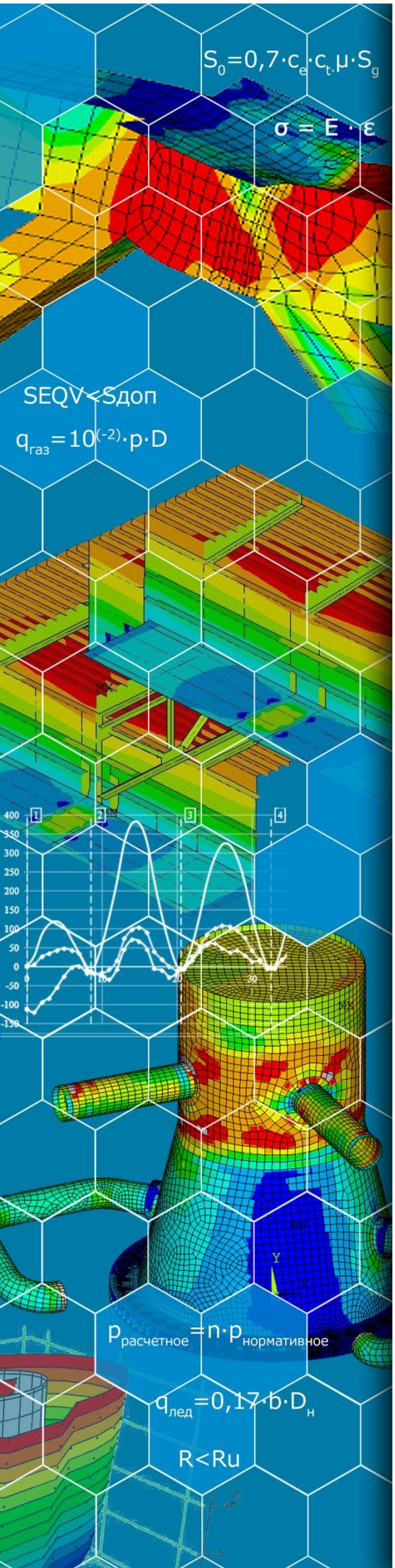


Прочностной расчет здания после пожара

1. Описание

Здание, построенное в г. Кемерово в 1955 году, является строительным объектом промышленного назначения (рис.1.1). Основными конструкциями здания является металлический каркас (стальные конструкции), кирпичные стены (неармированные каменные конструкции) и крыша (железобетонные ребристые плиты).

Рис.1.1. Общий вид здания

Здание имеет смешанную конструктивную схему и состоит из нескольких помещений. Все помещения кроме административно-бытового корпуса (далее АБК) – одноэтажные с многоэтажными этажерками, расположенными вокруг технологического оборудования и прикрепленными к основному каркасу здания. Помещения АБК – трехэтажные. План здания представлен на рис.1.2.

