to their realization in the unique modern constructions of our time.

The history of the development of cold-formed profiles originates in the USA, and it developed in parallel in Russia. A powerful leap in the development of these constructive elements is associated with the end of World War II. Approximately at the same time, the first standards for the

связан с окончанием Второй мировой войны. Примерно в это же время были выпущены первые нормы по проектированию конструкций из гнутых элементов.

В статье приведен обзор советского и зарубежного опыта в работе с тонколистовыми конструкциями из холодных профилей, их особенностей и процессов развития в условиях рынка.

design of structures from elements were issued.

The article gives an overview of soviet and foreign experience in working with thin-sheeted structures from cold profiles, their features and development process under market conditions.

Ключевые слова:

Бескаркасные складчатые здания и сооружения с двойным гофрированием, гофрирование тонколистовые структурные конструкции, легкие стальные тонкостенные конструкции, опорный узел, панель-оболочка, профилированные элементы, профилированный настил, прочность элементов, связевой каркас, соединение элементов, стальные конструкции, ферма покрытия

Key words:

Bonded frame, corrugated thin sheet structures, cover panel, frameless folded buildings and structures with double corrugation, joining elements, light steel thin-walled structures, profiled elements, profiled flooring, steel structures, strength of elements, truss frame

В последние годы в области металлоконструкций в строительстве большое внимание уделяется конструкциям из тонколистовых холодногнутому профилей, ведутся активные дискуссии, в том числе научных кругах, вокруг недавно появившегося СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутому оцинкованных профилей и гофрированных листов». При этом, как известно, здания из холодногнутому профилей появились давно, имеется достаточно большой опыт возведения и эксплуатации подобных конструкций как в России, так и за рубежом.

Появление тонколистовых элементов, в качестве конструкционного материала, датируется серединой XIX в. В 1849 г. во время калифорнийской золотой лихорадки кровельщик Питер Нэйлор из Нью-Йорка впервые представил свое изобретение «Разборные стальные дома для Калифорнии». Эти здания собирались из элементов в форме желобов и предлагались как альтернатива более дорогим деревянным домам.

Знакомые для нас формы холодногнутому профилей (ХГП) появились в начале XX в. как альтернатива деревянным элементам каркаса в перегородках и несущих стенах.

Первое упоминание об использовании ХГП относится к строительству госпиталя Баптистов в Вирджинии, построенного примерно в 1925 г. в Линчберге (рис. 1).

Конструктив здания представлял собой несущие стены, выполненные из кирпича. Каркас перекрытий был сделан из холодногнутому швеллеров, поставленных «стенка к стенке» (рис. 2). Недавние обследования несущих конструкций подтвердили, что каркас перекрытий полностью удовлетворяют прочностным и эксплуатационным требованиям.



Рис. 1. Баптистский госпиталь в Вирджинии

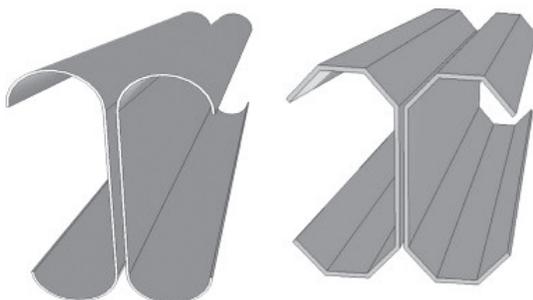


Рис. 2. Несущие элементы из двоянных швеллеров

исследования в Корнельском Университете под руководством профессора Джорджа Винтера.

В процессе разработки норм были проведены эксперименты на балках, стеновых панелях, элементах покрытий и узловых соединениях [3]. Первое издание «Стандарта по проектированию строительных конструкций из тонколистовой стали» увидело свет в 1946 г., совпав с главным событием, вызвавшим бум в сталелитейной промышленности, – окончанием Второй мировой войны.

Причиной такого ажиотажа явилось то, что в первые послевоенные годы многие страны столкнулись с жилищным кризисом. Миллионы жилых домов и промышленных объектов были уничтожены в глобальном конфликте.



Рис. 3. Типовые дома типа «Ластрон»

Возможности применения ХГП в строительстве были представлены широкой общественности на выставке «Век прогресса» в 1933 г. в Чикаго, став частью экспозиции «Дом будущего». В экспозиции было представлено 3 сооружения с несущими каркасами, выполненным из ХГП, была показана возможность применения таких конструкций в качестве ограждающих.

