

Бахмисова Мария Алексеевна

Сакмарова Лариса Алексеевна

ТИПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЙ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА ПРОЛОТОМ ДО 60 М

Ключевые слова: спортивный комплекс, конструкция покрытия, архитектурная композиция, большепролетные конструкции.

При проектировании современных спортивных комплексов архитекторам, проектировщикам необходимо прорабатывать не только идейную сторону проекта, но и функциональную. Для создания комфортных условий в здании, обеспечения требований акустики, шумоизоляции и теплоизоляции, определяющее значение приобретает конструкция покрытия спортивного комплекса. Несущие конструкции покрытия являются важнейшим конструктивным элементом спортивных объектов. На сегодня разработано достаточно типовых проектов с часто употребляемыми пролетами 18–36 м. Покрытия пролетом более 36 м уже проектируются индивидуально. Проанализировав существующие спортивные объекты, авторами выяснено, что широкое распространение в качестве покрытия зданий спортивных сооружений пролетом до 60 м получили плоскостные конструкции: арки, фермы, рамы. В данной монографии проведен сравнительный анализ плоскостных конструкций покрытия для пролета 60 м в программном комплексе ЛИРА-САПР: фермы со стальными колоннами и стальной рамы. Все нагрузки воздействия на сооружения заданы согласно СП 20.13330.2016. Результаты, полученные при анализе зарубежного и отечественного опыта конструирования и строительства, могут быть использованы на различных стадиях проектирования большепролетных спортивных комплексов.

Keywords: sports complex, coating structures, architectural composition, large-span structures.

When designing modern sports complexes for architects and designers, it is necessary to work out both the ideological and functional aspects of the project. To create

comfortable conditions, to ensure the requirements of acoustics, noise insulation and thermal insulation of it from other rooms and the environment, the design of the sports complex's coverage becomes crucial. Bearing coating structures are the most important constructive element of sports facilities. To date, there have been developed sufficiently typical projects with frequently used spans from 18 to 36 m. Coatings with a span of more than 36 m are already considered atypical and are designed individually, based on conditions. Analyzing the existing sports facilities, it was found that a wide distribution as a covering of buildings of sports facilities with a span of up to 60 m was obtained by plane structures: arches, trusses, frames. In this paper, a comparative analysis of the plane structures of the cover for a span of 60 m in the LIRA-SAPR program complex: a truss with steel columns and a steel frame is carried out. All load sensing and effects on structures are specified in accordance with SP 20.13330.2016. The results obtained in the analysis of foreign and domestic experience in the design and construction of these structures can be used at various stages of designing large-span sports complexes.

Сегодня, в архитектуре формообразование плана является результатом развития двух тенденций: свободного плана, ведущего к конструктивной каркасной системе, и произвольного плана, требующего конструктивной системы, позволяющей организовать весь объем здания. Рассмотренный опыт проектирования и строительства наглядно показывает, что наиболее выразительными оказываются те объекты, где конструктивные системы и архитектурная композиция находятся в органическом единстве, и выделяются два основных направления: бионическое и функционалистическое.

Бионика – инновационный архитектурный стиль, берущий основу от природы: рельефы, контуры, формы. Бионический стиль – это синтез природных форм и новейших технологий, а также скорость современной жизни жителей крупных городов, создает определенные параметры для жизненного пространства. Проектировщики экспериментируют с образом спортивных комплексов будущего, пытаясь сформировать их архитектуру путём заимствования природных

форм и их непрямого копирования. В результате этого появляются необычные проекты, позволяющие по-новому взглянуть на архитектуру комплексов.

Представители функционалистического направления на ведущее место при проектировании спортивных комплексов ставят рациональное решение, где «форму образует функция». В результате появляются проекты, не столь оригинальные по решению фасадов, но очень функциональные и логичные с точки зрения объемно-планировочных решений. Но здесь, архитектурно-художественная сторона таких комплексов значительно уступает бионическим проектам.

Несущие конструкции покрытия являются важнейшим конструктивным элементом спортивных объектов. Большепролетными называются здания и сооружения, покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций (более 36 м). Их можно разделить по статической работе на две основные группы систем большепролетных покрытий: плоскостные (фермы, арки, рамы) и пространственные (оболочки, вантовые конструкции, купола). Проанализировав существующие спортивные сооружения, был сделан вывод, что сейчас, в большинстве случаев применяются традиционные плоскостные конструкции.

Обеспечение гарантированной безопасности эксплуатации с минимальными материальными затратами является одной из основных задач проектирования, решение которой зависит от корректности выполнения расчетов несущей системы объекта, что определяется полнотой учета в расчетных схемах факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкции.

Хорошей иллюстрацией широких возможностей современных большепролетных конструкций являются олимпийские сооружения. В нашей стране крытые спортивные сооружения построены в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Нижнем Новгороде. Крупные спортивные сооружения строятся по современным технологиям с оригинальной конструкцией кровли: спортивный комплекс «Крылатское» (Москва, 2004 г.), Ледовый Дворец «Большой», стадион «Фишт» (Сочи, 2012–2013 г.), «Казань-Арена» (Казань, 2013 г.), «Открытие-Арена» (Москва, 2014 г.), «Чебоксары-Арена» (Чебоксары, 2015 г.), «Зенит-Арена» (Санкт-

Петербург, 2016 г.), «Самара-Арена» (2017 г.), «Мордовия-Арена» (2018 г.), «Ростов-Арена» (2018 г.), «Стадион Нижний-Новгород» (2018 г.) [1].

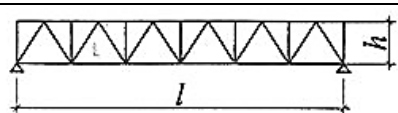
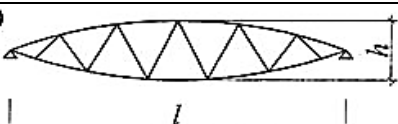
Широкое распространение в качестве покрытия зданий спортивных сооружений пролетом до 60 м получили плоскостные конструкции: арки, фермы, рамы. Именно поэтому в данной статье проведен сравнительный анализ плоскостных конструкций покрытия для пролета 60 м.

