

УДК 624.044

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОНСТРУКЦИЙ «ГИМНАСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «БУРТАСЫ»

Болдырев Г.Г.

(Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

Валеев Д.Н.

(ООО «НПП Геотек»

Муйземнек А.Ю.

(Пензенский государственный университет)

Аннотация. В статье приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций зданий гимнастического комплекса. Расчеты выполнены с целью использования результатов при проектировании системы мониторинга. Приведены результаты расчетов и их анализ.

Abstract . In article results of calculation of the stress strain state of the construction a gymnastic complex are resulted. Calculations are executed with the purpose of use of results at designing of system monitoring. Results of calculations and their analysis are resulted.

Ключевые слова: численный расчет, программа ANSYS, трехмерная модель здания, напряженно-деформированное состояние.

Объектом исследования является гимнастический центр в г. Пензе. Гимнастический центр в г. Пензе является общественно значимым сооружением, предназначенный для занятий гимнастикой и плаванием, другими видами спорта, проведения спортивных мероприятий, а также для размещения и проживания спортсменов. По срокам сдачи гимнастический центр состоит из двух частей. Первая часть здания введена в эксплуатацию в ноябре 2007 года, вторую часть здания планируется ввести в эксплуатацию в ноябре 2008 года.

В настоящей статье рассматриваются результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций здания второй очереди строительства. Результаты расчета используются как исходные данные для программы «GEOTEK SHM» и определяют ее начальное напряженное состояние. На рис. 1 приведена схема использования результатов расчета в составе системы мониторинга.

Несущими конструкциями здания второй очереди являются железобетонные колонны и клеендеревянные арки с затяжкой. Конструкция покрытия включает 28 арок, 1176 деревянных прогонов, 112 стальных трубчатых распорок, 112 стальных тяжей, 168 стальных подвесов и деревянный настил по прогонам и аркам. В продольном направлении колонны вверху соединены распорками. Связи между арками выполнены из клеендеревянных балок сечением. Заделка колонн в фундаменте жесткая. Арки выполнены из клееной древесины в виде двух пластин сечением 1400x140 мм, соединенных вместе. Затяжки и подвесы выполнены из стали диаметром 50 и 30 мм, соответственно.

Методика оценки напряженно-деформированного состояния конструкций и оснований зданий и сооружений принята следующей.

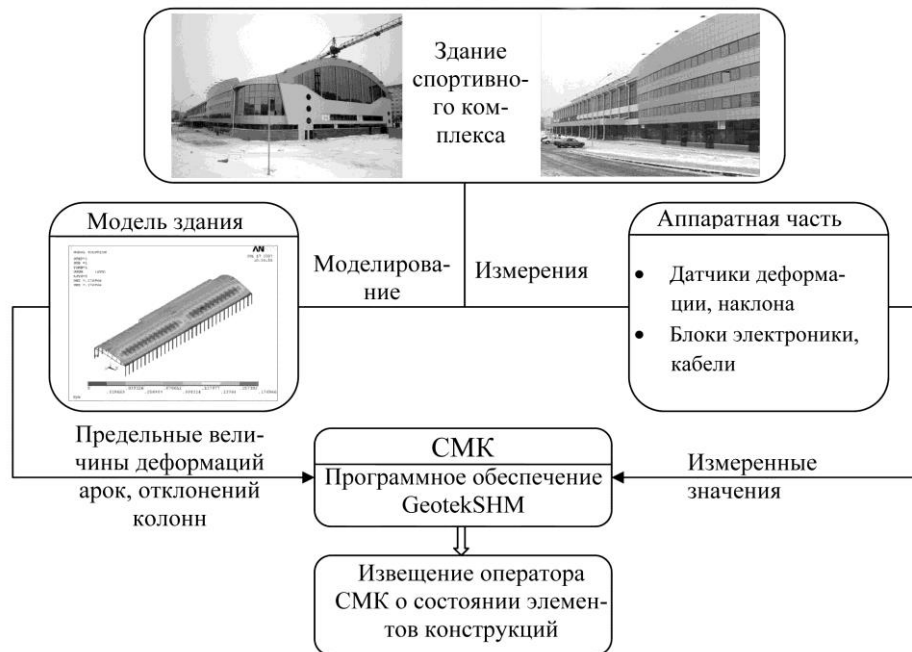


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия аппаратной и расчетной частей системы мониторинга

