

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

**Гарипов В.С., канд. техн. наук, доцент,
Святелик А.В., Кочерга А.Д.
Оренбургский государственный университет**

Вантовые конструкции используются в строительстве различных зданий и сооружений, мостов и пролетов. Сегодня они особенно популярны при строительстве спортивных комплексов, торговых центров и других подобных зданий, где основная цель - уменьшить количество внутренних перегородок.

Сходство всех видов вантовых конструкций основано на том, что все конструкции подобного типа имеют опорные части жесткого типа из специальных тросов, которые растянуты на данных опорах, так же растяжками могут быть специальные стержни. Все материалы для растяжки выполняются из особо прочной стали, опорные части конструкции, как правило, имеют состав из железа и бетона. Вантовая конструкция является столь популярной, поскольку сам процесс ее изготовления не является чрезвычайно усложненным с технической точки зрения.

В 1834 г. был изобретен проволочный тросовый конструктивный элемент, нашедший очень широкое применение в строительстве, благодаря своим замечательным свойствам - высокой прочности, малой массе, гибкости, долговечности.

В строительстве проволочные тросы были впервые применены в качестве несущих конструкций висячих мостов, а затем уже получили распространение в большепролетных висячих покрытиях.

Развитие современных вантовых конструкций началось в конце XIX в на строительстве нижегородской выставки 1896 г. русский инженер В.Г. Шухов впервые применил пространственно работающую металлическую конструкцию, где работа жестких элементов на изгиб была заменена работой гибких вант на растяжение. Пространственная сетка этих покрытий представляла собой поверхность гиперboloида и была выполнена из взаимно пересекающихся лент полосовой стали. Павильон круглой формы имел диаметр наружного кольца 68 м, павильон овальной формы был выполнен размером 98×51 м, рис. 1.

По сравнению с традиционными покрытиями (фермы, балки, рамы, арки и т.д.) висячие системы имеют ряд преимуществ, а именно:

- возможность перекрывать большие пролеты (до 100 м и более);
- практически полностью реализуется несущая способность вант;
- малый вес покрытия;
- с увеличением перекрываемого пролета удельная масса несущих элементов на единицу площади практически не увеличивается;

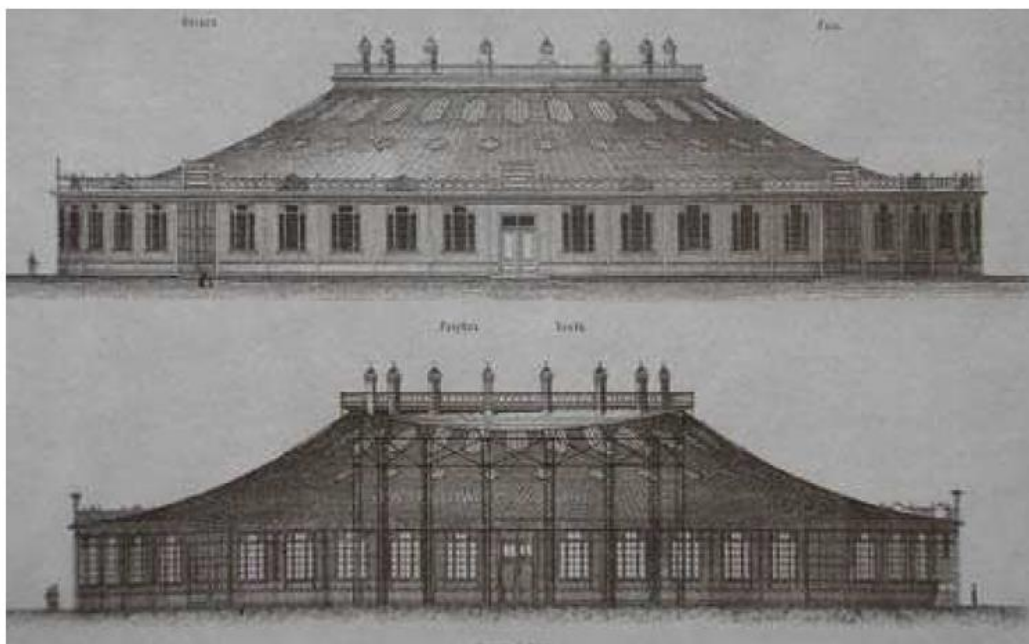


Рисунок 1 - Инженерно-строительный павильон круглой формы Всероссийской художественной и промышленной выставки в Нижнем Новгороде с висячим покрытием

- минимальная строительная высота покрытия обуславливает соответствующее снижение затрат на эксплуатацию сооружения в целом;
- хорошая транспортабельность конструкций покрытия, так как ванты можно сворачивать в бухты;
- при монтаже покрытия значительно снижается потребность в лесах и подмостях;
- при эксплуатации висячие покрытия менее чувствительны к различного рода перегрузкам, осадкам опор и прочее.

