

УДК 624.074:69.024.4

## **Конструкции покрытий из двойных систем перекрестных ферм и балок**

**Марутян А.С., к.т.н.**

Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске,  
Российская Федерация

**Анотація.** Наведено компоновку каркасів будівель і споруд з просторовими покриттями з перехресних конструкцій. Показані раціональність, ефективність і універсальність їх технічного рішення стосовно перехресних систем двох і трьох напрямків, з використанням залізобетонних і металевих конструкцій. Представлена сталева перехресна конструкція у вигляді балок складеного перетину з п'ятикутних труб або наскрізних балок (безроскісних ферм) з п'ятикутних і квадратних труб. Наскрізнi балки при діагональному розташуванні перехресної конструкції за витратою матеріалу є кращими. Описано модулі розмірами в плані 112×112 м із подвійних систем перехресних сталевих ферм і балок із світлопрозорим покрівельним огорожуванням, що являють собою дві половини трансформованого покриття спортивно-концертного комплексу. Одна з відмінних рис цього покриття полягає в його кутових ґратчастих опорах, що переміщуються на візках уздовж довгої осі арени по рейкових шляхах на рівні землі, що забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат.

**Аннотация.** Приведена компоновка каркасов зданий и сооружений с пространственными покрытиями из перекрестных конструкций. Показаны рациональность, эффективность и универсальность их технического решения применительно к перекрестным системам двух и трех направлений, с использованием железобетонных и металлических конструкций. Представлена стальная перекрестная конструкция в виде балок составного сечения из пятиугольных труб или сквозных балок (безраскосных ферм) из пятиугольных и квадратных труб. Сквозные балки при диагональном расположении перекрестной конструкции по расходу материала более предпочтительны. Описаны модули размерами в плане 112×112 м из двойных систем перекрестных стальных ферм и балок со светопрозрачным кровельным ограждением, представляющие собой две половины трансформируемого покрытия спортивно-концертного комплекса. Одна из отличительных особенностей этого покрытия заключена в его угловых решетчатых опорах, перемещаемых на тележках вдоль длинной оси арены по рельсовым путям в уровне земли, что обеспечивает снижение трудовых и материальных затрат.

**Abstract.** Arrangement of frameworks of buildings and structures is given with spatial covering made of cross constructions. Rationality, efficiency and universality of their technical decision are shown as it applies to cross systems in two and three directions, using reinforce-concrete and metallic constructions. A steel cross construction is presented as beams with composite sections from pentagonal pipes or through beams (girder trusses) from pentagonal and square pipes. Through beams at diagonal location of cross construction are more preferable concerning expense of material. The modules are described with in-plan sizes of 112×112 m from the double systems of cross steel girders and beams with a translucent roofing shielding, which are two halves of the transformable covering of sports and concert complex. One of distinctive features of this roofing is in its angular latticework supports movable on the rail tracks along the long axis of the arena at ground level, which reduces labor and material costs.

**Ключевые слова:** перекрестные конструкции, перекрестные фермы, перекрестные балки, модули, трансформируемое пространственное покрытие.

Накопленный опыт проектирования и строительства объектов с использованием перекрестных конструкций подтверждает рациональность, эффективность и универсальность их базовых технических решений, обеспечивающих повышенные ресурсы силового сопротивления и устойчивости к прогрессирующему (лавинообразному) разрушению. Так, ортогональная система перекрестных стальных ферм из прямоугольных труб использована в покрытии ледовой арены в 50 км от Санкт-Петербурга в самой высокой точке Ленинградской области на территории Карельского перешейка (рис. 1) [1]. Аналогично, основу несущих конструкций аэровокзального комплекса «Внуково-1» в Москве представляет перекрестная система стальных ферм трех направлений из круглых труб (рис. 2) [2].