Используя результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций здания, находятся области концентрации напряжений и величины перемещений элементов конструкции при их нагружении собственным весом, снеговой и ветровой нагрузками. В местах концентрации напряжений проектируемой конструкции устанавливаются датчики деформации, а в местах максимальных перемещений (прогибов) устанавливаются датчики перемещения. Значения напряжений и перемещений являются проектными на момент ввода здания или сооружения в эксплуатацию. Текущие значения измеряются аппаратной частью системы мониторинга и сравниваются с проектными значениями. Приращения текущих значений добавляются к проектным при этом суммарные значения не должны превышать нормативные значения прочности, прогиба или перемещения элементов конструкций.

Расчет напряженно-деформированного состояния конструкций выполняется с использованием мощного вычислительного пакета ANSYS 11. Этот комплекс является одним из современных средств автоматизированного инженерного анализа, наиболее эффективным расчетным методом оценки деформированного состояния и прочности, прогнозирования долговечности и оптимизации элементов строительных конструкций.

Ниже приведена последовательность создания расчетной модели на примере второй очереди гимнастического центра в г. Пензе.

1. Последовательность выполнения работы

1. Создание геометрической модели рамной конструкции второй очереди гимнастического центра.

2. Создание конечно-элементной модели рамной конструкции второй очереди гимнастического центра.

3. Задание характеристик физико-механических свойств материалов элементов рамной конструкции, второй очереди гимнастического центра.

4. Расчет напряженно-деформированного состояния рамной конструкции второй очереди гимнастического центра под действием собственного веса конструкции и веса снега.

5. Определение областей концентрации напряжений в элементах конструкции.

6. Определение величин перемещений в арках, суммарных нормальных напряжений в арках и растягивающих напряжений в тросах.

При выполнении работы использован опыт проведения расчетов прочности, устойчивости и долговечности несущих элементов сооружений, отраженный в материалах конференций [1–3].

Расчет напряженно-деформированного состояния рамной конструкции вто-



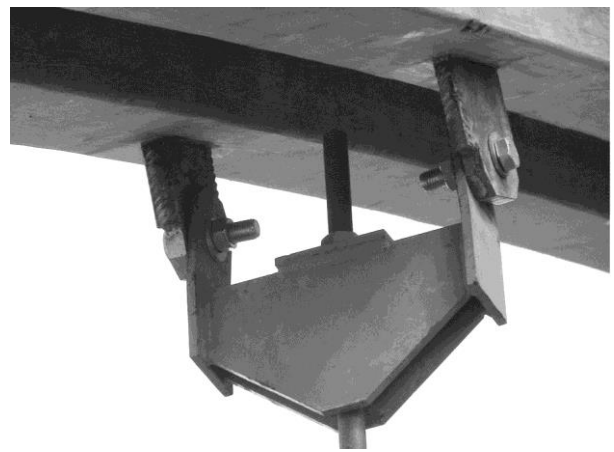
Железобетонные колонны каркаса и кледеревянные арки пролетом 48 м



Внешний вид кледеревянных арок покрытия, балок связи и прогонов



Стальная затяжка из 4 стержней и подвес



Верхняя часть подвеса



Конструкция опорного узла



Высота клеедеревянной арки 1400 мм



Фрагмент деревянного настила



Конструкция деревянного покрытия

рой очереди гимнастического центра в г. Пензе выполнен в программе ANSYS/Multiphysics [4].