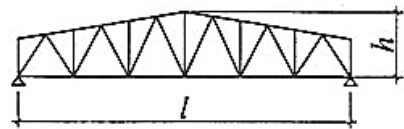
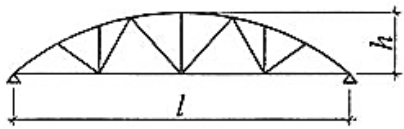
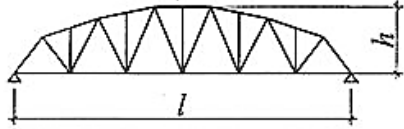
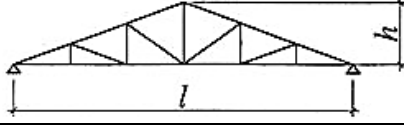
Одним из определяющих размеров и типа покрытия является пролет здания: чем больше пролет здания, тем больше высота поперечного сечения несущей конструкции. На сегодня разработано достаточно типовых проектов с наиболее частым пролетом 18–36 м. Покрытия в зданиях, пролетом более 36 м, уже являются нетиповыми и проектируются под индивидуальные исходные данные. Пролеты нетиповых большепролетных зданий, применяемые в спортивных сооружениях, варьируются в диапазоне от 40 до 60 м.

Фермы, рамы, арки могут изготавливаться из металла, железобетона и дерева. В практике строительства спортивных сооружений известны примеры активного использования в качестве конструкций покрытия металлических ферм. Фермы выполняют из стальных профилей, пространственные трехгранные фермы – из стальных труб. Фермы могут иметь различное очертание как верхнего, так и нижнего пояса. В зависимости от характера очертания внешнего контура, фермы имеют определённые размеры, а также уклон (см. табл. 1).

Таблица 1

Классификация, размеры, уклон ферм

Тип поясов	Пролёт (длина) ферм, L, м	Высота ферм, h, м	Уклон поясов ферм, i, %	Схема
Параллельные	24–120	1/8...1/12 L	до 1,5%	
Рыбчатые (линзообразные)	48–100	1/7...1/8 L	–	

Многоугольные (полигональные)	36–96	$1/7...1/8 L$	–	
Параболические (сегментные)	36–96	$1/7...1/8 L$	–	
Трапециевидные	24–48	$1/6...1/8 L$	8,0...10,0%	
Треугольные	18–36	$1/4...1/6 L$	2,5...3,0%	

Пространственные конструкции из стали на сегодня являются наиболее рациональными и экономичными конструкциями перекрытия больших пролетов спортивных сооружений. Проанализировав спортивные здания и сооружения России, было отмечено, что в большинстве случаев, пространственные конструкции применяются именно при проектировании крытых стадионов, арен.

При проектировании зданий с большими пролетами возникает ряд сложных архитектурных и инженерных задач. Сейчас все чаще металлические конструкции находят применение в гражданском и в жилищном строительстве. По своим показателям, металл является наиболее эффективным материалом. Металлические конструкции, сегодня, применяются во всех видах зданий и инженерных сооружений, особенно, если необходимы значительные пролеты, высота и нагрузки.

В данной статье проведено сравнение 2 типов конструкций покрытия спортивного объекта пролетом 60м: фермы со стальными колоннами и стальной рамы. Обоснование габаритов конструкций выявлено в результате расчета в ПК Лира-САПР 2016, реализующем комплексе конечных элементов, сбором действующих нагрузок, для обеспечения условия эксплуатации в течение всего срока с необходимой надежностью и долговечностью при минимальных затратах материалов и труда на создание и эксплуатацию. Минимальный расход металла и надежность часто противоречат друг другу, поэтому реальное проектирование

и расчет в программном комплексе является процессом поиска оптимального конструктивного решения. Уклон в верхнем поясе, высота, пролет и заданные нагрузки, действующие на ферму и раму, были приняты одинаковые. Сечения колонн, фермы и рамы из составных двутавров, сталь С345.

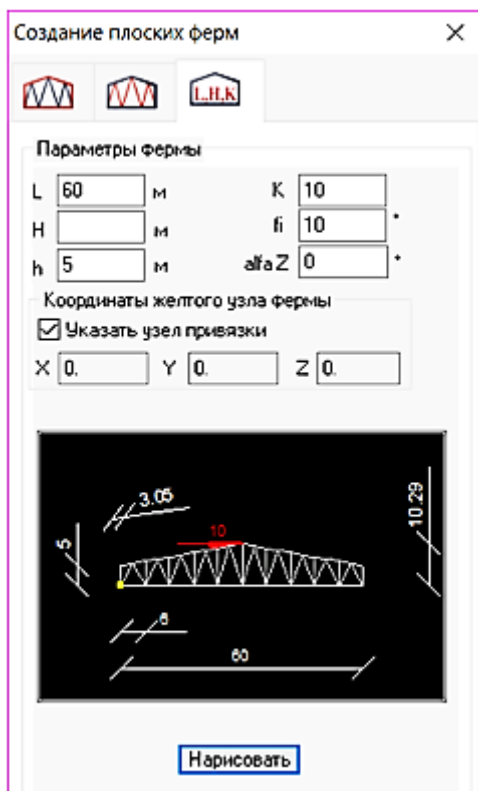


Рис. 3. Заданные параметры для сравниваемых конструкций покрытия на заданный пролет 60 м

Все нагрузки и воздействия на сооружения были заданы согласно СП 20.13330.2016. Район строительства по расчету выбран – Чувашская Республика, г. Чебоксары со следующими характеристиками (согласно СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия):

Снеговой район IV с нормативной снеговой нагрузкой – 2,0 кН/м².

Ветровой район I нормативное значение ветрового давления – 0,23 кПа.

Тип местности «В» по п. 11.1.6

Коэффициент надежности по нагрузке – 1,4.

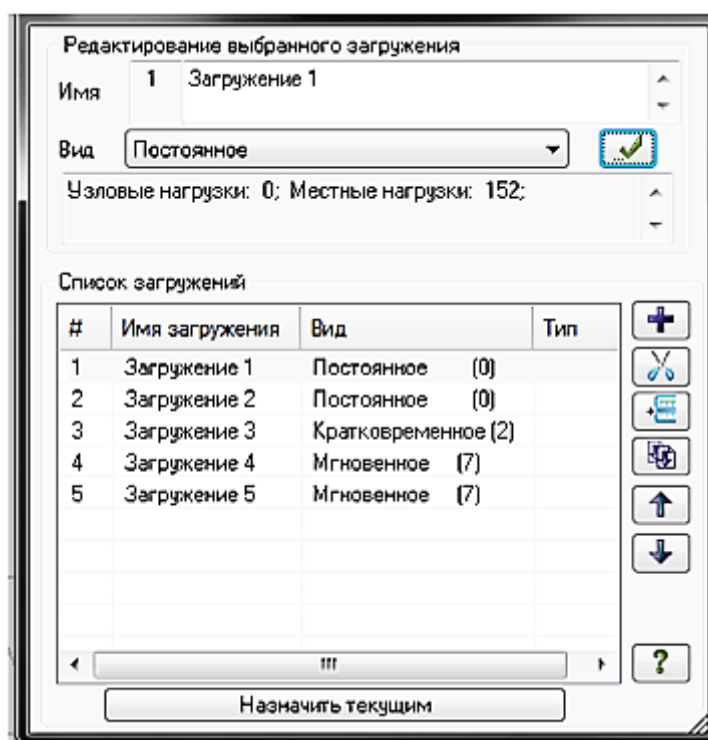


Рис. 5. Параметры загрузок

Собственный вес конструкций учтен отдельным загрузением в ПК Лира САПР-2016 с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,05$.