а)



б)

Рис. 1. Снимки общего вида ледовой арены в 50 км от Санкт-Петербурга (а) и перекрестных ферм его покрытия (б)



Рис. 2. Снимки аэровокзального комплекса «Внуково-1»: а – несущих конструкций в интерьере; б – опорных и соединительных узлов

Перекрестные стальные фермы трех направлений из замкнутых гнутосварных профилей (ГСП) прямоугольного сечения использованы в пространственных конструкциях покрытия основного зального помещения санаторно-кардиологического комплекса в Арзни, имеющего в плане форму правильного шестиугольника с описанной окружностью диаметром 26,4 м (рис. 3). При их проектировании учтена эквивалентная равномерно распределенная нагрузка значительной интенсивности ( $10 \text{ кН/м}^2$ ) от работающих подъемников, закрепленных в узлах перекрестных ферм для монтажа перекрытий из монолитного железобетона нижних этажей по методу подъема [3].

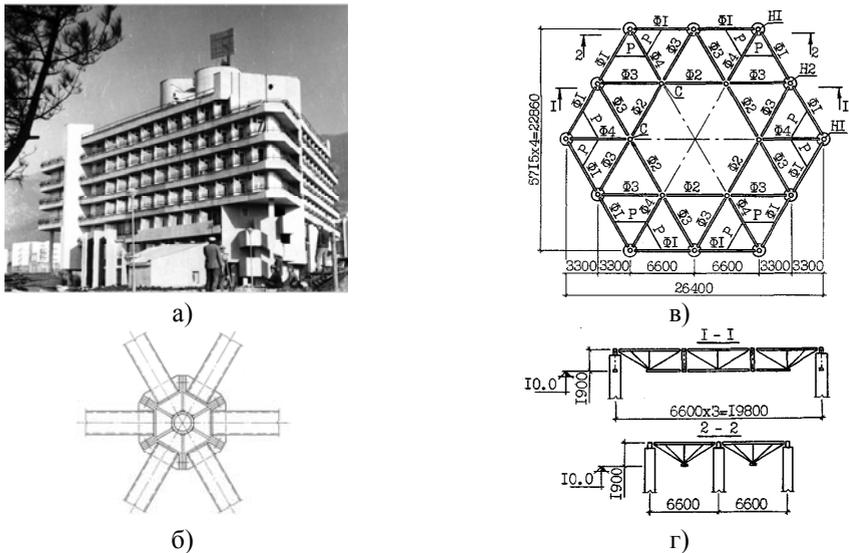


Рис. 3. Санаторно-кардиологический комплекс в Арзни: а – снимок общего вида; б – схема узлового соединения перекрестных ферм и стойки их решеток; в, г – план, разрезы каркаса покрытия

В Ереване возведен спортивно-концертный комплекс, который отличается выразительным архитектурным образом и не менее оригинальным способом монтажа оболочечных конструкций покрытия из перекрестных железобетонных элементов (рис. 4). За основу этого способа принято правило «трех точек», широко известное из практики скалолазания [4].