Вместе с тем покрытиям висячего типа присущи и недостатки, главным из которых является их повышенная деформативность за счет изменения первоначальной геометрической длины вант. Наличие этого свойства может привести к нарушению герметичности кровли, ограничить возможность установки подвешного кранового оборудования, а также негативно отразиться на аэродинамической устойчивости покрытия и, как следствие, привести к дополнительным затратам на ее повышение. Другим существенным недостатком является необходимость применения специальных опорных конструкций, воспринимающих усилия распора.

Одной из разновидностей подвесных покрытий являются консольно-вантовые системы, представляющие собой балки жесткости, поддерживаемые вантами. Компоновка балок такого покрытия выполняется по одноконсольной или по двухконсольной схеме, рис. 2. При одноконсольной системе пилон обычно делается шарнирно - опертым и работает на центральное сжатие. Его высоту ориентировочно назначают $0,6/l$ (l – вылет консоли). Двухконсольная система, как правило, имеет равные по длине консоли, что делает ее уравновешенной. За счет этого несколько упрощается проектирование и монтаж подвес-

ного покрытия. Консоли покрытия выполняются в виде балок, ферм или оболочек, изготовленных из различных материалов.

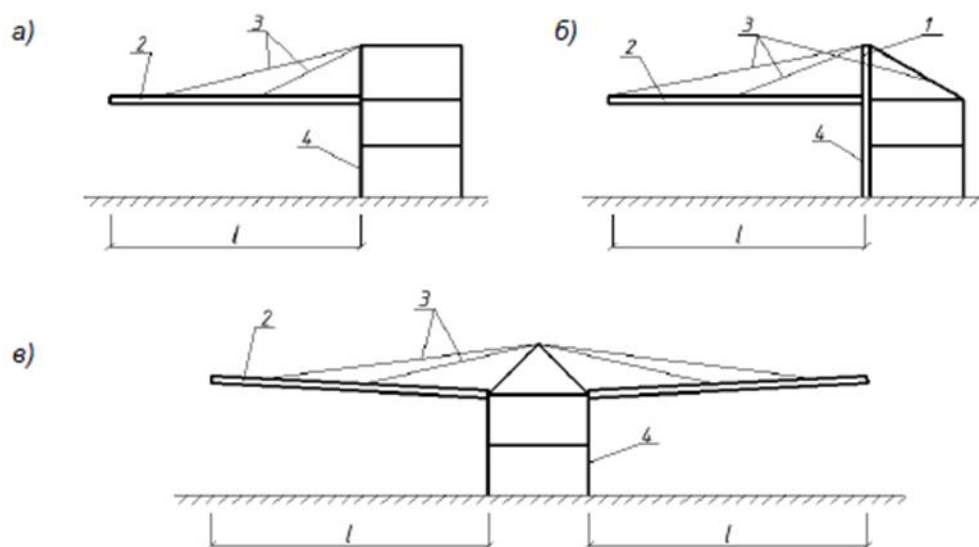


Рисунок 2 - Схемы консольных подвесных покрытий: а, б – одноконсольные, в – двухконсольные; 1 – пилон, 2 – подвесная балка жесткости, 3 – ванты (тросы), 4 – каркас пристройки

Подвесные покрытия способны перекрывать здания произвольной конфигурации в плане, а вынесенные за пределы здания поддерживающие ванты позволяют практически полностью использовать весь объем перекрываемого помещения. В то же время ванты, расположенные на открытом воздухе, требуют тщательного ухода и защиты от возможной коррозии. Кроме того, узлы примыкания вант к балке жесткости оказываются довольно сложными как в изготовлении, так и в эксплуатации. При этом следует особо отметить, что прогибы концов консолей могут достигать значительных величин (до 1,5 м и более), поэтому их вылеты обычно принимают в пределах 40...50 м.