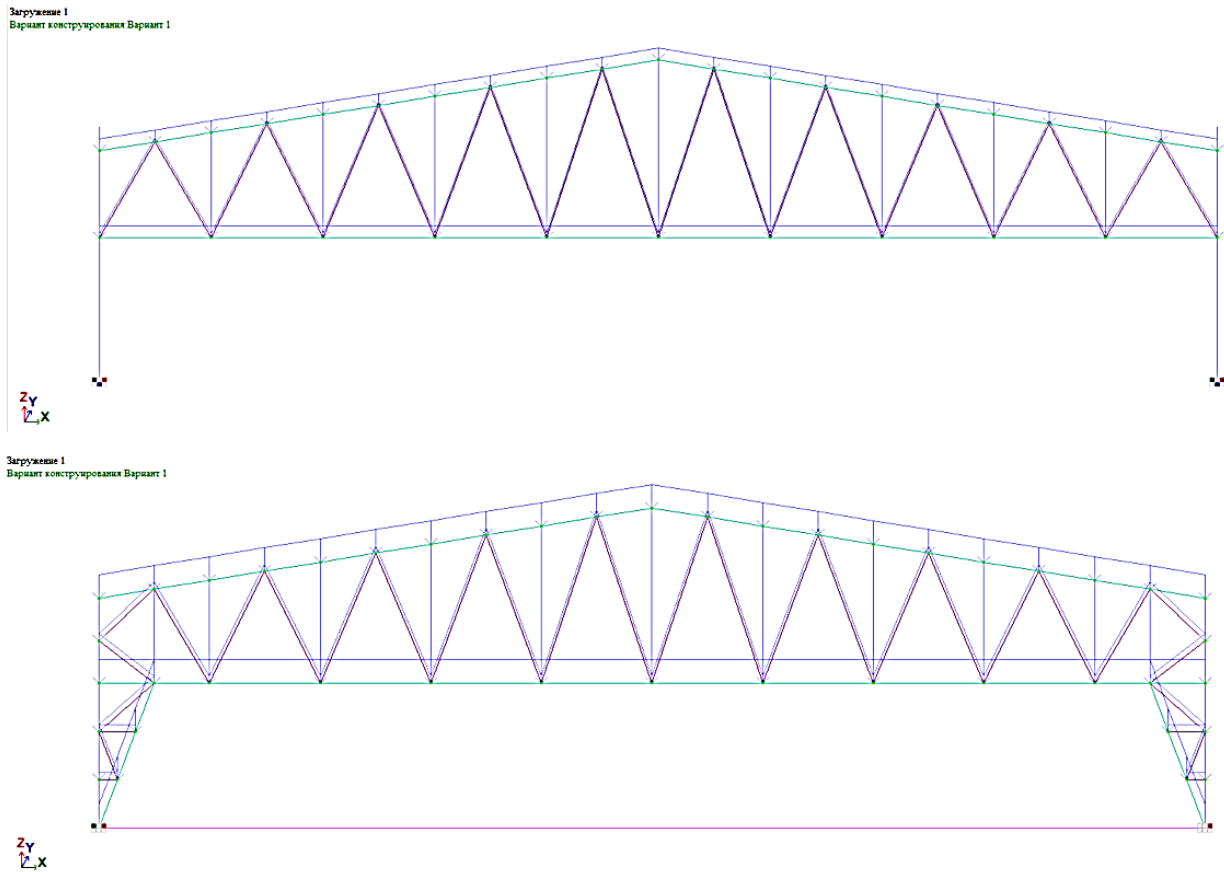


Рис. 6. Нагрузки от загрузки 1.

Таблица 3

Сбор нагрузок от стен

Материал	Толщина, м	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м ²
Сэндвич-панель	0,12	0,25	1,2	0,3

Погонная нагрузка на колонны от веса сэндвич-панелей: $0,3 \cdot 6 = 1,8$ кН/м

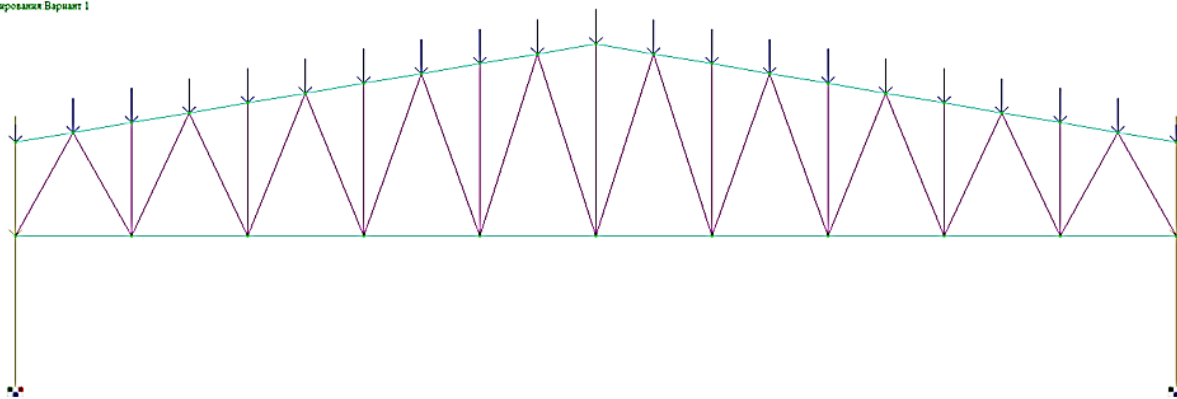
Таблица 4

Сбор нагрузок от покрытия

Материал	Толщина, м	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэф-т надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м ²
Сэндвич-панель	0,2	0,33	1,2	0,4

С учетом массы прогонов бм (швеллер №20) – 120,00 кг узловая нагрузка на ферму $0,4 \cdot 6 \cdot 3 + 1,2 = 8.4$ кН