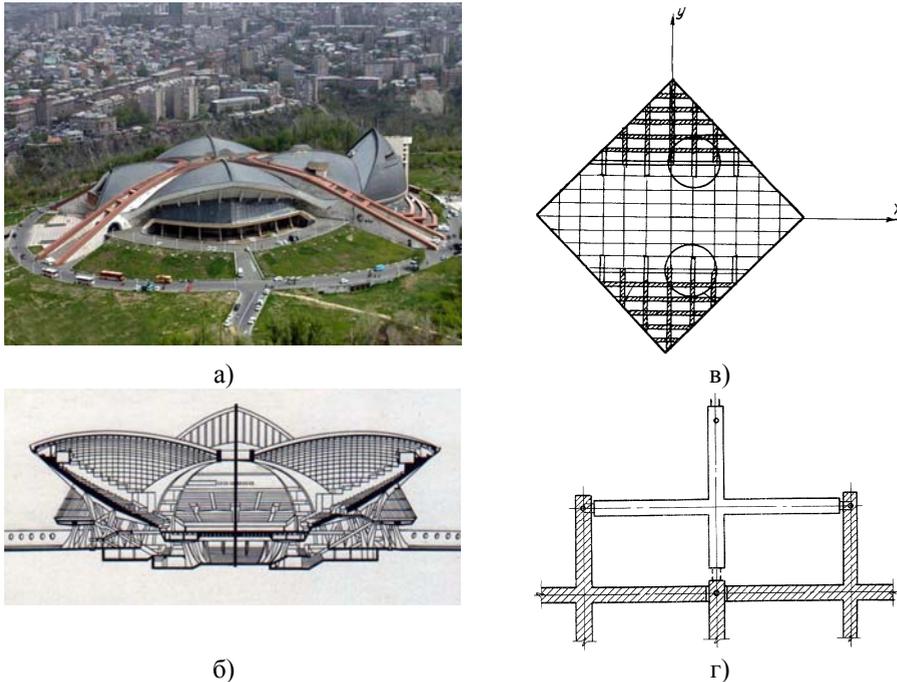


Рис. 4. Спортивно-концертный комплекс в Ереване:

а – снимок общего вида; б – разрез основного зала; в – монтажная схема оболочечной конструкции покрытия из железобетонных перекрестных элементов; г – узловые соединения перекрестных элементов

Несущие конструкции из двойных систем перекрестных ферм и балок имеет павильон «Механизация сельского хозяйства» на ВДНХ Украины (рис. 5). Покрытие размером в плане  $56 \times 56$  м выполнено в виде пространственной стержневой системы, опирающейся по периметру здания на колонны. Пространственное решение несущей конструкции позволило распределить нагрузку в двух направлениях и равномерно загрузить все стороны квадратного опорного контура. По сравнению с плоскими несущими конструкциями пространственная работа структуры дала возможность при той же жесткости покрытия снизить его строительную высоту до  $1/20$  пролета, заметно уменьшив общий объем здания при той же полезной высоте помещения. В конструктивном отношении это покрытие представляет собой ортогональную систему

перекрестных ферм с параллельными поясами и треугольной решеткой. Размер ячейки перекрестной системы 11,2×11,2 м. В квадраты верхней поясной сетки установлены регулярные балочные ростверки (перекрестные балки) таким образом, что размер ячейки верхней сжатой плоскости покрытия составляет 2,8×2,8 м, что равномерно распределило нагрузки между ребрами и повысило устойчивость сжатых поясов. При возведении покрытия павильона применили метод монтажа, суть которого состояла в полной сборке несущих конструкций на нулевой отметке и последующего подъема их в проектное положение. Сборку системы выполняли на инвентарных тумбах, установленных в местах пересечения ферм продольного и поперечного направлений и под концевыми участками ферм. Собранный и тщательно проверенный 240-тонный металлический каркас был поднят четырьмя гидравлическими подъемниками в верхнее положение и под него, на заранее подготовленные фундаменты, установлены трубчатые колонны каркаса. Теми же подъемниками всю конструкцию посадили на колонны, затем подъемники демонтировали. Подъем и установка конструкции заняла 3,5 часа [5].



Рис. 5. Павильон «Механізація сільськогосподарського господарства» в Києві:  
а – знімок зснаружи; б – то жє изнутри

Предлагаемое техническое решение относится к несущим конструкциям, используемым в строительстве универсальных зрелищных сооружений (крытых стадионов или спортивно-концертных комплексов) и трансформации их под различные мероприятия. Его результатом является расширение возможностей функционального применения трансформируемого покрытия, а также облегчение несущих конструкций здания или сооружения под этим покрытием. Такой результат достигается тем, что пространственные конструкции трансформируемого покрытия из перекрестных систем включают две раздвижные створки в плане квадратной формы с угловыми решетчатыми опорами, перемещаемыми на

тележках вдоль длинной оси арены по рельсовым путям в уровне земли (рис. 6). При этом контурные фермы перекрестных систем раздвижных створок по трем наружным кромкам обшиты цилиндрическими оболочками со светопрозрачными фасадными ограждениями, а все ячейки верхних поясных сеток перекрестных систем заполнены диагонально расположенными перекрестными балками, образующими каркасы для светопрозрачных кровельных ограждений [6].