Авторами статьи предпринята попытка, частично, продемонстрировать эффективность применения вант при проектировании и строительстве спортивных сооружений на примере стадиона «Газовик», расположенного в поселке Ростоши Оренбургской области, рис. 3.

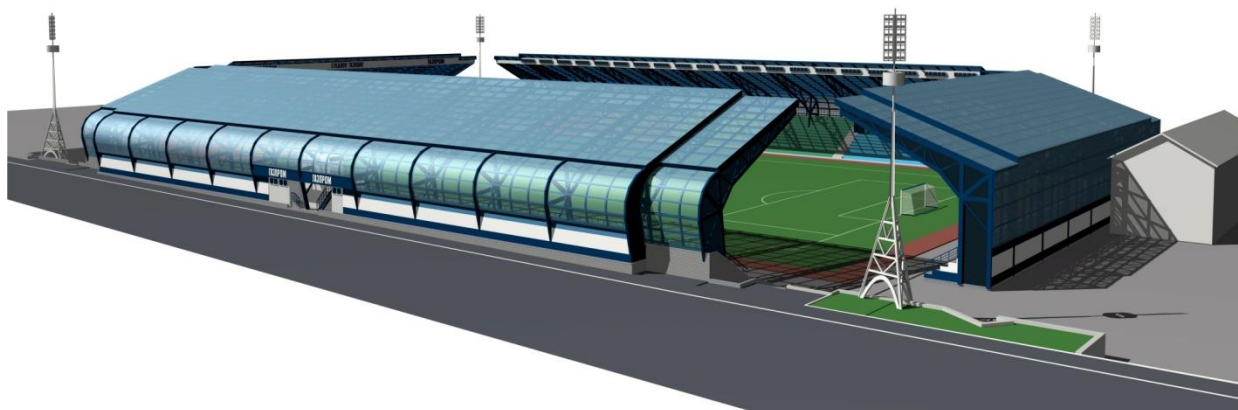


Рисунок 3 - Спортивный стадион «Газовик»

Все расчеты производили в системе автоматизированного проектирования APM Civil Engineering.

Первоначально был проведен анализ напряженно-деформированного состояния (далее - НДС) и металлоемкость существующей конструкции, при этом для моделирования использовали всего два пролета, чтобы исключить влияние изгиба от неравномерности приложения снеговой нагрузки, и оценивали НДС средней стойки.

В качестве нагрузок применяли собственный вес и снеговую нагрузку, максимальное напряжение в элементах исходной конструкции составило 115,3 МПа, рис. 4., остальные данные приведены на рис. 5 – 6.

