



Работа пространственной стержневой системы в зависимости от её геометрии

С.А. Нефёдов ^{1*}, М.С. Ильюшенко ², А.Р. Кузьминых ³

¹⁻³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	История	Ключевые слова
УДК 691.3 doi: 10.18720/CUBS.56.3	Подана в редакцию 22.02.2017	Большепролётные конструкции; структурные покрытия; перекрёстные фермы; рациональная высота; стальные конструкции; SCAD Office; общественные здания; сравнительные анализ; математическое моделирование;

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрено поведение пространственных структурных шарнирно-стержневых покрытий под нагрузкой станции метро «Политехническая» в г. Санкт-Петербург с целью определения рациональности использования данной конструктивной схемы и ее геометрических параметров. В ходе работы были проведены расчёты конечно-элементной модели покрытия, варьировалось значение его высоты и созданы 7 различных компьютерных моделей конструкции. Вычисления проводились с помощью программного комплекса SCAD 21. Было проведено технико-экономическое сравнение различных вариантов исполнения покрытия. Установлена высота конструкции, которая приводит к значительному уменьшению значений внутренних усилий, сокращая тем самым затраты на материалы. Доказано, что применённый на практике вариант является рациональным и экономичным. Применение данной схемы с данными геометрическими параметрами в реальной конструкции.

Содержание

1.	Введение	34
2.	Выбор расчетной схемы и варьируемых параметров	34
3.	Создание конечно-элементных моделей	35
4.	Расчёт моделей в программном комплексе SCAD	39
5.	Заключение	42

Контакты авторов:

- 1 * +7(911)8374821, asdw24@yandex.ru (Нефёдов Сергей Андреевич, студент)
 2 +7(921)340-13-79, 465797@mail.ru (Ильюшенко Мария Сергеевна, студент)
 3 +7(981)9510871, artur.kuzminykh@gmail.com (Кузьминых Артур Ренатович, студент)

1. Введение

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности большого города необходимым условием является развитая сеть общественного транспорта. Важной частью этой сети является метрополитен. В Санкт-Петербурге вестибюли многих станций были построены в 70-е годы XX века, и они до сих пор нормально функционируют. При проектировании подобного рода сооружений возникала необходимость в грамотном сочетании архитектурных форм и выгодных конструктивных решений. Одним из решений данной задачи стало применение пространственных структурных покрытий [1,2].

Инженерные решения, придуманные более 40 лет назад, до сих пор на практике показывают свою эффективность, в том числе и на примере станции Политехническая, которая рассмотрена в данной работе. Однако, в последнее время ведутся активные работы по реконструкции отдельных станций метро и их вестибюлей. В связи с этим, возникает вопрос, а является ли в действительности применённое для перекрытия пролёта станции решение наиболее рациональным. Для ответа на этот вопрос необходимо провести расчётный анализ применяемой системы, в зависимости от её геометрических характеристик, и расчётный анализ других конструктивных схем.

Для перекрытия больших пролётов общественных зданий и сооружений с успехом применяются пространственные структурные покрытия. Такие типы конструкций были рассмотрены ещё в классическом учебнике «Металлические конструкции» Беленя А.В. и другими авторами [3-5]. Все эти авторы, говоря о структурных покрытиях, отмечают их экономичность и пониженную металлоёмкость, но также обращают внимание на недостатки данных конструкций. (на 10-15% меньше, по сравнению с другими конструкциями тех времён), но также сложности при монтаже и изготовлении, в особенности при монтаже узлов. Эти же авторы рассматривают в своих работах и другие типы конструкций, например, висячие тросовые системы. Отмечается, что структурные покрытия наиболее выгодны при квадратной в плане форме сооружений, а тросовые – при круглой. Так же различные большепролётные сооружения рассматриваются и в работах современных авторов. В статьях [6-8] рассматриваются различные спортивные объекты, которые дали большой объём информации для исследований. Кроме того, рассмотрены различные большепролётные конструкции за пределами России [9-12]

Большая часть работ по данной тематике посвящена исследованию напряжённо-деформированного состояния конструкций, проблемам их проектирования и работы сооружений в условиях эксплуатации.

При расчёте и проектировании большепролётных общественных зданий часто возникают изменения в проекте, связанные с архитектурными решениями. Это приводит к необходимости заново проводить расчёт конструктивных элементов. Для упрощения этой задачи можно применить вычислительные комплексы. В данной работе для расчёта реальной конструкции, а также теоретически возможных иных вариантов, применяется программный комплекс SCAD 21, использующий конечно-элементный метод расчёта (МКЭ). Данный метод имеет хорошо разработанную теоретическую базу и с успехом применяется в течение многих лет. Возможности этого метода были исследованы в работах [13-19]

Целью данной работы является определение рациональности использования реального типа структурного покрытия станции метро Политехническая, и определение возможности исполнения более экономически выгодной конструкции. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Построить аналитическую конечно-элементную модель реального структурного покрытия и произвести её расчёт на действие различных нагрузок
- Произвести анализ работы конструкции при изменении её геометрических параметров без изменения перекрываемой площади
- Определить наиболее выгодный тип конструкции.

Для проведения работ по решению вышеперечисленных задач было необходимо узнать габаритные размеры станции и размеры структурного покрытия её кровли. Станция представляет собой в плане квадрат со стороной 52 м; структурное покрытие кровли разделено сеткой 12x12 отдельных квадратов со стороной 4 м, высота между верхним и нижним поясом также составляет 4 м

2. Выбор расчетной схемы и варьируемых параметров

Для создания конечно элементной модели в программном комплексе SCAD21 использовались известные данные о габаритных размерах вестибюля, а так же данные визуального осмотра и фотосъёмки для точного воссоздания расположения стержней в структурном покрытии. При

проектировании была принята модель шарнирно-стержневой пространственной системы, в предположении, что данное покрытие работает как обычная ферма, только на растяжение-сжатие, взятому из [5,20-22]

Для определения наиболее рационального типа конструкции был проведён краткий анализ возможных иных вариантов схемы, либо варьируемых параметров существующей конструкции. Возможными иными вариантами являются перекрытие пролёта при помощи рам и ферм, либо при помощи висячих тросовых конструкций. Рассмотрим преимущества и недостатки каждой из этих схем.