2. Разработка математической модели рамной конструкции здания

2.1. Создание геометрической модели рамной конструкции

Основой для создания геометрической модели рамной конструкции гимнастического центра явились чертежи рабочей части проекта, разработанного Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства, под руководством В.П.Герасимова.

В геометрическую модель вошли 28 арок, 1176 прогонов, 112 распорок, 28 тяжей (четыре по сечению объединены в один), 168 подвесов, настил, 56 колонн и 48 распорок, которые соединяют колонны по верхнему поясу.

Геометрическая модель рамной конструкции второй очереди гимнастического центра показана на рис. 2. Геометрическая модель включает 5468 точек, 8758 линий и 888 поверхностей.

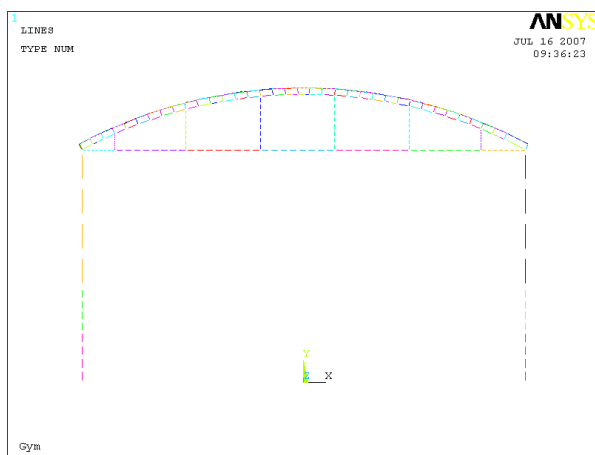
Геометрическая модель была создана в программе ANSYS/Multiphysics.

2.2. Создание конечно-элементной модели рамной конструкции второй очереди гимнастического центра

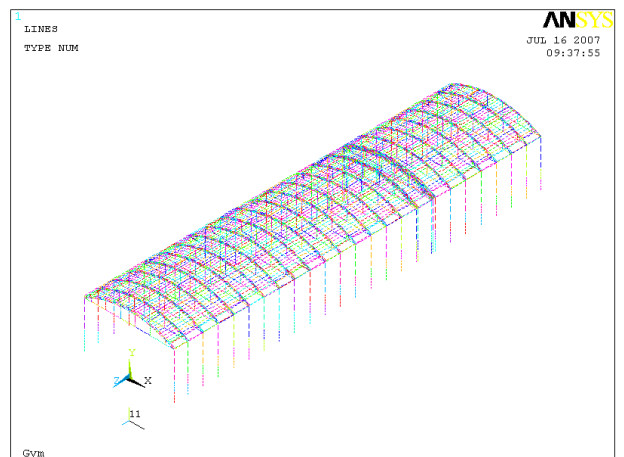
Создание конечно-элементной модели было осуществлено на основе созданной геометрической модели.

При создании конечно-элементной модели были использованы следующие типы элементов:

- для создания арок, прогонов, распорок, подвесов, тяжей, колонн, стальных трубчатых распорок использовался тип элемента BEAM188;
- для создания настила использовался тип элемента SHELL43.