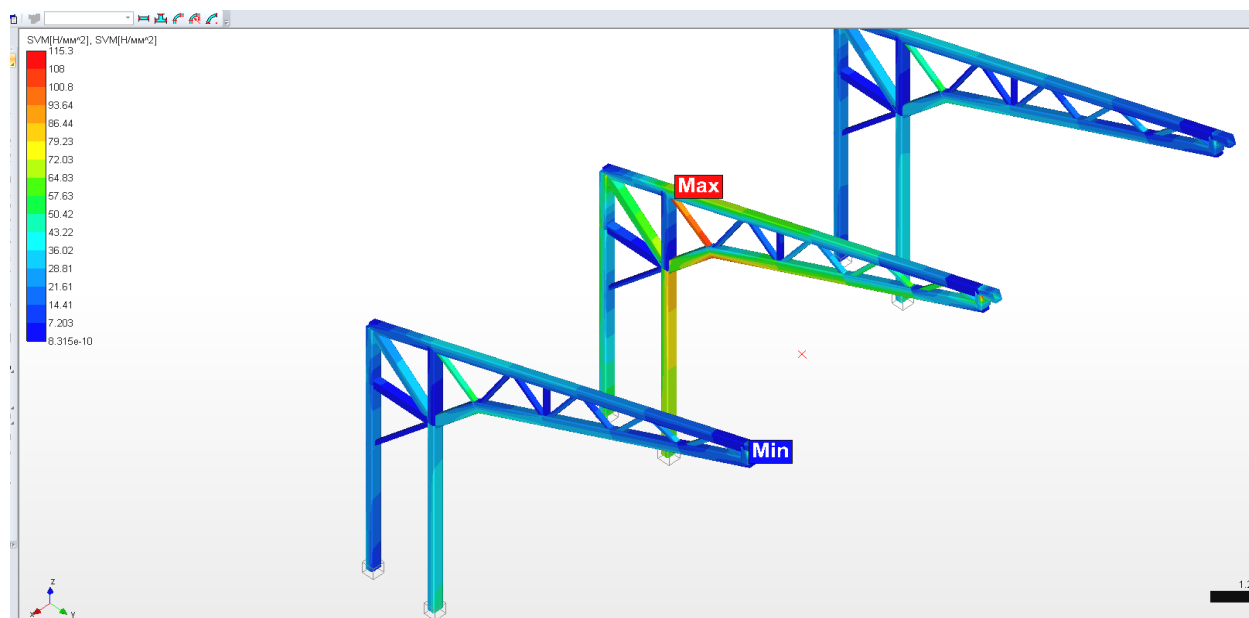


Рисунок 4 - Напряжения в исходной конструкции

Общая масса исходной конструкции составила 17952 кг.

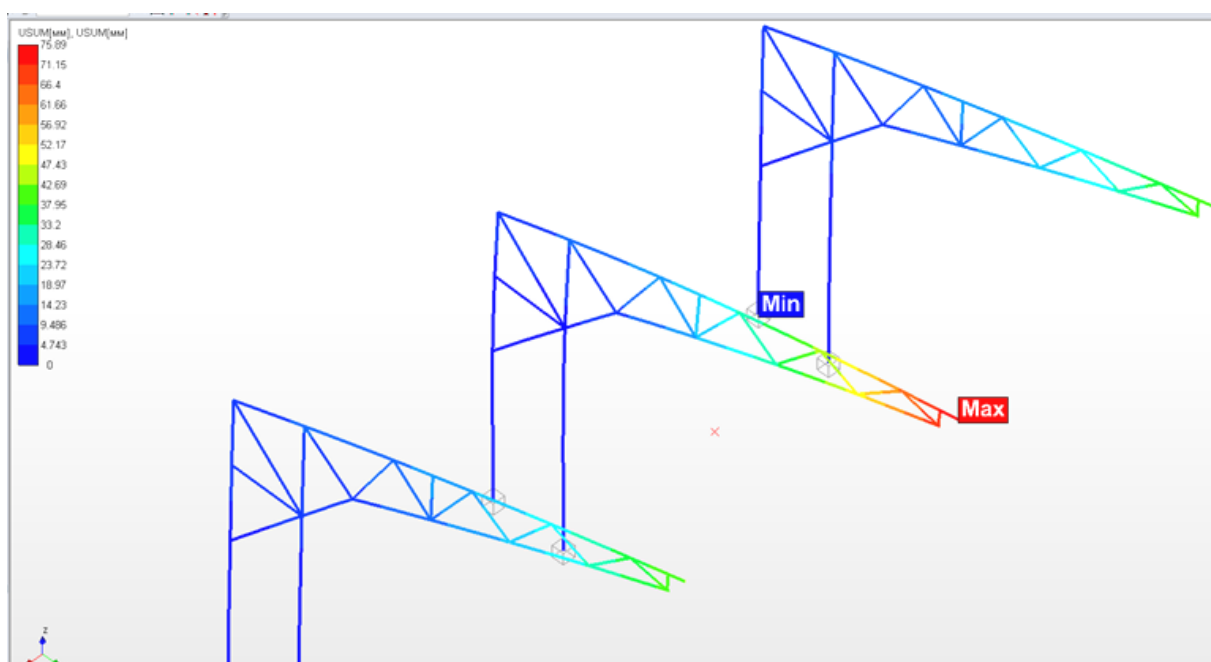


Рисунок 5 – Максимальное перемещение – 75 мм

Реакции в опорах

Загрузка 0 1/6

N	N узла	Rx [H]	Ry [H]	Rz [H]	Mx [H*mm]	My [H*mm]	Mz [H*mm]	UX [mm]	UY [mm]	UZ [mm]	ROTX [град]	ROTY [град]	ROTZ [град]
1	0	-65.4545	-4031.94...	-326319...	1470685...	-528858...	-44616.4...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	-33.6879	-1593.24...	468979.5...	9658901...	-392397...	-48749.5...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	20	-0.0315	7798.9606	-581721...	-148918...	-3.1548	53.9957	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	22	0.0274	3451.4463	875231.7...	-577847...	-60.8000	77.1844	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	40	65.5289	-4031.97...	-326319...	1470694...	529283.6...	44663.35...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	42	33.6177	-1593.25...	468979.7...	9658935...	391912.6...	48812.43...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Невязка сил [H] по осям
X: 0.000000 Y: 0.000000 Z: 0.000000