Предлагаемые пространственные конструкции трансформируемого покрытия из двойных систем перекрестных ферм и балок имеют весьма широкий диапазон возможностей функционального применения за счет необходимой и достаточной длины рельсовых путей, позволяющей и приоткрывать частично, и открывать полностью арену. Сами рельсовые пути в уровне земли через тележки угловых решетчатых опор раздвижных створок непосредственно воспринимают все нагрузки и воздействия от трансформируемого покрытия, максимально облегчая несущие конструкции здания или сооружения под покрытием. С одинаковым успехом такое покрытие может быть возведено как над строящимся зданием или сооружением, так и над уже существующим. Кроме того, оно обладает необходимой и достаточной устойчивостью к внезапному лавинообразному (прогрессирующему) обрушению за счет использования систем перекрестных ферм, а диагонально расположенные перекрестные балки способствуют увеличению этой устойчивости.

Повышенная устойчивость имеет определяющее значение в условиях статических и особенно динамических нагрузок, свойственных трансформируемым конструкциям. Крестовые решетки контурных ферм и их опор выполнены однотипно с треугольными решетками перекрестных ферм. С внешних сторон контурные фермы закрыты фартуками из цилиндрических оболочек, конструктивно решенных в виде продолжения кровельного ограждения. Эти оболочки минимизируют воздействия ветровых порывов, препятствуют образованию наледей, а их каркасы повышают боковую жесткость опорного контура. Описанное трансформируемое покрытие позволяет значительно расширить эксплуатационные возможности спортивных объектов, превращая их в многофункциональные комплексы с дополнительными сервисными возможностями вплоть до организации за пределами арены, например, временных крытых автостоянок. При этом вновь возводимые или существующие здания и сооружения не нуждаются в значительных затратах, так как нагрузки и воздействия от покрытия на них передаваться не будут.