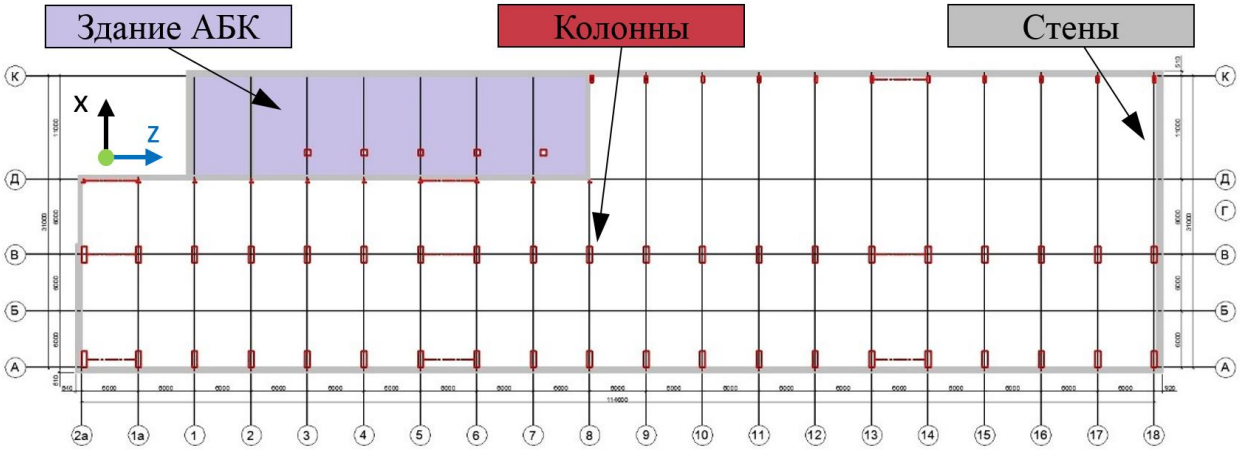


Рис.1.2. План здания на отметке 0.000

После инцидента, произошедшего в здании (возгорание продукта с последующим взрывом), было проведено его натурное обследования. В результате обследования были выявлены многочисленные дефекты кирпичной кладки и железобетонных плит в виде трещин и коробления металлического каркаса.

2. Критерии оценки

В соответствии с [1], п.5.1.1 строительные объекты должны удовлетворять требованиям первой и второй группы предельных состояний, для чего проводятся расчеты по несущей способности и по пригодности к эксплуатации, соответственно.

В качестве примера в данной работе приведены результаты расчетов только по несущей способности. Таким образом, в соответствии с [2], п.9.11 при расчете стен горизонтальные сечения должны быть проверены на сжатие, а наклонные сечения - на главные растягивающие напряжения при изгибе. В свою очередь, в соответствии с [3] элементы стальных конструкций, относящиеся к колоннам, должны быть проверены на центральное растяжение и сжатие, а относящиеся к балкам – на изгиб.

3. Создание модели

Техническая и проектная документация на здание отсутствует, поэтому при построении модели были использованы эскизы, выполненные по результатам натурного обследования.

В системе трехмерного твердотельного и поверхностного проектирования Autodesk Inventor была создана поверхностная модель стен здания. Затем данная модель была импортирована в универсальную программную систему конечно-элементного анализа ANSYS (далее ANSYS), где дополнительно была создана стержневая модель металлического каркаса и поверхностная модель крыши здания, что в совокупности представляет собой геометрическую модель здания (рис.3.1).

