Расчет напряженно-деформированного состояния рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе

А.Ю. Муйземнек, И.К. Фокина, Н.К. Фокина
ООО «Строй-Тех», Пенза

Цель работы: На основе расчета напряженно-деформированного состояния рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе определить области концентрации напряжений и величины вертикального перемещения элементов конструкции при нагружении собственным весом, снеговой и ветровой нагрузкой согласно расчетному листу.

I. Конструкция гимнастического центра в г. Пензе

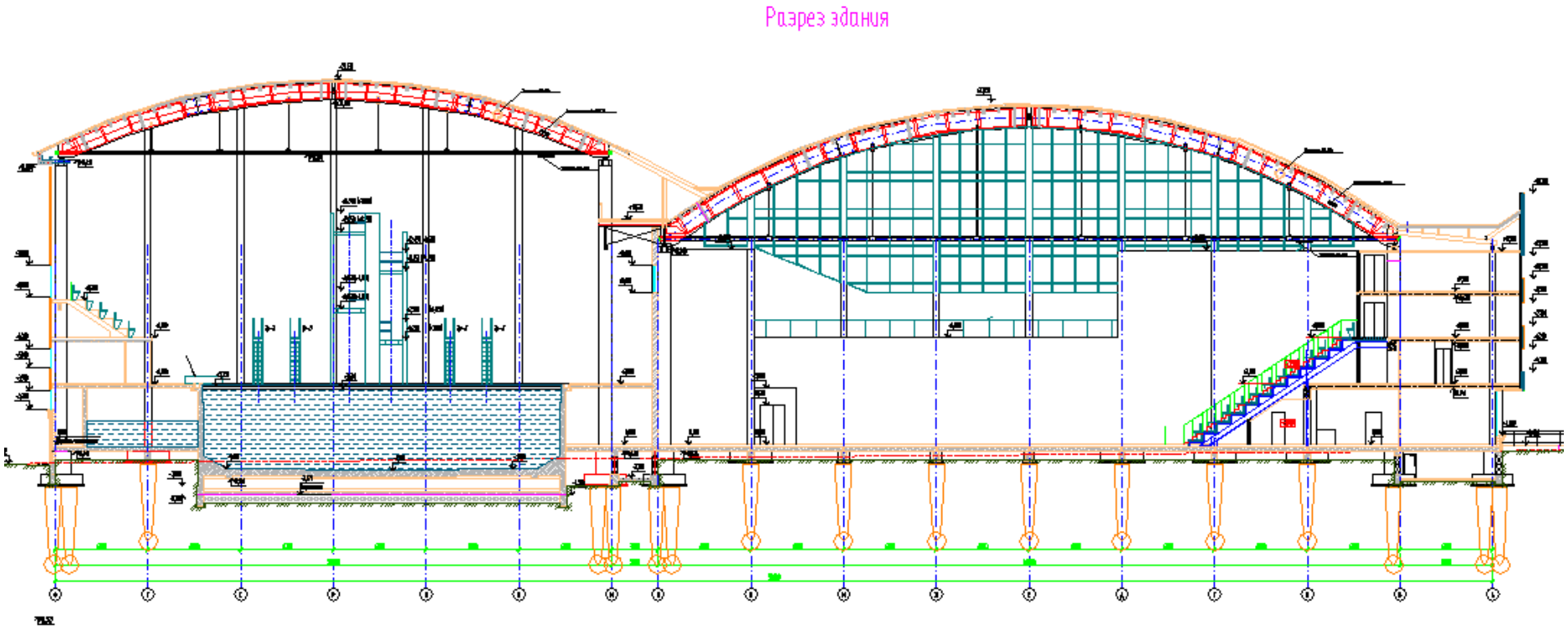


Рис. 1. Разрез гимнастического центра в г. Пензе

Рис. 2. Вид арок, колонн, этажей

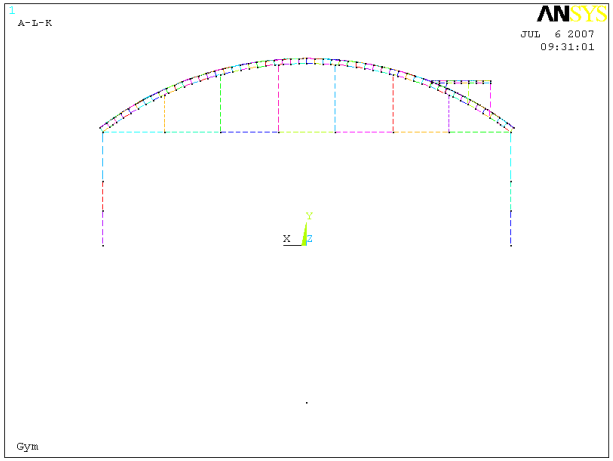
Рис. 3. Вид конструкции узла затяжки.

Рис. 4. Вид прогонов, трубы

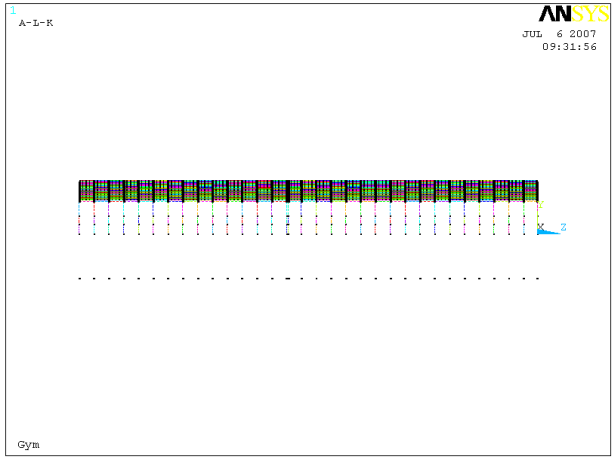
Рис. 5. Вид подвеса и тяжа

Рис. 6. Вид настила

II. Создание геометрической модели рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе



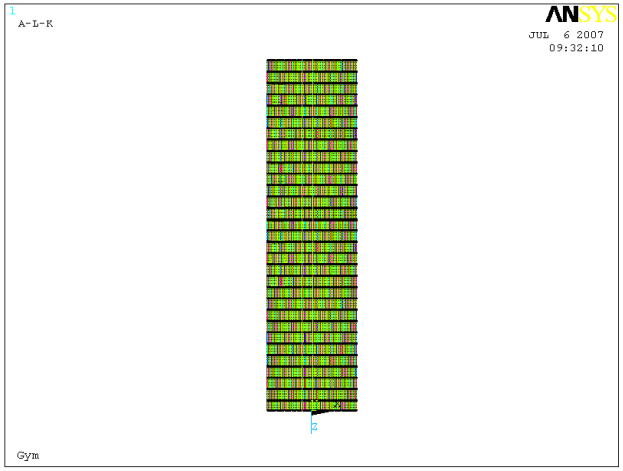
Вид спереди



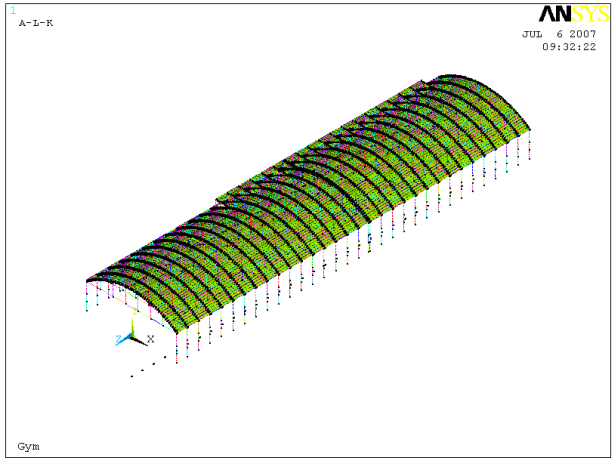
Вид сбоку

Характеристика геометрической модели:

- 8774 точек;
- 14370 линий ;
- 1612 поверхностей.



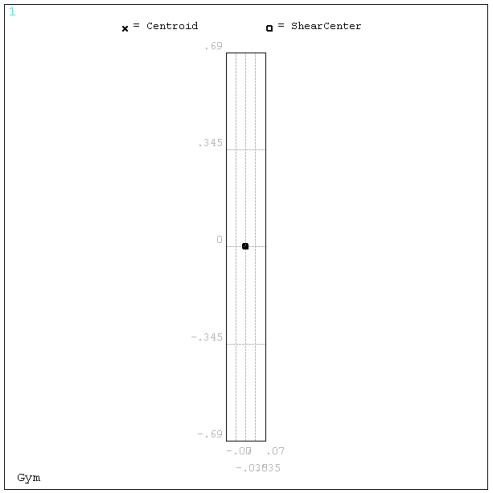
Вид сверху



Изометрия

Рис. 7. Общие виды геометрической модели

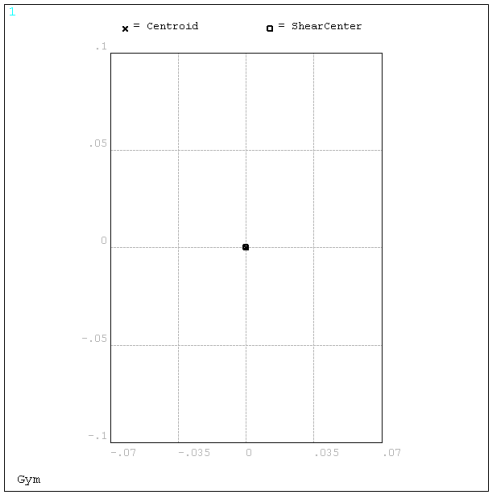
III. Создание конечно-элементной модели рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе




```
SECTION ID 1
DATA SUMMARY

Section Name
  = AK-1
Area
  = .1932
Iyy
  = .030661
Iyz
  = .271E-19
Izz
  = .316E-03
Warping Constant
  = .478E-04
Torsion Constant
  = .001225
Centroid Y
  = -.126E-17
Centroid Z
  = -.898E-17
Shear Center Y
  = -.162E-14
Shear Center Z
  = .404E-15
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = -.714E-15
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

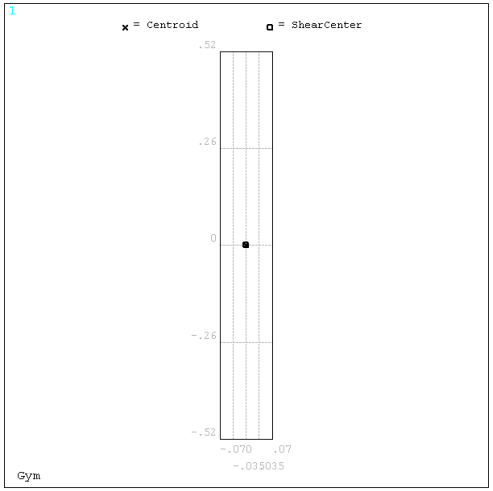
Сечение балки арки




```
SECTION ID 7
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .028
Iyy
  = .933E-04
Iyz
  = 0
Izz
  = .457E-04
Warping Constant
  = .191E-07
Torsion Constant
  = .106E-03
Centroid Y
  = .133E-17
Centroid Z
  = -.194E-17
Shear Center Y
  = -.425E-18
Shear Center Z
  = .586E-17
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = -.160E-14
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