Невязка моментов [H*mm] вокруг осей
X: 0.000000 Y: 0.000000 Z: 0.000000

Суммарные реакции выделенных опор
Rx: -65.454500 Ry: -4031.941600 Rz: -326319.67300 RSUM: 326344.58755
Mx: 14706853.5830 My: -528858.00120 Mz: -44616.447600 MSUM: 14716427.0020

Показ векторов реакций
Rx Ry Rz Mx My Mz Показывать значения

OK Ещё... Фильтры >>> Сохранить... Копировать в буфер

Рисунок 6 - Реакции в опорах

Далее проводилась работа по изменению исходной конструкции с применением вант, в ходе которой был выполнен расчет ее НДС и в конечном итоге изменение металлоемкости при одинаковом НДС элементов исходной конструкции и конструкции с применением вант.

Окончательные результаты приведены на рис. 7 – 11.

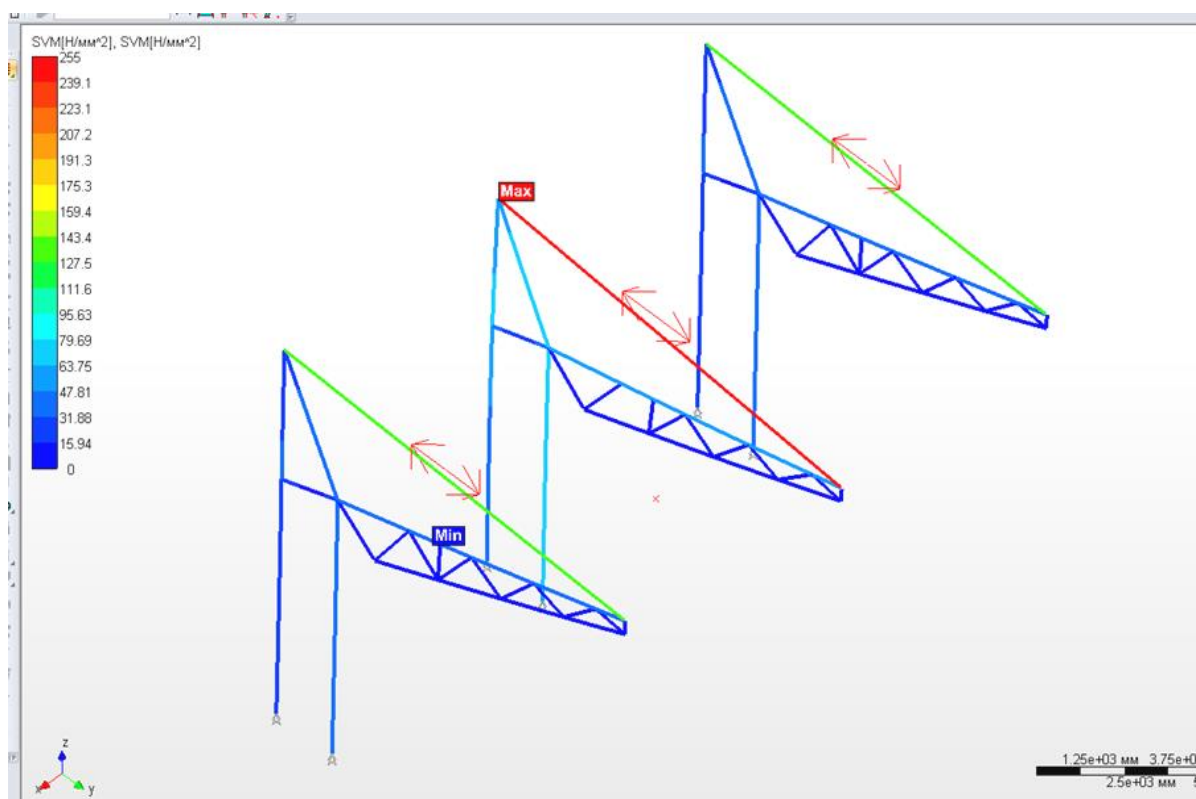


Рисунок 7 - Напряжения в стержнях и канатах оптимизированной конструкции

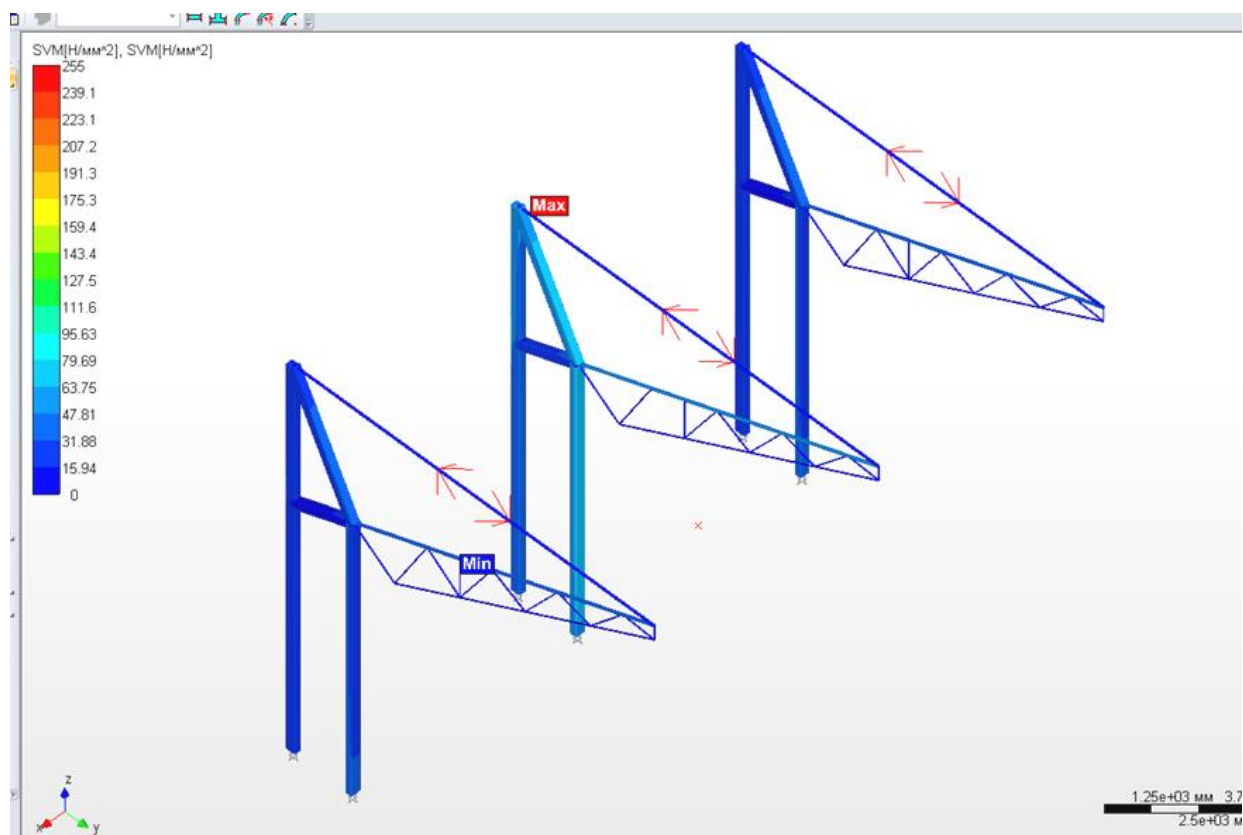


Рисунок 8 - Напряжения в объемных элементах оптимизированной конструкции

