

ОТ МОДУЛЯ «КИСЛОВОДСК» ДО МОДУЛЯ «ПЯТИГОРСК» 40 лет отрасли легких металлоконструкций комплектной поставки

*А. С. Марутян, М. Б. Григорян, С. И. Экба
Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Пятигорск (Россия)*

Самый дальний угол пристанционной площади городского автовокзала Кисловодска замыкает проходная завода металлических конструкций. Его цеха 40 лет назад были в числе первых новостроек промышленной зоны города-курорта. Отсюда начинала свое развитие одна из самых молодых отраслей отечественной стройиндустрии – серийное производство легких металлических конструкций комплектной поставки, в обиходе называемых модулями. Первенца отрасли по месту освоения его серийного изготовления нарекли собственным именем «Кисловодск». Модули этого типа во всех модификациях представляют собой структурные конструкции, которые невозможно перепутать ни с какими другими из-за их характерной пространственно-стержневой кристаллической решетки. Конструкции с такой решеткой отличаются выразительностью архитектурного облика и komponуются из многократно повторяющихся стержневых и узловых элементов. Их производство отвечает самым прогрессивным требованиям высоких технологий, обеспечивает столь необходимые в современных условиях рабочие места и экологически безопасно для курортного города [1, 2]. В 1938 г. инженеры немецкой фирмы «Меро» разработали оригинальные узловые соединения, основным элементом которых представляет собой металлическую шарообразную деталь с резьбовыми гнездами для ввинчивания в них и стыкования под разными углами от 8 до 16 стержней.

Это техническое решение оказалось из ряда вон выходящим изобретением, так как послужило начальным толчком для развития современных структурных конструкций, весьма распространенных в различных зданиях и инженерных сооружениях. Первая конструктивная система «Меро», получившая широкое признание, была предложена в 1942 г. М. Менгеринхаузенем (Германия). За непродолжительный промежуток времени во всех промышленно развитых странах разработали свои варианты и модификации: «Мобилар» и «Юнистрэт» (США), «НС» (Япония), «Триодетик» (Канада), «Меро» и «Октоплат» (ФРГ), «ИФИ», «Веймар» и «Берлин» (ГДР), «Мостосталь» (Польша), «Варитек» (Швейцария), «Спейс-Дек» (Англия), «Пирамитек» (Франция) и т. д. В нашей стране в числе первых структурных конструкций были модули типа «Берлин». Ими, в частности, перекрыто здание кисловодского автовокзала. В московском архитектурном институте известные соединения «Меро» были усовершенствованы. Узлы «МАрхИ» оказались настолько технологичными, что на их базе институт «Гипроспецлегконструкция» и разработал серийные модули «Кисловодск». В последующие годы был создан целый ряд легких металлических конструкций комплектной поставки: структуры типа «ЦНИИСК» и «Москва», рамные системы «Канск» и «Орск», блоки из ферм «Молодечно» и «Тагил», покрытия из балок «Алма-Ата» и т.д. За то же время по изготовлению структурных модулей типа «Кисловодск» специализированны Ташкентский, Выксунский, Киреевский и другие заводы металлических конструкций. В результате такого развития мощности отрасли по изготовлению модулей «Кисловодск» настолько возросли, что ими ежегодно перекрывали до 200 га (20 млн кв. м) площадей. Однако при всем этом модули «Кисловодск» были весьма дефицитными и имели повышенный спрос. Если перечислить события в хронологической последовательности, то получится такая цепочка: декабрь 1971 г. – пуск опытного ЗМК в Кисловодске; май 1972 г. – правительственное постановление по массовому изготовлению легких металлоконструкций; 1973 г. – опытный статус конструкций изменен на типовой с наименованием «Кисловодск»; сентябрь 1986 г. – еще одно (повторное) правительственное постановление по дальнейшему совершенствованию таких конструкций. Над ними в нашей стране работали В. Трофимов, В. Файбишенко, А. Прицкер, И. Пименов, С. Аванесов, Р. Хисамов, А. Усанов, А. Каминский, Б. Пушкин и другие ученые и специалисты. Первые серийные конструкции такого вида получили название «Кисловодск» во многом благодаря Б. Нугзарову – тогдашнему управляющему трестом «Кававтострой», в составе которого был пущен опытный завод металлических конструкций. Признанием его заслуг является тот факт, что в составе авторского коллектива он стал лауреатом премии Совета министров Союза ССР [3–5].

Легкие металлические конструкции комплектной поставки выгодно отличаются не только своими технико-экономическими характеристиками. Их преимущества по сравнению с другими строительными конструкциями заметно возрастают за счет повышенной сейсмостойкости. Эти преимущества оказались особенно востребованными после разрушительного землетрясения 1966 г. в Ташкенте. Именно поэтому Ташкентский ЗМК был специализирован по изготовлению модулей «Кисловодск» раньше многих других заводов отрасли. Надежность пространственно-стержневых, балочных, рамных, ферменных, сводчатых, оболочечных, складчатых и других облегченных конструкций подтвердилась еще раз, когда произошло не менее разрушительное землетрясение 1988 г. в Армении. В 1996–1997 гг. на территориях Краснодарского и Ставропольского краев специалистами МЧС России с применением мобильного диагностического комплекса были выполнены работы по зонированию сейсмического риска. Результаты проведенных работ показали, что существующие здесь застройки не соответствуют принятым нормам по сейсмостойкости, имеют умеренные повреждения (особенно в жилом фонде), снижающие сейсмостойкость, в целом, до 20 %. Зонами повышенного сейсмического риска являются густонаселенные районы Кавказских Минеральных Вод в Ставропольском крае и прибрежная часть Черного моря от Сочи до Туапсе в Краснодарском крае [6]. События, которые начались 11 марта 2011 г. на островах Японии, еще раз заострили внимание на всей проблематике сейсмостойкого строительства.