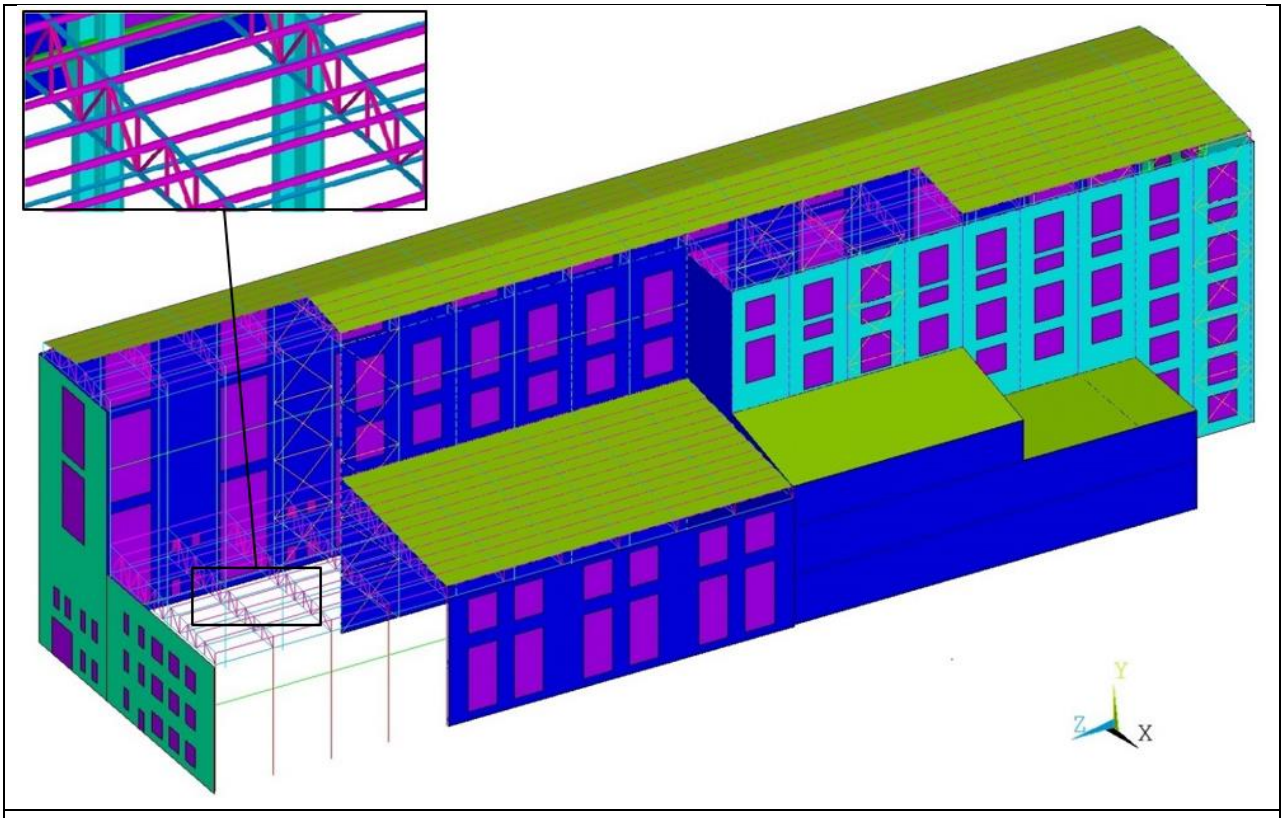


Рис.3.1. Геометрическая модель

Для получения континуальной модели поверхностным элементам геометрической модели были присвоены значения толщин, а стержневым элементам – соответствующие геометрические сечения, в соответствии с результатами натурного обследования. Всем

элементам также были присвоены необходимые физико-механические и прочностные свойства.

Переход к расчетной модели был осуществлен разбиением ее на конечно-элементную сетку (рис.3.2) с последующим приложением граничных условий, нагрузок и воздействий (далее нагрузок).

