

## Трёхгранные фермы с предварительным напряжением для плоских покрытий

*Е.А. Мелёхин<sup>1</sup>, Н.В. Гончаров<sup>2</sup>, А.Б. Малыгин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный строительный университет

<sup>2</sup>Национально исследовательский Томский Политехнический университет

**Аннотация:** В статье рассматриваются конструктивные формы пролётных трёхгранных ферм, используемых в качестве несущих конструкций плоских покрытий зданий и сооружений различного назначения. Приведен алгоритм компоновки трубчатых поясных стержней из прокатных элементов с компоновочными условиями для швеллера и уголка. Учитывая геометрические особенности трубчатого профиля, рассмотрен принцип развития конструктивной формы плоских покрытий из трёхгранных ферм. Обоснована необходимость компоновки типовых узлов сопряжения со стыковым примыканием раскосов. Представлена расчётная математическая модель пространственной стержневой модели с различными схемами приложения нагрузки в зависимости от конструкции кровельного покрытия. Получены результаты численных экспериментов трёхгранной фермы в составе конструкций плоских покрытий зданий с предварительным напряжением в уровне нижнего продольного стержня. Определены направления по совершенствованию конструктивной формы трёхгранной формы, связанные со снижением материалоемкости и деформативности конструкций, а также на массовое производство с широкой географией строительства. Численные исследования на основе расчётной математической модели пространственно-стержневой фермы позволили произвести оценку деформативности трёхгранной фермы в комбинации расчётного нагружения и предварительного напряжения. В качестве расчётного нагружения рассматривалась сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания растянутых раскосов нецентрированных узлов. Представлено описание особенностей формирования математической расчётной модели, которые учитывают особенности конструкций нецентрированных узлов примыкания раскосов из одиночных уголков к поясам составного профиля из прокатных элементов швеллера и уголка. На основе результатов численных исследований определены нагруженные элементы пространственно-стержневой системы. Приведены значения результатов в табличной форме для сравнительной оценки деформативности влияния преднапряжения в рамках ограничения значения устойчивостью пояса. Также по результатам сравнительного анализа деформативности расчётной модели трёхгранной фермы обосновано применение предварительного напряжения с устройством механического натяжения на упоры в торцах нижнего продольного стержня.

**Ключевые слова:** Предварительно напряжённая трёхгранная ферма; составные профили продольных стержней; нецентрированные узлы; пространственно-стержневая расчётная модель; схемы приложения узловых расчётных нагрузок; деформативность; оценка результатов численных исследований.

В настоящее время для всех развитых стран мира ведущим направлением эффективного металлостроительства является применение легких металлических конструкций в зданиях промышленного,

гражданского, сельскохозяйственного и иного назначения [1, 2]. Следует отметить, что внедрение современных методов сборки и монтажа стальных конструкций положительно сказывается на снижении их стоимости строительства и эксплуатации [3, 4].

Пространственно-стержневые конструкции покрытий является одним из перспективных направлений развития и применения для строительства общественных и производственных зданий и сооружений [5, 6].

Особенность формообразования несущей конструкции покрытия из трёхгранных ферм характеризуется одномерным развитием конструктивной формы в поперечном направлении [7, 8].

При компоновке конструкции трёхгранной фермы необходимо учитывать особенности её работы. Так для пролётной трёхгранной фермы, характеризующейся работой по принципу однопролётной балки, достаточно использовать две плоские фермы, объединенные общим нижним поясом.

С целью повышения эффективности рассматривается возможность использования несущих конструкций кровельного покрытия в качестве элементов, завершающих формирование жёсткого пространственного контура трёхгранной фермы (рис. 1).