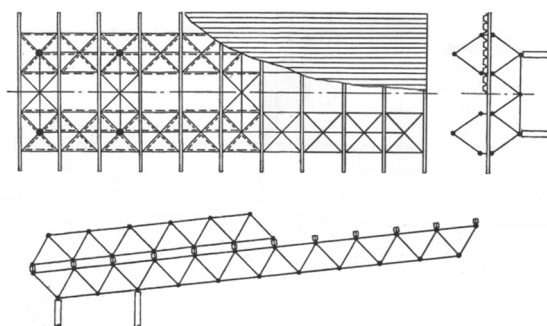


Рис. 1. Схема консольной модификации двухъярусного пространственно-стержневого покрытия

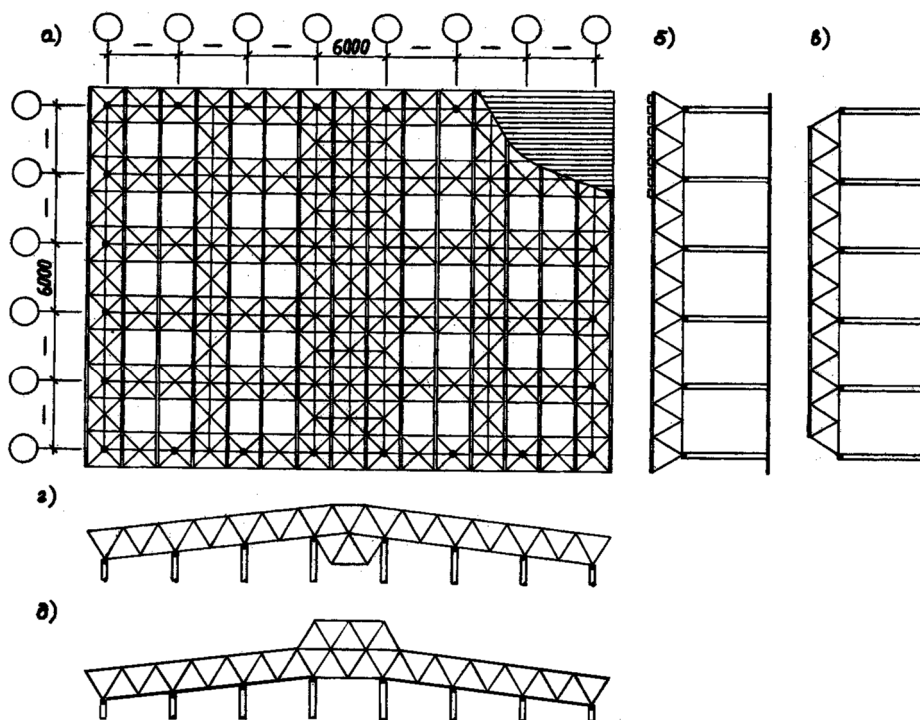


Рис. 2. Схемы большепролетного пространственно-стержневого покрытия: *а* – план (общий вид); *б* – консольное опирание; *в* – бесконсольное опирание; *г* – подстропильно-бесфонарная конструкция; *д* – подстропильно-фонарная конструкция

Перспектива развития легких металлоконструкций открывается с дальнейшим совершенствованием их компоновки из типовых стержневых и узловых элементов по унифицированному («заводскому») сортаменту, что многократно расширяет границы области рационального применения в зданиях и сооружениях различного назначения. Не менее перспективна техническая модернизация стержневых элементов, их узловых соединений и конструктивных систем в целом. Одно из подобных технических решений представляет собой двухъярусную конструкцию, в которой вылет консоли по сравнению с типовыми секциям (блоками) увеличен в два и более раза (рис. 1). Ее отличительной особенностью является расположение настила из профилированных листов между структурами верхнего и нижнего ярусов [7]. При этом прогоны под настилом одновременно выполняют функции верхнего пояса нижней структуры и нижнего пояса верхней структуры. Для их изготовления круглые трубы необходимо заменить прямоугольными или составными стержневыми элементами [8]. Узловые элементы верхней и нижней структур стянуты шпильками, пропущенными сквозь прогонно-поясные стержни, листы настила и втулки. Последние предохраняют гофры профилированных листов от смятия и обеспечивают герметичность настила. Продолжением разработки и модернизации подобных пространственно-стержневых систем стала их компоновка из трехгранных ферм, образующих разреженную структуру, включающую двухъярусную подстропильно-фонарную (или подстропильно-бесфонарную)

конструкцию, а также одноярусные конструкции – стропильные, обвязочные, связевые (рис. 2) [9]. Нижний ярус подстропильно-фонарной конструкции расположен на одном уровне со стропильной частью покрытия, а верхний ярус позволяет разместить в нем световые и аэрационные фонари. Верхний ярус подстропильно-бесфонарной конструкции расположен на одном уровне со стропильной частью покрытия, а нижний ярус имеет высотные отметки не ниже опорных узлов на колоннах. Основой кровельного ограждения служит профилированный настил, который опирается на прогонно-поясные стержни, воспринимающие кроме продольных усилий поперечные местные нагрузки. Все покрытие оперто на колонны, расположенные по его периметру с шагом, равным или кратным 6,0 м. Опорные зоны покрытия могут иметь консоли или бесконсольное решение.