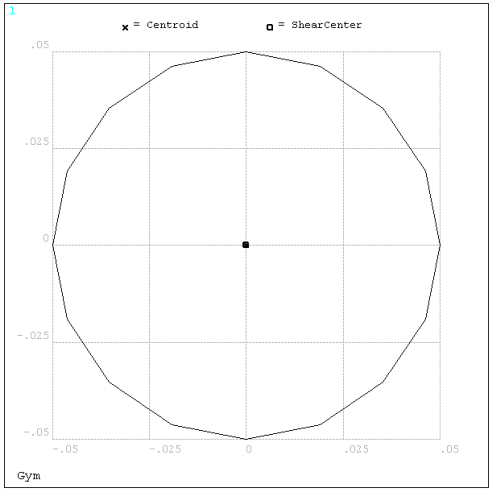
Сечение прогона




```
SECTION ID 3
DATA SUMMARY

Section Name
  = PK-3
Area
  = .1456
Iyy
  = .013123
Iyz
  = -.678E-19
Izz
  = .238E-03
Warping Constant
  = .197E-04
Torsion Constant
  = .905E-03
Centroid Y
  = -.745E-18
Centroid Z
  = -.238E-16
Shear Center Y
  = -.110E-14
Shear Center Z
  = .334E-15
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = .877E-14
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

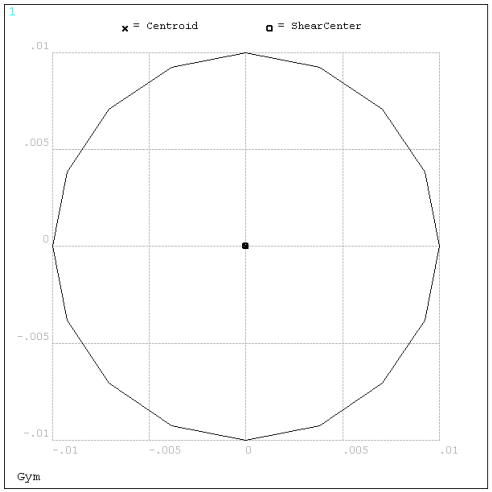
Сечение распорки




```
SECTION ID 4
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .007848
Iyy
  = .490E-05
Iyz
  = 0
Izz
  = .490E-05
Warping Constant
  = 0
Torsion Constant
  = .980E-05
Centroid Y
  = -.259E-17
Centroid Z
  = .108E-17
Shear Center Y
  = -.572E-17
Shear Center Z
  = .154E-18
Shear Corr. YY
  = .856363
Shear Corr. YZ
  = -.123E-14
Shear Corr. ZZ
  = .856363
```

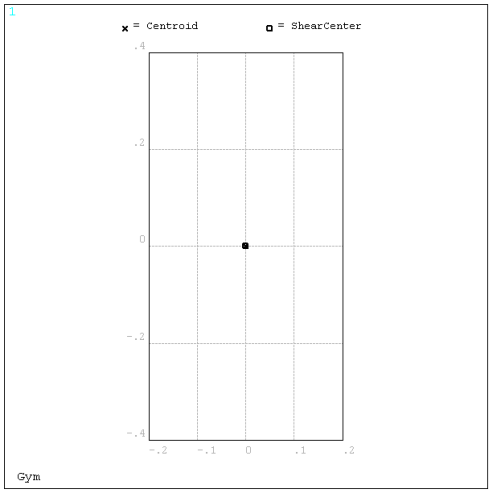
Сечение тяжа




```
SECTION ID 5
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .314E-03
Iyy
  = .784E-08
Iyz
  = 0
Izz
  = .784E-08
Warping Constant
  = 0
Torsion Constant
  = .157E-07
Centroid Y
  = .632E-18
Centroid Z
  = -.406E-18
Shear Center Y
  = .393E-18
Shear Center Z
  = .140E-18
Shear Corr. YY
  = .856363
Shear Corr. YZ
  = .932E-15
Shear Corr. ZZ
  = .856363
```

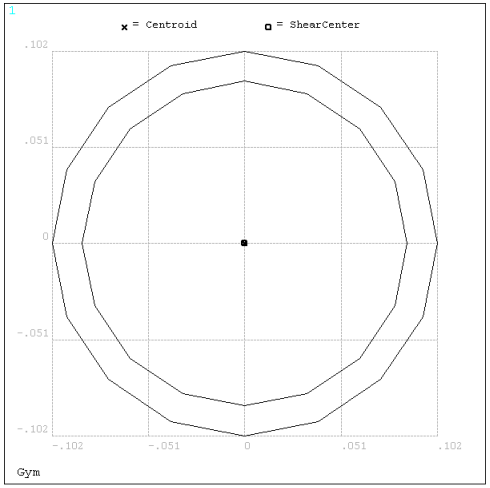
Сечение подвеса




```
SECTION ID 20
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .32
Iyy
  = .017067
Iyz
  = -.434E-18
Izz
  = .004267
Warping Constant
  = .814E-04
Torsion Constant
  = .011941
Centroid Y
  = -.712E-17
Centroid Z
  = .244E-16
Shear Center Y
  = .901E-16
Shear Center Z
  = -.351E-16
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = .117E-14
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

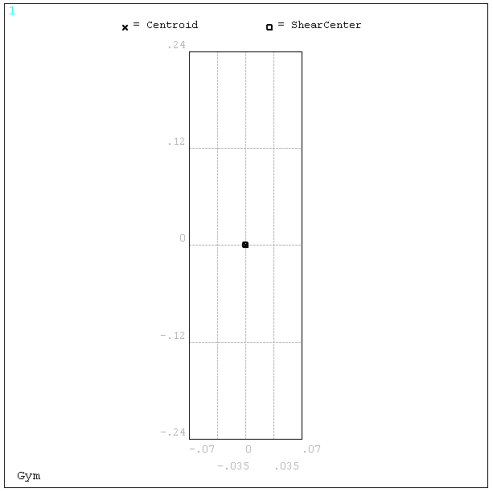
Сечение колонны




```
SECTION ID 21
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .009443
Iyy
  = .420E-04
Iyz
  = 0
Izz
  = .420E-04
Warping Constant
  = 0
Torsion Constant
  = .839E-04
Centroid Y
  = .108E-17
Centroid Z
  = .197E-17
Shear Center Y
  = .224E-16
Shear Center Z
  = .212E-17
Shear Corr. YY
  = .505512
Shear Corr. YZ
  = .720E-14
Shear Corr. ZZ
  = .505512
```

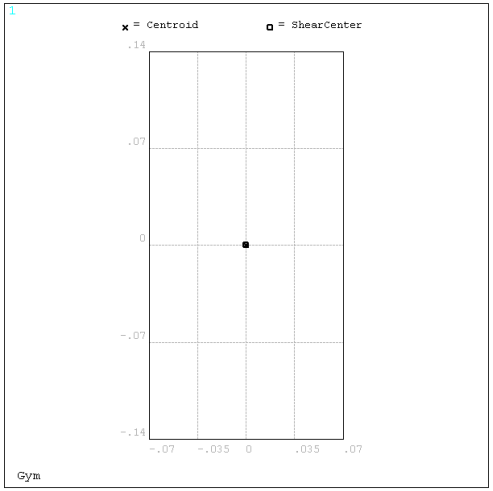
Сечение трубы




```
SECTION ID 10
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .0672
Iyy
  = .00129
Iyz
  = 0
Izz
  = .110E-03
Warping Constant
  = .147E-05
Torsion Constant
  = .369E-03
Centroid Y
  = .807E-18
Centroid Z
  = -.645E-17
Shear Center Y
  = .348E-16
Shear Center Z
  = -.796E-17
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = .418E-14
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

Сечение балки фонаря

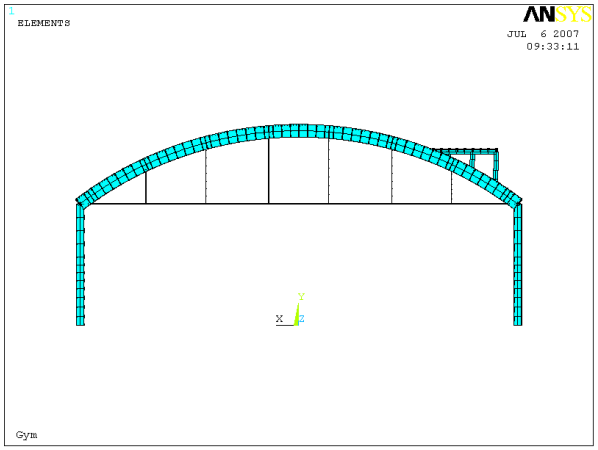


Сечение стойки
фонаря.