Значимым событием в истории развития тонколистовых конструкций стал проект по разработке первых норм по проектированию конструкций из холодногнутых элементов, стартовавший в 1939 г., когда Комитет по нормированию Американского Института стали и сплавов проспонсировал

В США компания Lustron Homes в период 1948-1950 гг. поставила на поток строительство гражданских домов (рис. 3) и построила 2500 домов в 36 штатах и в Венесуэле.

Помимо этого в 40 – 50-е годы в США был запатентован ряд конструкций бескаркасных зданий, объединяющих в себе несущие и ограждающие функции, заинтересовавших не только инженерные, но и широкие общественные круги.

Но не все такие конструкции получили широкое применение. Так, например, системы «пиродек», представляющие собой набор алюминиевых тонкостенных «пирамид», использованные при строительстве здания Международного союза архитекторов в Лондоне и других небольших сооружений, распространения не получили. Это связано с такими проблемами как трудности утепления, возможности образования снеговых мешков, отвод атмосферных вод и т.д.

В зарубежном опыте значительное распространение получили складчатые своды. Они выполняются из тонколистового алюминия и достигают пролетов до 30 м. Особым успехом пользовались геодезические купола системы Фуллера, собираемые из перегнутого ромбических или шестигранных ячеек, усиленных трубчатыми распорками. Примерами таких решений являются алюминиевый купол в Дирборне (США) – диаметр 28 м и вес 7,8 т, построенный в 1957 г. в Гонолулу (Гавайские острова) купол диаметром 44,2 м и весом 15,1 т для аудитории на 2000 человек (рис. 4).



Рис. 4. Геодезический купол системы Фуллера в Гонолулу

Возвращаясь к жилому сектору, необходимо отметить, что использование ХГП быстро сошло на «нет», тогда как в промышленных и негражданских объектах интерес к ним становился только больше. Пятидесятые и шестидесятые годы XX века ознаменовались высотным строительством, что выдвинуло новые требования к обеспечению безопасности для жизни и технологичности самого процесса возведения сооружения. Эти условия способство-

вали появлению легких негорючих ХГП. При этом параллельное развитие элементов крепления (саморезы) и инструментов для работы с ними сделали холоднугнутые конструкции незаменимыми с приходом XXI в.

Ощутимая выгода ХГП в финансовом отношении стала очевидна с их внедрением в конструкции зданий в качестве элементов каркаса в межкомнатных перегородках. В 2004 г. «Альянс Стальных конструкций» сообщил, что 81 % внутренних несущих стен выполнен из ХГП. Такие показатели были достигнуты благодаря появлению нормативных документов по проектированию, в том числе в части огнестойкости.

На сегодняшний день Ассоциация Индустрии Стальных Конструкций сообщает, что 30-35 % негражданских объектов и сооружений в США выполнены из ХГП. При этом ХГП использовались не только в качестве ограждающих конструкций, но и в качестве несущих элементов каркаса.

Первые исследования тонколистовых металлических конструкций из ХГП в нашей стране были проведены в середине 1930-х гг. при участии Н. С. Стрелецкого

и Н.М. Шейнфельда. Подобные конструкции в то время было принято называть складчатыми.

Первое упоминание о складчатых конструкциях в России относится к 1898 г., когда профессором Ф. С. Ясинским они были применены для перекрытия Александровских мастерских Николаевской ж. д.

Массовые исследования тонколистовых конструкций в нашей стране начали вести в 70-х годах, когда Минмонтажспецстрой СССР принял решение о производстве и поставке легких металлических конструкций (ЛМК) для промышленных зданий. Одна из первых в Союзе работ по исследованию характера работы тонкого алюминиевого листа была проведена в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко под руководством В.И. Трофимова на модели многогранного алюминиевого свода из ромбовидных элементов, исследованиями стальных арочных сводов занимался П.Г. Еремеев [5]. Целый ряд исследований и разработок бескаркасных зданий и применяемых для их возведения профилей был проведен А. Я. Прицкером (УкрНИИПСК) [2], исследованиями профилированных настилов занимался Э.Л. Айрумян (ЦНИИПСК им. Мельникова).

В конце 80-х годов использование ХГП в советской промышленности составляло 10 % от общих возводимых площадей по всей стране [1]. В этот период проводились исследования конструкций складчатых сводов из ромбических, прямоугольных, перегнутых по диагонали и лоткообразных элементов. В основной массе такие конструкции имели цилиндрическое или полигональное очертание. Особенностью типового элемента в форме ромба, согнутого по большой диагонали, была возможность соединения с соседним элементом вогнутостью как внутрь, так и наружу, поэтому из таких элементов можно было собирать пространственные конструкции практически любых вида, формы и размеров. Стыкование элементов было предусмотрено отбортованными вдоль сторон ромбов фланцами и специальными узловыми накладками.