Пространственно-стержневое покрытие с подстропильно-фонарной конструкцией и бесконсольным опиранием разработано для спорткомплекса в Витязево (Анапский район Краснодарского края), состоящего из двух игровых площадок под одной крышей. Пространственное облегченное покрытие имеет размеры в плане 48×36 м, и спроектировано с учетом расчетной сейсмичности 9 баллов. Конструкции покрытия, включая блоки фундаментных (анкерных) болтов под трубчатые колонны, изготовлены комплектно на Кисловодском заводе металлических конструкций (ЗАО «Завод металлоконструкций») в 2005 г., а смонтированы на строительной площадке и подняты в проектное положение летом 2006 г. (рис. 3). Они отличаются не только относительной новизной технического решения на базе унифицированных элементов системы «Кисловодск», но и весьма высокими технико-экономическими характеристиками. В строительстве новых объектов эти характеристики заметно улучшаются также за счет унифицированных узловых и стержневых элементов, не вновь изготовленных, а повторно использованных из бывших в эксплуатации. В качестве примера можно привести предприятие по розливу минеральной воды на железнодорожной станции Скачки в Пятигорске, где при повторном применении доля бывших в эксплуатации элементов, замененных новыми, составила менее 2% от общего объема, включающего три модуля размерами в плане 36 × 36 м (рис. 4).



Рис. 3. Облегченная пространственно-стержневая конструкция покрытия в процессе монтажа: *а* – вид изнутри; *б* – вид снаружи



Рис. 4. Общий вид конструкций на станции Скачки: год изготовления – 1966, год повторного применения – 2005

Область рационального использования в новом строительстве унифицированных элементов из «заводского» сортамента, бывших в эксплуатации, можно расширить при помощи новых технических решений. К числу таких решений относится узел на врезных фасонках зигзагообразной формы, разработанный применительно к пространственно-стержневым конструкциям преимущественно из круглых труб (рис. 5) [10]. Рассматриваемое узловое соединение имеет достаточно универсальное техническое решение. Так, узел с врезными фасонками упрощается, когда через его внутриузловую полость проходит цельный стержневой элемент одного из пересекающихся направлений (рис. 5б), и количество торцевых заглушек сокращается вдвое. При этом также упрощаются фасонки, врезанные в цельный элемент, которые могут иметь плоскую форму. В качестве другого примера использования разработанного узлового соединения можно привести один из вариантов усиления типового узла структурных конструкций системы «МАрхИ», «Кисловодск» (рис. 5в) [11]. В этом варианте

усилия пересекающихся поясных элементов передаются при помощи болтовых нахлесточных соединений выступающих частей врезных фасонки зигзагообразной формы, а узловой коннектор типа «МАрХИ» и его крепежные детали воспринимают усилия только от раскосных элементов решетки пространственно-стержневой конструкции. Необходимая и достаточная надежность такого узлового соединения подтверждена результатами пробного (контрольного) испытания опытного образца (рис. 5з), выполненного в масштабе 1:1 и исследованного в заводской лаборатории [12]. При этом была отработана технология изготовления монтажного стыка на болтах, а также уточнена практическая методика его расчета.