```
SECTION ID 11
DATA SUMMARY

Section Name
  =
Area
  = .0392
Iyy
  = .256E-03
Iyz
  = 0
Izz
  = .640E-04
Warping Constant
  = .150E-06
Torsion Constant
  = .179E-03
Centroid Y
  = .864E-18
Centroid Z
  = .277E-17
Shear Center Y
  = -.314E-16
Shear Center Z
  = -.151E-16
Shear Corr. YY
  = .842105
Shear Corr. YZ
  = -.506E-15
Shear Corr. ZZ
  = .842105
```

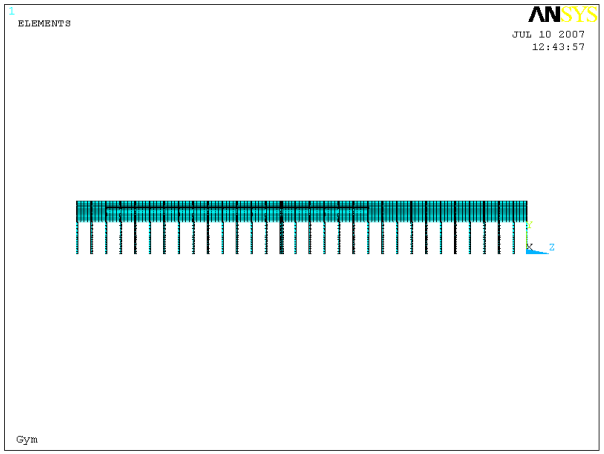
Рис. 8. Сечения элементов и их характеристики



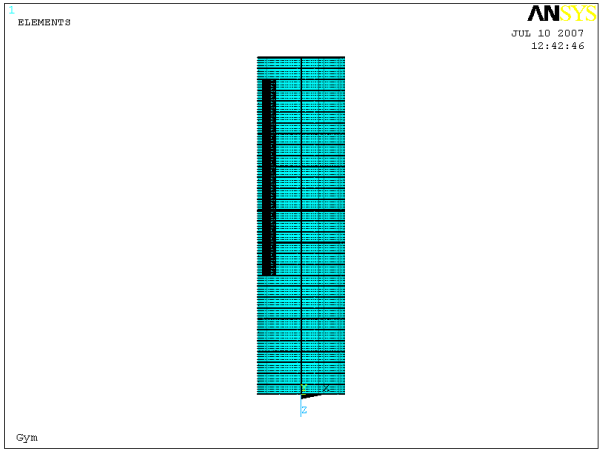
Вид спереди

Элемент BEAM188:
- арки;
- распорки;
- прогона;
- колонны;
- подвеса;
- тяжа;
- балки фонаря;
- стойки фонаря.

SHELL43:
- настил.

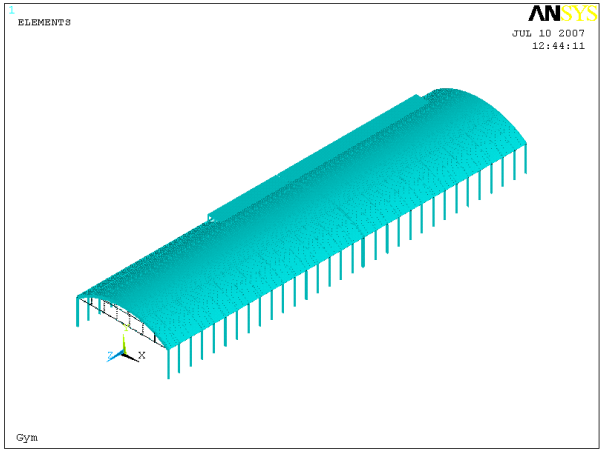


Вид сбоку



Вид сверху

Характеристика КЭМ модели:
- 54866 узлов;
- 39884 элементов ;
- 729 уравнений связей.



Изометрия

Рис. 9. Общие виды конечно-элементной модели

IV. Характеристики физико-механических свойств материалов

Дерево (клееная ель):
- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440.

Дерево (ель - доска):
- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440 кг/м3.

Бетон В-20:
- модуль упругости 23.0 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 1800 кг/м3.

Дерево (ель):
- модуль упругости 10 ГПа;
- коэффициент Пуассона 0,3;