Схема, состоящая из рам и ферм, не является рациональной, поскольку длина здания равна длине перекрываемого пролёта, а сама величина пролёта слишком велика, что повлечёт за собой необходимость в увеличении высоты фермы, поскольку усилия в поясах зависят от пролёта и высоты фермы по следующему закону:[23]

$$N=C \cdot L/H \quad (1)$$

Где: L- пролёт фермы

H- высота фермы

C- линейный коэффициент, зависящий от типа нагружения и номера стержня (насколько далеко или близко стержень находится от опоры)

Для того, чтобы усилия в стержнях не были слишком большими, принято высоту фермы, назначать, как правило, равной 1/6 части пролёта. Тогда требуемая высота H:

$$H=52 / 6=8,66$$

Что в более чем в 2 раза превышает высоту реальной конструкции. По этой причине в данной работе мы не будем рассматривать и рассчитывать конструкцию, состоящую из рам и ферм.

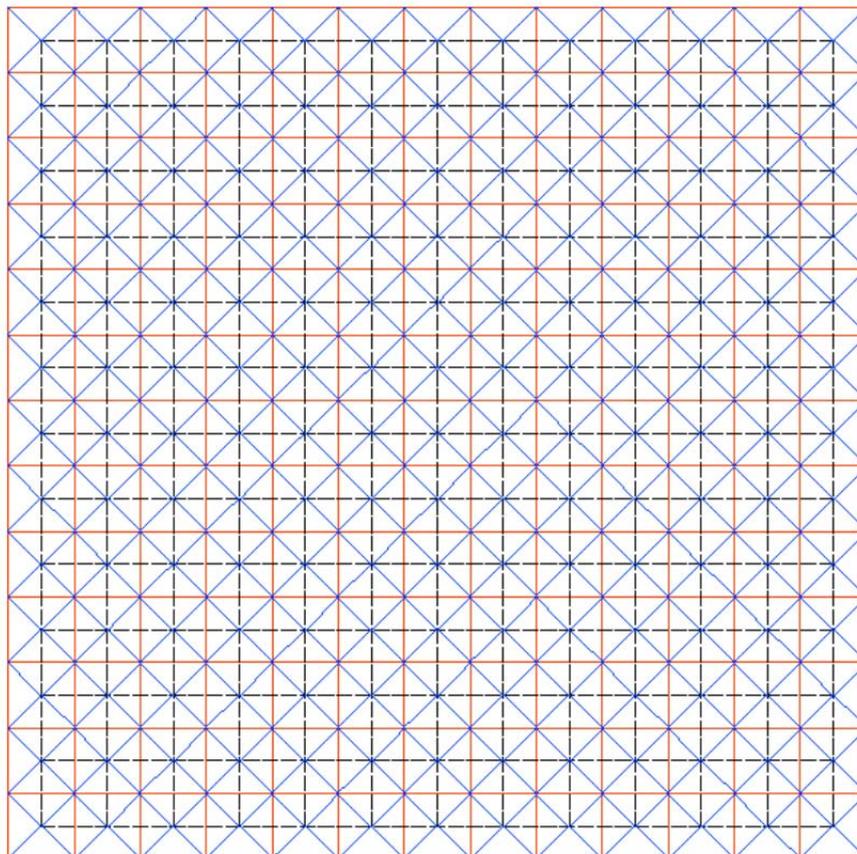
Другим вариантом перекрытия пролёта такой большой площади является использование висячих тросовых конструкций. Данные конструкции обладают рядом преимуществ: стержни в них работают на растяжение (что позволяет определять размеры поперечного сечения прочностью, а не устойчивостью), в таких конструкциях можно реализовать преднапряжение с помощью бетона замоноличивания, они эстетичны и экономически выгодны. [24-28] Однако, при перекрытии площадки в форме квадрата в углах возникают увеличенные напряжения, что делает эту конструкцию невыгодной для перекрытия площадей, имеющих прямоугольную форму в плане. Наиболее рационально использовать такой тип конструкции для перекрытия круглых площадок; тогда усилия в стержнях распределяются равномерно. [29] Поскольку это приведёт к необходимости архитектурных изменений существующего здания, мы так же не станем рассматривать эту конструкцию в данной работе.

Продолжая более детальное рассмотрение существующей конструкции, произведём анализ зависимости усилий в стержнях от геометрических размеров конструкции. В ходе анализа варьируемой величиной являлось соотношение H/L. У существующей фермы оно равно 1/13, варьируя же данную величину, мы найдём наиболее выгодное соотношение с точки зрения усилий в стержнях и максимальных прогибов.

В зависимости от высоты структурного покрытия меняется его вес. Чем больше вес, тем больше действующая нагрузка, но изменение геометрических параметров конструкции изменяет также и усилия в ней. Для определения зависимости веса конструкции от соотношения H/L было принято 8 возможных значений высоты конструкции, после чего создавалась аналитическая модель для каждого из возможных соотношений. Для упрощения расчётов было принято предположение, что все стержни имеют одинаковую жёсткость.

3. Создание конечно элементных моделей

Создание аналитической конечно-элементной модели для 8 различных соотношений высоты покрытия к длине стороны квадрата использовался современный программно-вычислительный комплекс SCAD21. Удобная графическая среда и понятный интерфейс сделал возможным упростить проектирование и расчёт любого числа конструкций практически любой сложности, а мощные вычислительные возможности программы позволяют проводить расчёт этих конструкций с заданной степенью точности. [13-15]



Цветами обозначены:

Нижний пояс — — — — —
Верхний пояс —————
Раскосы —————

Рисунок 1. Вид сверху структурного покрытия

В ходе работы было создано 8 различных моделей структурного покрытия со следующими общими параметрами: [30-32]

- Габаритные размеры верхнего пояса 52x52 м
- Габаритные размеры нижнего пояса 48x48 м
- Число квадратов структурного покрытия в нижнем поясе 12x12
- Длина любого горизонтального стержня 4 м
- Отметка нижнего пояса 10.000

Варьируемым параметром является высота конструкции. Для точного равенства соотношения масс конструкций жёсткости всех стержней были приняты равными. Условно сечение одного стержня было принято таким: полая труба диаметром 80 мм и толщиной 8 мм из легированной стали со следующими характеристиками материала:

- Объёмный вес $7,85 \text{ Tm}^3$
- Модуль Юнга 21000000 Tm^2
- Коэффициент Пуассона 0,3