Обобщающим для конструкций, собираемых из ромбических элементов, было конструктивное решение УкрНИИПСК (рис. 5), где было разработано несколько поколений складчатых полигональных сводов пролетами от 12 до 72 м и более.

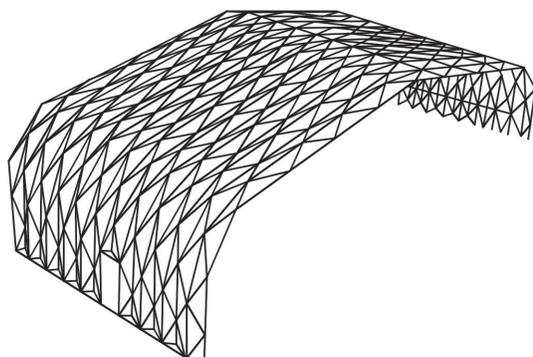


Рис. 5. Складчатое здание из ромбических элементов

При этом такие своды из ромбических элементов не получили широкого распространения из-за сложности их утепления и большой протяженности стыков в местах дождевых стоков.

В тот же период в ЦНИИпроектстальконструкции им. Мельникова совместно с рядом научно-исследовательских и производственных организаций начались исследования и разработка бескаркасных арочных покрытий

из волнистых оцинкованных листов. Было разработано и испытано быстромонтируемое сборно-разборное здание типа «Волна-360» пролетом 12 и длиной 30 м (рис. 6).

Основными элементами покрытия и торцевых стен являлись волнистые листы с синусоидальными гофрами высотой 35 мм, толщиной 2-2,5 мм, длиной 1760 мм, шириной 975 мм с цинковым покрытием. Листы соединялись друг с другом внахлест с помощью болтов.

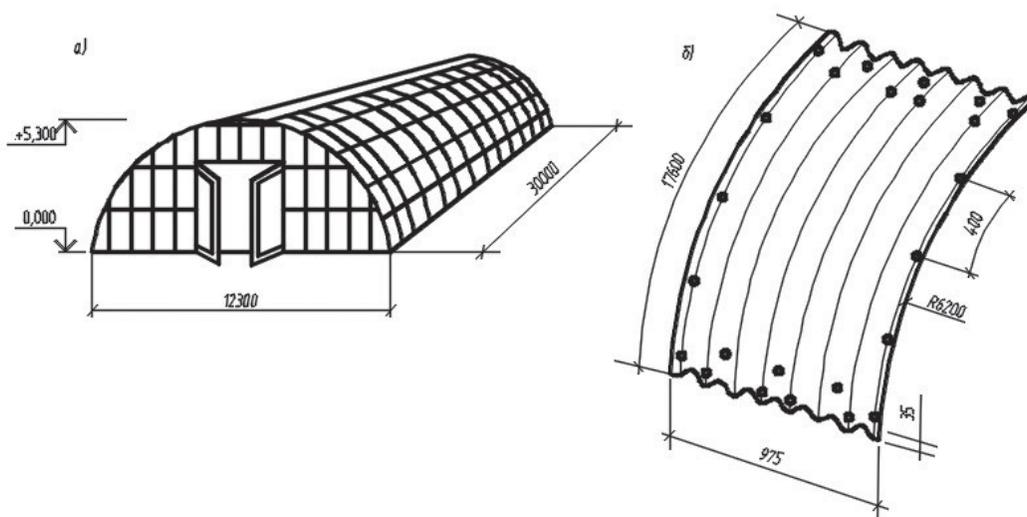


Рис. 6. Бескаркасное здание из волнистых листов: а – общий вид; б – изогнутый элемент арочного покрытия



Рис. 7. Однослойные фрагменты покрытия во время испытания

Еще одной отечественной разработкой были полуцилиндрические своды пролетом от 12 до 21 м, разработанные ВПО «Промтеплица», которые монтировали из длинномерных гнутых профилей арочного очертания (рис. 7).

Такие профили длиной до 28 м изготавливали непосредственно на строительной площадке с помощью передвижного профилегибочного агрегата.

В 90-х годах прошлого века и в начале 2000-х П. Г. Еремеевым, М. Ю. Арменским в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко также проводились исследования конструкций арочных зданий из холодногну-тых профилей корытного типа, в частности, выполняемых на оборудовании фирмы M.I.C. Industries Inc.