Загружение 2
Вариант конструирования Вариант 1



Загружение 2
Вариант конструирования Вариант 1

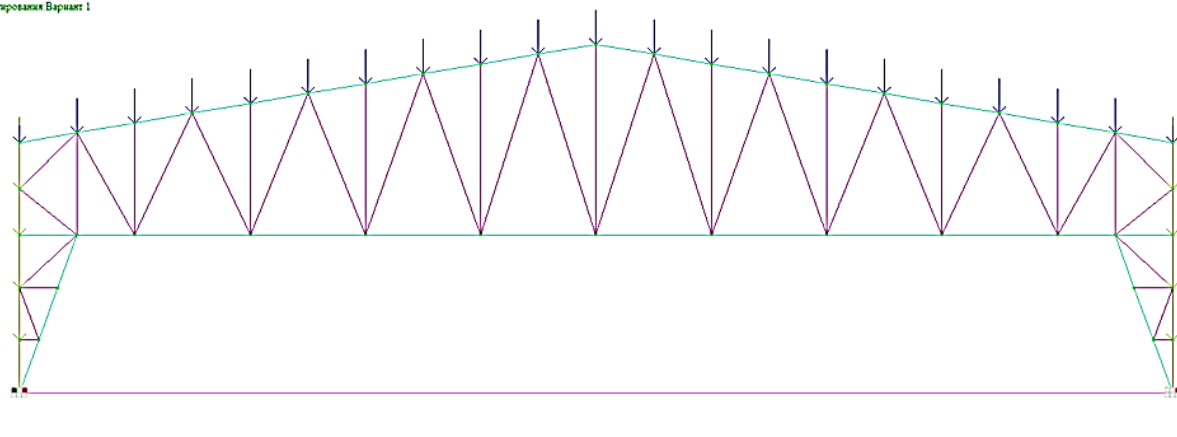


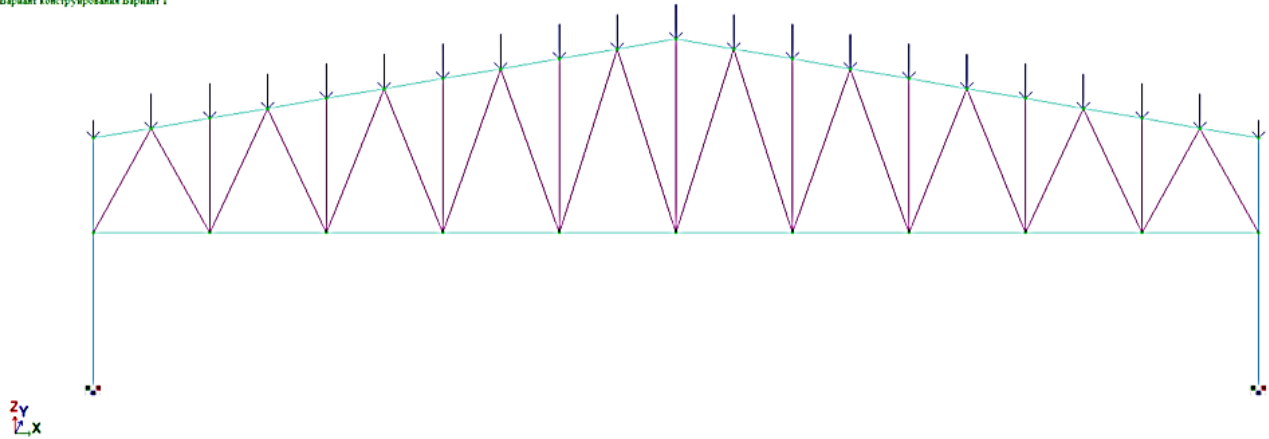
Рис. 7. Сбор нагрузок от ограждающих конструкций

Сбор нагрузок от снега: вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности – 200 кг/м^2 . Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,4$.

Расчетное значение снеговой нагрузки на 1 п.м. покрытия определим по формуле: $S_p = 1*1*1*2*1,4*6 = 16,8 \text{ кН/м}$. Здесь $6,00 \text{ м}$ – грузовая ширина фермы.

Узловая нагрузка: $P_1 = 1,5*16,8 = 25,2 \text{ кН}$; $P_2 = 3*16,8 = 50,4 \text{ кН}$

Згрузка 3
Вариант конструирования Вариант 1



Згрузка 3
Вариант конструирования Вариант 1

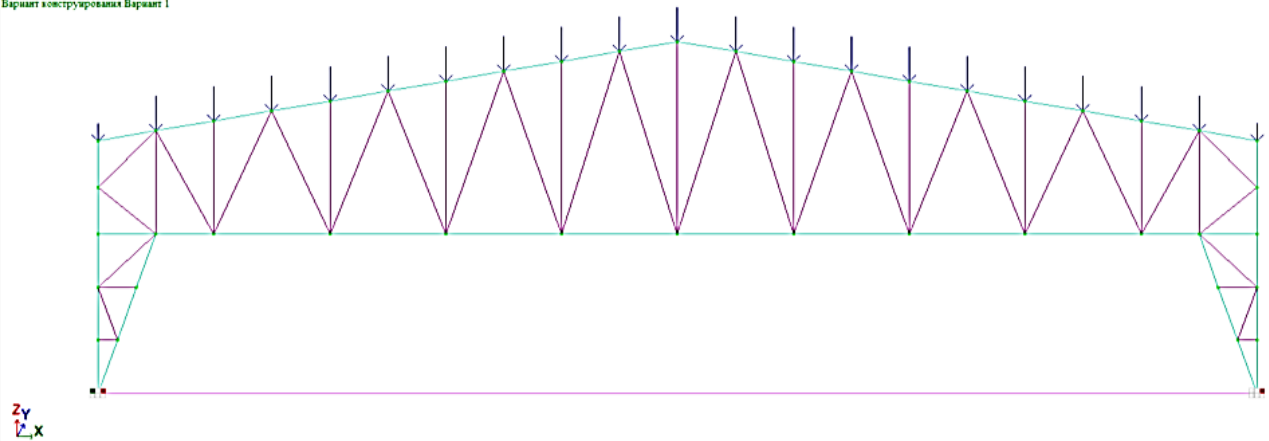


Рис. 8. Схемы приложения снеговой нагрузки

Сбор нагрузок от ветра

Ветровой район – I, тип местности – В. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,23 \text{ кН/м}^2$. Нормативное значение основной ветровой нагрузки w определяется как сумма средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$W = w_m + w_p \quad (1)$$

$$w_m = w_0 k_{(z_e)} c, \quad (2)$$

где w_0 – нормативное, значение ветрового давления (см. п. 11.1.4 СП 20.13330.2016);

$k_{(z_e)}$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e (см. п. 11.1.5 и 11.1.6 СП 20.13330.2016);

$$W_p = W_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v \quad (3)$$

$\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра для эквивалентной высоты z ;

ν – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра (табл.11.6 СП 20.13330.2016) $\nu = 0,7$

$$W_m = W_0 \cdot K(z_e) \cdot c \cdot B \cdot \gamma_f \cdot y_n; \quad (4)$$

c – аэродинамический коэффициент. С наветренной стороны $c = 0,8$; с подветренной стороны $c = 0,5$:

B – шаг колонн в продольном направлении.