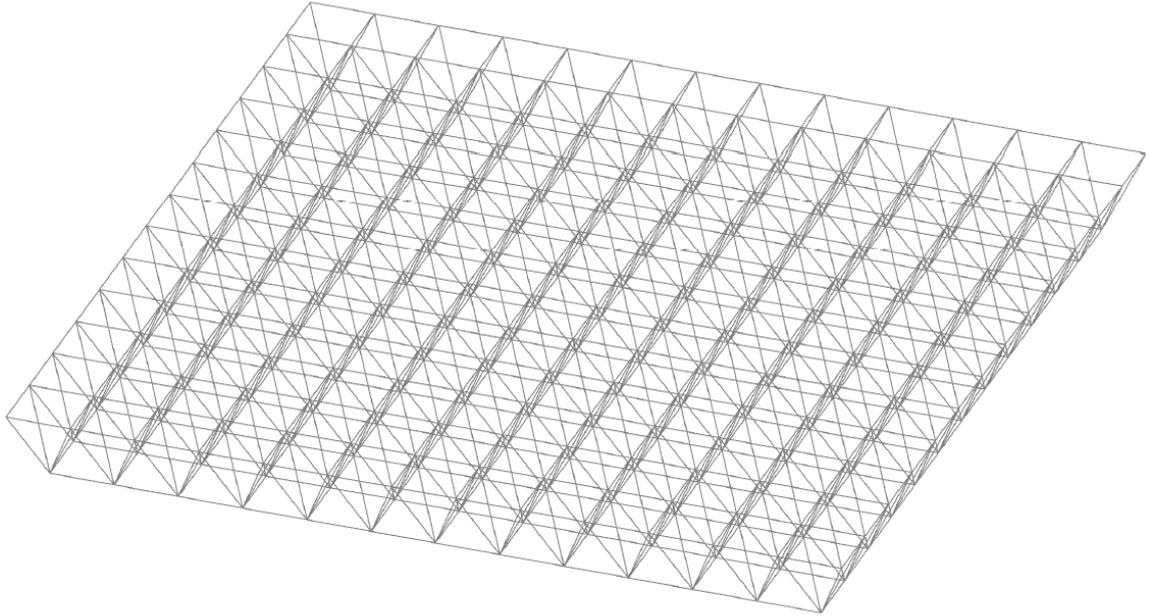


Рисунок 2. Пространственная модель структурного покрытия в программном комплексе SCAD

Для удобного восприятия результаты расчёта были занесены в таблицу:

Таблица 1. Расчёт массы конструкций

Высота, м	H/L	Масса конструкции, т
2,5	0,048	198,21
3	0,0577	210,70
3,5	0,0673	224,00
4	0,0769	238,03
4,5	0,0865	252,70
5	0,0962	267,93
5,5	0,1058	283,66
6	0,1154	299,83
6,5	0,125	316,37
7	0,1346	333,25

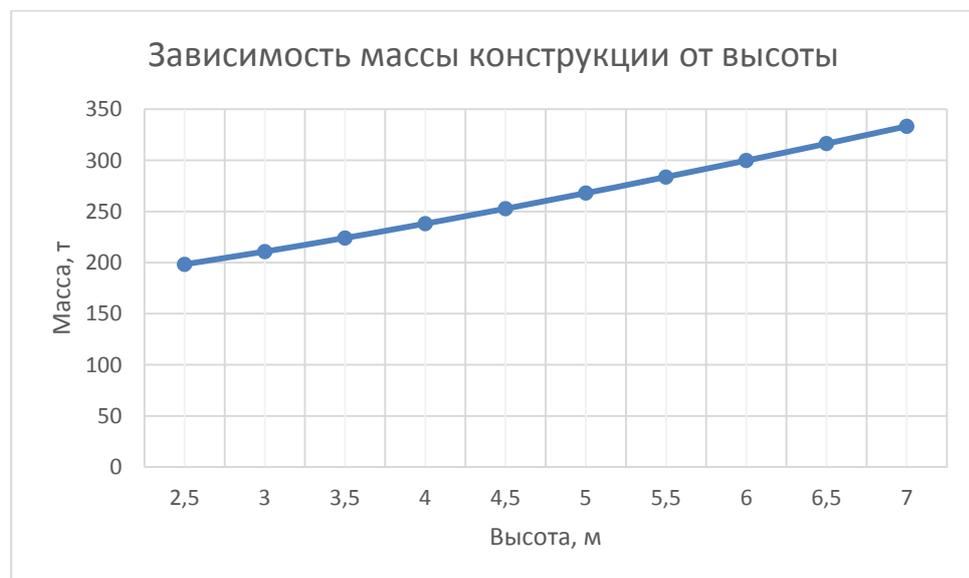


Рисунок 3. График зависимости массы покрытия от его высоты

Масса конструкции изменяется по закону, близкому к линейному, так как единственным изменяющимся параметром является длина раскосов, определяемая по формуле:

$$L = \sqrt{(4^2 + 4^2 + H^2)} \quad (2)$$

По результатам данного сравнительного анализа была определена величина нагрузки от собственного веса пространственного покрытия, которая будет в дальнейшем фигурировать в расчётах. Важным результатом стало то, что при увеличении высоты фермы в 2 раза (с 2,5 до 5 м) её масса увеличилась только на 35% (со 198 до 267 тонн), что говорит нам о принципиальной экономической выгоде от увеличения высоты покрытия.

Вторым этапом расчёта является сбор нагрузок, действующих на покрытие помимо собственного веса. В данной работе мы проведём расчёт на действие снеговой нагрузки и веса вышележащей кровли.

Согласно СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [33], снеговая нагрузка определяется по формуле:

$$S_0 = 0,7c_e c_t \mu S_g \quad (3)$$

Где: c_e - коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с 10.5-10.9;

c_t - термический коэффициент, принимаемый в соответствии с 10.10;

μ - коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4;

S_g - вес снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли

Однако, учитывая некоторую условность данных расчётов (поскольку проводится сравнительный анализ возможных типов конструкций, а не проектирование будущего сооружения), определим снеговую нагрузку с помощью программной утилиты Вест, входящей в программный комплекс SCAD21, и позволяющей определить величину различных видов нагрузки на 1 м² поверхности, в том числе и веса снега. Программа обеспечивает расчёт согласно СП 20.13330.2011