- плотность 440 кг/м3.

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

Дерево (клееная ель):
- арки.

Дерево (ель - доска):
- настил.

Бетон В-20:
- колонны.

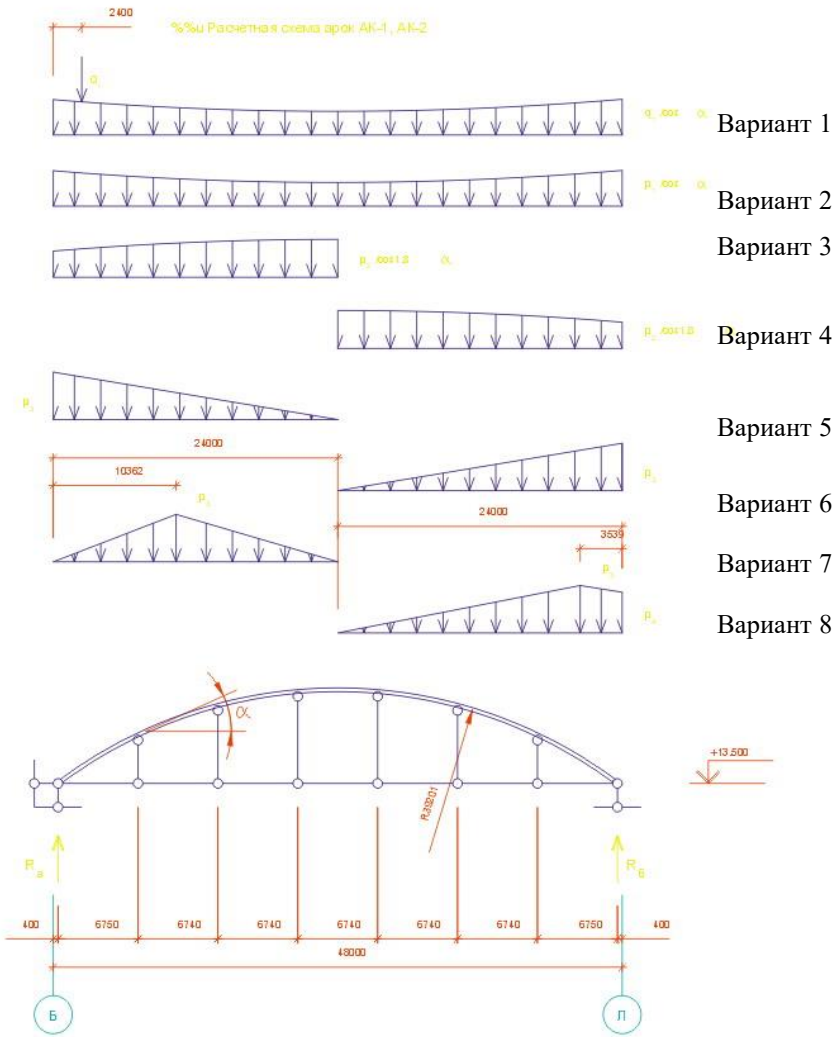
Дерево (ель):
- распорки;
- прогоны;
- балки фонаря;
- стойки фонаря.

Сталь:
- трубы;
- подвеса;
- тяжа.

.

V. Исходные данные для расчета рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе

Варианты весовой нагрузки



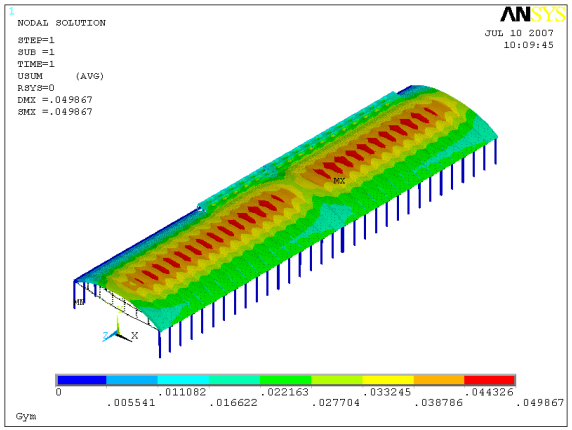
%%u Нагрузка, действующая на арки

NN загр.	Нагрузка	Обо-знач.	Разм.	Нормат. знач.	Коэф. перегр.	Расчет. знач.
1	Постоянная	q_1	т/м	0.419	1.25	0.524
		Q_1	т	2.40	1.10	2.64
2	Временная	p_1	т/м	0.60	1.30	0.78
3	Снег 1	p_2	т/м	0.76	1.43	1.08
4	Снег 2	p_2	т/м	0.76	1.43	1.08
5	Снег 3	p_3	т/м	1.51	1.43	2.16
6	Снег 4	p_3	т/м	1.51	1.43	2.16
7	Снег 5	p_3	т/м	1.51	1.43	2.16
8	Снег 6	p_3	т/м	1.51	1.43	2.16
		p_4	т/м	1.32	1.43	1.88

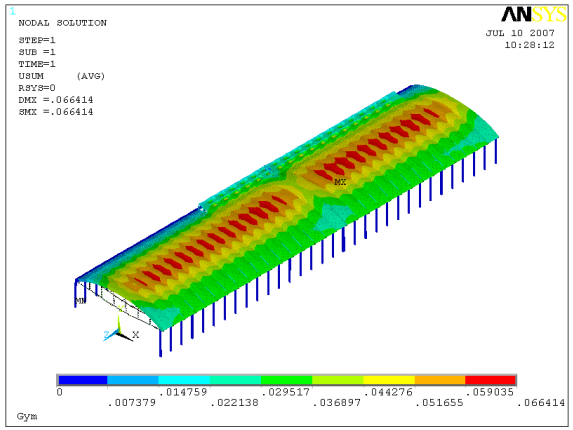
%%u Опорные реакции, т

NN загр.	Нагрузка	Разм.	R_a	$R_б$
1	Постоянная	т	25.4	22.9
2	Временная	т	19.8	19.8
3	Снег 1	т	14.9	5.8
4	Снег 2	т	5.8	14.9
5	Снег 3	т	20.9	4.2
6	Снег 4	т	4.2	20.9
7	Снег 5	т	19.8	6.1
8	Снег 6	т	4.9	23.6

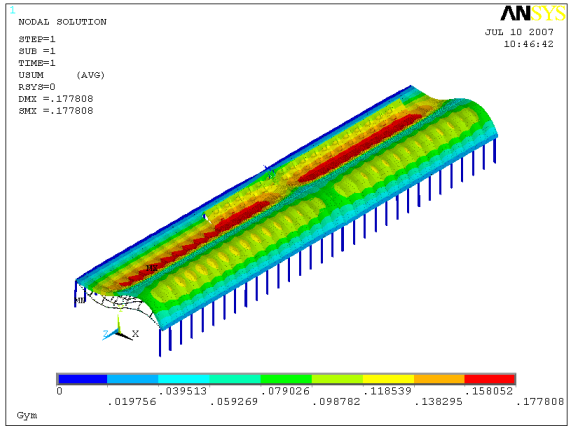
VI. Результаты расчета рамной конструкции гимнастического центра в г. Пензе