Ветровая нагрузка до 5 м распространяется равномерно, после линейно возрастает. Промежуточные значения ветрового давления находим методом интерполяции.

С наветренной стороны: $q_w = 0.23 * 0.8 * 1.4 * 6 * K(z_e) = 1,546 K(z_e)$

– до 5 м, $K = 0.5$, $W_m = 1,546 * 0.5 = 0.77$ кН/м;

$\zeta = 1.22$, $W_p = 0,77 * 1,22 * 0,7 = 0,66$ кН/м;

$W = 0,77 + 0,66 = 1.43$ кН/м;

– до 10 м, $K = 0.65$, $W_m = 1,546 * 0.65 = 1,00$ кН/м;

$\zeta = 1.06$, $W_p = 1,00 * 1,06 * 0,7 = 0,74$ кН/м;

$W = 1,00 + 0,74 = 1.74$ кН/м;

– до 20 м, $K = 0.85$, $W_m = 1,546 * 0.85 = 1,31$ кН/м.

$\zeta = 0.92$, $W_p = 1,31 * 0,92 * 0,7 = 0,83$ кН/м;

$W = 1,31 + 0,83 = 2,14$ кН/м;

Интерполяцией найдем значение:

– для отметки в 8,4 м – низ стропильной конструкции, $W_m = 1,64$ кН/м;

– для отметки в 13,4 м, $W_m = 1,88$ кН/м;

– для отметки в 18,6 м – верх стропильной конструкции, $W_m = 2,08$ кН/м.

Сосредоточенная сила в уровне нижнего пояса фермы:

$W_1 = 10,2 * (1,64 + 2,08) / 2 = 18,97$ кН, здесь 10,2 м – высота фермы.

Сосредоточенная сила в уровне верхнего пояса рамы:

$W_3 = (18,6 - 13,4) * (1,88 + 2,08) / 2 = 10,3$ кН.

С подветренной стороны: $q_w = 0.23 * 0.5 * 1.4 * 6 * K(z_e) = 0,966 K(z_e)$

– до 5 м, $W = 0,48 + 0,41 = 0,89$ кН/м;

– до 10 м, $W = 0,63 + 0,47 = 1.1$ кН/м;

– до 20 м, $W = 0,82 + 0,53 = 1,35$ кН/м;

Интерполяцией найдем значение:

– для отметки в 8,4 м, $W_m = 1,03$ кН/м;

– для отметки в 13,4 м, $W_m = 1,19$ кН/м.

– для отметки в 18,6 м, $W_m = 1,32$ кН/м;

Сосредоточенная сила в уровне нижнего пояса фермы $W_2 = 10,2 * (1,03 + 1,32) / 2 = 12$ кН.

Сосредоточенная сила в уровне верхнего пояса рамы $W_4 = (18,6 - 13,4) * (1,19 + 1,32) / 2 = 6,53$ кН.

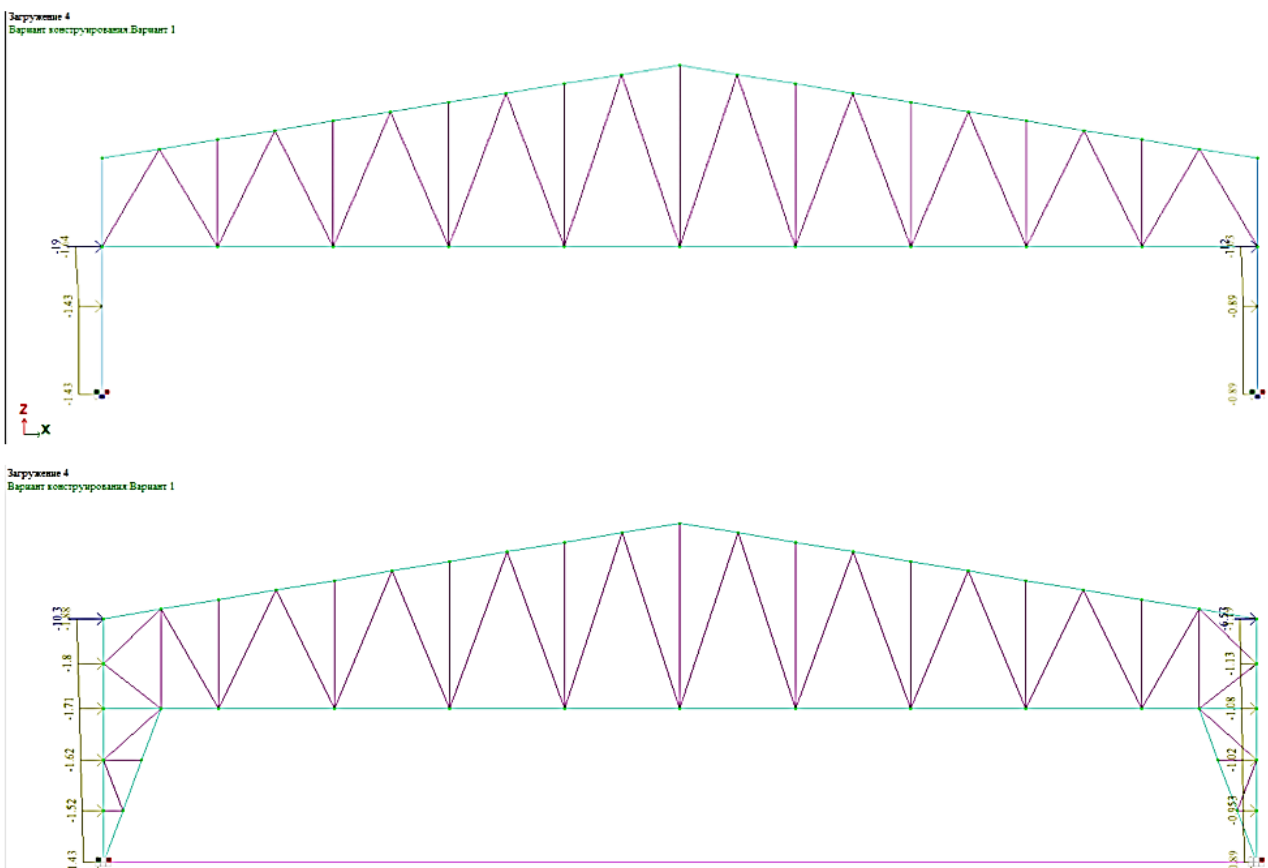
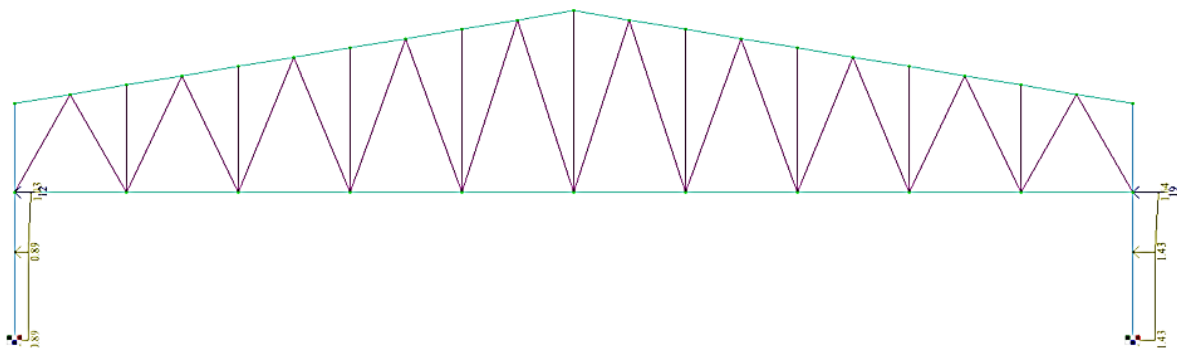