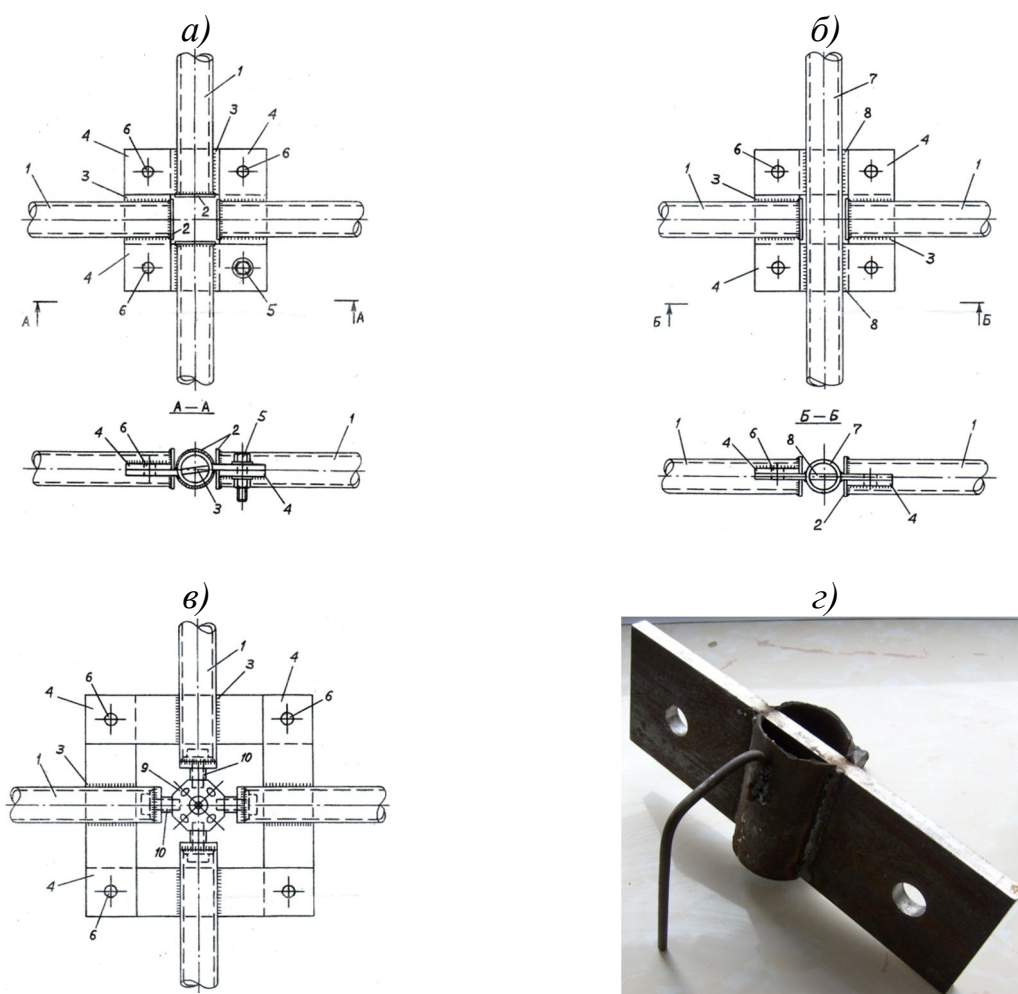


Рис. 5. Схемы узлового соединения пересекающихся стержней: *а* – соединение разрезных элементов из трубчатых профилей круглого сечения; *б* – соединение стержневых элементов, которые в одном из направлений неразрезные; *в* – узел трубчатых стержней из унифицированных элементов типа «МАрХИ», «Кисловодск» (вариант усиления при реконструкции, раскосные элементы решетки условно не показаны); *г* – снимок фрагмента опытного образца узлового соединения после его разрушения в лабораторных условиях; 1 – пересекающиеся стержни; 2 – торцевые заглушки; 3 – врезные фасонки зигзагообразной формы; 4 – выступающие части фасонки; 5 – болт; 6 – соосные отверстия; 7 – неразрезной (цельный) стержневой элемент; 8 – врезные фасонки плоской формы; 9 – узловой коннектор типа «МАрХИ»; 10 – крепежные детали

Еще одним подобным решением является сварной стык стержневых элементов трубчатого сечения с продольными прорезями (рис. 6) [13]. Его можно использовать при реконструкции или модернизации для повторного применения стержневых элементов из унифицированного сортамента структурных конструкций системы «МАрхИ», «Кисловодск» [14]. Не менее эффективно предлагаемое стыковое соединение применительно к трубчатым стержням прямоугольного сечения в целом и квадратного в особенности. Экспериментальные исследования подтвердили необходимую и достаточную несущую способность стыкового соединения, а также его равнопрочность со стыкуемыми трубчатыми стержнями [15]. Поэтому область рационального применения такого стыкового соединения можно расширить за счет включения в нее ромбических и пятиугольных замкнутых гнутосварных профилей (рис. 7) [16–18]. И здесь несложно заметить, если коротко подытожить все выше приведенное, своего рода условный переходный мостик, связующий традиционные, испытанные временем решения с легкими металлоконструкциями нового поколения.