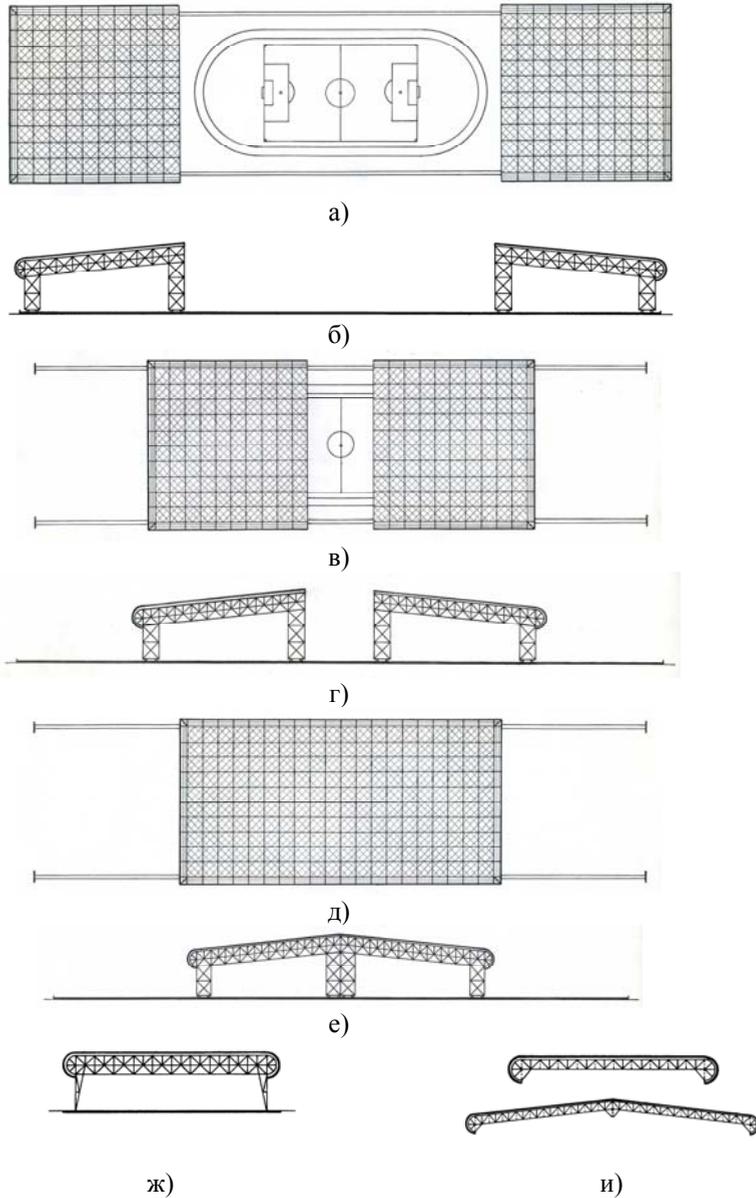


Рис. 6. Схемы конструкций трансформируемого пространственного покрытия из двойных систем перекрестных ферм и балок:  
а – вид сверху открытого покрытия; б – вид с продольного торца открытого покрытия; в – вид сверху приоткрытого покрытия; г – вид с продольного торца приоткрытого покрытия; д – вид сверху закрытого покрытия; е – вид с продольного торца закрытого покрытия; ж – вид с поперечного торца покрытия; и – поперечный и продольный разрезы покрытия по внутренним фермам

В состав приведенного трансформируемого покрытия из двойных систем перекрестных ферм и балок включено еще одно предлагаемое техническое решение. Его можно использовано в несущих конструкциях покрытий (перекрытий) зданий и сооружений из стальных перекрестных балок составного сечения или сквозных балок (безраскосных ферм) с использованием пятиугольных и квадратных труб (замкнутых гнутосварных профилей). Задача предлагаемого технического решения заключается в снижении трудоемкости изготовления и монтажа, а также в уменьшении строительной высоты покрытия (перекрытия). Поставленная задача решается за счет того, что в стальной перекрестной конструкции из линейных в плане взаимно пересекающихся несущих элементов последние выполнены в виде балок составного сечения из пятиугольных труб (ГСП) или сквозных балок (безраскосных ферм) из тех же пятиугольных и квадратных труб (ГСП). Верхние и нижние пояса балок составного сечения, а также верхние и нижние пояса сквозных балок (безраскосных ферм) из пятиугольных труб в узлах пересечения сопряжены и сцентрированы в одном уровне (рис. 7). Прерываемые в узлах пересечения пояса одного из направлений пригнаны вплотную к непрерываемым (цельным) поясам другого направления и подкреплены листовыми накладками прямоугольной формы, а стойки сквозных балок (безраскосных ферм) из квадратных труб могут быть расположены относительно поясной сетки перекрестной конструкции ортогонально или диагонально [7].

Предлагаемая стальная перекрестная конструкция является цельно-сварной, выполненной из универсальных, взаимозаменяемых и унифицированных в пересекающихся направлениях элементов. Конструктивно эти элементы, как в балочной, так и ферменной компоновке, оформлены одинаково, что способствует снижению трудоемкости изготовления и монтажа. Несущие элементы в виде балок составного сечения из пятиугольных труб с узловыми сопряжениями в одном уровне обеспечивают минимальную строительную высоту покрытия (перекрытия). Несущие элементы в виде сквозных балок (безраскосных ферм) с поясами из пятиугольных труб и их узловыми сопряжениями в одном уровне также сопровождаются уменьшением строительной высоты. Листовые накладки прямоугольной формы позволяют накладывать сварные швы в самом удобном (нижнем) положении и обеспечивают равнопрочность прерываемых в узлах пересечения поясов с непрерываемыми (цельными) поясами другого направления [8]. Стойки сквозных балок (безраскосных ферм) из квадратных труб выполнены с V-образными вырезами по торцам, что снижает концентрацию напряжений в бесфасоночных узлах, соединяющих их с поясами [9].