Рис. 9. Схемы приложения ветровой нагрузки

Загрузка 5
Вариант конструирования Вариант 1



Загрузка 5
Вариант конструирования Вариант 1

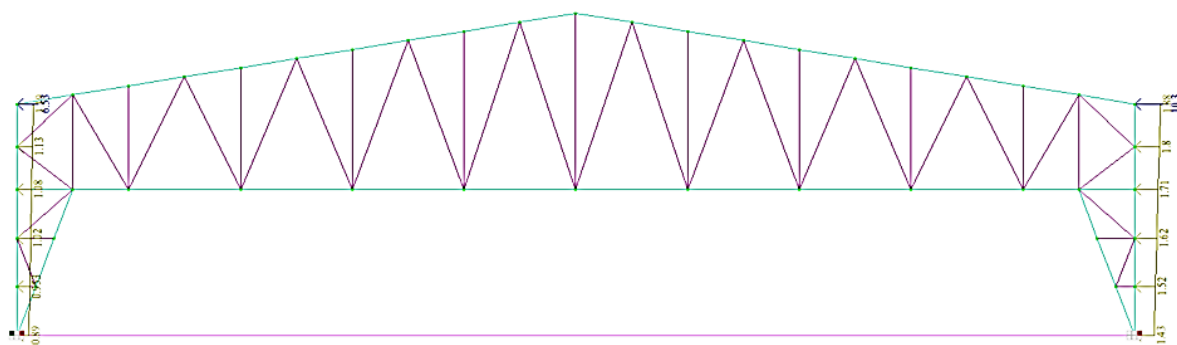


Рис. 10. Схемы приложения ветровой нагрузки

Расчетные сочетания усилий

Строительные нормы: СП 20.13330.2011

Номер загрузки: 1 Загрузка 1

Вид загрузки: Постоянное (0)

Н группы объединяемых временных нагрузений: 0

Учитывать знак опереженности:

Н группы взаимоисключающих нагрузений: 0

NN сопутствующих нагрузений: 0

Коэффициент надежности: 1.10

Доля длительности: 1.00

Не учитывать для II-го пред. сост.:

Ограничения для кранов и тормозов: Кран Тормоз

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(6С)	5 сочет.	6 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00
5	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки	Вид	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Загрузка 1	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Загрузка 2	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
3	Загрузка 3	Кратковреме...	2 0 0 0 0 0 1.40 0.70	1.00 1.00 0.50 0.80
4	Загрузка 4	Мгновенное ...	7 0 0 1 0 0 1.40 0.00	1.00 1.00 0.50 0.80
5	Загрузка 5	Мгновенное ...	7 0 0 1 0 0 1.40 0.00	1.00 1.00 0.50 0.80

Рис. 11. Таблица расчетных сочетаний усилий (PCY)

Расчетные сочетания нагрузок

СП 20.13330.2011

Не учитывать сейсмику для II-го ПС

Не учитывать особое загруз. для II-го ПС

	N загруз.	Наименование	Вид	Знакоперем.	Взаимоискл.	Козф. надежн.	Доля длительн.	1	2
1	1	Загрузка 1	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0	1.0
2	2	Загрузка 2	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0	1.0
3	3	Загрузка 3	Кратк. доминир.1 (P1)	+		1.4	.7	1.0	1.0
4	4	Загрузка 4	Мгновенное(M)	+	1	1.4	.0	.7	0
5	5	Загрузка 5	Мгновенное(M)	+	1	1.4	.0	.0	.7

Основное сочетание (I ПС)
 Особое сочетание (I ПС)
 Основное сочетание (II ПС)
 Особое сочетание (II ПС)

$$P^d + \psi_{11} \cdot P_{11}^d + \sum_{i=2}^n \psi_{1i} \cdot P_{1i}^d + \psi_{t1} \cdot P_{t1}^d + \psi_{t2} \cdot P_{t2}^d + \sum_{j=3}^m \psi_{tj} \cdot P_{tj}^d$$

Кэффициенты

Добавить

Рис. 12. Таблица расчетных сочетаний нагрузок (РСН)

Перемещения вычисляются после переназначения подобранной жесткости элементам каркаса и дальнейшего пересчета.