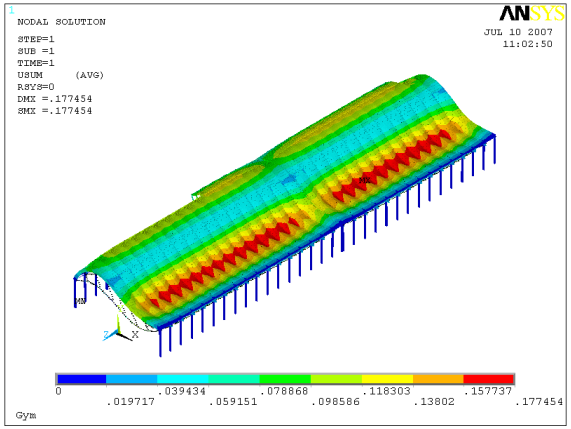
Вариант расчета №1



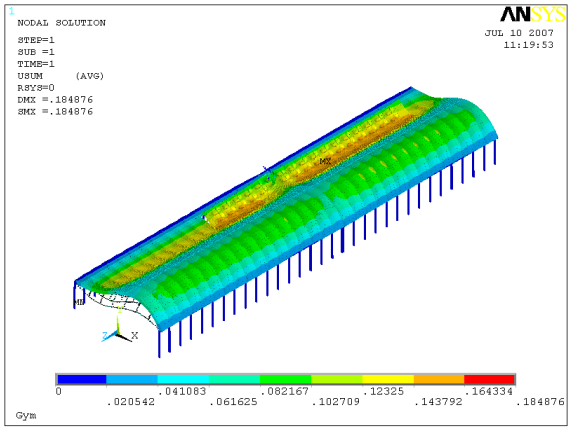
Вариант расчета №2



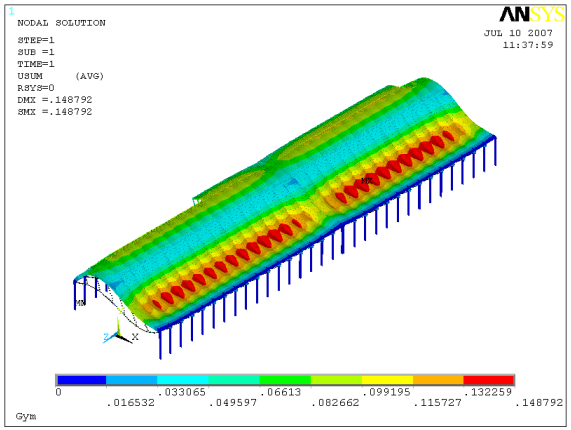
Вариант расчета №3



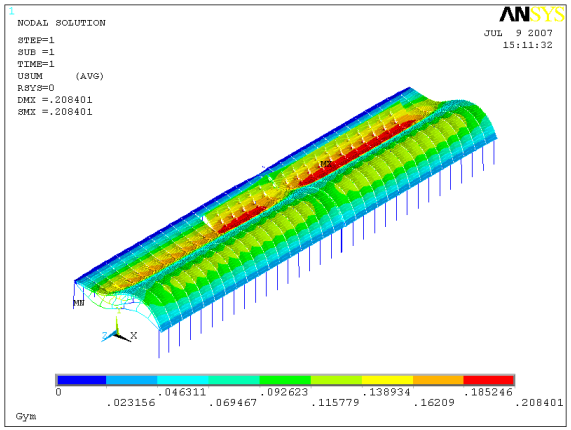
Вариант расчета №4



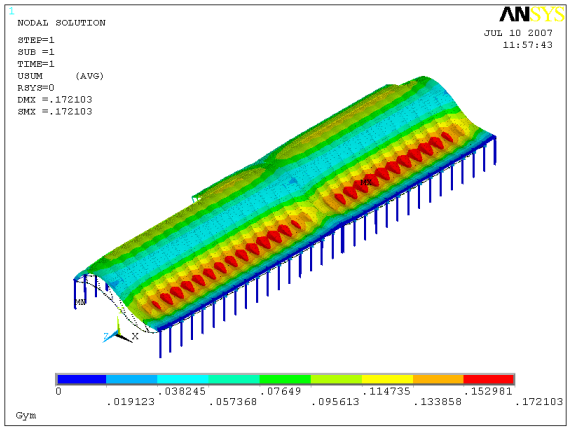
Вариант расчета №5



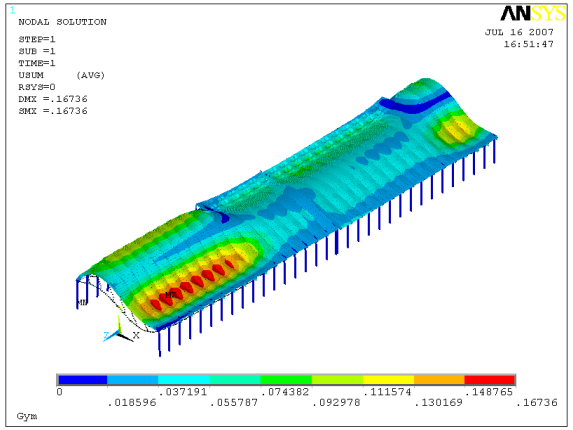
Вариант расчета №6



Вариант расчета №7

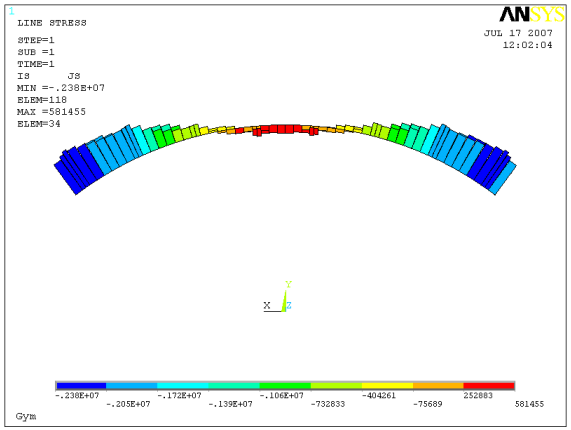


Вариант расчета №8

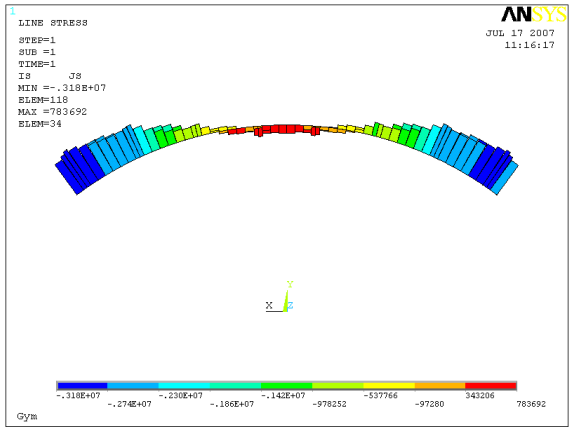


Вариант расчета №9

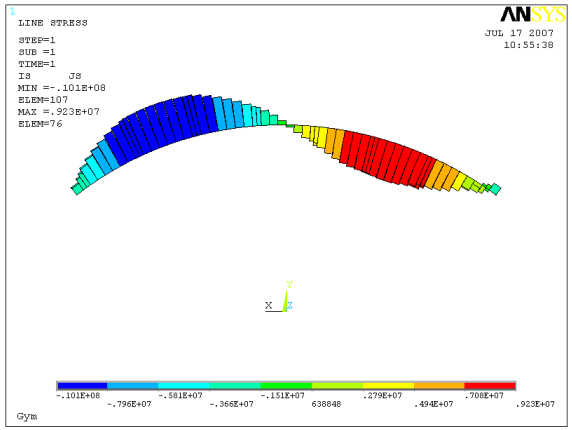
Рис. 8. Деформация элементов рамной конструкции



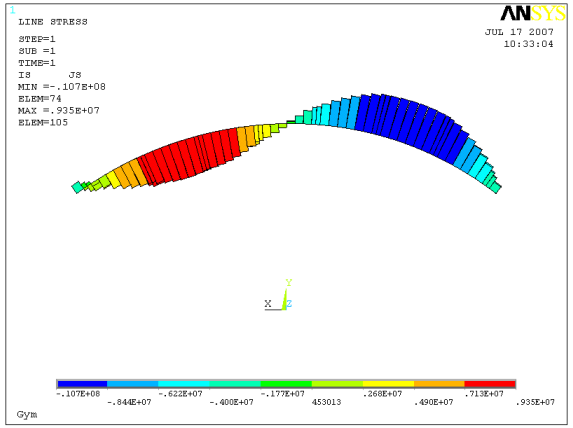
Вариант расчета №1



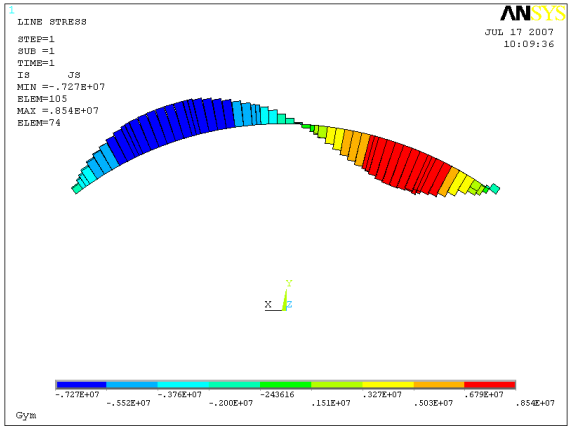
Вариант расчета №2



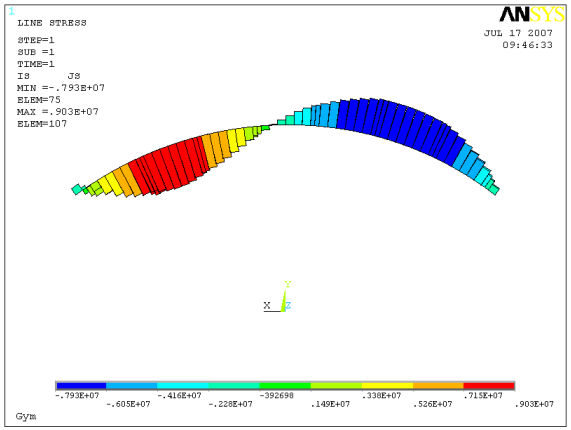
Вариант расчета №3



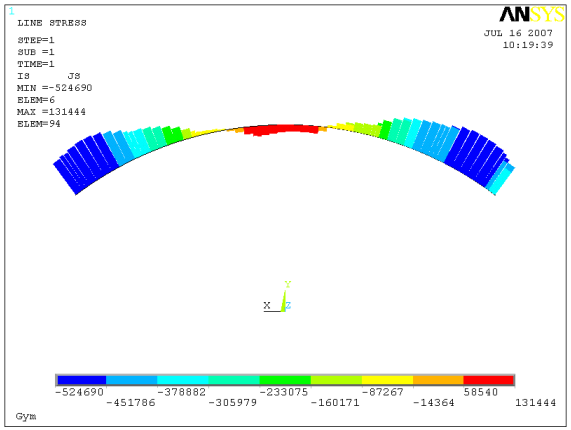
Вариант расчета №4



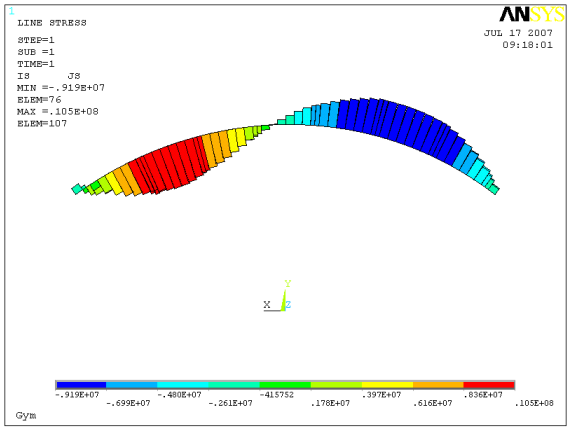
Вариант расчета №5



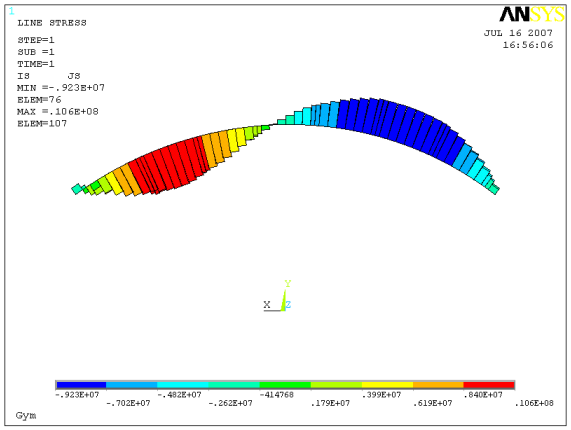
Вариант расчета №6



Вариант расчета №7

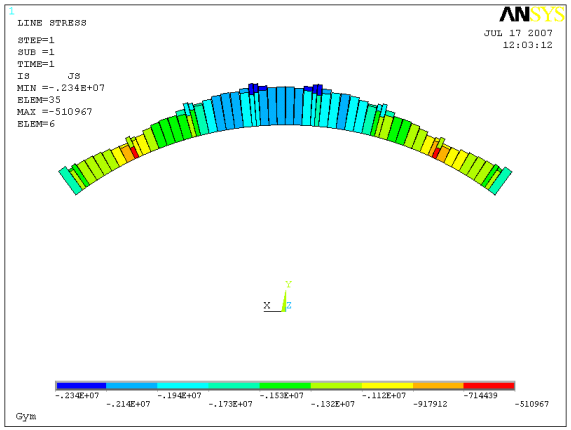


Вариант расчета №8

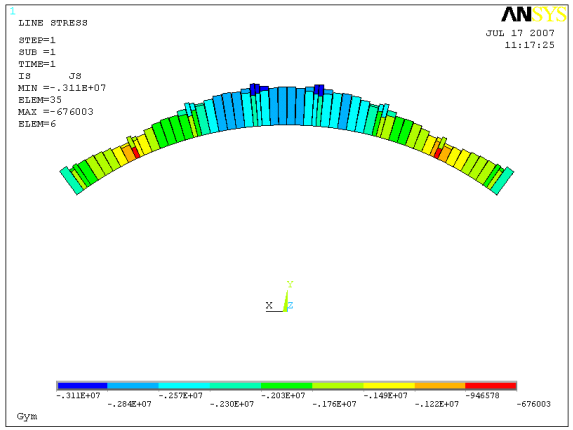


Вариант расчета №9

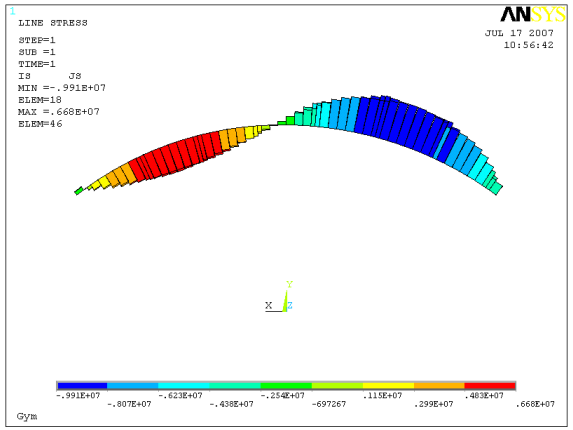
Рис. 9. Распределение суммарных нормальных напряжений