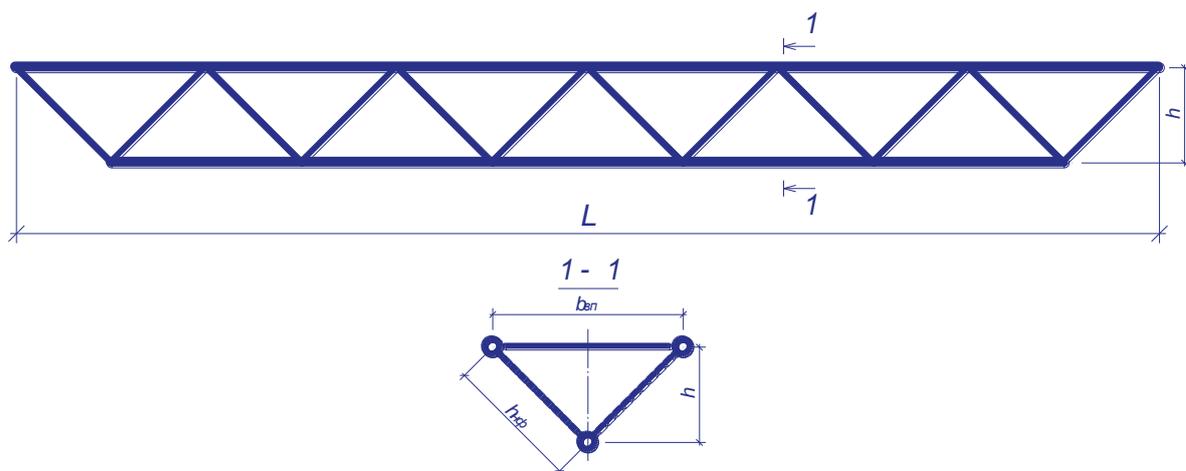


Рис. 1. Геометрическая схема конструкция пролётной трёхгранной фермы

Существующие патентные разработки конструкций плоских покрытий из трёхгранных ферм на основе применения составного пятигранного профиля из индустриально освоенных стальных профилей имеют значительный потенциал повышения несущей способности, снижения деформативности и эффективности применения при возведении в различных географических районах строительства.

Совершенствование конструкций трёхгранных ферм связано с повышением технических характеристик отдельных элементов и их системы в пределах установленной конструктивной формы. Эффективное использование стержней составного профиля из прокатного уголка и швеллера в пространственно-стержневых конструкциях подтверждено результатами экспериментальных и теоретических исследований [9]. Конструктивная форма трёхгранных ферм имеет потенциал массового производства.

Формообразование трубчатого пятигранного профиля основано на совмещении открытых полостей прокатного уголка и швеллера с образованием замкнутого трубчатого сечения посредством сварки. При этом любое положение уголка пятигранного сечения позволяет осуществлять примыкание одиночных уголков раскосной фермы, которая имеет проекцию в плоскости изгиба (рис. 2).

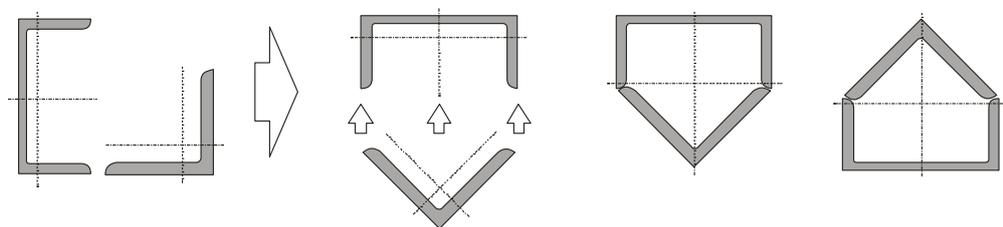


Рис. 2. Компоновка пятигранного составного сечения и варианты его ориентации

Компоновка составного профиля основана на использовании формообразующих швеллеров от №5 до №36. Сортамент учитывает варианты образования составного трубчатого сечения, которые отвечают ряду конструктивных требований, выраженных близким или полным соответствием размеров высоты сечения швеллера и расстоянию между крайними точками перьев в сечении равнобокого уголка.

Компоновочный вариант образования трубчатого профиля считается обоснованным при выполнении требования основного условия по двум ограничениям.

Первое ограничение обеспечивает отсутствие возможности провала уголка в полость швеллера. Второе ограничение обеспечивает отсутствие возможности обхвата швеллера перьями уголка.

Первое ограничение является жестким и обязательным для исполнения, как залог формирования трубчатого составного пятигранного сечения. Второе ограничение допускает возможность обхвата полок швеллера перьями поясного уголка.

Особенности пятигранного профиля позволяют развивать конструктивную форму стержневых систем в пяти направлениях, что говорит о достаточном многообразии вариантов разрабатываемых конструкций и потенциале для создания новых решений.

В перспективе развития исследований возможно эффективное использование элементов пятигранного трубчатого сечения не только в конструкциях покрытий, но и в других ответственных конструкциях. Проработка конструктивных решений и развитие исследований позволит выявить положительные свойства и использовать их для вновь создаваемых конструкций, а также усовершенствовать уже существующие.