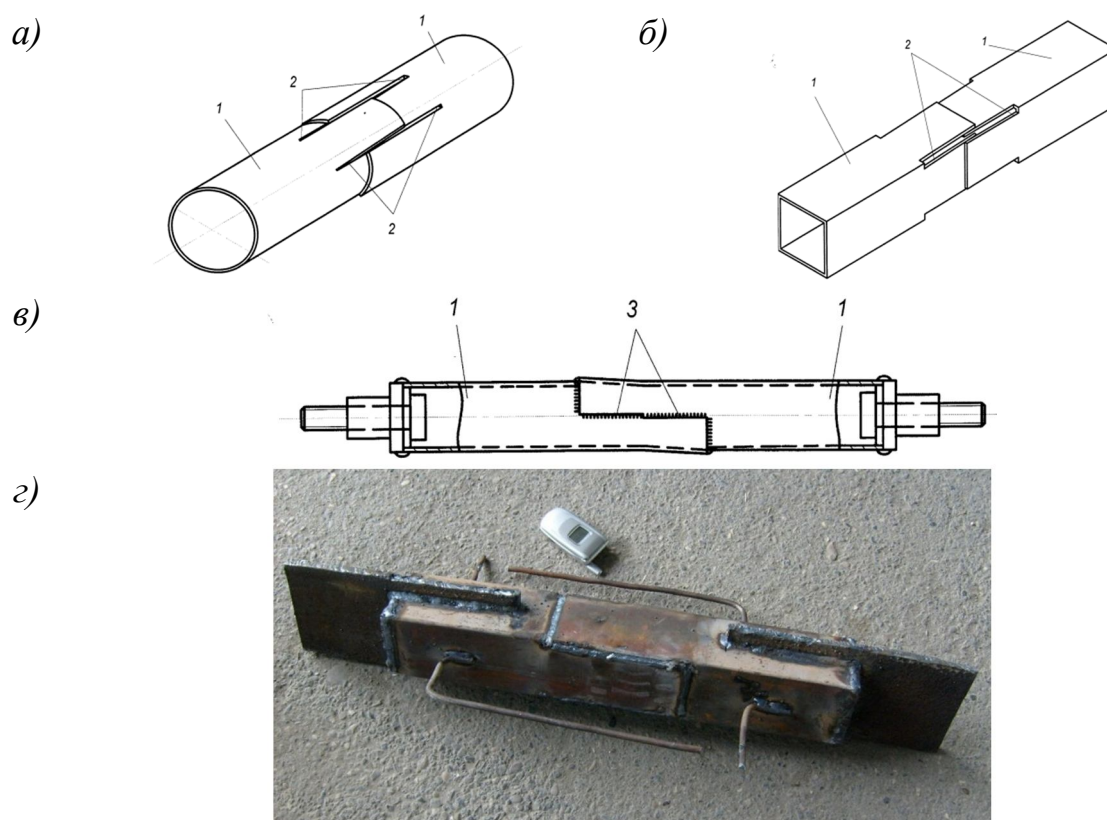


Рис. 6. Схемы стыковых сварных соединений: *а* – стержневых элементов из круглых труб; *б* – стержневых элементов из прямоугольных (квадратных) труб; *в* – стержневых элементов из унифицированного сортамента структурных конструкций системы «МАрхИ», «Кисловодск», модернизированных для повторного применения; *г* – снимок опытного образца из квадратных труб сечением $\square 80 \times 80 \times 3$ мм до его испытания на разрыв; 1 – стержневые элементы; 2 – продольные прорези; 3 – сварные швы

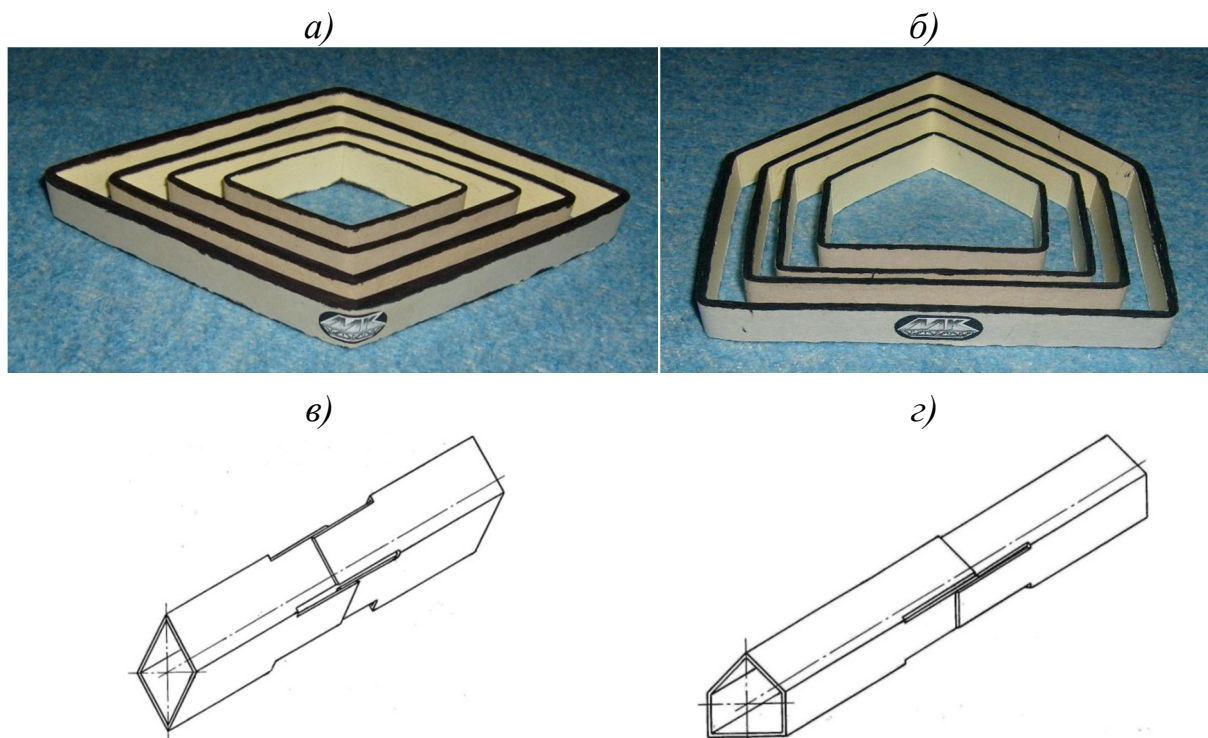


Рис. 7. Профили поперечных сечений стержневых трубчатых элементов ромбической (а) и пятиугольной (б) формы, а также их стыковые сварные соединения в процессе монтажа (в, з)