с нижней стороны сечения арки по оси 1



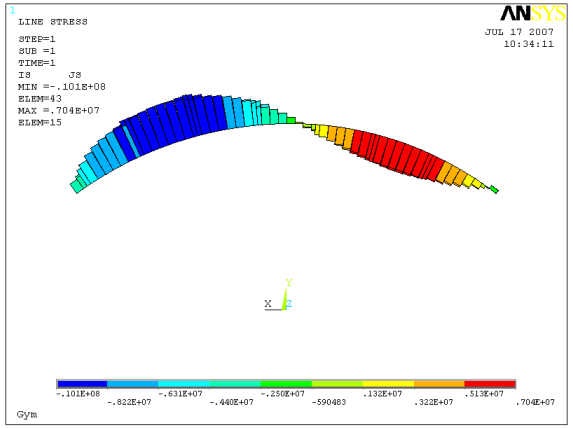
Вариант расчета №1



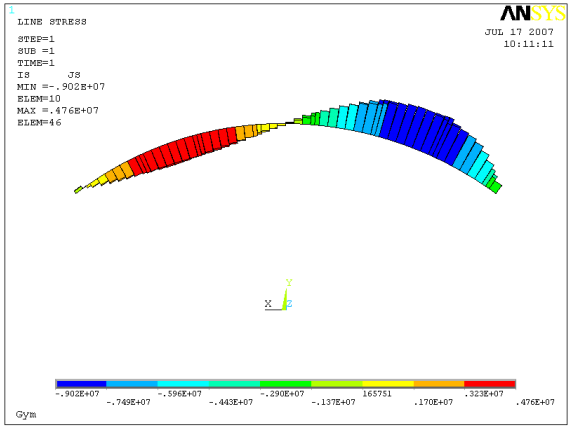
Вариант расчета №2



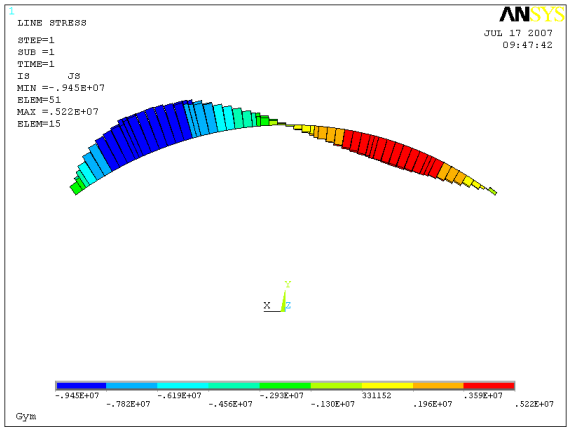
Вариант расчета №3



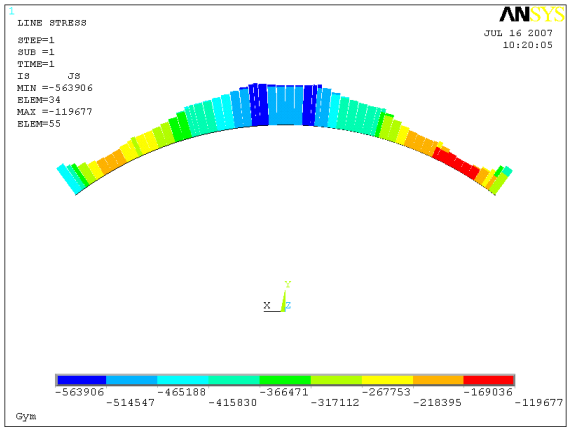
Вариант расчета №4



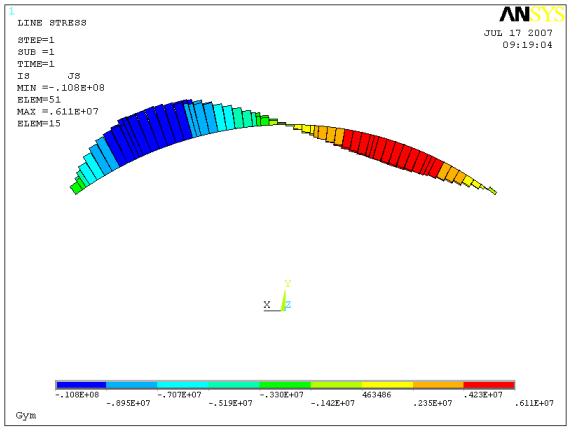
Вариант расчета №5



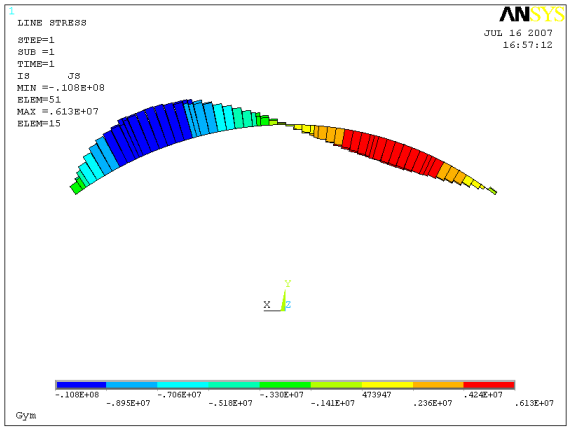
Вариант расчета №6



Вариант расчета №7

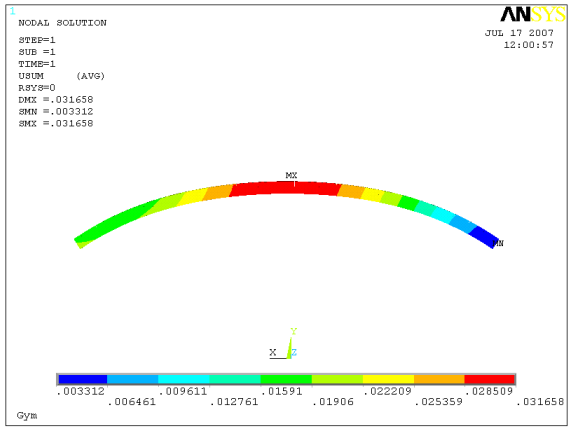


Вариант расчета №8

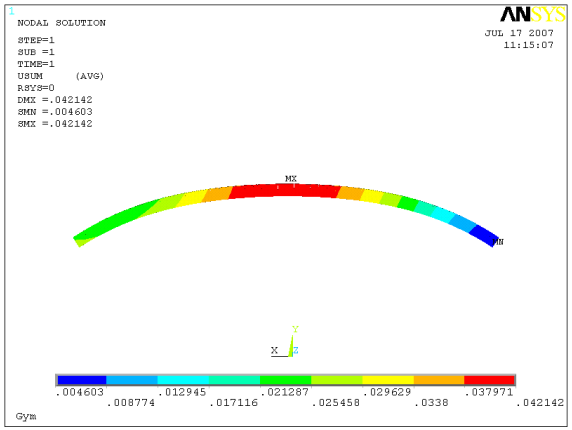


Вариант расчета №9

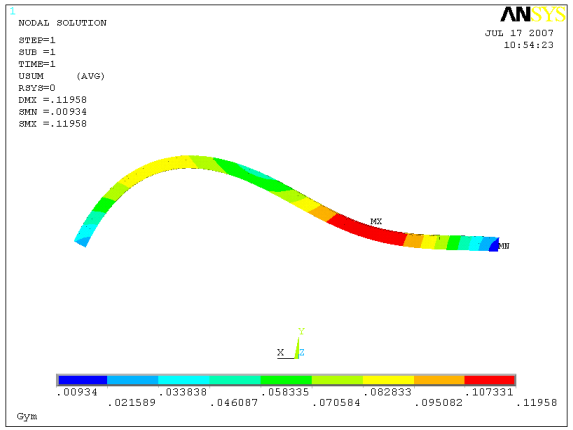
Рис. 10. Распределение суммарных нормальных напряжений
с верхней стороны сечения арки по оси 1



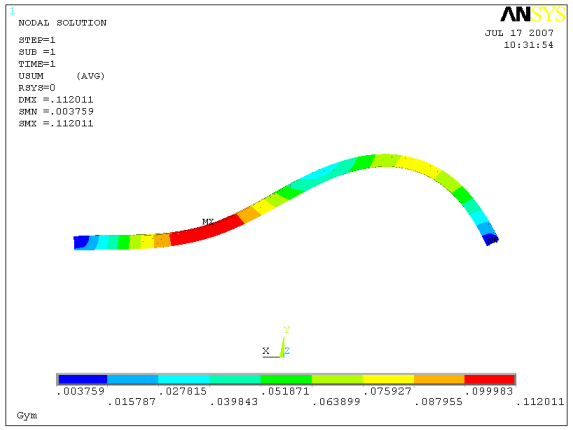
Вариант расчета №1



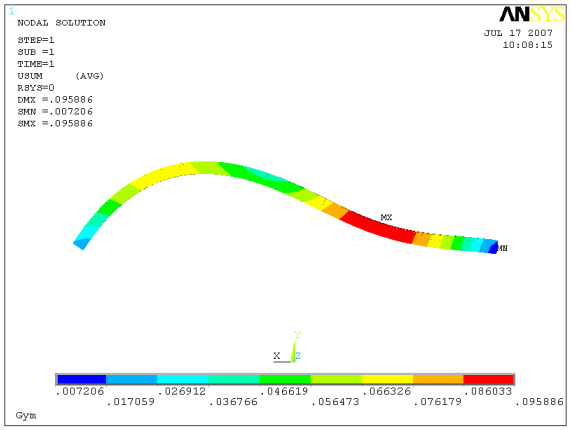
Вариант расчета №2



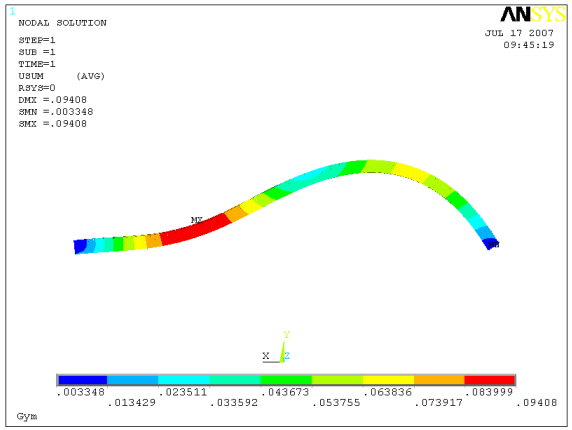
Вариант расчета №3



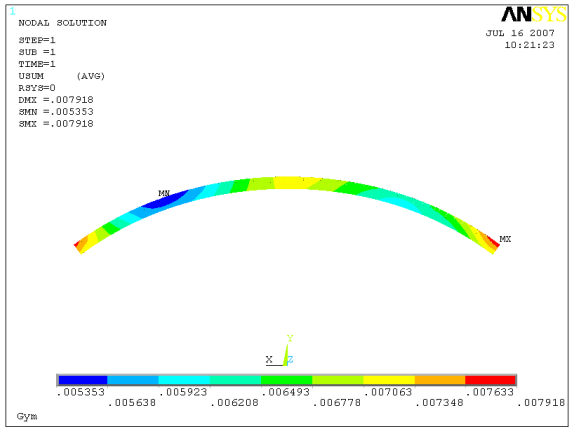
Вариант расчета №4



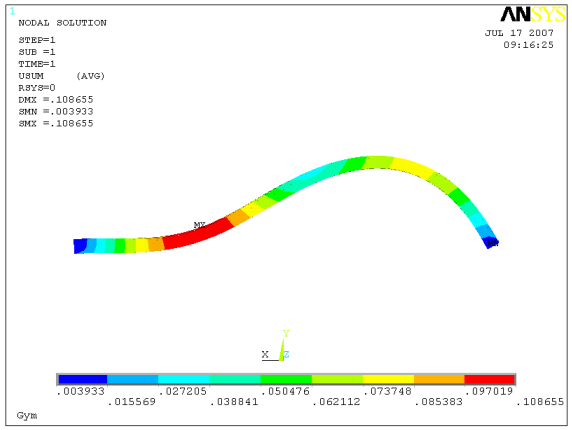
Вариант расчета №5



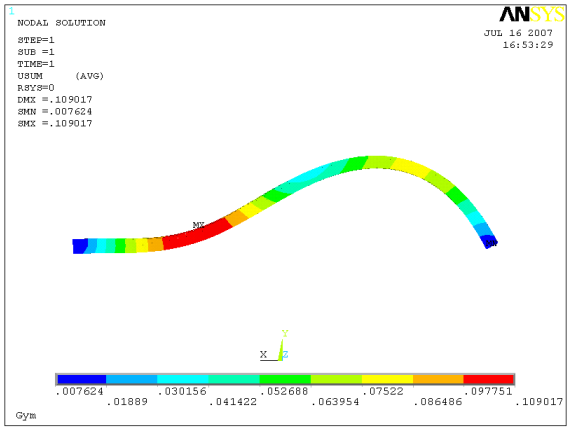
Вариант расчета №6



Вариант расчета №7



Вариант расчета №8



Вариант расчета №9

Рис. 11. Распределение перемещений в арке по оси 1

Таблица 1

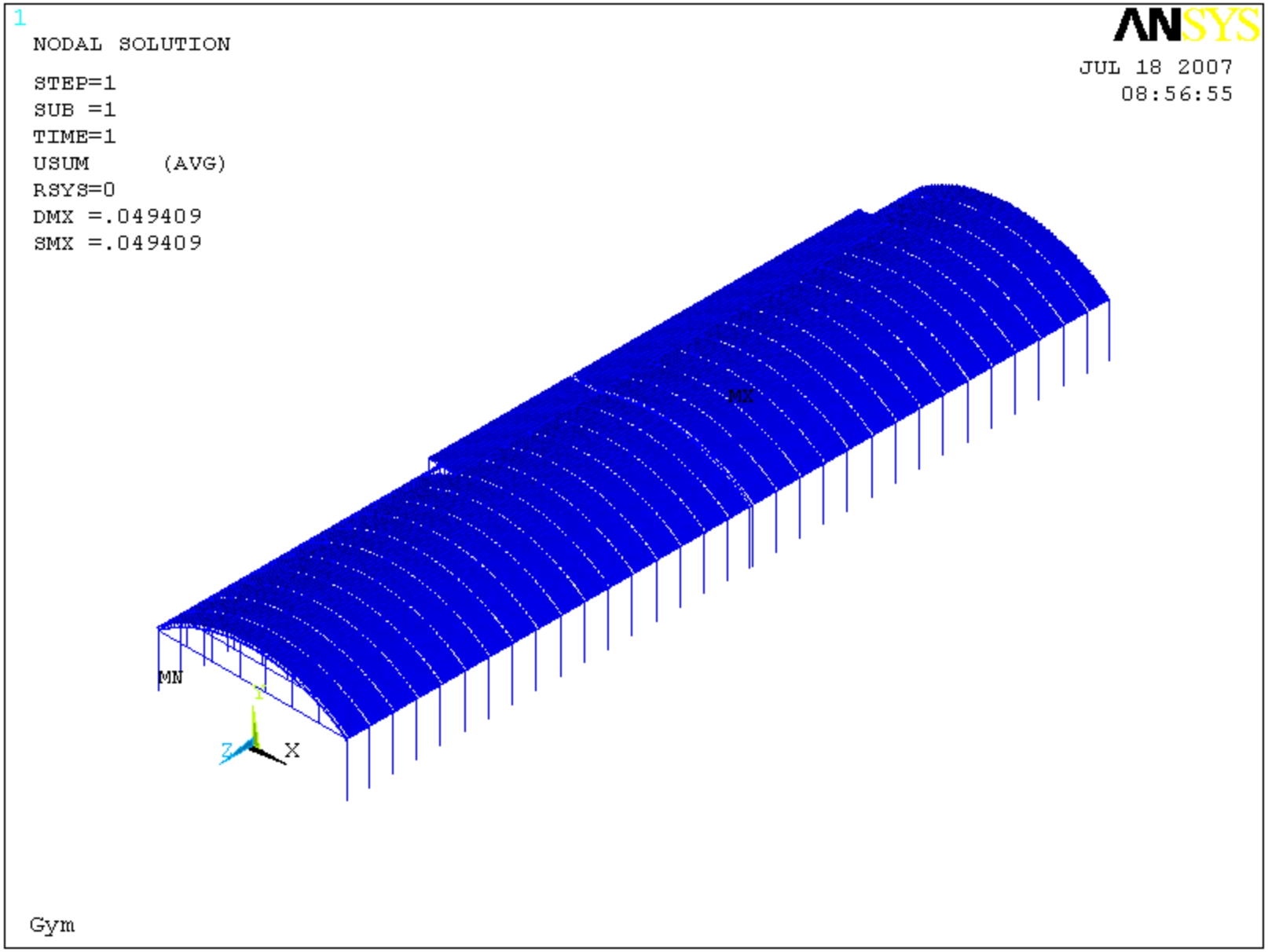