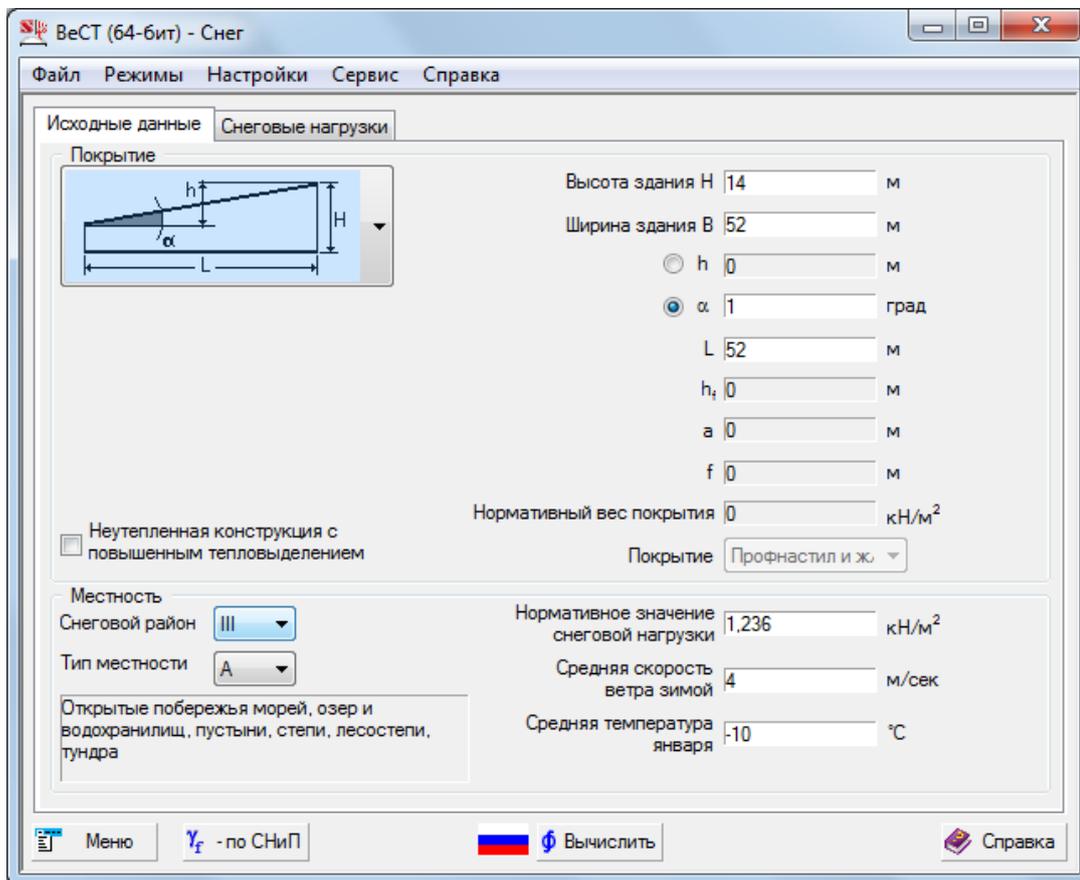


Рисунок 4. Вычисление снеговой нагрузки в утилите Вест

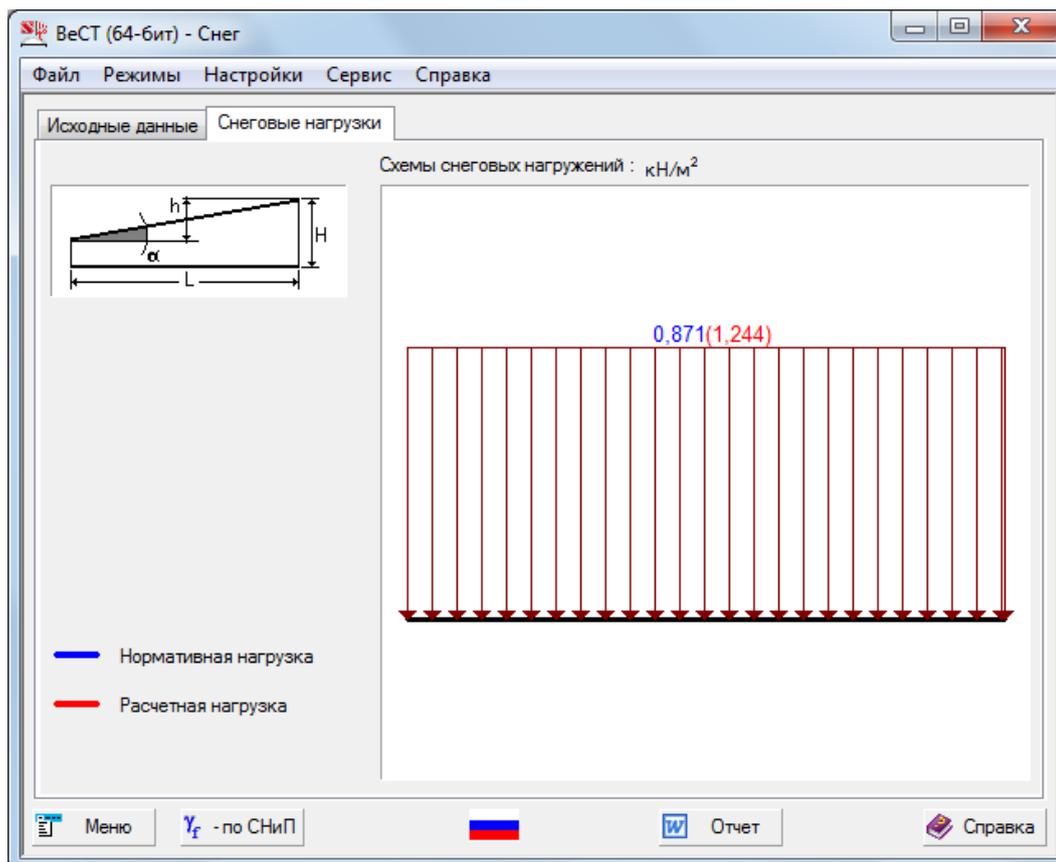


Рисунок 5. Вычисление снеговой нагрузки в утилите Вест

Таким образом, расчётное значение снеговой нагрузки $1,244 \text{ кН/м}^2$, и нормативное значение $0,871 \text{ кН/м}^2$. Используя найденные значения, найдём толщину и вес вышележащей кровли

Примем кровлю состоящей из стальной металлочерепицы, однослойной, толщиной 10 мм. Тогда вес 1 м^2 кровли будет равен:

$$P = 1 \cdot 0,01 \cdot 7,85 = 0,785 \text{ кН/м}^2$$

4. Расчёт моделей в программном комплексе SCAD

После определения всех нагрузок производим расчёт структурных покрытий методом конечных элементов. При этом шаг колонн (опор покрытия) принимается равным 4 м, а сопряжение колонн с покрытием считается шарнирным. Расчёт производится на нагружение от собственного веса с помощью функции «собственный вес» [17], а снеговая нагрузка и нагрузка от веса кровли сводятся к узловой путём умножения на грузовую площадь узла, равную 16 м^2 [5]. Тогда нагрузка от веса снега и кровли на один узел будет равна:

$$P=(1,244+0,785) \cdot 16=32,46 \text{ кН}$$

Грузовая площадь крайних и угловых узлов будет меньше, но нагрузкой на эти узлы можно пренебречь, так как она будет полностью восприниматься вертикальными связями, расставленными по контуру схемы.