Пространственное положение уголка пятигранного сечения позволяет осуществлять двухстороннее примыкание раскосов наклонных ферм в

---

плоскости изгиба. Элементы раскосной решётки из одиночных уголков прикрепляются непосредственно к полкам поясных уголков пятигранных составных стержней при помощи сварки. Применение дополнительных узловых деталей не предусмотрено (рис. 3).



Рис. 3. Обработка раскоса уголкового профиля

Для образования бесфасоночного узлового сопряжения, раскос уголкового профиля с одной стороны подвергается одному косому резу одной полки, а с другой стороны – такому же косому резу этой полки с одним прямым резом другой полки. Полка с прямым резом лежит в плоскости сечения пояса.

Конструирование опорных узлов примыкания раскосов к неразрезному поясу решается как частная задача типовых конструктивных решений [9].

Следует отметить, что примыкание уголков раскосов непосредственно к продольным стержням составного сечения определяется геометрическими особенностями профилей соединяемых элементов и выполнением технологических и конструктивных требований по размещению сварных швов прикрепления.

Из практики конструирования бесфасоночных узлов известно, что формирование трёхгранной фермы с типовыми центрированными узлами геометрической схемы относится к сложной технической задаче. При этом необходимо учитывать влияние особенностей конструкций нецентрированных узлов на напряженно-деформированное состояние конструкции трёхгранной фермы. Типизация конструктивных решений узлов

обосновывает применение двух типоразмеров для сжатых и растянутых элементов.

В несущих конструкциях плоских покрытий верхние пояса пролётных трёхгранных ферм являются наиболее нагруженными элементами. В этом случае рационально рассмотреть применение сечения нижнего пояса из одиночного уголка для обеспечения возможности формообразования конструктивной формы трёхгранной фермы и позволяет снизить её материалоемкость (рис. 4).

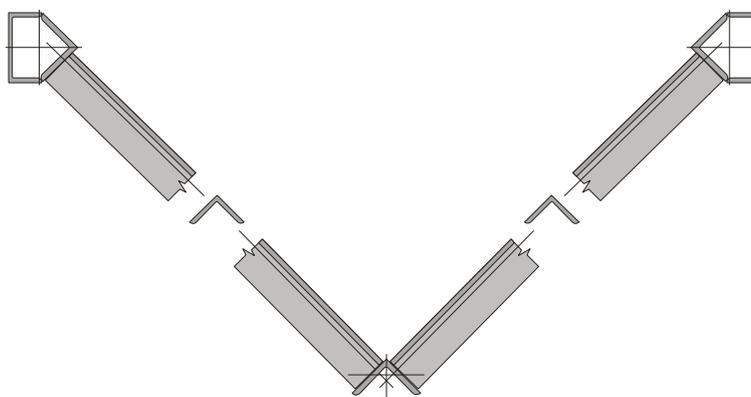


Рис. 4. Трёхгранная ферма с трубчатыми верхними поясами с нижним поясом из уголка

Для компенсации потери несущей способности нижнего пояса, связанной с заменой сечения, предусмотрено устройство предварительного напряжения путем установки затяжки, размещенной в полости прокатного уголка. Предварительное напряжение создается методом механического натяжения на упоры стержневой затяжки в торцевых частях нижнего продольного стержня [10].

Целью исследований является оценка напряженно-деформированного состояния трёхгранной фермы с нецентрированными узлами примыкания раскосной решетки к верхним неразрезным стержням составного сечения и нижнему предварительно напряженному стержню из одиночного уголка.

В основе исследований напряженно-деформированного состояния состояла математическая модель пространственно-стержневой трёхгранной фермы. Пролетная конструкция с неразрезными продольными стержнями пролётом 24м, шириной 3м и высотой 1.5м. Построение математической модели производилось средствами стандартного расчётного комплекса SCAD.

Расчётной моделью трёхгранной фермы с нецентрированными узлами учитывались различные формы приложения нагрузки в зависимости от технического решения по устройству конструкции кровельного покрытия (рис. 7). Предварительное напряжение прикладывалось в виде отдельного нагружения по торцам нижнего продольного стержня.

Значение внешней сжимающей нагрузки от предварительного напряжения оценивалось из условия устойчивости нижнего продольного стержня из одиночного уголка в период монтажа и отсутствии воздействия расчётных нагрузок.