К числу легких металлических конструкций комплектной поставки нового поколения можно отнести модуль (блок) покрытия (перекрытия) из перекрестных ферм типа «Пятигорск» [19]. Предлагаемый модуль имеет достаточно универсальное решение, при реализации которого по контуру и внутри него можно использовать одинаковые несущие элементы. Такое решение осуществимо в перекрестных системах с минимальным числом ячеек в поясных сетках, что охватывает простейшие структуры с самого начала их ряда и расширяет область применения конструкций. Эта область может включать модули двухэтажной компоновки, где система перекрестных ферм покрытия, одинаковых по контуру и внутри него, состоит из 2×2 ячеек, а система перекрестных ферм перекрытия из-за большей интенсивности распределенной нагрузки содержит 3×3 ячеек. Здесь внутри контура те же фермы, что и в покрытии, а по контуру они сдвоены (рис. 8–10). На конструкциях с использованием предлагаемого модуля из перекрестных ферм с 2007 г. специализируется одна из проектно-строительных фирм Пятигорска. За это время возведены десятки промышленных и гражданских объектов (в том числе жилых), в которых реализованы сотни модулей с размерами в плане от 6×6 м до 12×12 м и высотой до трех этажей включительно. Из-за небольших габаритов такие конструкции можно условно классифицировать, как «карманные модули», и изготавливать формирующие их перекрестные стальные фермы цельносварными. Среди этих модулей были прямоугольные и косоугольные в плане, которые, как показала практика, эффективны не меньше квадратных.

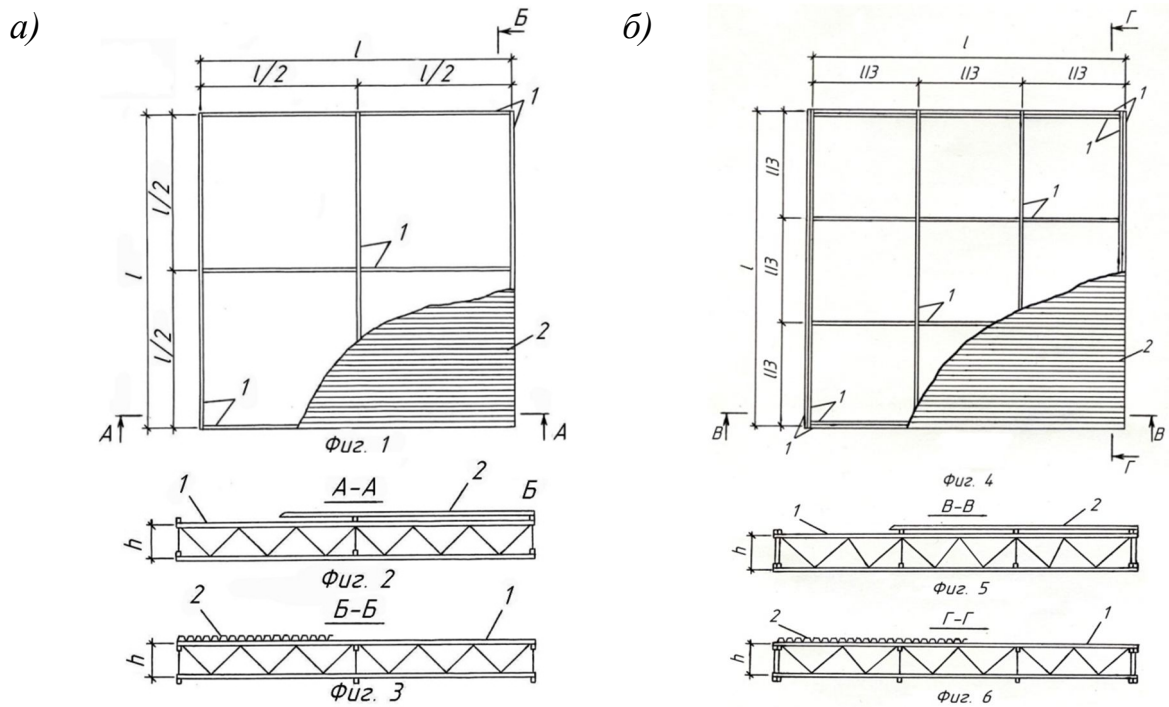


Рис. 8. Схемы модуля «Пятигорск» из перекрестных ферм при количестве ячеек 2×2 (а) и 3×3 (б): 1 – одиночные перекрестные фермы; 2 – элементы ограждения (профилированные листы)