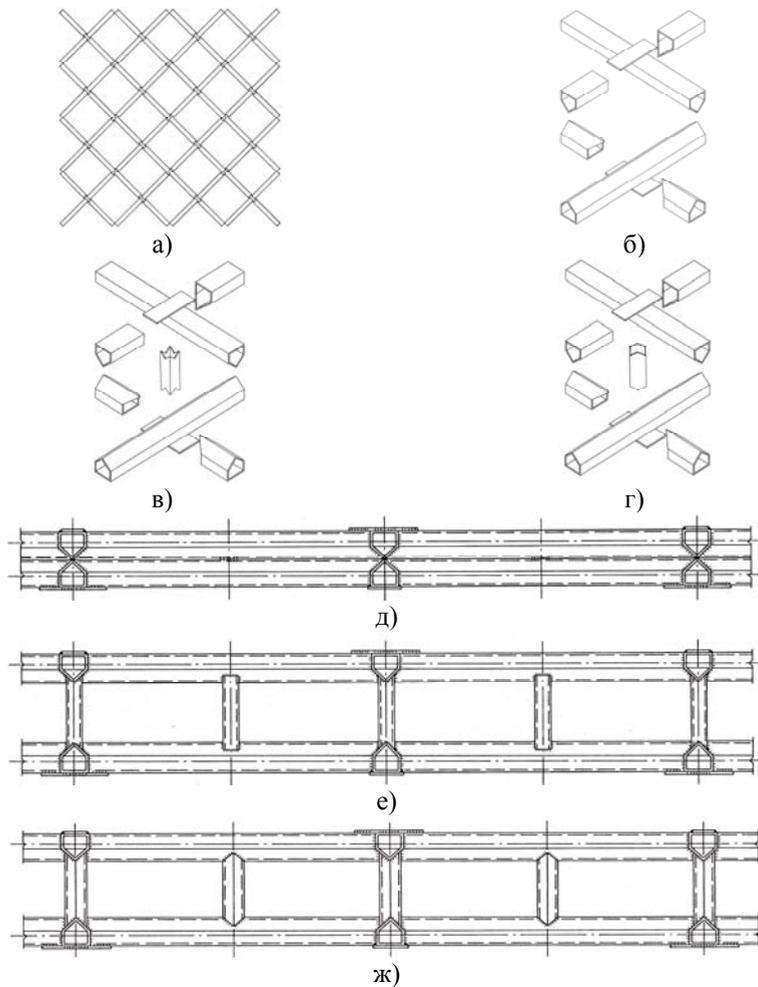


Рис. 7. Схемы стальной перекрестной конструкции:  
а – план расположения несущих элементов; б – общий вид узла пересечения балок составного сечения в процессе сборки; в – общий вид узла пересечения сквозных балок (безраскосных ферм) с ортогональной стойкой в процессе сборки; г – общий вид узла пересечения сквозных балок (безраскосных ферм) с диагональной стойкой в процессе сборки; д – разрез несущих элементов, выполненных в виде балок составного сечения из пятиугольных труб; е – разрез несущих элементов, выполненных в виде сквозных балок (безраскосных ферм) с поясами из пятиугольных труб и стойками из квадратных труб, ортогонально расположенных относительно поясной сетки перекрестной конструкции; ж – разрез несущих элементов, выполненных в виде сквозных балок (безраскосных ферм) с поясами из пятиугольных труб и стойками из квадратных труб, диагонально расположенных относительно поясной сетки перекрестной конструкции

Рассматриваемое техническое решение стальной перекрестной конструкции включает верхние и нижние поясные элементы из пятиугольных труб длиной на две ячейки поясной сетки. Торцы поясных элементов обработаны для плотного примыкания в узлах пересечения. Плотное примыкание позволяет их обварить, подкрепив при помощи верхних и нижних листовых накладок прямоугольной формы. Верхние накладки по ширине на 20...30 мм уже поясных элементов, а нижние накладки, наоборот, на 20...30 мм шире. В промежутках между узлами пересечения верхние и нижние пояса составных балок соединены друг с другом посредством прерывистых швов, расстояния между которыми в свету не должны превышать  $40 i_{\min}$ , где  $i_{\min}$  – минимальный радиус инерции сечения пятиугольного гнутосварного профиля поясного элемента [10]. В случае сквозных балок (безраскосных ферм) верхние и нижние поясные элементы из пятиугольных труб также длиной на две ячейки поясной сетки соединены друг с другом посредством узловых и рядовых стоек из квадратных труб, расположенных ортогонально, или аналогично – посредством узловых и рядовых стоек из квадратных труб, расположенных диагонально.