При расчёте каждой из конструкций определяются следующие величины:

- максимальное растягивающее усилие в стержнях
- максимальное сжимающее усилие в стержнях
- максимальный прогиб пространственного покрытия

Результаты расчёта представим в таблице:

Таблица 2 Усилия в стержнях и максимальные прогибы

№ схемы	H, м	H/L	N _{max, +} , кН	N _{max, -} , кН	Макс. прогиб, мм
1	2,5	0,048	835,1	-316,7	117,19
2	3	0,0577	659,4	-261,3	84,53
3	3,5	0,0673	637,8	-223,1	64,61
4	4	0,0769	573,4	-195,0	51,48
5	4,5	0,0865	537,7	-178,9	43,69
6	5	0,0962	479,8	-157,1	35,9
7	5,5	0,1058	444,7	-143,8	31,09
8	6	0,1154	414,9	-132,9	27,47
9	6,5	0,125	389,4	-123,8	24,68
10	7	0,1346	367,2	-116,1	22,53

Также представим результаты расчёта в виде графика. Как видно на графике, величина максимального усилия довольно быстро падает до достижения высоты 4 м, далее график близок к линейному и постепенно приближается к горизонтали. График максимальных прогибов близок к гиперболе и при больших высотах максимальный прогиб практически не изменяется.

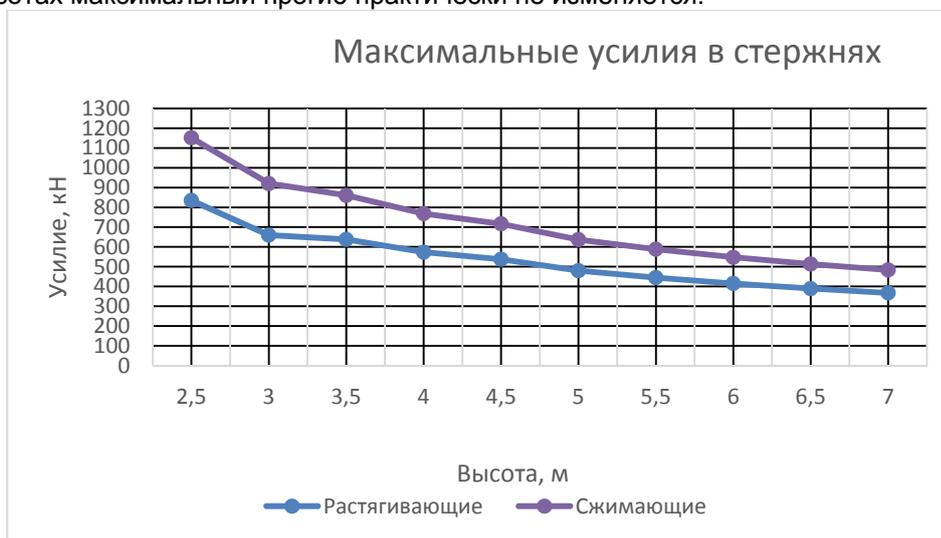


Рисунок 6. Максимальные усилия в стержнях

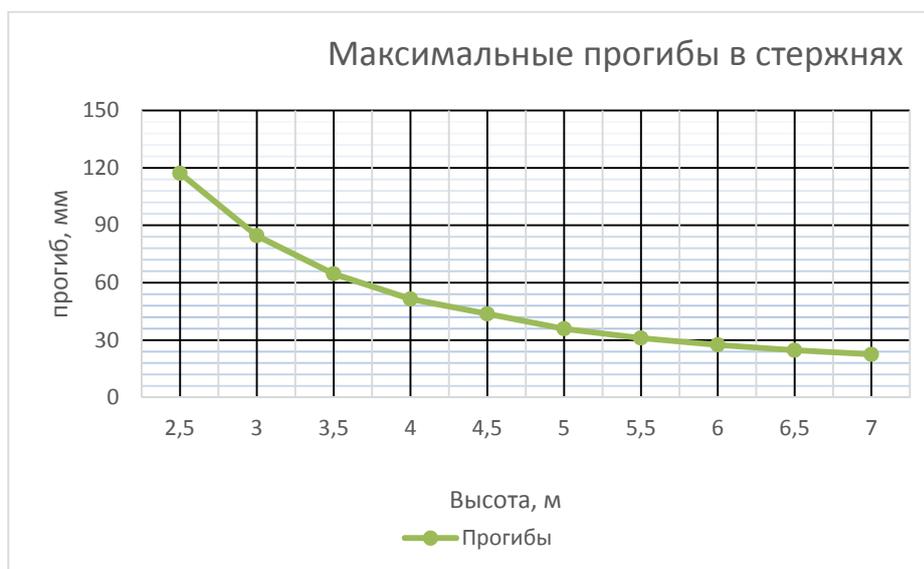


Рисунок 7. Максимальные прогибы в стержнях

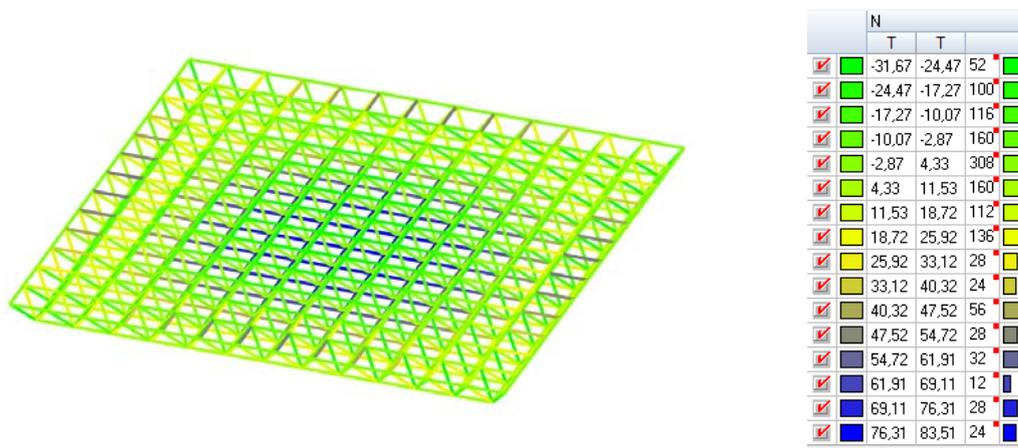


Рисунок 8. Цветовое отображение усилий в стержнях схемы с высотой 2,5 м (усилия в тоннах)