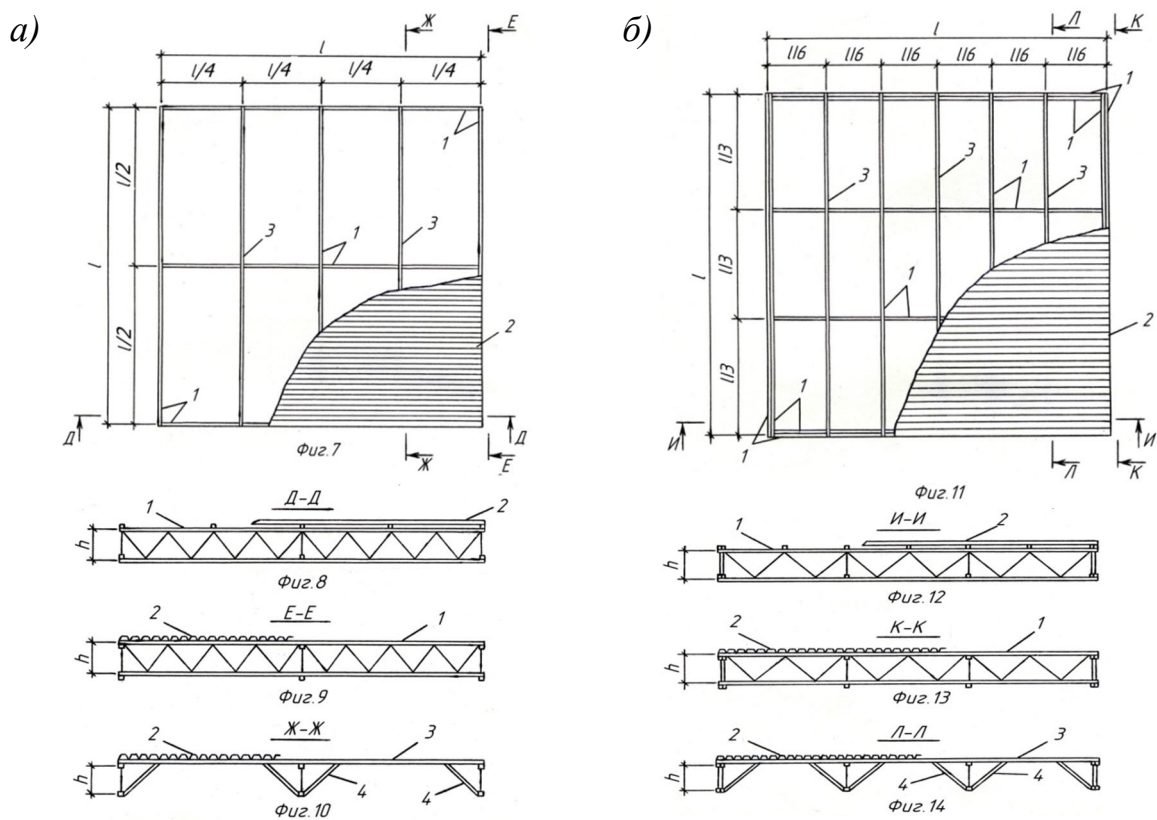


Рис. 9. Схемы модуля «Пятигорск» из перекрестных ферм с прогонами при количестве ячеек 2×2 (а) и 3×3 (б): 1 – одиночные перекрестные фермы; 2 – элементы ограждения (профилированные листы); 3 – прогоны; 4 – подкосные элементы

a)



б)



Рис 10. Снимки двухэтажных модулей при возведении складского строения (*a*) и блока перекрытия в интерьере офисного здания (*б*)

Отличительная особенность перекрестных стальных ферм заключается в их бесфасоночных раскосных узлах, в которых непосредственно примыкает к поясу фермы раскос, а к раскосу – стойка решетки [20]. Необходимый и достаточный запас несущей способности перекрестных систем из трубчатых ферм с такими узлами был подтвержден еще раз во время контрольных испытаний модулей покрытий с размерами в плане $7,5 \times 7,5$ м, оборудованных подвесным краном грузоподъемностью 3,2 тонны (рис. 11). Для пробного нагружения в качестве мерных грузов были использованы фундаментные блоки, а прогибы определяли нивелированием по стальным рулеткам, подвешенным в узлах ферм. Когда пробная нагрузка в 1,25 раза превысила номинальный уровень и достигла 4 тонн, произошел отказ редуктора подъемного механизма подвесного оборудования. При этом замеренные значения прогибов не превышали расчетных.