Результаты расчета напряженно-деформированного состояния характерных точек по оси 1 рамной конструкции первой очереди (грубая сетка)

Вариант расчета	Перемещение верхней точки арки, м	Растягивающее напряжение в горизонтальном стержне, МПа	Перемещение правой опоры, м
0	$-7{,}04\cdot10^{-3}$	15,6	$3{,}87\cdot10^{-3}$
1	$-2{,}86\cdot10^{-2}$	67,3	$1{,}89\cdot10^{-2}$
2	$-3{,}79\cdot10^{-2}$	89,7	$2{,}55\cdot10^{-2}$
3	$-2{,}46\cdot10^{-2}$	65,8	$2{,}9\cdot10^{-2}$
4	$-2{,}7\cdot10^{-2}$	69,3	$8{,}89\cdot10^{-3}$
5	$-1{,}1\cdot10^{-2}$	46,9	$2{,}16\cdot10^{-2}$
6	$-1{,}25\cdot10^{-2}$	49,8	$5{,}09\cdot10^{-3}$
7	$-6{,}81\cdot10^{-3}$	15,1	$3{,}21\cdot10^{-3}$
8	$-1{,}37\cdot10^{-2}$	55,5	$5{,}34\cdot10^{-3}$
9	$-1{,}351\cdot10^{-2}$	55	$4{,}68\cdot10^{-3}$

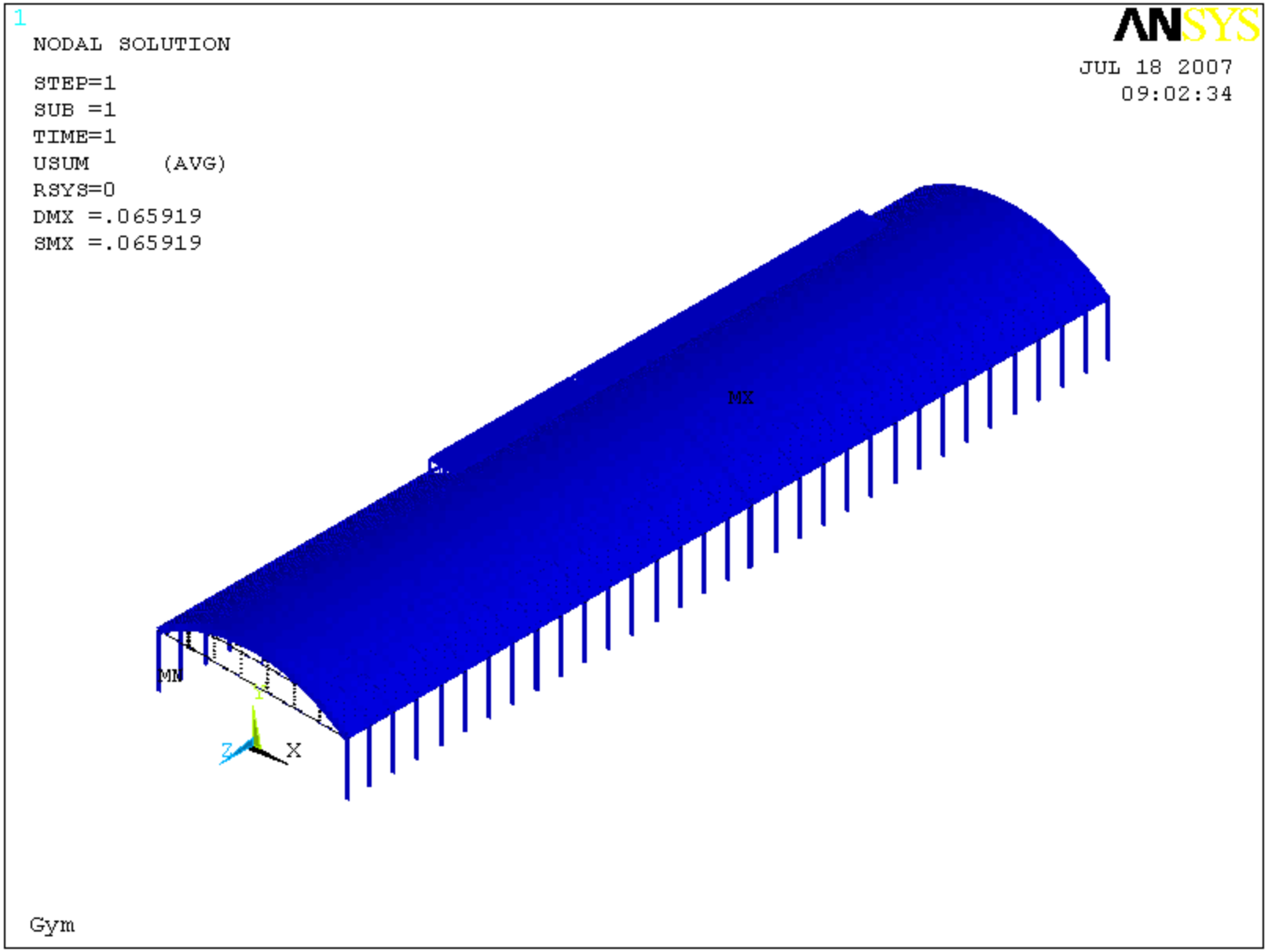
Таблица 2

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния характерных точек рамной конструкции (мелкая сетка)

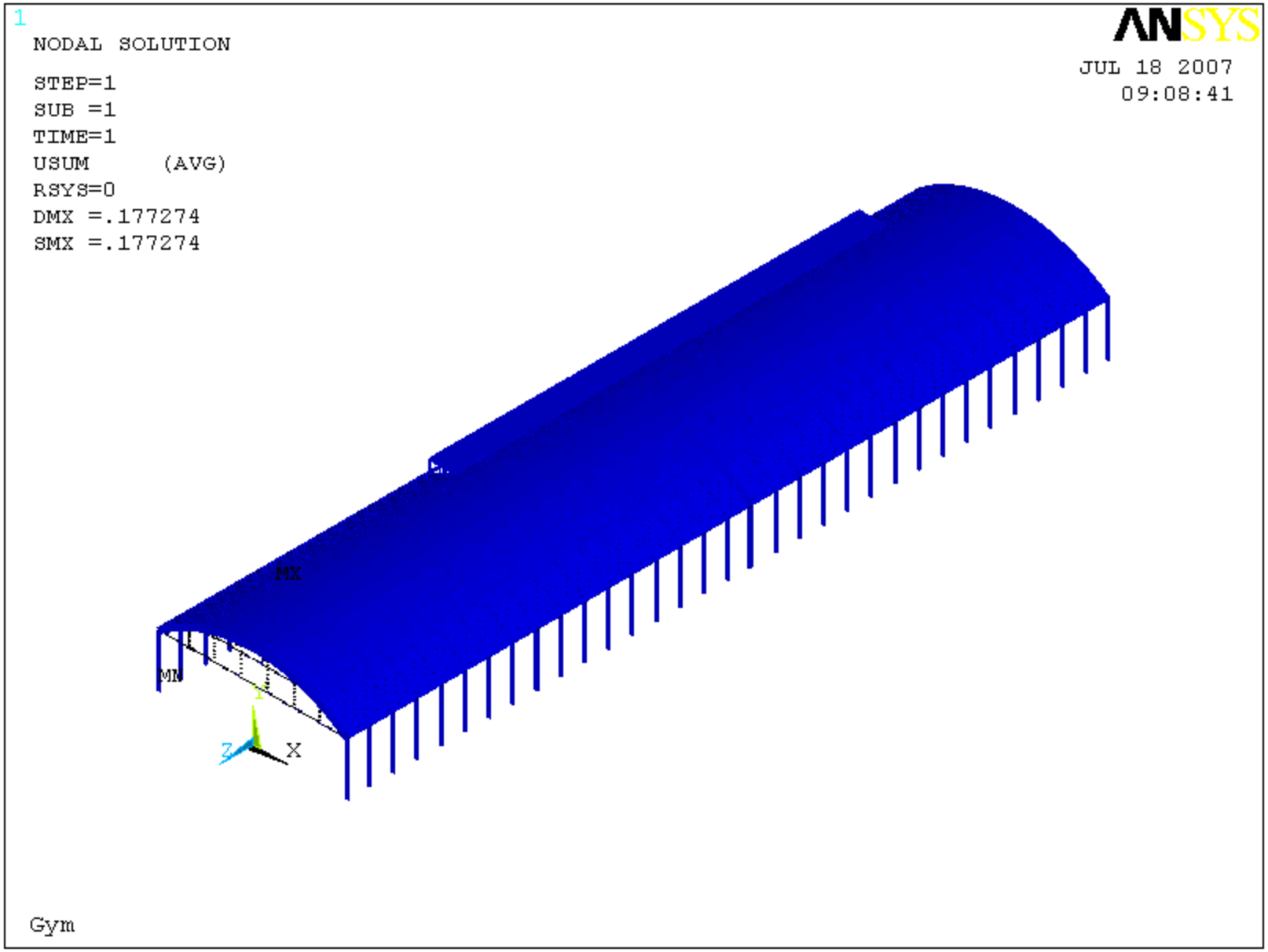
Вариант расчета	Перемещение верхней точки арки, м	Растягивающее напряжение в горизонтальном стержне, МПа	Перемещение правой опоры, м
0	$-8{,}64\cdot10^{3}$	19,9	$4{,}29\cdot10^{-3}$
1	$-4{,}25\cdot10^{-2}$	106	$2{,}193\cdot10^{-2}$
2	$-5{,}71\cdot10^{-2}$	143	$2{,}95\cdot10^{-2}$