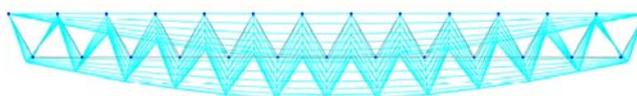


Рисунок 9. Внешний вид деформированной схемы при высоте стержней 3,5 м (вид сбоку)

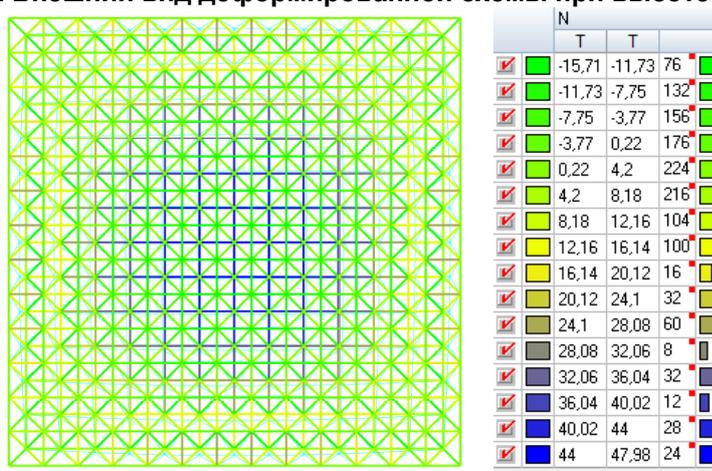


Рисунок 10. Усилия в стержнях при высоте схемы 5 м (вид сверху, усилия в тоннах)

Из произведённых расчётов видно, что максимальный прогиб конструкции значительно уменьшается при увеличении расстояния между поясами покрытия. Кроме того, в данной схеме растягивающие усилия примерно в 3 раза превышают сжимающие, что может упростить подбор сечений стержней при расчёте на устойчивость и уменьшить коэффициент продольного изгиба. Отметим, что чем больше высота конструкции, тем медленнее уменьшаются значения силовых факторов и прогибов. Например, при увеличении размеров с 2,5 до 4 м максимальное усилие уменьшается на 261,7 кН (31,3%), а прогиб на 65,71 мм (56%). При этом масса конструкции (даже без учёта того, что сечения стержней конструкции высотой 4 м будут меньше) увеличивается всего на 20%. При увеличении же сечения на с 4,5 до 6 м усилие уменьшается на 122,8 кН (22,8%), а прогиб на 16,22 мм (37,1%)

Так же мы видим, что все конструкции при любой назначенной высоте покрытия отлично проходят расчёт по второй группе предельных состояний. Допустимый прогиб:

$$F=L/200=52/200= 0,26 \text{ м}$$

Как видно из расчётов, максимальный прогиб не превышает и половины от допустимого даже в наименее жёсткой схеме при высоте фермы 2,5 м. Это является очередным проявлением преимуществ пространственных структурных покрытий для перекрытия квадратных пролётов.

5. Заключение

В работе было на практике изучено поведение пространственных структурных стержневых покрытий при перекрытии пролётов квадратной формы под действием реальных нагрузок на примере вестибюля станции метро Политехническая. Проведён анализ зависимости внутренних усилий и перемещений от высоты пространственной стержневой конструкции. Определено, что повышение высоты покрытия приводит к значительному уменьшению внутренних усилий и прогибов без значительного увеличения массы конструкции. Однако, наиболее выгодно повышение высоты до величины 4 м (как и было сделано в реальной конструкции), так как дальнейшее увеличение конструкции уменьшает внутренние усилия не столь значительно. Доказано, что пространственные шарнирно-стержневые конструкции очень хорошо ведут себя при перекрытии больших пролётов, не получая недопустимых прогибов.

Литература

- [1] Васильев А.А. Металлические конструкции. Учебное пособие для техникумов. Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: Стройиздат, 1976. 420 с.
- [2] Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З. Пространственные составные конструкции. Высшая школа, 1989. 289 с.
- [3] Мельников Н.П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития. Букинист, 1983. 543 с.
- [4] Robert A. Heller. Mechanics of Structures. Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition). 2003. 259-278p.
- [5] Беленя Е.И. Металлические конструкции. Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 6-е издание, 1986. 560 с.
- [6] Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. Т. 2. №17. С. 107-124.
- [7] Дыховичный Ю.А. Большепролетные конструкции сооружений Олимпиады-80 в Москве. М.: Стройиздат, 1982. 280 с.
- [8] Бондарев А.Б., Югов А.М. Методика расчета точности большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий //Инженерно-строительный журнал. 2016. №1. С. 60-73.
- [9] Borri C., Majowiecki M., Spinelli P. Wind response of a large tensile structure: The new roof of the Olympic stadium in Rome. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1992. No. 42(1-3). pp. 1435-1446.
- [10] Kloiber L.A., Eckmann D.E., Meyer Th.R., Hautzinger St.J. Design consideration in cable-stayed roof structures. North American Steel Construction Conference "Modern Steel Construction", March 2004. 7 p.
- [11] He J., Liu Y., Chen A., Yoda T. (2012) Mechanical Behavior and Analysis of Composite Bridges with Corrugated Steel Webs: State-of-the-Art. International Journal of Steel Structures. 2012, Vol. 12. No 3. pp. 321-338.
- [12] Ohgaki K. (2009) State of the Arts of Hybrid structures consisting of steel and concrete in Japan. Tokyo, Japan: Kawasaki Heavy Industries, 2009. pp. 1-7.
- [13] Magalhaes, F., Caetano, E., Cunha, A. Operational modal analysis and finite element model correlation of the Braga Stadium suspended roof. Engineering Structures. 2008. No. 30 (6), pp. 1688-1698.
- [14] Nunez-Collado G., Garzon-Roca J., Paya-Zaforteza I., Adam J. M. (2013). The San Nicolas Church in Gandia (Spain) or how Eduardo Torroja devised a new, innovative and sustainable structural system for long-span roofs. Engineering Structures. 2013. No. 56. pp. 1893-1904.