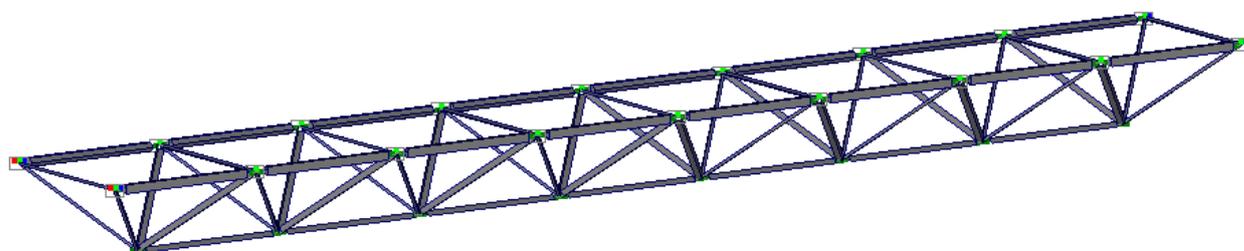


Рис. 5. Расчётная модель трёхгранной фермы

Пространственно-стержневая расчётная модель характеризуется как несущая система общего вида в произвольном пространстве. Все стержни системы описываются элементами произвольного вида с узловыми связями по всем линейным и угловым направлениям. Сечение верхнего пояса принято составным из двух прокатных элементов швеллера и уголка с ориентацией сечения в пространстве при вертикальном положении стенки швеллера. Сечение нижнего пояса принято из одиночного прокатного уголка с ориентацией обушка вверх.

---

Примыкания растянутых и сжатых раскосов к неразрезным продольным стержням осуществляется в точках сопряжения продольных осей элементов путем формирования нецентрированных узлов. Шарнирное примыкание раскосов из одиночных прокатных уголков определено, исходя из условия малой изгибной жёсткости этих элементов.

Граничные условия установлены по крайним точкам узлов верхних продольных стержней. Для двух крайних узлов установлены закрепления по всем линейным смещениям, при этом противоположные узлы освобождаются в продольном линейном смещении.

Поперечные затяжки с шарнирным сопряжением во всех узлах верхних поясов моделируют особенности устройства некоторых вариантов конструкции кровельного покрытия.

Внешнее воздействие прикладывалось в виде сосредоточенных сил в узлах и равномерно распределенной линейной нагрузки по верхним продольным поясам расчётной модели. Суммарное значение узловой и линейной равномерно распределенной нагрузки соответствует приведенному значению по грузовой площади.

Вариантами нагружения предусмотрено приложение нагрузки только по верхним поясам пространственно-стержневой фермы:

- сосредоточенная нагрузка в узлах геометрической схемы трёхгранной фермы;
- сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания сжатых раскосов;
- сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания растянутых раскосов;
- равномерно распределенная линейная нагрузка;
- сосредоточенная нагрузка предварительного напряжения по торцам нижнего пояса.

Определение вариантов нагружения связано с особенностями устройства конструкции кровельного покрытия по верхним продольным стержням.

Расчётной моделью предусмотрены комбинации усилий действующих нагрузок с приложением усилия предварительного напряжения по продольной оси сечения нижнего стержня.

Расчёт математической модели произведен в рамках статической работы пространственно-стержневой конструкции и упругих свойств материала. Напряженно-деформированное состояние пролётной конструкции трёхгранной фермы при комбинации действующих нагрузок и приложения предварительного напряжения в виде внешней узловой нагрузки имеет свои особенности. Нецентрированные узлы отличаются образованием дополнительных изгибающих моментов за счет эксцентриситетов продольных осей примыкающих раскосов.

Стержни срединных панелей верхнего пояса являются элементами с максимальным значением продольных сжимающих и изгибных усилий, что установлено при анализе влияния нагружения расчётной модели в виде сосредоточенной нагрузки в узлах примыкания растянутых раскосов. Это полностью соответствует характеру распределения значений усилий для плоских ферм. Аналогично с центральным растянутым элементом нижнего пояса – максимальное значение соответствует суммарному модульному значению продольных усилий в верхних поясах. Также значение усилий растяжений снижается при включении сосредоточенной нагрузки от предварительного напряжения.

Узлами с максимальным изгибающим моментом являются приопорные узлы верхних поясов в месте примыкания растянутых раскосов. Это определено при оценке влияния нагружения расчётной модели в виде сосредоточенной нагрузки в узлах примыкания растянутых раскосов.