Рис. 8. Конструкция двухслойного арочного зданий из ХГП корытного типа

Подобные здания достаточно активно применяются и в настоящее время. Они изготавливаются непосредственно на строительной площадке, имеют минимальное число крепежных деталей, поскольку профили соединяются между собой вальцовкой, но при этом арки имеют пролет не более 36 м, стеновые конструкции проектируются отдельно (рис. 8).

На основе проведенных исследований были разработаны, реализованы и запатентованы принципиально новые решения двухслойных арочных покрытий: с объединением профилей по высоте и укладкой между ними пароизоляции и утеплителя, что позволило добиться повышенной несущей способности конструкций, возможности увеличения пролетов зданий. Впервые такое конструктивное реше-

ние пролётом 19 м было применено в покрытии бассейна для дворовых территорий, возведенного в Москве.

В восьмидесятых годах в ряде научно-исследовательских организаций, в частности, в Красноярском Политехническом институте, Всесоюзном институте легких сплавов (ВИЛС), в Новосибирском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева с участием ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко были проведены исследования и разработаны конструктивные решения покрытий, пролетами от 12 до 18 м, где профлист выполнял функции ограждения и одновременно включался в работу каркаса.

Наиболее удачно этот принцип был реализован в ферменных покрытиях типа «Молодечно», где профилированный лист играет роль связей по верхним поясам ферм.

Был предложен ряд интересных решений покрытий, где несущая способность профилированных элементов использовалась максимально рационально, при этом они не нашли массового применения.

В частности, было предложено решение покрытия пролетом 12-18 м, которое komponуется из линзообразных блоков, представляющих собой пространственную систему из металлического профилированного листа (рис. 9).

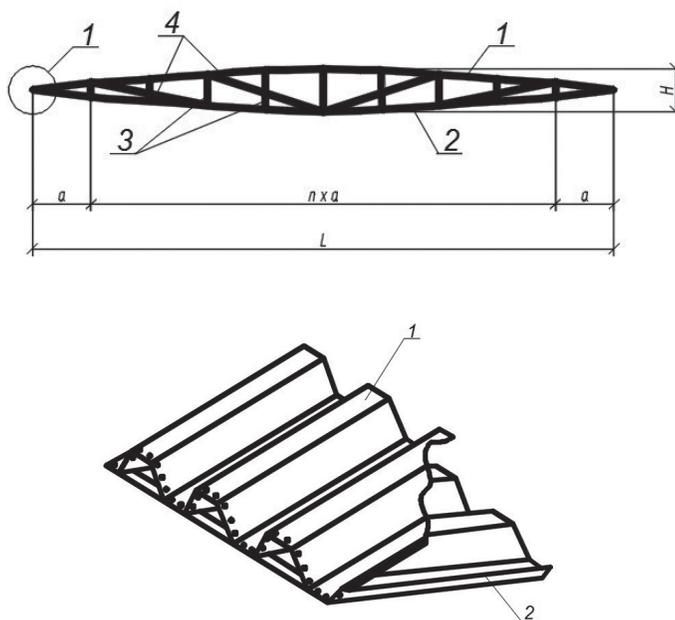


Рис. 9. Линзообразный блок покрытия: 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стойки; 4 – раскосы

Пояса конструкции повторяли форму эпюры изгибающих моментов. По торцам гофры верхнего профилированного листа были размещены в гофрах нижнего профилированного листа и соединялись по всему контуру поперечного сечения при помощи контактной точечной сварки. Промежуточные элементы выполнялись в виде жестких рамок из гнутых уголков; раскосы были запроектированы из прокатных уголков и устанавливались по продольной центральной линии панели.

В Белорусском политехническом институте и ЦНИИСКе им. В. А. Кучеренко в период 1990-1992 гг. велись разработки конструкций преднапряженных панелей из профилированных листов. В качестве настила использовался профлист Н 114-660-0,8 (рис. 10).

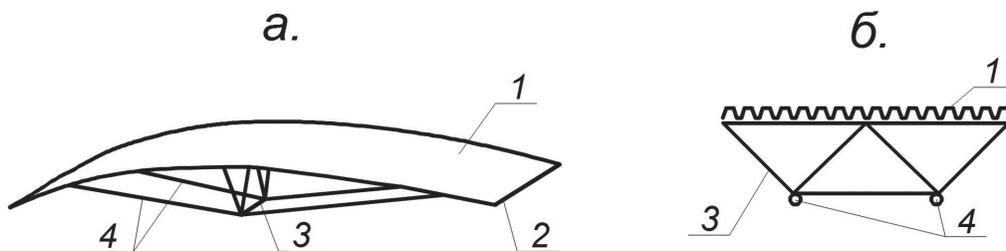


Рис. 10. Цилиндрическая панель-оболочка: а – общий вид; б – разрез; 1 – профилированный лист; 2 – упор; 3 – распорка; 4 – нижний пояс



Рис. 11. Бескаркасное здание типа Нонсо

Были определены оптимальные геометрические параметры покрытия, в частности, стрелка выгиба – от $1/50$ до $1/20$, при которой покрытие работало наиболее рационально; кроме этого, на несущую способность влияло число стоек шпренгельной системы.