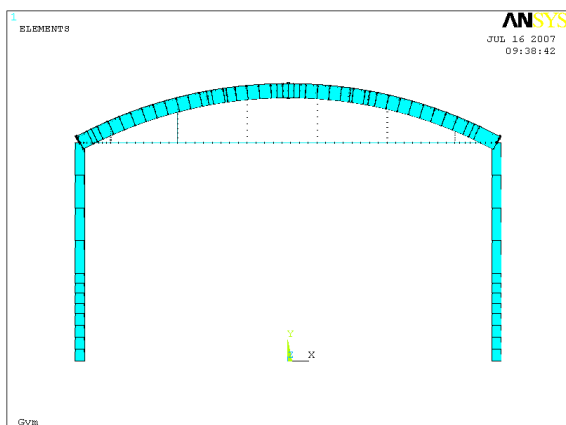


а

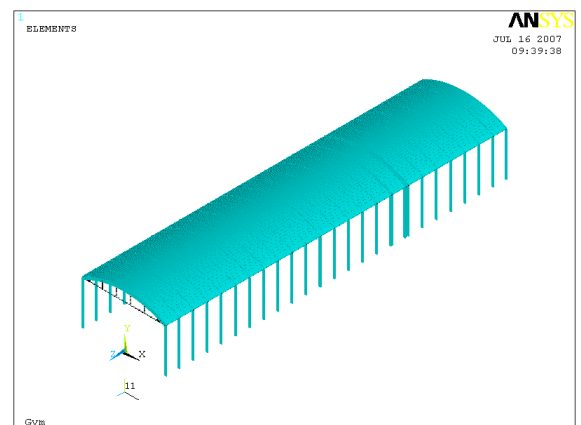


б

Рис. 2. Геометрическая модель второй очереди гимнастического центра:
а – поперечное сечение; б – изометрия



а



б

Рис.3. Конечно-элементная модель второй очереди гимнастического центра:
а – поперечное сечение; б – изометрия

При создании конечно-элементной модели была использована модель изотропного упругого материала. Для различных материалов конструкции эта модель имела следующие параметры:

Клееная ель имеет следующие характеристики физико-механических свойств [5]:

- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440 кг/м³

Ель имеет следующие характеристики физико-механических свойств [5]:

- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440 кг/м³.

Ель настила имеет следующие характеристики физико-механических свойств [5]:

- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440 кг/м³.

Сталь имеет следующие характеристики физико-механических свойств [5]

- модуль упругости 210 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 7800 кг/м³.

Бетон имеет следующие характеристики физико-механических свойств [5]

- модуль упругости 27,5 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,2;
- плотность 2400 кг/м³.

Конечно-элементная модель показана на рис. 3. Конечно-элементная модель включает 34104 узла, 24032 элемента и 392 уравнения связи. Конечно-элементная сетка была создана в программе ANSYS/Multiphysics.

3. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния рамной конструкции

Расчет напряженно-деформированного состояния рамной конструкции второй очереди гимнастического центра произведен для восьми вариантов приложения веса снега. Варианты нагружения заимствованы из расчетного листа проекта. Схема приложения веса снега показана на рис. 3. Собственный вес конструкций учтен в программе вводом плотности материала и сечения элементов.

Параметры в законах приложения нагрузки даны в табл. 1 и 2.

Некоторые результаты расчета представлены на рис. 5-8 и табл. 1-4. На всех рисунках величина перемещений увеличена в 50 раз. Нулевым обозначен вариант нагружения, в котором отсутствует снеговая нагрузка и действует только собственный вес.