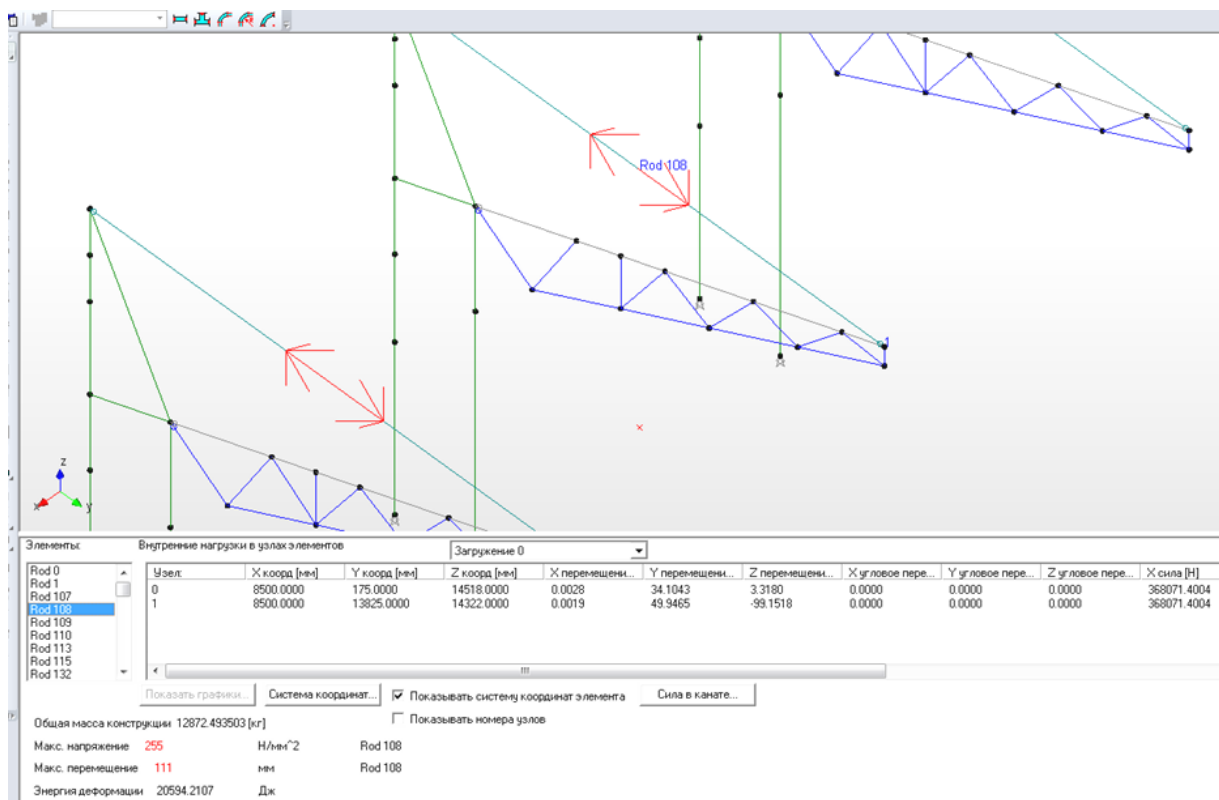


Рисунок 9 - Максимальное напряжение в стержне №108 (канате) и составило 255 МПа

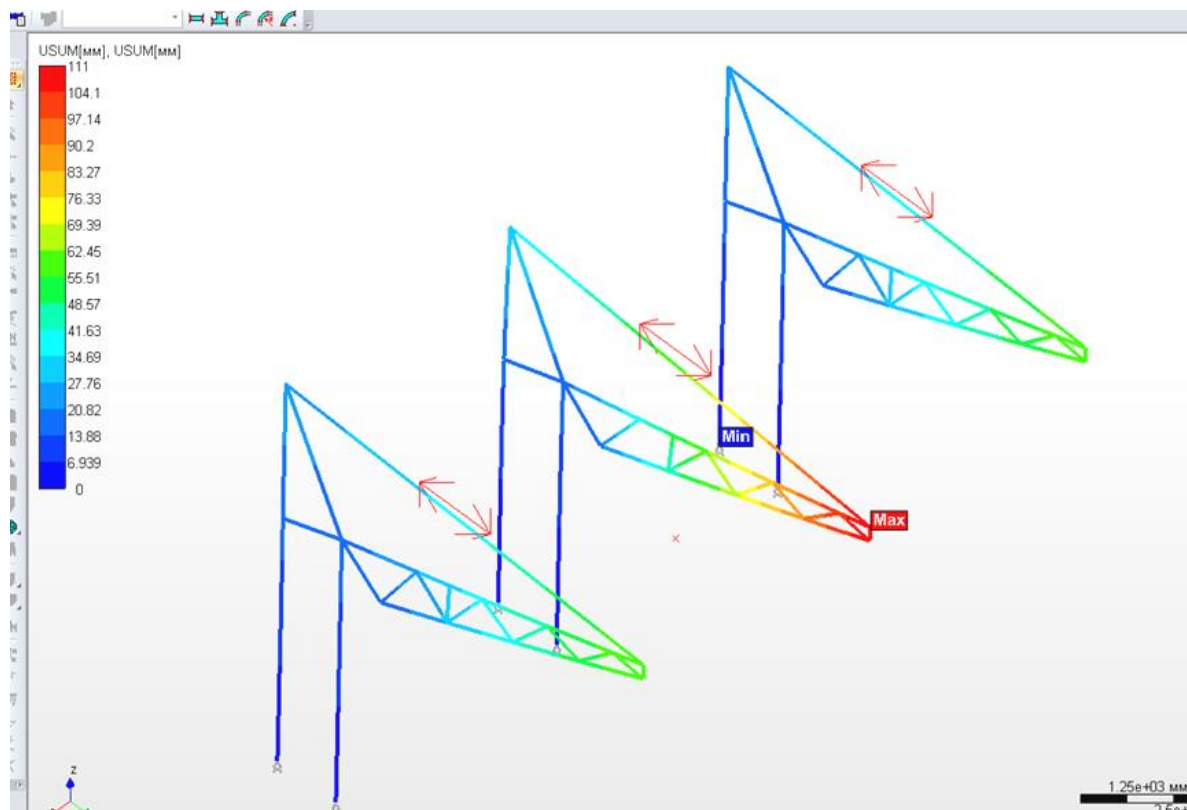


Рисунок 10 – Максимальное перемещение - 111 мм

В результате изменения конструкции удалось снизить металлоемкость до 10946 кг.

Реакции в опорах

Загружение 0 1/6

N	N узла	Rx [H]	Ry [H]	Rz [H]	Mx [H*...]	My [H*...]	Mz [H*...]	UX [мм]	UY [мм]	UZ [мм]	ROTX [r...]	ROTY [r...]	ROTZ [r...]
1	0	0.4817	-575.6101	-287185...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1100	-0.0027	-0.0003
2	2	-0.4022	-285.7809	426102.0...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1080	-0.0026	-0.0003
3	18	-0.0019	1142.1672	-558784...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0772	0.0000	-0.0000
4	20	0.0017	580.6123	837871.0...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0815	0.0000	-0.0000