- [15] Majowiecki M. (1998). Snow and wind experimental analysis in the design of long-span sub-horizontal structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1998. No. (74), pp. 795-807.
- [16] Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А. [и др]. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 656 с.
- [17] Кукушкин И.С. Реализация двусторонней связи между программными комплексами Tekla Structures и SCAD Office 21 // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 9. С. 63-65
- [18] Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа – 4-е изд., перераб. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
- [19] Никонов Н.Н. Большепролетные покрытия. Анализ и оценка. Издательство АСВ, 2003. 400 с.
- [20] Глухов Л.В. Динамика, прочность и надежность элементов инженерных сооружений. Издательство АСВ, 2003. 304 с.
- [21] Манькин А.М. Кровли и их элементы: Справочник. Издательство Три Л, 2006. 386 с.
- [22] Горев В.В. Металлические конструкции. Специальные конструкции и сооружения. Издательство Высшая школа, 2005. 544 с.
- [23] Кирсанов М.Н. Генетический алгоритм оптимизации стержневых систем // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 2. С.60-63.
- [24] Алпатов В.Ю., Холопов И.С. Оптимизация геометрической формы пространственно-стержневых конструкций // Металлические конструкции. 2009. Т. 15. №1. С. 47-57.
- [25] Majowiecki M. (1998). Snow and wind experimental analysis in the design of long-span sub-horizontal structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1998. No. 74–76. Pp. 795-807.
- [26] Buhl Th., Jensen F. V., Pellegrino S. (2004). Shape optimization of cover plates for retractable roof structures. *Computers & Structures*. 2004. No. 82 (15–16). pp. 1227-1236.
- [27] Кирсанов М.Н. Анализ прогиба фермы прямоугольного пространственного покрытия // Инженерно-строительный журнал. 2015. №1. С. 32-38
- [28] Мущанов А.В., Мущанов В.Ф., Роменский И.В. Рациональные геометрические и жесткостные параметры большепролетного структурного покрытия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. Т. 2. №41. С. 18-29.
- [29] Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции: учебное пособие. М.: Стройиздат, 1983. 216 с.
- [30] Стрелецкий Н.С., Стрелецкий Д.Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1964. 239 с.
- [31] Васильченко В.Т., Рутман А.Н., Лукьяненко Е.П. Справочник конструктора металлических конструкций – 2-е изд., перераб. и доп. К.: Будивзельник, 1990. 312 с.
- [32] Мущанов В.Ф. Избранные методы строительной механики в расчетах пространственных конструкций. Макеевка: ДонНАСА, 2008. 292 с.
- [33] СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.

Work of special rod system depending on its geometry

S.A. Nefyodov^{1*}, M.S. Ilyushenko², A.R. Kuzminykh³

¹⁻³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.56.3

Article history

Received 22.02.2017

Keywords

Long-span construction;
structural coverings;
steel structures;
rational height;
cross-shaped frameworks;
SCAD;
public buildings;
comparative analysis;
mathematic modeling;

ABSTRACT

In this article it was analyzed how does structural system for long-span roofs behave under the loads in order to determine the rationality of using such constructive scheme and its geometric parameters on example of Polytechnicheskaya metro station in Saint-Petersburg. In the course of the work, the finite-element model of the coating was calculated. Then its height was varied using seven different types of computer models. Calculations were done in SCAD 21 software complex. A technical and economic comparison of different covering options was carried out to determine the height of the structure, which leads to significant decrease of internal forces to reduce the costs. It was proved that the applied approach is efficient and economical.

Contact information:

- 1 * +7(911)8374821, asdw24@yandex.ru (Sergey Nefyodov, Student)
2 +7(921)340-13-79, 465797@mail.ru (Maria Ilyushenko, Student)
3 +7(981)9510871, artur.kuzminykh@gmail.com (Artur Kuzminykh, Student)