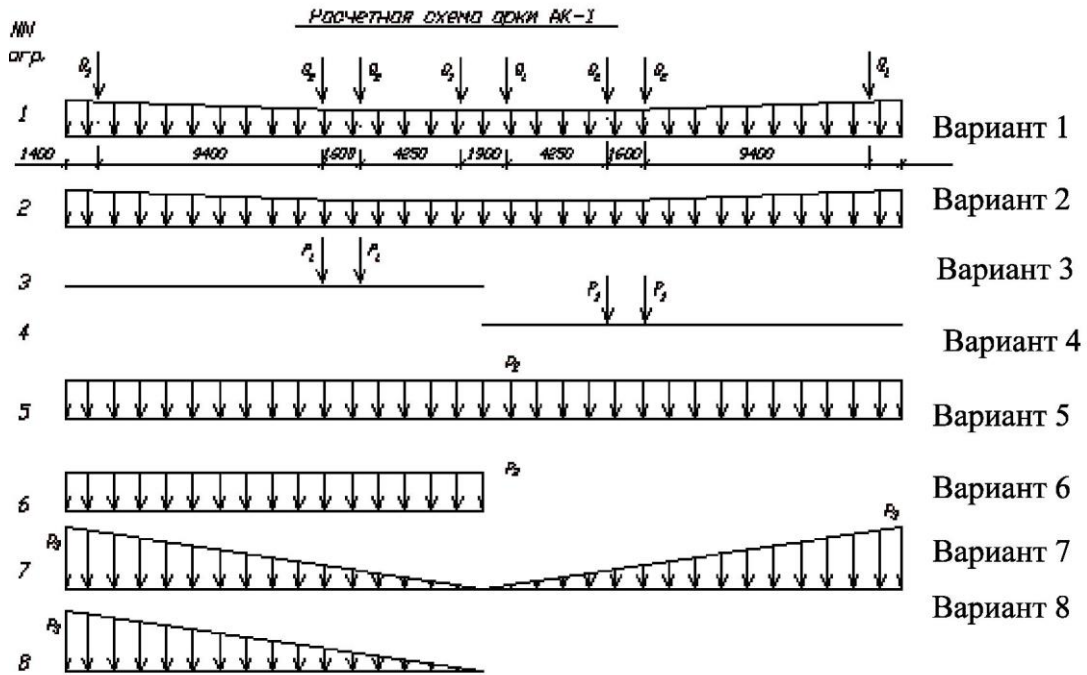


Рис. 4. Схема приложения снеговой нагрузки

Так, на рис. 5 показана деформация элементов рамной конструкции для двух вариантов нагружения (см. табл. 1).

Таблица 1

Нагрузка, действующая на арки

NN загр.	Нагрузка	Обозн.	Разм.	Нормат. знач.	Кэф. перегр.	Расчет. знач.
1	Постоянная	q_1	т/м	0,63	1,24	0,78
		Q_1	т	0,31	1,20	0,38
		Q_2	т	0,53	1,18	0,63
2	Временная 1	p_1	т/м	0,60	1,30	0,78
3	Временная 2	P_1	т	0,30	1,30	0,39
4	Временная 3	P_1	т	0,30	1,30	0,39
5	Снег 1	p_2	т/м	0,76	1,43	1,08
6	Снег 2	p_2	т/м	0,76	1,43	1,08
7	Снег 3	p_3	т/м	1,52	1,43	2,16
8	Снег 4	p_3	т/м	1,52	1,43	2,16

Распределения перемещений в арке по оси 1 для двух вариантов нагружения показаны на рис. 6.

Распределения суммарных нормальных напряжений с нижней стороны сечения арки по оси 1 показаны на рис. 7.

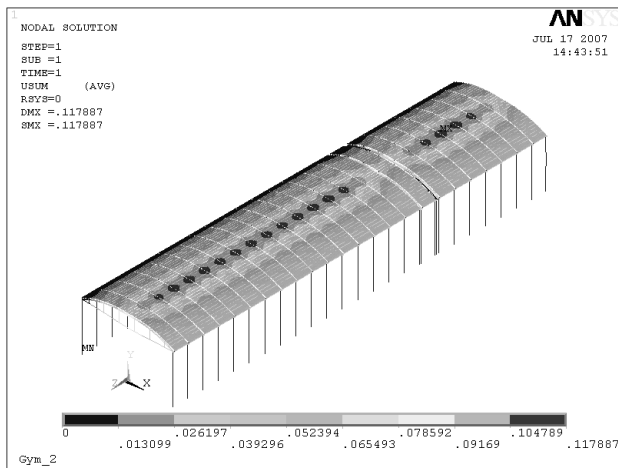
Распределения суммарных нормальных напряжений с верхней стороны сечения арки по оси 1 показаны на рис. 8.

В табл. 3,4 представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния характерных точек рамной конструкции второй очереди.