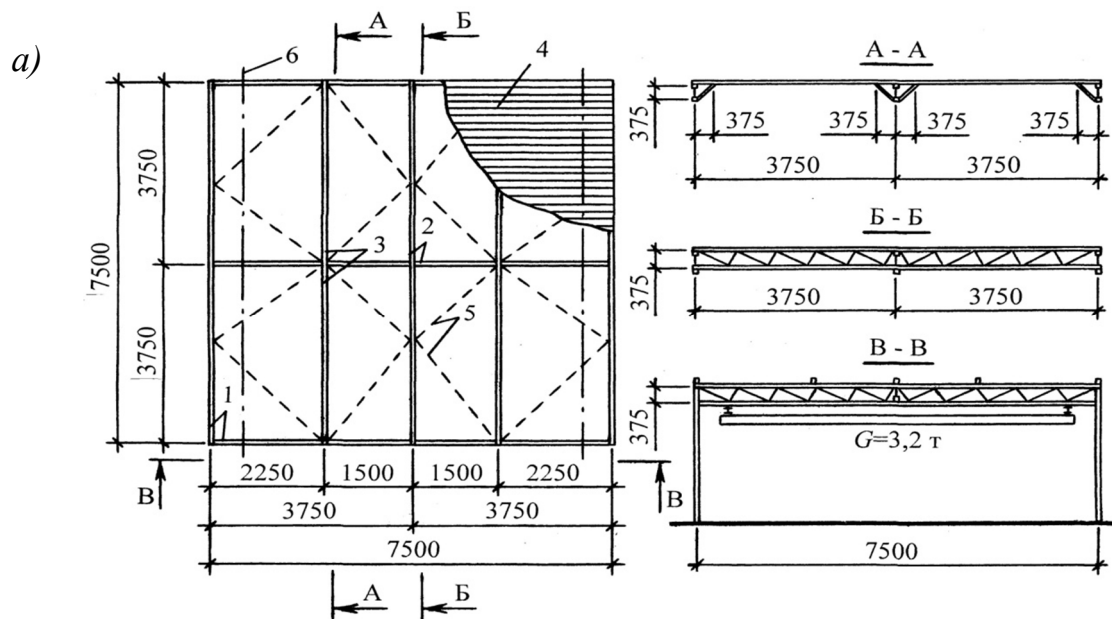


Рис. 11. Схемы модуля из перекрестной системы с подвесным краном грузоподъемностью 3,2 т (а) и снимок его испытаний (б): 1 – контурные фермы; 2 – внутренние фермы; 3 – прогоны; 4 – профилированный настил; 5 – крестовые связи; 6 – след кранового пути

При всех сложностях, вызванных экономическим кризисом, модули нового поколения были и остаются востребованными, привлекая внимание заказчиков и инвесторов своими технико-экономическими показателями.

Литература

1. Сделано в Кисловодске / А. Марутян // Кисловодские вести. – 1994. – № 37 (4091). – С. 2.
2. Ажур из металла / А. Марутян, Ю. Шумов // Кавказская здравница. – 2004. – № 202 (20253). – С. 1–2.

3. Трофимов, В. И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений / В. И. Трофимов, А. М. Каминский. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
4. Заводу металлоконструкций – 30 лет / А. Марутян // На Водах. – 2002. – № 6 (269). – С. 8.
5. Модуль по имени «Кисловодск» / А. С. Марутян // Кавказская здравница. – 2007. – № 16 (20618). – С. 2.
6. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие в 5 книгах. Кн. 5 / под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. – М. : Изд-во АСВ, 2001. – С. 351–353.
7. Марутян, А. С. Двухъярусные конструкции покрытий / А. С. Марутян // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону : материалы VII региональной научно-технической конференции. – Ставрополь : СевКавГТУ, 2003. – Т. 1. Технические и прикладные науки. – С. 98–99.
8. Расчет составных стержневых элементов / А. С. Марутян. – Пятигорск : ПФ СевКавГТУ, 2002. – 25 с.
9. Марутян, А. С. Сейсмостойкие конструкции из элементов типа «Кисловодск» / А. С. Марутян // Вузовская наука – региону Кавказские Минеральные Воды : материалы IX региональной научно-практической конференции Филиала СевКавГТУ в г. Пятигорске 24–25 мая 2007 г. – Пятигорск : ПФ СевКавГТУ, 2007. – С. 56–58.
10. Марутян, А. С. Узловое соединение пересекающихся стержней / А. С. Марутян, Г. М. Янукян. – Патент № 2358068, 10.06.2009. – Бюл. № 16.
11. Металлические конструкции : в 3 т. Т. 2. Конструкции зданий : учеб. для вузов / под ред. В. В. Горева. – М. : Высшая школа, 2004. – С. 312, рис. 7.7, г.
12. Марутян, А. С. Узловые соединения перекрестных систем и их расчет / А. С. Марутян, Ю. И. Павленко // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 3. – С. 18–26.
13. Марутян, А. С. Сварное стыковое соединение трубчатых стержней / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля, Ю. И. Павленко. – Патент № 2429329, 20.09.2011. – Бюл. № 26.
14. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы) : справочник / под ред. Ю. А. Дыховичного, Э. З. Жуковского. – М. : Высшая школа, 1991. – С. 305, рис. 2.8.4, б.
15. Марутян, А. С. Стыковые сварные соединения стержневых элементов с продольными прорезями и их расчет / А. С. Марутян // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – № 4. – С. 43–50.
16. Марутян, А. С. Ромбические профили металлических конструкций / А. С. Марутян, С. И. Экба // Вузовская наука – региону Кавказские Минеральные Воды : материалы XIII региональной научно-практической конференции Филиала СевКавГТУ в г. Пятигорске 20–21 мая 2011 г. – Пятигорск : ПФ СевКавГТУ, 2011. – С. 99–102.
17. Марутян, А. С. Пятиугольный замкнутый гнутосварной профиль / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля, С. А. Глухов, Г. М. Янукян, Ю. И. Павленко. – Патент № 104582, 20.05.2011. – Бюл. № 14.
18. Марутян, А. С. Пятиугольные замкнутые гнутосварные профили / А. С. Марутян, С. А. Глухов, Ю. И. Павленко // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 5. – С. 53–57.
19. Марутян, А. С. Модуль (блок) покрытия (перекрытия) из перекрестных ферм типа «Пятигорск» / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля. – Патент № 117944, 10.07.2012. – Бюл. № 19.
20. Марутян, А. С. Бесфасоночный раскосный узел трубчатых ферм / А. С. Марутян, Т. Л. Кобаля. – Патент № 100784, 27.12.2010. – Бюл. № 36.