Приведенная стальная перекрестная конструкция имеет универсальное техническое решение, а также обладает необходимым и достаточным ресурсом несущей способности для эффективной реализации в самостоятельной каркасной системе. Не менее рациональным может оказаться ее применение в качестве вспомогательной несущей конструкции с повышенной степенью ответственности. Представленная стальная перекрестная конструкция по сути своей также является регулярным балочным ростверком. Если его расположить диагонально, то за счет образования по периметру такого ростверка геометрически неизменяемого очертания из треугольников устойчивость сжатых поясов возрастет еще больше. Материалоемкость диагонально расположенных перекрестных балок можно уменьшить, если выполнить их сквозными из пятиугольных и квадратных труб. Такой итог, в частности, получен при проектировании регулярных балочных ростверков с габаритами  $11,2 \times 11,2$  м и ячейками  $1,98 \times 1,98$  м под равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $2 \text{ кН/м}^2$  (таблица 1).

Таблиця 1

**Расход материала стальных перекрестных конструкций**

Сечение, мм	Длина, мм	Кол-во, шт.	Масса, кг				Примечания
			1 м	1 шт.	всех	итого	
<b>Стальная перекрестная конструкция из сквозных балок (безраскосных ферм)</b>							
△65×72,33×4×90 (на базе □60×4)	3960	64	6,71	26,57	1700,5	1808,2	Пояса
□60×4	180	89	6,71	0,18	107,7		Стойки
– 4×55	365	25	1,73	0,63	15,75	37,25	Верхние накладки
– 4×75	365	25	2,36	0,86	21,50		Нижние накладки
Всего без учета сварных швов						1845,45	
Сварные швы (1,5 %)						27,68	
Всего с учетом сварных швов						1873,18 (100 %)	
<b>Стальная перекрестная конструкция из несквозных балок составного сечения</b>							
△110×120,54×4×90 (на базе □100×4)	3960	64	10,36	41,03	2626,0	2626,0	Пояса
– 4×90	410	25	2,83	1,16	29,0	70,80	Верхние накладки
– 4×130	410	25	4,08	1,67	41,80		Нижние накладки
Всего без учета сварных швов						2696,80	
Сварные швы (1,5 %)						40,45	
Всего с учетом сварных швов (146,1 %)						2737,25	
<b>Стальная перекрестная конструкция из прокатных (несквозных) балок двутаврового сечения</b>							
I 18Б2	3960	32	18,8	74,45	2382,4	2382,4	Пояса
– 8×70	390	25	4,40	1,72	43,0	110,3	Верхние накладки
– 8×110	390	25	6,91	2,69	67,30		Нижние накладки
Всего без учета сварных швов						2492,70	
Сварные швы (1,5 %)						37,39	
Всего с учетом сварных швов (135,1 %)						2530,09	

Несущие конструкции из двойных систем перекрестных ферм и балок проработаны в рамках выпускной квалификационной работы [11], отмеченной на конкурсе 2015 г. в Волгограде дипломом II степени. Она включает исследование и оптимизацию модулей размерами в плане 112×112 м со светопрозрачным кровельным ограждением, составляющих две зеркально-симметричные половины трансформируемого пространственного покрытия спортивно-концертного комплекса. Ортогональные системы перекрестных стальных ферм образуют пространственно-