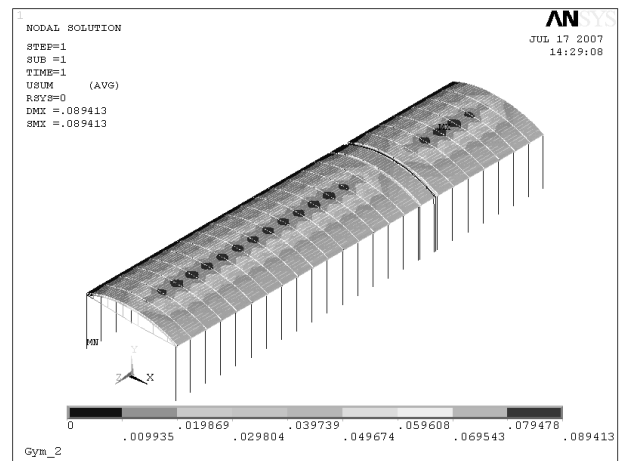
Таблица 2

Опорные реакции, т

NN загр.	Нагрузка	Разм.	Ra.	R _б
1	Постоянная	т	17,8	17,8
2	Временная 1	т	14,3	14,3
3	Временная 2	т	0,53	0,25
4	Временная 3	т	0,25	0,53
5	Снег 1	т	19,1	19,1
6	Снег 2	т	14,3	4,75
7	Снег 3	т	19,1	19,1
8	Снег 4	т	15,9	3,17