Экспериментальными исследованиями была подтверждена достаточная несущая способность и жесткость таких предварительно напряженных панелей из профилированного стального листа.

Успешной конструктивной системой бескаркасных зданий, возводимых с применением тонколистовых профилей, являются бескаркасные здания канадской компании Нонсо и их аналог на российском рынке – здания компании «Эксергия» (рис. 11). Лаборатория металлических конструкций ЦНИИСК

им. В. А. Кучеренко выполняла работы по исследованию поведения этих конструкций, созданию нормативной документации, разработке и научному сопровождению проектов [4].

Основным несущим элементом в конструкциях стен и покрытия таких зданий является стальной профилированный лист синусоидальной формы с двойным гофрированием (структурная секция) толщиной 0,8-2,0 мм, высотой гофр 128 мм и шириной 1 м. Соединение структурных секций между собой выполняется на болтах.

Здания Нонсо были запатентованы в середине 70-х годов прошлого века, при этом активно возводятся и в настоящее время; они выделяются из общего ряда тем, что позволяют перекрывать пролеты до 100 м и использовать типовые элементы как в покрытии, так и в стеновых конструкциях.

В этих зданиях в полной мере отражены все преимущества бескаркасных конструкций: низкая материалоемкость, поскольку несущие конструкции одновременно являются ограждающими; удобство доставки и складирования; высокая скорость возведения; возможность разборки и повторного применения; высокая сопротивляемость прогрессирующему обрушению.

Как видим, история развития конструкций из тонколистовых ХГП насчитывает уже около 170 лет. В настоящее время в связи с развитием программных комплексов и появлением современных методик расчетов строительных конструкций, с разработ-

кой новых конструкционных, теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов появляются возможности обобщения опыта предыдущих лет, разработки и внедрения новых конструктивных форм покрытий.

Следует отметить, что во все времена ограничивающим и сдерживающим фактором развития строительства зданий из холодногнутых тонколистовых профилей было отсутствие норм проектирования. Поэтому совершенствование отечественных норм проектирования тонколистовых конструкций, в частности, СП 260.1325800.2016, видится приоритетным направлением для расширения и популяризации строительства из ХГП.

Рассмотренные в статье конструктивные решения являются базой, на основе которой открывается перспектива дальнейших изысканий в области бескаркасного строительства.

Библиографический список

1. Трофимов В. И., Каминский А. М. Легкие металлические конструкции здания и сооружений. М.: Ротапринт, 1993.
2. Прицкер А. Я., Аденский В. А., Фридман М. С. Бескаркасные складчатые конструкции. Киев: Будивельник, 1991.
3. Hancock Gregory J., Murray Thomas, Ellif Duane S. Cold-formed steel structures to the AISI Specification. Eastern Hemisphere Distribution. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York. 2001.
4. Ведяков И. И., Соловьев Д. В., Арменский М. Ю. Новые типы бескаркасных зданий и перспективы их развития // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №10. С. 27-29.
5. Еремеев П. Г., Киселев Д. Б., Арменский М. Ю. К проектированию бескаркасных конструкций арочных сводов из холодногнутых тонколистовых стальных профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2004. №7. С.54-57.

Авторы:

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф., директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ivan VEDYAKOV, Doctor of Engineering, Full Professor, Director of TSNIIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedykov@gmail.com

тел.: +7 (499) 171-26-50

Дмитрий Валерьевич СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук, заведующий сектором лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitriy SOLOVYEV, Ph.D. in Engineering, Head of Sector of Metal structures in Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: DVSolov@yandex.ru

тел.: +7 (499) 171-22-97; +7 (916) 165-79-15

Алексей Игоревич КОВАЛЕНКО, научный сотрудник лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexey KOVALENKO, Researcher, Sector of Metal structures in Laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Kovalenko@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-77-47

Анна Станиславовна ГУДЕНКО, научный сотрудник лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Anna GUDENKO, Researcher, Sector of Metal structures in Laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: gudenko@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-77-47

Алексей Владимирович СМАГИН, научный сотрудник лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexey SMAGIN, Researcher, Sector of Metal structures in Laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: smagin@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-77-47