Максимальное горизонтальное отклонение по оси X при РСН у фермы 39,6 мм, у рамы 18,2 мм, что не превышает допустимое по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

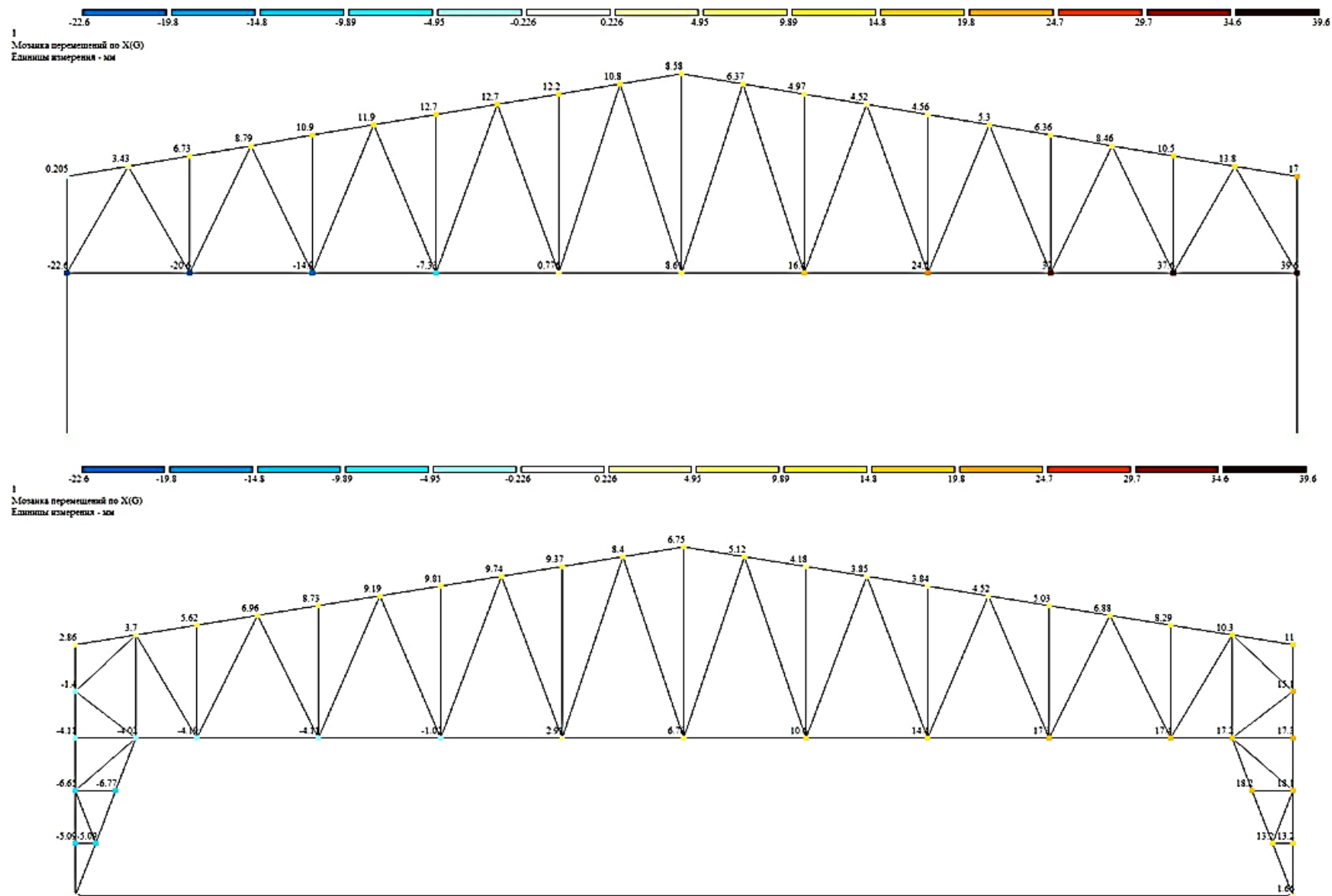


Рис. 13. Горизонтальные перемещения при РСН

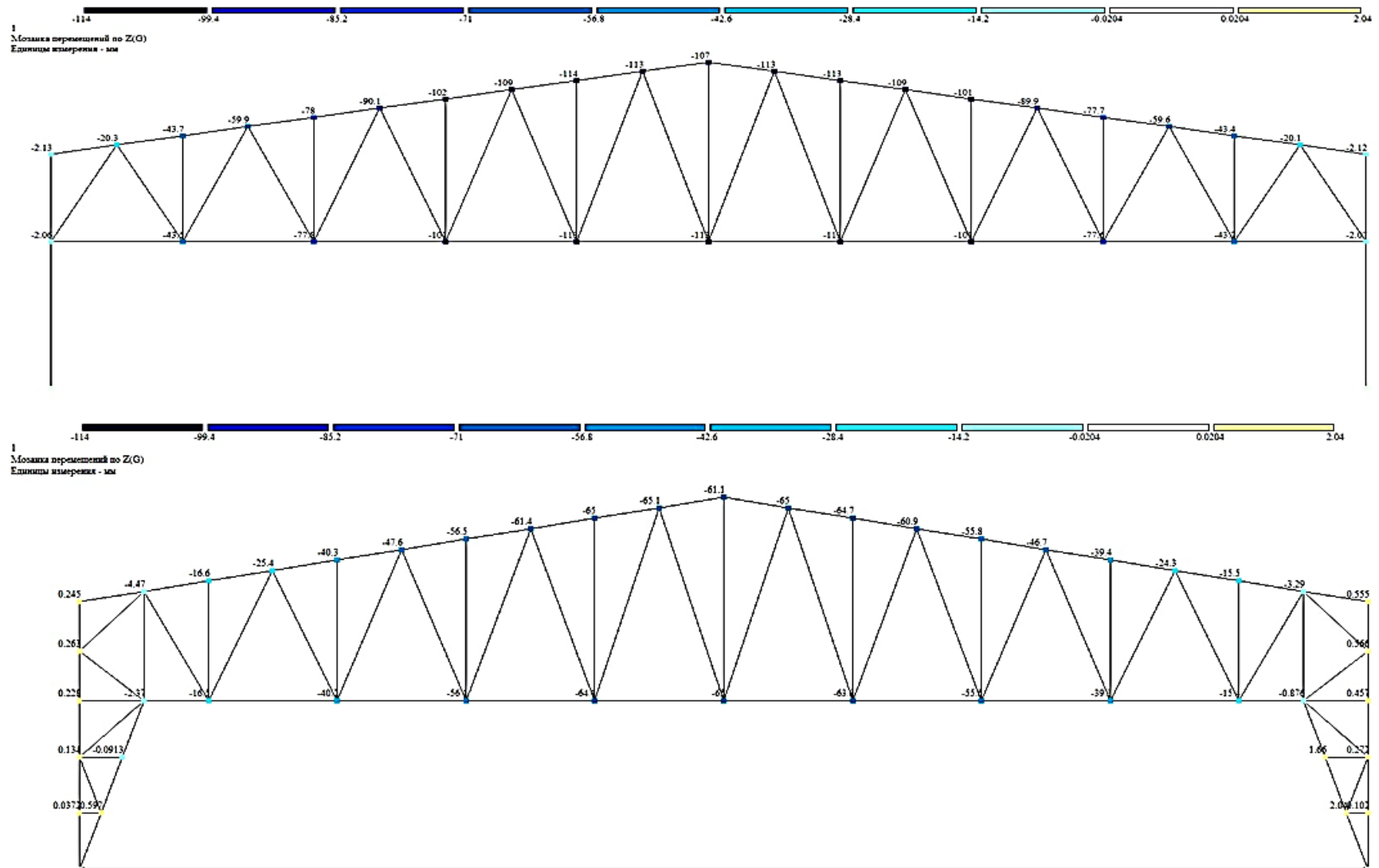


Рис. 14. Вертикальные перемещения каркаса при РСН

Максимальное вертикальное отклонение по оси Z при РСН у фермы 114 мм, у рамы 65 мм, что не превышает допустимое по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Собственный вес конструкций (с учетом коэффициента 1,05):

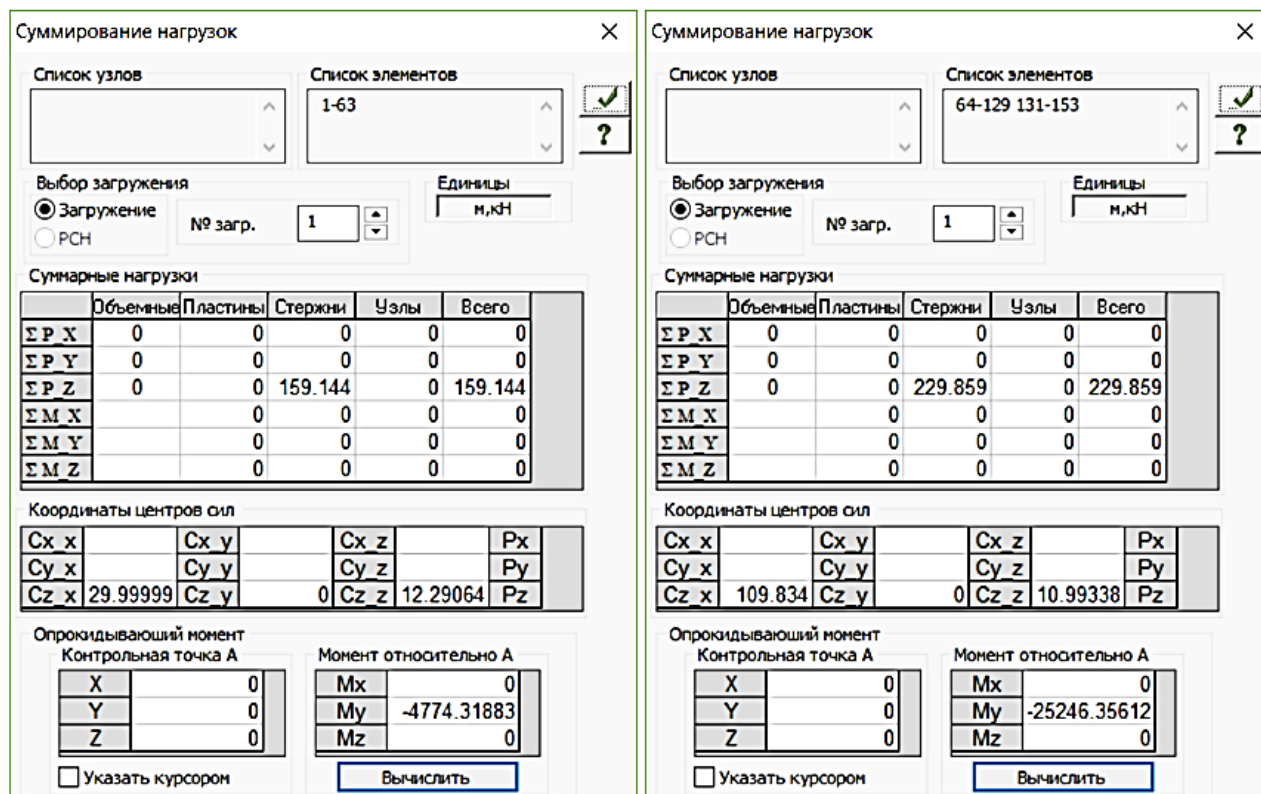


Рис. 15. Собственный вес конструкций: 1 – ферма, 2 – рама

Таким образом, конструкция покрытия – рама, является наиболее успешной и выгодной для пролета 60 м. Она обеспечивает гарантированную безопасность эксплуатации с минимальными материальными затратами, т.е. одна из основных задач проектирования, решение которой зависит от правильности расчета несущей системы объекта, что, в свою очередь, определяется полнотой учета в расчетной схеме факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкции – выполнена.

В результате проведенной работы были проанализированы особенности архитектуры современных спортивных комплексов и выявлены характерные тенденции в её формировании. Данные принципы могут быть положены в основу проектирования спортивных комплексов, и для применения их в качестве