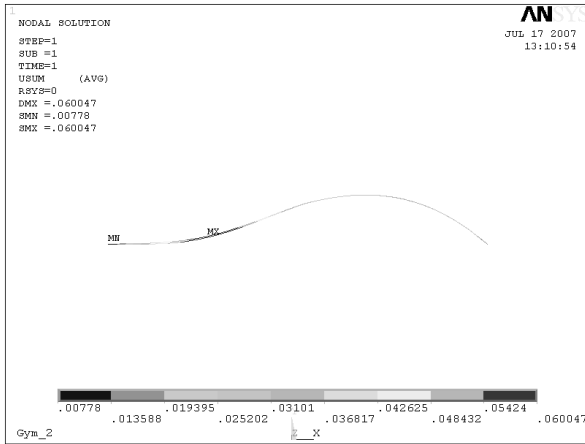


Вариант 1

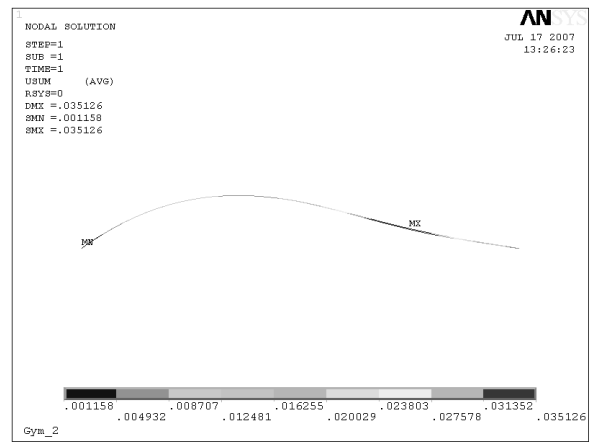


Вариант 2

Рис. 5. Деформация элементов рамной конструкции, м

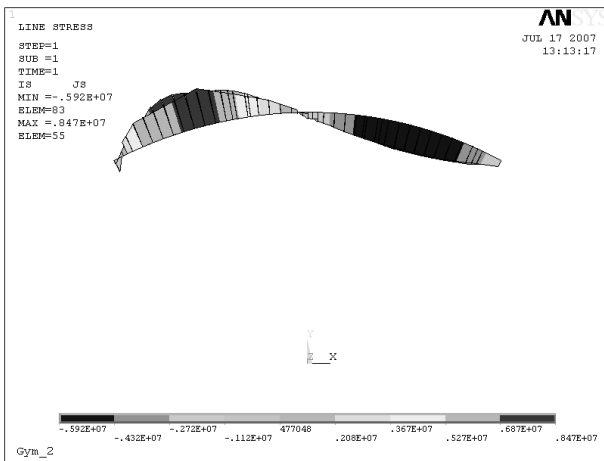


Вариант 5

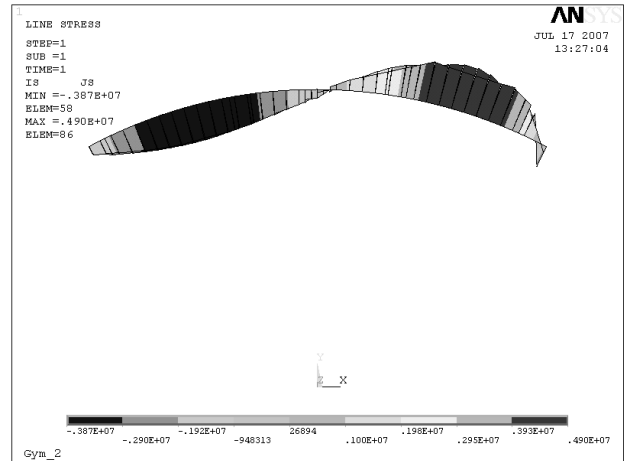


Вариант 6

Рис. 6. Распределение перемещений в арке по оси 1, м

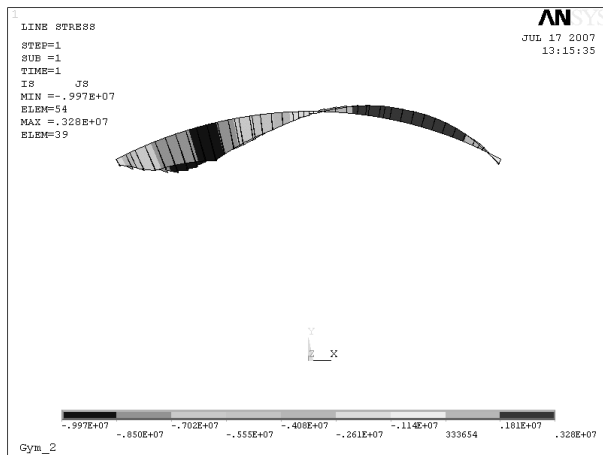


Вариант 5

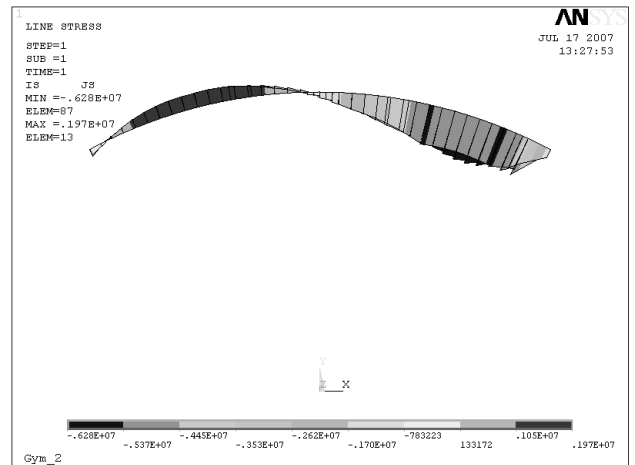


Вариант 6

Рис. 7. Распределение суммарных нормальных напряжений с нижней стороны сечения арки по оси 1, Па



Вариант 5



Вариант 6

Рис. 8. Распределение суммарных нормальных напряжений с верхней стороны сечения арки по оси 1, Па

Таблица 3

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния характерных точек по оси 1 рамной конструкции второй очереди