---

Выявлены элементы верхних продольных стержней с максимальным значением изгибающего момента, которое достигается при загрузке равномерно распределенной линейной нагрузкой. Это стержни примыкания к приопорным узлам со стороны растянутых раскосов.

Установлены нагруженные элементы раскосной решетки, которые примыкают к приопорным панелям верхних поясов. Наибольшие усилия сжатия и растяжения образуются при загрузке равномерно распределенной линейной нагрузкой.

Произведено сравнение значений изгибающих моментов приопорных узлов верхних поясов при различных формах приложения нагрузок. При размещении сосредоточенной нагрузки в местах примыкания сжатых раскосов относительно размещения в местах примыкания растянутых раскосов установлено снижение пиковых значений моментов.

Оценка деформативности расчётной модели производилась в узлах срединного стержня нижнего пояса при различных вариантах загрузок по значениям линейных перемещений узлов нижнего продольного стержня (табл. 1).

Табл. 1. Значения линейных перемещений узлов фермы

Узел	Загрузка	Значения		
		X	Y	Z
N1c	1	-3,084	0	-70,337
N1c	2	-3,05	0	-69,513
N1c	3	-3,134	0	-71,567
N1c	4	-3,121	0	-71,314
N1c	5	0,041	0	1,273
N2c	1	-0,459	0	-70,337
N2c	2	-0,459	0	-69,514
N2c	3	-0,464	0	-71,568
N2c	4	-0,471	0	-71,315
N2c	5	-0,042	0	1,273

Нагрузки расчётной схемы:

- 1 - сосредоточенная нагрузка в узлах геометрической схемы трёхгранной фермы;
- 2 - сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания сжатых раскосов;
- 3 - сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания растянутых раскосов;
- 4 - равномерно распределенная линейная нагрузка;
- 5 - сосредоточенная нагрузка предварительного напряжения по торцам нижнего пояса.

Любое из четырех загружений может составлять расчётную комбинацию с продольным предварительным напряжением, но обязательно через соотношение постоянных нагрузок в общем суммарном значении расчётной нагрузки.

Сравнительный анализ данных свидетельствует о том, что приложение сосредоточенной нагрузки в узлах примыкания растянутых раскосов и приложение равномерно распределенной линейной нагрузки являются расчётными формами нагружения для расчётной модели.

Производство натяжения механическим способом на упоры производится на этапе установки конструкции фермы в проектное положение. Усилие предварительного напряжения определяется, как наименьшее значение в нижнем продольном стержне при учете воздействия постоянных нагрузок.

Для определения влияния предварительного напряжения на деформативность пространственно-стержневой системы можно воспользоваться табличными данными (табл. 1). Так как в нагружениях расчётной модели используются единичные значения, то необходимо выделить долю постоянных нагрузок в суммарном значении нагружения. Значение этой доли необходимо умножить на значение, полученное от воздействия предварительного усилия. Полученное значение следует исключить из значения расчётного нагружения.

---

Также влияние можно определить с помощью создания для расчётной модели дополнительной комбинации усилия из расчётного нагружения и усилия предварительного нагружения. Для значения предварительного нагружения можно задаться отношением постоянных нагрузок от собственного веса к общему значению единичного расчётного нагружения, равному 0,2. Значение долевого усилия от усилия стержня нижней панели составит 2,65. Полученные результаты представлены в табличной форме (табл. 2).

Табл. 2. Значения линейных перемещений узлов фермы, включая комбинацию с преднапряжением

Узел	Загружение	Значения		
		X	Y	Z
N1c	1	-3,084	0	-70,337
N1c	2	-3,05	0	-69,513
N1c	3	-3,134	0	-71,567
N1c	4	-3,121	0	-71,314
N1c	5 (2,65)	0,108	0	3,373
N1c	3+5	-3,026	0	-68,194
N2c	1	-0,459	0	-70,337
N2c	2	-0,459	0	-69,514
N2c	3	-0,464	0	-71,568
N2c	4	-0,471	0	-71,315
N2c	5 (2,65)	-0,111	0	3,373
N2c	3+5	-0,574	0	-68,195

Нагрузки и комбинации расчётной схемы:

- 1 - сосредоточенная нагрузка в узлах геометрической схемы трёхгранной фермы;
- 2 - сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания сжатых раскосов;
- 3 - сосредоточенная нагрузка в узлах примыкания растянутых раскосов;
- 4 - равномерно распределенная линейная нагрузка;
- 5 (2,65) - сосредоточенная нагрузка предварительного напряжения по торцам нижнего пояса равная 2,65.