3	$-3{,}54\cdot10^{-2}$	104	$1{,}726\cdot10^{-2}$
4	$-4{,}027\cdot10^{-2}$	111	$2{,}725\cdot10^{-2}$
5	$-1{,}3\cdot10^{-2}$	76,4	$1{,}198\cdot10^{-2}$
6	$-1{,}57\cdot10^{-2}$	80,9	$2{,}035\cdot10^{-2}$
7	$-2{,}49\cdot10^{-2}$	95,7	$1{,}55\cdot10^{-2}$
8	$-1{,}73\cdot10^{-2}$	91,0	$2{,}2986\cdot10^{-2}$



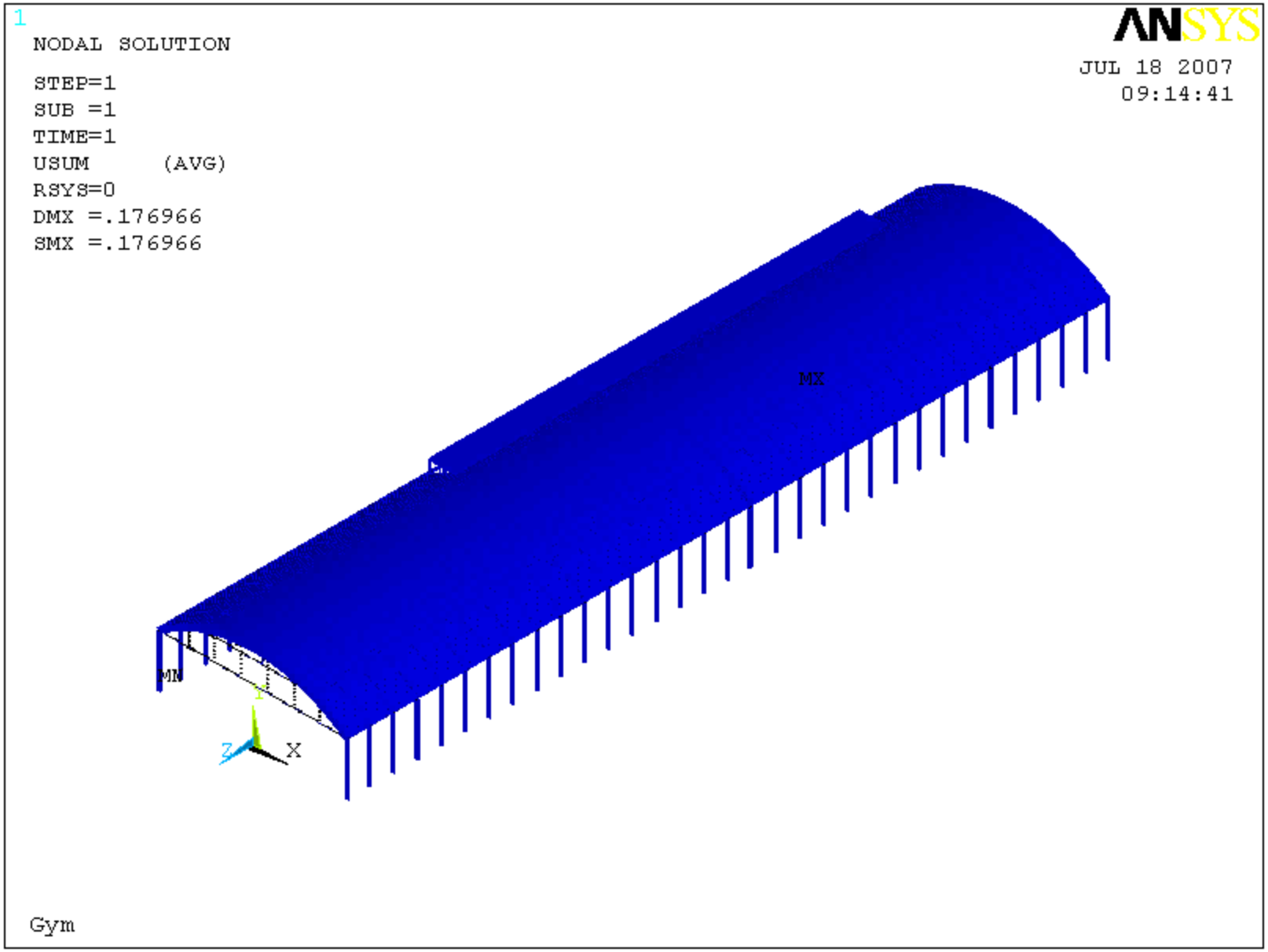
Анимация 1. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 1), м



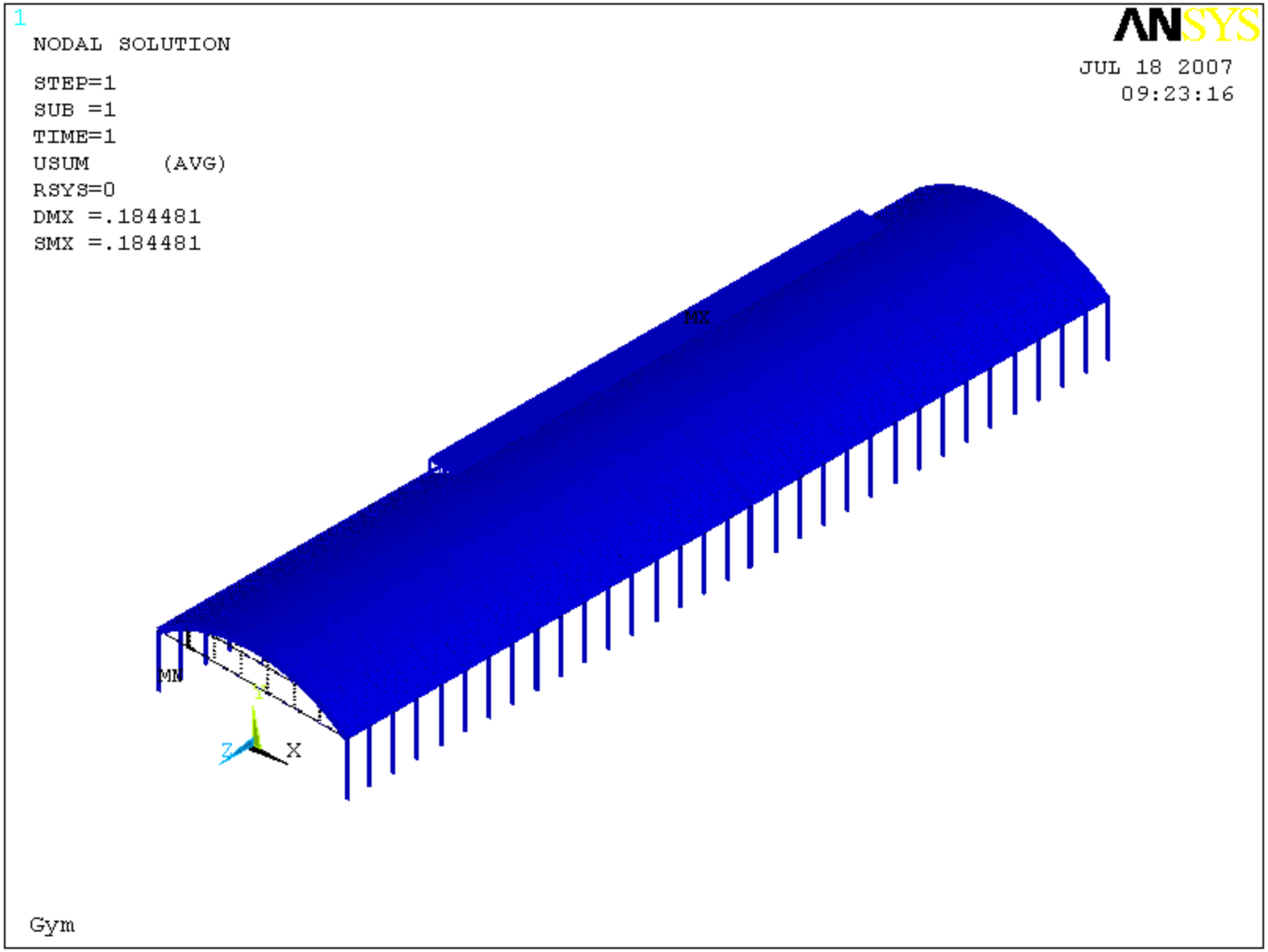
Анимация 2. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 2), м



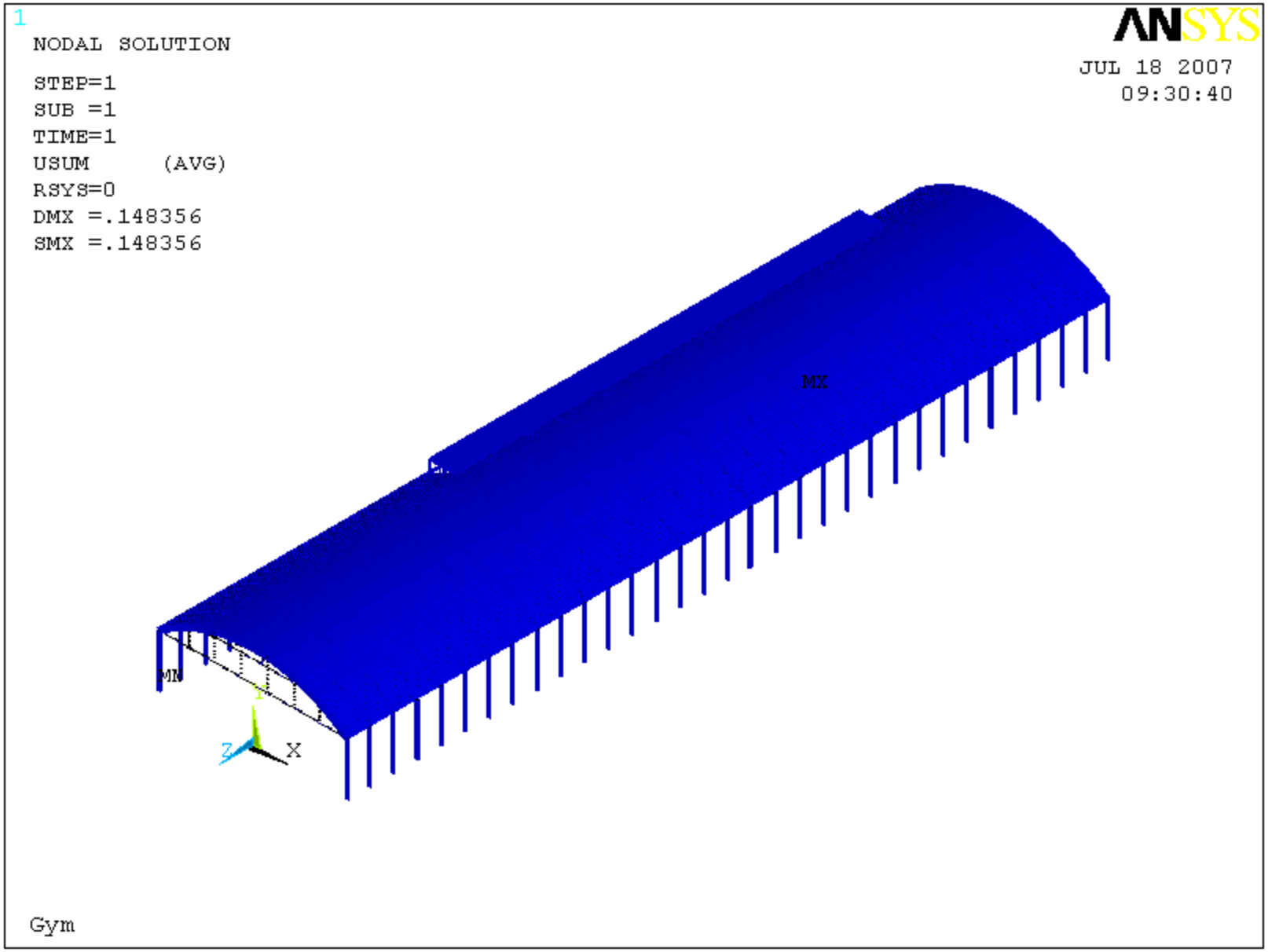
Анимация 3. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 3), м



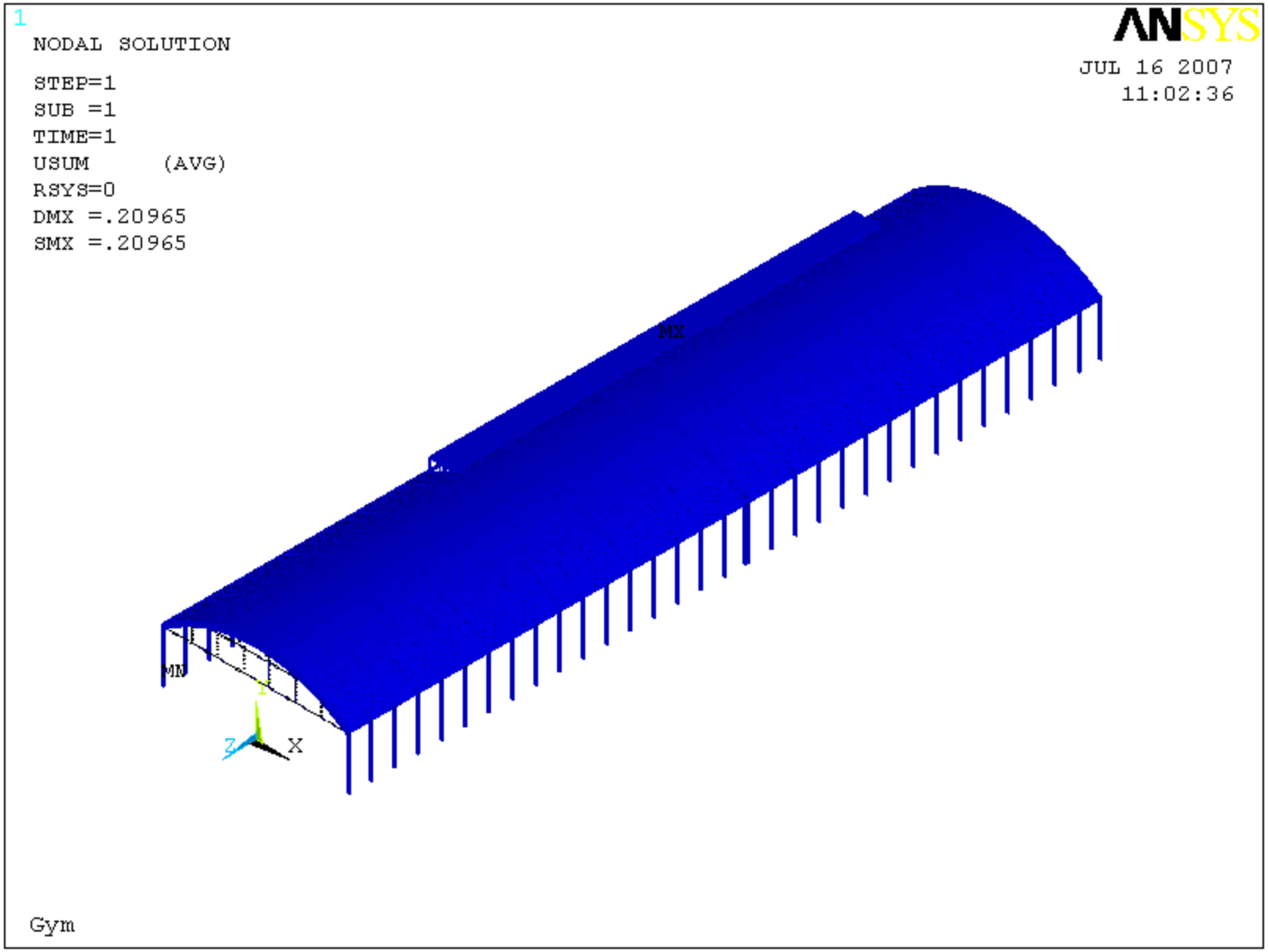
Анимация 4. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 4), м



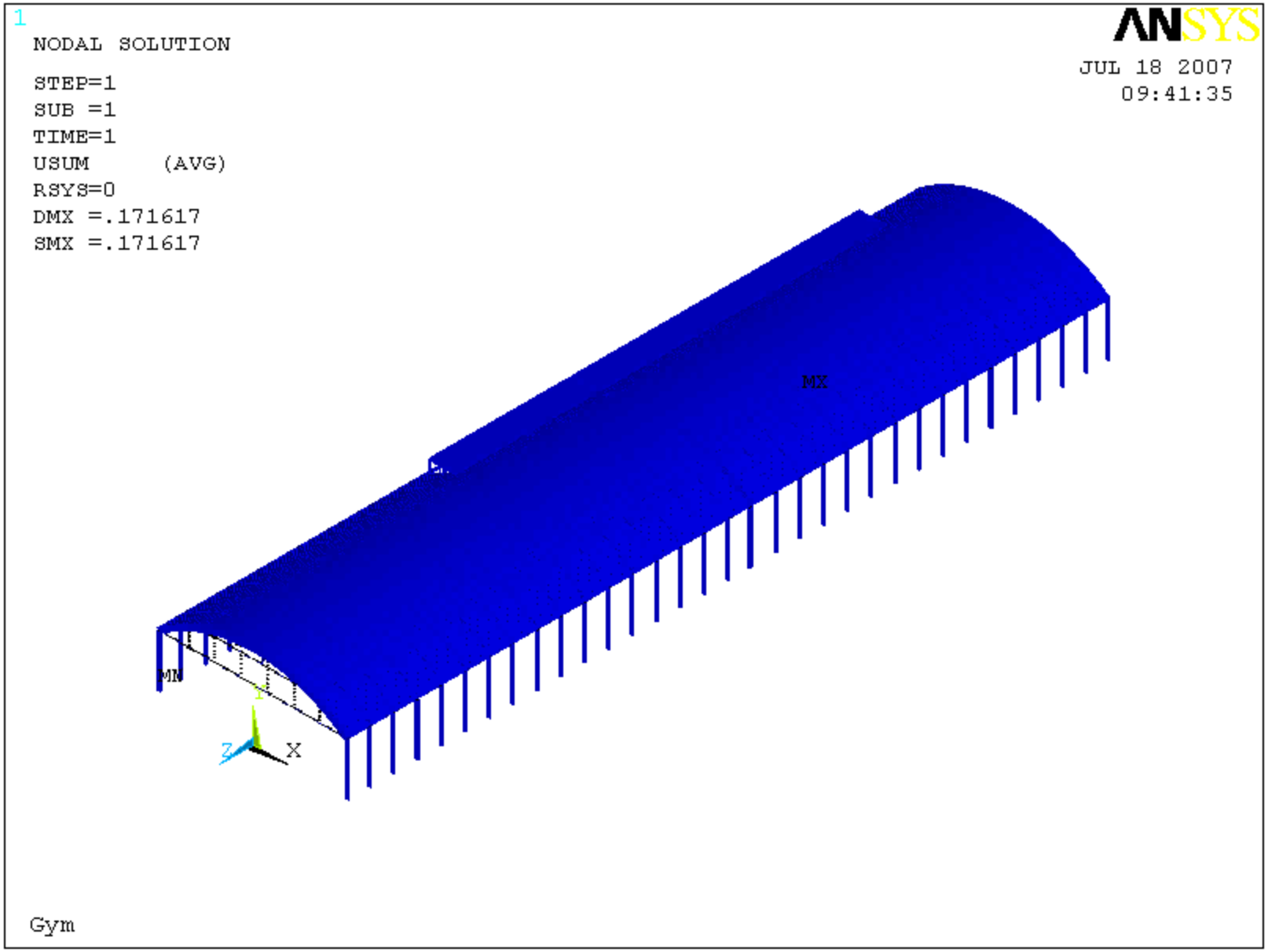
Анимация 5. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 5), м



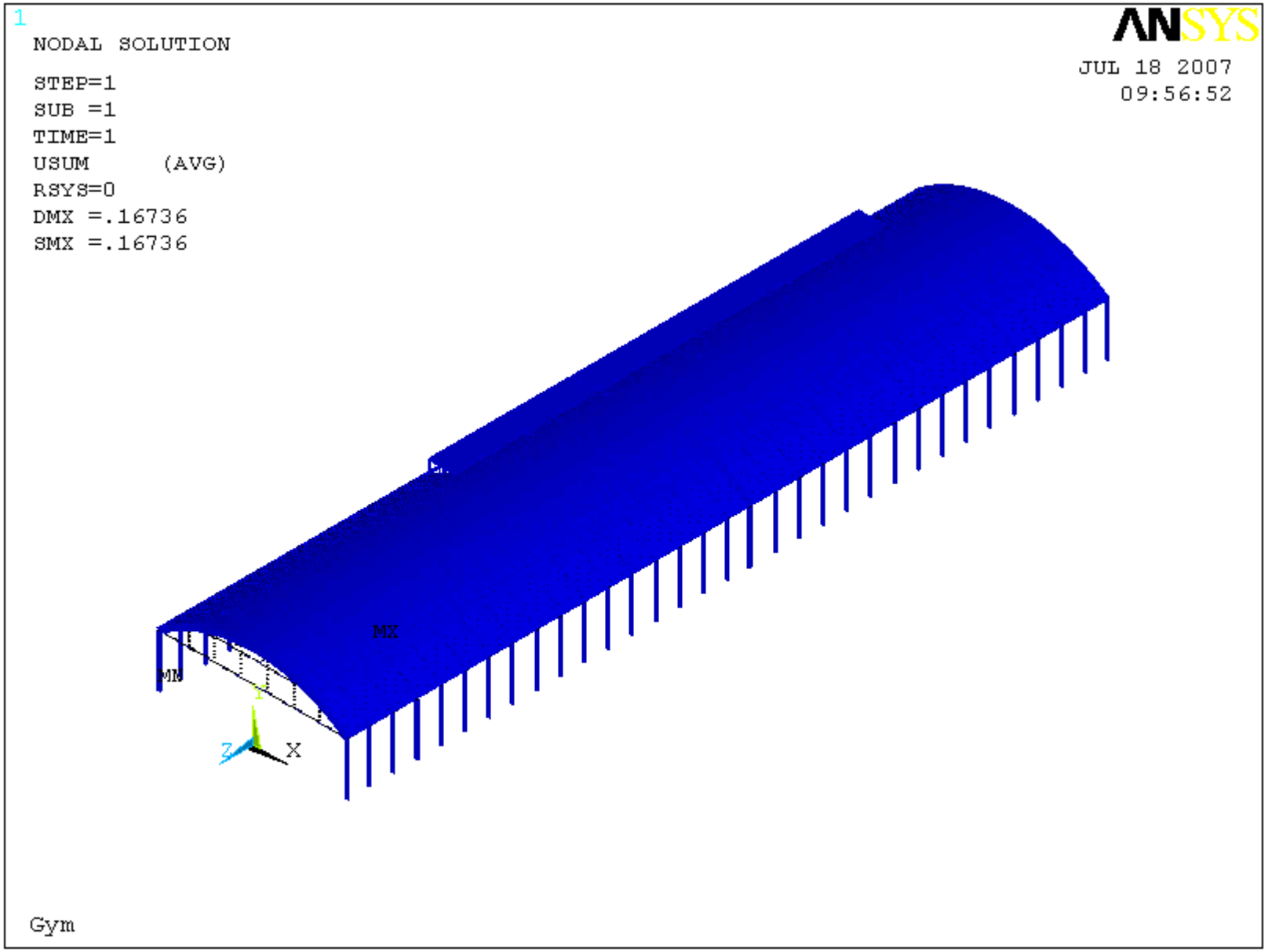
Анимация 6. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 6), м



Анимация 7. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 7), м



Анимация 8. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 8), м



Анимация 9. Распределение вертикального перемещения (вариант расчета № 9), м

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!