Вариант расчета	Перемещение верхней точки арки, м	Растягивающее напряжение в тяже, МПа	Перемещение правой опоры в горизонтальном направлении, м
0	$-4,82 \cdot 10^{-3}$	14,3	$2,08 \cdot 10^{-3}$
1	$-3,5 \cdot 10^{-2}$	105	$1,88 \cdot 10^{-2}$
2	$-5,05 \cdot 10^{-2}$	148	$2,41 \cdot 10^{-2}$
3	$-1,33 \cdot 10^{-3}$	26,9	$3,43 \cdot 10^{-3}$
4	$-8,06 \cdot 10^{-2}$	101	$1,16 \cdot 10^{-2}$
5	$1,41 \cdot 10^{-2}$	51,9	$1,42 \cdot 10^{-2}$
6	$-3,1 \cdot 10^{-2}$	37,9	$3,68 \cdot 10^{-3}$
7	$-9,01 \cdot 10^{-3}$	24,9	$4 \cdot 10^{-3}$
8	$1,41 \cdot 10^{-2}$	51,9	$1,43 \cdot 10^{-2}$

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния, характерных точек по оси 3 рамной конструкции первой очереди

Вариант расчета	Перемещение верхней точки арки, м	Растягивающее напряжение в тяже, МПа	Перемещение правой опоры в горизонтальном направлении, м
0	$-6 \cdot 10^{-3}$	18,3	$2,24 \cdot 10^{-3}$
1	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	183	$2,21 \cdot 10^{-2}$
2	$-7,74 \cdot 10^{-2}$	226	$2,73 \cdot 10^{-2}$
3	$-3,13 \cdot 10^{-3}$	30,7	$3,74 \cdot 10^{-3}$
4	-0,137	165	$2,12 \cdot 10^{-2}$
5	$2,97 \cdot 10^{-2}$	90,3	$9,8 \cdot 10^{-3}$
6	$-5,621 \cdot 10^{-2}$	63	$8,23 \cdot 10^{-3}$
7	$1,41 \cdot 10^{-2}$	38,5	$4,68 \cdot 10^{-3}$
8	$2,97 \cdot 10^{-2}$	90,3	$9,8 \cdot 10^{-3}$

Анализ результатов расчета напряженно-деформированного состояния позволил сделать следующие выводы:

– характер деформации элементов конструкции зависит от распределения веса снега по площади покрытия и для рассмотренных девяти вариантов нагружения существенно различен;

– максимальные значения перемещений в арках покрытия были обнаружены при четвертом варианте нагружения в арке по оси 3. Величина максимального перемещения в арках покрытия равна 14,1 см;

– максимальные значения суммарных нормальных напряжений на нижних поверхностях балок арок были обнаружены для восьмого варианта нагружения по оси 3. Максимальное значение суммарных нормальных напряжений на нижних поверхностях балок арок равно 16,1 МПа;

– максимальные значения растягивающих напряжений в тяжах возникают при втором варианте нагружения в арке по оси 3. Максимальное значение растягивающего напряжения в тяже равно 226 МПа;

– максимальные горизонтальные перемещения опор арок были обнаружены при втором варианте нагружения в арке по сечению 3. Максимальное горизонтальное перемещение опор арок равно 27,2 мм.

Литература

1. Муйземнек А.Ю., Фокина И. К., Фокина Н. К. Вероятностная оценка прочности опор линий электропередач на этапе эксплуатации / Материалы седьмой

конференции пользователей программного обеспечения САF-FEM GmbH. – М.: «Полигон-Пресс», 2007. - С. 139–142.

2. Муйземнек А.Ю., Комаров М. Н., Горлов В. В. Оценка остаточного ресурса опор ЛЭП / Материалы седьмой конференции пользователей программного обеспечения САF-FEM GmbH. – М.: «Полигон-Пресс», 2007. – С. 143 – 149.

3. Муйземнек А.Ю., Демина Е. И., Гундорова Н. В. Оценка остаточной устойчивости ЛЭП / Материалы седьмой конференции пользователей программного обеспечения САF-FEM GmbH. – М.: «Полигон-Пресс», 2007. – С. 134 – 138.

4. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 273 с.

5. Справочник по машиностроительным материалам / Под ред. . Т. 4. – М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1960. – 723 с.