3+5 – комбинация действующих нагрузок в виде сосредоточенной нагрузки в узлах примыкания растянутых раскосов и сосредоточенной нагрузки предварительного напряжения по торцам нижнего пояса равная 2,65.

По результатам данных расчёта установлено, что снижение деформативности расчетной модели с учетом предварительного напряжения составило практически 5%.

Численные исследования трёхгранной фермы с нецентрированными узлами позволили сформулировать основные выводы и рекомендации:

- деформативность расчётной модели, учитывающей влияние предварительного напряжения с долевым соотношением постоянных нагрузок принятым 0,2, имеет снижение практически 5%;

- характер распределения продольных усилий свидетельствует о незначительном снижении их значений в расчётной модели с условием обеспечения предварительного напряжения;

- характер распределения усилий изгибающих моментов указывает на необходимость снижения их значений путем уменьшения узловых расстояния нецентрированных приопорных узлов;

- введение податливых монтажных узлов в местах сопряжения модулей определили выравнивание значений усилий изгибающих моментов в виде снижения пиковых значений в приопорных узлах;

- возникновение наибольших усилий расчетной схемы при загрузке сосредоточенной нагрузки в узлах примыкания растянутых раскосов.

Конструктивные системы трёхгранных ферм имеют потенциал для снижения материалоемкости путем замены сечений стержней и использования устройства предварительного напряжения.

Сравнительным анализом полученных результатов в рамках численных экспериментов расчётной математической модели трёхгранной фермы

---

подтверждена конструктивная возможность изменения сечений продольных стержней, а также использования предварительного напряжения. Обосновано конструктивное решение, которое предусматривает размещение элементов кровельного прогонного покрытия в местах примыкания сжатых раскосов.

В рамках дальнейшего развития исследований преднапряженных трёхгранных ферм необходима разработка конструкций узлов с упорами для механического натяжения с осевым расположением нитевидной затяжки. При этом конструктивное решение должно учитывать необходимость ее пропуска через торцевые фланцы сопряжения отправочных модулей.

Результаты исследований определены статической расчётной моделью с различными условиями приложения нагрузки в зависимости от конструкции кровельного покрытия. Подготовка математической модели произведена средствами стандартного комплекса SCAD. Пространственно-стержневая модель адекватно описывает конструктивные особенности трёхгранной фермы с типовыми нецентрированными узлами сопряжения раскосов с продольными стержнями составного профиля.

Методика численных экспериментов и достоверность полученных данных подтверждена результатами сравнительного анализа различных конструкций трёхгранных ферм в ходе проведения патентных исследований.

Рекомендации по снижению материалоемкости пространственно-стержневой конструкции плоских покрытий производственных зданий складов и навесов получены по результатам комплексных научных исследований по совершенствованию конструктивных форм.

Следует отметить, что при разработке и совершенствованию конструктивных форм необходимо учитывать особенности организации строительного процесса по их возведению [11, 12].

Отдельным исследованием рассматриваемых конструкций покрытий является оценка потенциала использования их в современных технологиях строительства «зеленых» крыш [13, 14].

### Литература

1. Айрумян Э.Л., Рожков А.Е. Лёгкие стальные конструкции с применение гнутых профилей. //Строительство и архитектура. Строительные конструкции. Выпуск №2. М., ВНИИИС, 1987, 76 с.
2. Бирюлев В.В., Чернов И.Н. Стальные фермы с коробчатыми сечениями стержней, сваренных из уголков. //Известия вузов. Строительство и архитектура. Новосибирск, 1974 №4, с. 8 – 14.
3. Краснова В.М. Изготовление стальных конструкций. Справочник монтажника. Краснова В.М., Стройиздат, 1978, 335 с.
4. Левенсон Я.С. Конструкции из стальных труб. – М.: Стройиздат, 1967, 120 с.
5. Клячин А.З. Металлические решетчатые пространственные конструкции регулярной структуры (разработка, исследование, опыт применения). – Екатеринбург: Диамант, 1994. – 276 с.
6. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1983, 215 с.
7. Копытов М.М., Мелёхин Е.А., Матвеев А.В. Покрытие из трехгранных ферм. Патент №49859, RU U1 МПК7 Е 04 С 3/04, 10.12.2005, бюл. №34, 10 с. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPM&DocNumber=49859&TypeFile=html](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=49859&TypeFile=html)
8. Мелёхин Е.А. Покрытие из трехгранных ферм. Патент №2627794, 11.08.2017, бюл. №23, 8 с. URL:

fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/627/794/%D0%98%D0%97-02627794-00001/document.pdf