стержневые структуры плоской формы с односкатным уклоном 1/10. Поясные сетки включают 10×10 ячеек размерами в осях 11,2×11,2 м. Каждая из ячеек в уровне верхних поясов заполнена диагонально ориентированными структурами (регулярными балочными ростверками) из перекрестных стальных балок (таблица 1), увеличивающими жесткость и устойчивость пространственного покрытия, а также образующими каркасы для кровельного ограждения. Высота перекрестных ферм равна 5,6 м, что составляет 1/20 пролета и обеспечивает оптимальный угол наклона раскосов (45°) треугольных решеток. Перекрестные фермы по периметру опираются на контурные фермы высотой 11,2 м (1/10 пролета), которые имеют угловые опоры с шасси на усиленных железнодорожных колесных парах. Рельсовые пути угловых опор имеют протяженность, необходимую и достаточную для того, чтобы открывать, приоткрывать или закрывать трансформируемое покрытие. Крестовые решетки контурных ферм и их опор решены однотипно с решетками перекрестных ферм. С внешних сторон контурные фермы закрыты фартуками из цилиндрических оболочек радиусом 5,6 м, конструктивно решенными в виде продолжения кровельного ограждения. Полученные результаты подтвердили рациональность новых технических решений и перспективность их применения в практике проектирования и строительства зданий и сооружений различного назначения, а также реконструкции и модернизации существующих объектов.

## **Литература**

- [1] Спортивный интерес. Ледовый дворец [Электронный ресурс] / [М. Корсакова, А. Тимошина] // Domus (Архитектура). – 2011. – № 29(02). – Режим доступа: [http://vgip.ru/files/publication/ledovii\\_dvorec.pdf](http://vgip.ru/files/publication/ledovii_dvorec.pdf) (06.06.2016). – Название с экрана.
- [2] Ружанский И. Л. Конструктивные особенности несущих металлоконструкций покрытия для аэровокзального комплекса «Внуково-1» в Москве / И. Л. Ружанский, Д. Л. Мосягин // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 5. – С. 6–8.
- [3] Марутян А. С. Легкие металлоконструкции из перекрестных систем / А. С. Марутян // Пятигорский государственный технологический университет. – Пятигорск : РИА КМВ, 2009. – 348 с.
- [4] А.с. 1218020 СССР, МКИ Е 04 В 7/10. Сборная пространственная оболочка покрытия / И. Г. Цатурян, Г. С. Азизян, А. А. Тарханян, Г. Г. Погосян, В. П. Абемян, В. А. Баласанян. – № 3778263 ; заявл. 01.08.1984 ; опубл. 15.03.1986, Бюл. № 10. – 2 с. : ил.

- [5] Конструктивные решения зданий и сооружений / [В. С. Волга, И. П. Гордеев, С. Б. Дехтяр и др.] – Киев : Будівельник, 1985. – 120 с.
- [6] Пат. 146795 Российская Федерация, МПК Е 04 В 7/16. Пространственные конструкции трансформируемого покрытия из перекрестных систем / А. С. Марутян. – № 2014120019 ; заявл. 19.05.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. – 1 с. : ил.
- [7] Пат. 148108 Российская Федерация, МПК Е 04 В 5/10. Стальная перекрестная конструкция / А. С. Марутян. – № 2014120842 ; заявл. 22.05.2014 ; опубл. 27.11.2014, Бюл. № 33. – 1 с. : ил.
- [8] Марутян А. С. Узловые сварные соединения перекрестных стержневых элементов и их расчет / А. С. Марутян // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 4. – С.77–82.
- [9] Зинькова В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния бесфасоночных узлов трубчатых ферм / В. А. Зинькова, Н. В. Солодов // Современные проблемы науки и образования. – Пенза : Издательский дом «Академия Естествознания». – 2013. – № 6. – С. 205–212.
- [10] СНиП II-23.81\*. Стальные конструкции. – Офиц. изд. – М. : ОАО «ЦПП», 2008. – С. 11, п. 5.7. – (Строительные нормы и правила СССР).
- [11] Марутян А. С. Трансформируемое покрытие спортивно-концертного комплекса из перекрестных ферм типа «Пятигорск» / А. С. Марутян, М. В. Гордеева // Материалы 2-й ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых СКФУ «Университетская наука – региону» (в 2 т.). – Пятигорск : СКФУ, 2014. – Т. II. – С. 53–59.

*Надійшла до редколегії 24.06.2016 р.*