References

- [1] Vasilyev A.A. Metallicheskiye konstruksii. Uchebnoye posobiye dlya tekhnikumov. Izdaniye 2-ye, pererabotannoye i dopolnennoye.[Metal constructions. Textbook for technical colleges. 2nd edition] M.: Stroyizdat, 1976. 420 p. (rus)
- [2] Dykhovichnyy Yu.A., Zhukovskiy E. Prostranstvennyye sostavnyye konstruksii.[Spatial composite structures]. Vysshaya shkola, 1989. 289 p. (rus)
- [3] Melnikov N.P. Metallicheskiye konstruksii. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya.[Metal constructions. Current state and development prospects]. Bukinist, 1983. 543 p. (rus)
- [4] Robert A. Heller. Mechanics of Structures. Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition). 2003. 259-278p.
- [5] Belenya Ye.I. Metallicheskiye konstruksii. Uchebnik dlya VUZov.[Metal constructions. Textbook for Universities]. M.: Stroyizdat, 6-ye izdaniye, 1986. 560 p. (rus)
- [6] Garifullin M.R., Semenov S.A., Belyayeva S.V., Poryvayev I.A., Safiullin M.N., Semenov A.A. Poisk ratsionalnoy geometricheskoy skhemy prostranstvennoy metallicheskoy konstruksii pokrytiya bolsheproletnogo sportivnogo sooruzheniya.[The search of rational shape of spatial metal roof of long-span sport arena]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. T. 2. No.17. Pp. 107-124. (rus)
- [7] Dykhovichnyy Yu.A. Bolsheproletnyye konstruksii sooruzheniy Olimpiady-80 v Moskve.[Large-scale constructions of the Moscow Olympic structures] M.: Stroyizdat, 1982. 280 p. (rus)
- [8] Bondarev A.B., Yugov A.M. Metodika rascheta tochnosti bolsheproletnykh sharnirno-sterzhnevyykh metallicheskiykh pokrytiy.[The method of calculating the accuracy of large-span metal rod-systems]. Magazine of Civil Engineering. 2016. No.1. Pp. 60-73. (rus)
- [9] Borri C., Majowiecki M., Spinelli P. Wind response of a large tensile structure: The new roof of the Olympic stadium in Rome. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1992. No. 42(1–3). Pp. 1435-1446.
- [10] Kloiber L.A., Eckmann D.E., Meyer Th.R., Hautzinger St.J. Design consideration in cable-stayed roof structures. North American Steel Construction Conference "Modern Steel Construction", March 2004. 7 p.
- [11] He J., Liu Y., Chen A., Yoda T. (2012) Mechanical Behavior and Analysis of Composite Bridges with Corrugated Steel Webs: State-of-the-Art. International Journal of Steel Structures. 2012, Vol. 12. No.3. Pp. 321-338.
- [12] Ohgaki K. (2009) State of the Arts of Hybrid structures consisting of steel and concrete in Japan. Tokyo, Japan: Kawasaki Heavy Industries, 2009. Pp. 1-7.
- [13] Magalhaes, F., Caetano, E., Cunha, A. Operational modal analysis and finite element model correlation of the Braga Stadium suspended roof. Engineering Structures. 2008. No. 30 (6), Pp. 1688-1698.
- [14] Nunez-Collado G., Garzon-Roca J., Paya-Zaforteza I., Adam J. M. (2013). The San Nicolas Church in Gandia (Spain) or how Eduardo Torroja devised a new, innovative and sustainable structural system for long-span roofs. Engineering Structures. 2013. No. 56. Pp. 1893-1904.
- [15] Majowiecki M.(1998). Snow and wind experimental analysis in the design of long-span sub-horizontal structures. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1998. No. 74, Pp. 795-807.
- [16] Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A. [i dr]. SCAD Office. Vychislitelnyy kompleks SCAD.[SCAD Office. Computer complex SCAD] M.: Izd-vo SKAD SOFT, 2011. 656 p. (rus)
- [17] Kukushkin I.S. Realizatsiya dvustoronney svyazi mezhdu programmnyimi kompleksami Tekla Structures i SCAD Office 21.[Implementation of two-way communication between Tekla Structures and SCAD Office 21] Industrial and Civil Engineering. 2014. No. 9. Pp. 63-65 (rus)
- [18] Perelmuter A.V., Slivker V.I. Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza – 4-ye izd., pererab.[Calculation models of structures and the possibility of their analysis, 4th edition]. M.: Izd-vo SKAD SOFT, 2011. 736 p. (rus)
- [19] Nikonov N.N. Bolsheproletnyye pokrytiya. Analiz i otsenka.[Large-span coatings. Analysis and evaluation]. Izdatelstvo ASV, 2003. 400 p. (rus)

- [20] Glukhov L.V. Dinamika, prochnost i nadezhnost elementov inzhenernykh sooruzheniy.[Dynamics, strength and reliability of elements of engineering structures]. Izdatelstvo ASV, 2003. 304 p. (rus)
- [21] Mankin A.M. Krovli i ikh elementy: Spravochnik.[Roofs and their elements: Handbook]. Izdatelstvo Tri L, 2006. 386 p. (rus)
- [22] Gorev V.V. Metallicheskiye konstruksii. Spetsialnyye konstruksii i sooruzheniya.[Metal constructions. Special constructions and structures]. Izdatelstvo Vysshaya shkola, 2005. 544 p. (rus)
- [23] Kirsanov M.N. Geneticheskiy algoritm optimizatsii sterzhnevyykh sistem.[Genetic algorithm for optimization of rod systems]. Building mechanics and buildings calculations. 2010. No. 2. Pp .60-63. (rus)
- [24] Alpatov V.Yu., Kholopov I.S. Optimizatsiya geometricheskoy formy prostranstvenno-sterzhnevyykh konstruksiy.[Optimization of the geometric shape of the space-bar structures]. Metal constructions. 2009. T. 15. No.1. Pp. 47-57. (rus)
- [25] Majowiecki M. (1998). Snow and wind experimental analysis in the design of long-span sub-horizontal structures. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1998. No. 74–76. Pp. 795-807.
- [26] Buhl Th., Jensen F. V., Pellegrino S. (2004). Shape optimization of cover plates for retractable roof structures. Computers & Structures. 2004. No. 82 (15–16). Pp. 1227-1236.
- [27] Kirsanov M.N. Analiz progiba fermy pryamougolnogo prostranstvennogo pokrytiya.[Deflection analysis of a rectangular spatial coverage truss]. Magazine of Civil Engineering 2015. No.1. Pp. 32-38 (rus)
- [28] Mushchanov A.V., Mushchanov V.F., Romenskiy I.V. Ratsionalnyye geometricheskiye i zhestkostnyye parametry bolsheproletnogo strukturnogo pokrytiya.[Rational geometric and stiffness parameters of long-span structural roof]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. T. 2. No.41. Pp. 18-29. (rus)
- [29] Trushchev A.G. Prostranstvennyye metallicheskiye konstruksii: uchebnoye posobiye.[Spatial metal structures]. M.: Stroyizdat, 1983. 216 p. (rus)
- [30] Streletskiy N.S., Streletskiy D.N. Proyektirovaniye i izgotovleniye ekonomichnykh metallicheskiy konstruksiy[Designing and manufacturing economical metal structures].. M.: Stroyizdat, 1964. 239 p. (rus)
- [31] Vasilchenko V.T., Rutman A.N., Lukyanenko Ye.P. Spravochnik konstruktora metallicheskiy konstruksiy – 2-ye izd., pererab. i dop[Metal structures designer’s handbook, 2nd edition]. K.: Budivelnyk, 1990. 312 p. (rus)
- [32] Mushchanov V.F. Izbrannyye metody stroitelnoy mekhaniki v raschetakh prostranstvennykh konstruksiy.[Structural mechanics’ selected methods in the calculations of spatial structures]. Makeyevka: DonNASA, 2008. 292 p. (rus)
- [33] Set of Rules SP 20.13330.2011 “Nagruzki i vozdeystviya”. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.01.07-85 [“Loads and effects”. Revised edition of Building Norms and Regulations SNiP 2.01.07-85]. (rus)

Нефёдов С.А., Ильюшенко М.С., Кузьминых А.Р. Работа пространственной стержневой системы в зависимости от её геометрии, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №5 (56). С. 33-46.

Nefyodov S.A., Ilyushenko M.S., Kuzminykh A.R. Work of special rod system depending on its geometry. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 5(56). Pp. 33-46. (rus)