9. Мелёхин Е.А. Исследование влияния расцентровки и податливости на напряженно-деформированное состояние узлов сопряжения пространственно-стержневых конструкций покрытий с поясами пятигранного составного профиля из металлопроката. VIII Украинская научно-техническая конференция «Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее» Киев, Украина, 2004 г., С. 592 – 595.
10. Беленя Е.И. Предварительно напряженные металлические несущие конструкции. Госстройиздат, М., 1963. С. 224-266.
11. Kreiner K. Organizational Behavior in Construction // Construction Management and Economics. 2013. Vol. 31, № 11. P. 1165-1169.
12. Зильберова И.Ю., Маилян В.Д., Арцишевский М.Д. Методологические основы организационно-технологической подготовки возведения объектов строительства // Инженерный вестник Дона. 2019. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6146 (дата обращения: 05.04.2021)
13. Тухарели В.Д., Тухарели А.В., Ли Ю.В. Экологическое строительство как инновационный подход в строительной индустрии // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5146.
14. Korol, E., Shushunova N. Benefits of a Modular Green Roof Technology, Procedia Engineering, Volume 161, 2016, pp. 1820-1826.

### Reference

1. Ayrumyan E.L., Rozhkov A.E. Lyogkie stal'nye konstrukcii s primenenie gnutyh profilej. Stroitel'stvo i arhitektura. Stroitel'nye konstrukcii. Vypusk №2. M., VNIIS, 1987, 76 p.
2. Biryulev V.V., Chernov I.N. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. Novosibirsk, 1974 №4, pp. 8 – 14.
3. Izgotovlenie stal'nyh konstrukcij. Spravochnik montazhnika [Fabrication of steel structures. Installer's handbook] Pod red. V.M. Krasnova. M., Strojizdat, 1978, 335 p.
4. Levenson YA.S. Konstrukcii iz stal'nyh trub. M.: Strojizdat, 1967, 120 p.
5. Klyachin A.Z. Metallicheskie reshchatye prostranstvennye konstrukcii reguljarnoj struktury (razrabotka, issledovanie, opyt primeneniya) [Metal lattice spatial structures of regular structure (development, research, application experience)] Ekaterinburg: Diamant, 1994. 276 p.
6. Trushchev A.G. Prostranstvennye metallicheskie konstrukcii [Spatial metal structures] M.: Strojizdat, 1983 215 p.
7. Kopytov M.M., Melyohin E.A., Matveev A.V. Pokrytie iz trekhgrannyh ferm [Covering of trihedral trusses] Patent №49859, RU U1 MPK7 E 04 C 3/04, 10.12.2005, byul. №34, 10 p.
8. Melyokhin E.A.. Pokrytie iz trekhgrannyh ferm [Covering of trihedral trusses] Patent №2627794, 11.08.2017, byul. №23. 8 p.
9. Melyokhin E.A. Issledovanie vliyaniya rascentrovki i podatlivosti na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie uzlov sopryazheniya prostranstvenno-sterzhnevyyh konstrukcij po-krytij s poyasami pyatigrannogo sostavnogo profilya iz metalloprokata. VIII Ukrainskaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Metallicheskie konstrukcii: vzglyad v proshloe i budushchee» Kiev, Ukraina, 2004 g., pp. 592 – 595.



10. Belenya E.I. Predvaritel'no napryazhennyye metallicheskie nesushchie konstrukcii [Preloaded metal bearing structures] Gosstrojizdat, M., 1963. pp. 224-266.
11. Kreiner K. Organizational Behavior in Construction. 2013, Vol. 31, №11. pp. 1165-1169.
12. Zil'berova I.Ju., Mailjan V.D., Arcishevskij M.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6146](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6146) (data obrashheniya: 05.04.2021).
13. Tuhareli V.D., Tuhareli A.V., Li Ju.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5146](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5146)
14. Korol, E., Shushunova N. Procedia Engineering, Volume 161, 2016, pp. 1820- 1826.