алгоритма для решения инженерных задач формирования архитектурного образа. На протяжении начального этапа формирования, спортивные комплексы были лишены яркой архитектурной составляющей и представляли собой постройки только для выполнения функциональных задач, таких, как организация тренировок и соревнований, размещение зрителей на трибунах. Появление новых видов спорта, расширение функциональности комплексов, увеличение числа занимающихся спортом и совершенствование технических и конструктивных решений привели к появлению выразительной архитектуры спортивных комплексов.

Список литературы

1. Бахмисова М.А. Архитектурно-конструктивные особенности современных физкультурно-оздоровительных комплексов пролетом до 60 м // Научные исследования: векторы развития: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 7 мая 2018 г.) – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*.
3. Сакмарова Л.А. Применение BIM-технологий в образовательной среде на примере строительного факультета Чувашского государственного университета / Л.А. Сакмарова, М.А. Бахмисова // Жилищное строительство. – 2017. – №10. – С. 11–17.
4. Особенности архитектурного формирования горнолыжных комплексов / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2011_1/2.
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23–81*.
6. СП 332.1325800.2017 Спортивные сооружения.

Бахмисова Мария Алексеевна – ассистент кафедры архитектуры и дизайна среды ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Россия, Чебоксары.

Сакмарова Лариса Алексеевна – канд. пед. наук, доцент, заведующая кафедрой архитектуры и дизайна среды ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Россия, Чебоксары.