5	36	-0.4797	-575.6105	-287185...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1100	0.0027	0.0003
6	38	0.4003	-285.7806	426102.0...	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1080	0.0027	0.0003

Невязка сил [H] по осям
X: 0.000000 Y: 0.000000 Z: 0.000000

Невязка моментов [H*мм] вокруг осей
X: 0.000000 Y: 0.000000 Z: 0.000000

Суммарные реакции выделенных опор
Rx: 0.481700 Ry: -575.610100 Rz: -287185.46090 RSUM: 287186.03775
Mx: 0.000000 My: 0.000000 Mz: 0.000000 MSUM: 0.000000

Показ векторов реакций
Rx Ry Rz Mx My Mz Показывать значения

OK Ещё... Фильтры >>> Сохранить... Копировать в буфер

Рисунок 11 - Реакции в опорах

Однако при значительном снижении металлоемкости, эффективность применения вант, в спортивных сооружениях, более вероятна для сооружений с расчетной численностью зрителей намного превосходящей чем в приведенном примере, т.к. использование вантовых канатов требует более сложного расчета, чем приведенный, например опорных узлов.

В конечном итоге, скорее всего, с экономической точки зрения применение вантовых конструкций для небольших спортивных сооружений окажется малоэффективным из-за сложности их изготовления и монтажа.

Полученные результаты, в качестве примера, будут полезны инженерам-проектировщикам занятых расчетом и проектированием вантовых сооружений.

Список литературы

1. Туполев, М. С. Конструкции гражданских зданий: учебник для вузов по специальности «Архитектура» / М. С. Туполев. – Москва: Архитектура–С, 2006. – 240 с: ил.

2. Шубин, Л. Ф. Архитектура гражданских и промышленных зданий: учеб. пособие для вузов. В 5 т. Т. 5 / Л. Ф. Шубин, И. Л. Шубин. – Москва: БАС-ТЕТ, 2010. – 440 с.: ил.

3. Конструктивные особенности висячих покрытий в общественных зданиях, – режим доступа: <http://www.osobennosti-visyachih-pokrytiy-v-obshchestvennyh-zdaniyah.html>