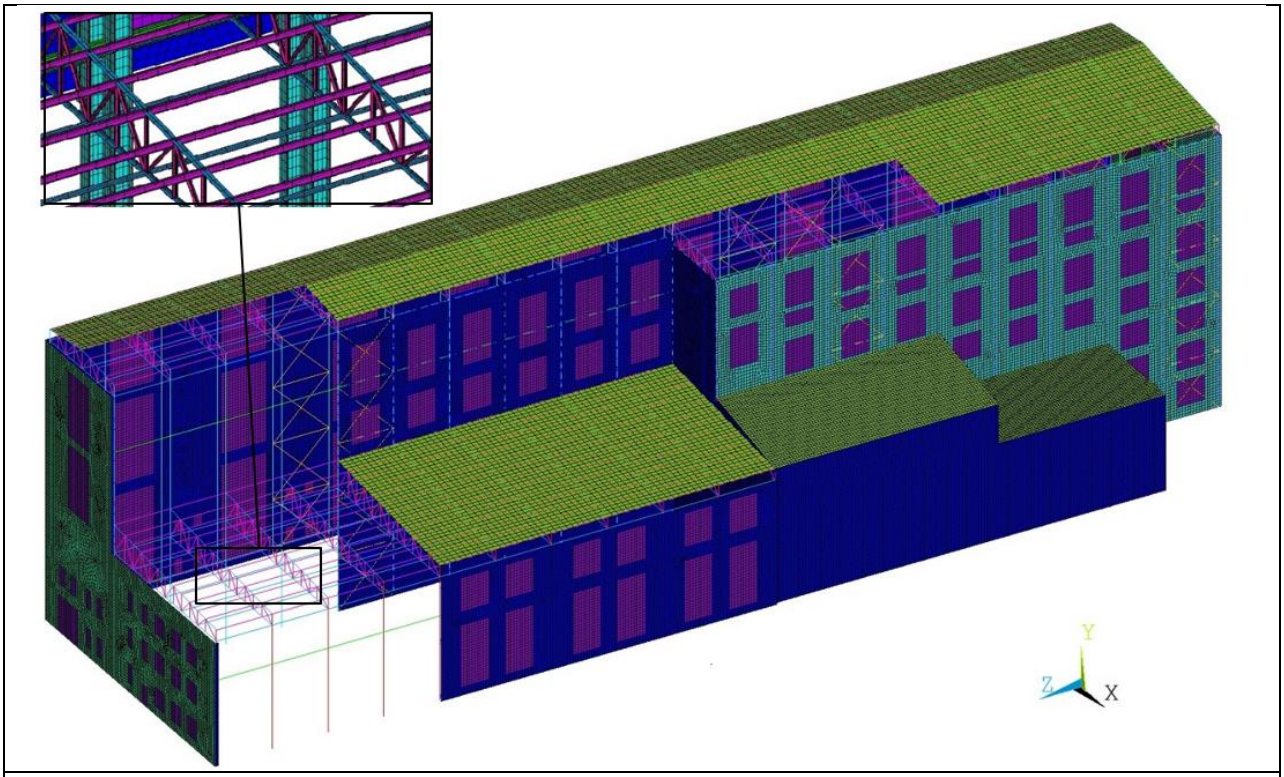


Рис.3.2. Конечно-элементная сетка здания

Общая вычислительная размерность расчетной модели составила 163320 узлов и 188782 элементов.

4. Нагрузки и воздействия

На здание действуют следующие нагрузки, значения которых были определены в Mathcad:

1) Собственный вес (G),
2) Температура в летнем (L) и зимнем сезоне (Z),
3) Ветер при различных направлениях* и распределениях давления (WI, WII),
4) Снег с учетом (SI) и без учета (SII) снеговых мешков.

* *В примере рассмотрено только одного направления ветра, однако при проведении расчетов необходимо учитывать и другие возможные направления.*

В табл.4.1 приведена классификация действующих нагрузок в соответствии с [4], п.5.

Табл.4.1. Классификация нагрузок

Постоянные	Длительные	Кратковременные	Особые
Собственный вес	-	Температура Ветер Снег	-

В соответствии с [4], п.6.1 расчет здания должен быть проведен с учетом неблагоприятных расчетных сочетаний нагрузок из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок. В табл.4.2 приведены их возможные сочетания.

Табл.4.2. Сочетания нагрузок

Плотность	Температура	Ветер	Снег	Номер сочетания нагрузок
G	L	WI	-	1.1-1.2
		WII	-	1.3-1.4
	Z	WI	SI	2.1-2.6
			SII	2.7-2.12
		WII	SI	3.1-3.6
			SII	3.7-3.12

Коэффициенты сочетания для этих нагрузок приведены в табл.4.3.

Табл.4.3. Коэффициенты сочетания

Номер	G	L	Z	WI	WII	SI	SII
1.1	1	1	-	0,9	-	-	-
1.2	1	0,9	-	1	-	-	-
1.3	1	1	-	-	0,9	-	-
1.4	1	0,9	-	-	1	-	-
2.1	1	-	1	0,9	-	0,7	-
2.2	1	-	1	0,7	-	0,9	-
2.3	1	-	0,9	1	-	0,7	-
2.4	1	-	0,9	0,7	-	1	-
2.5	1	-	0,7	1	-	0,9	-
2.6	1	-	0,7	0,9	-	1	-
2.7	1	-	1	0,9	-	-	0,7
2.8	1	-	1	0,7	-	-	0,9
2.9	1	-	0,9	1	-	-	0,7
2.10	1	-	0,9	0,7	-	-	1
2.11	1	-	0,7	1	-	-	0,9
2.12	1	-	0,7	0,9	-	-	1
3.1	1	-	1	-	0,9	0,7	-
3.2	1	-	1	-	0,7	0,9	-
3.3	1	-	0,9	-	1	0,7	-
3.4	1	-	0,9	-	0,7	1	-
3.5	1	-	0,7	-	1	0,9	-
3.6	1	-	0,7	-	0,9	1	-
3.7	1	-	1	-	0,9	-	0,7
3.8	1	-	1	-	0,7	-	0,9
3.9	1	-	0,9	-	1	-	0,7
3.10	1	-	0,9	-	0,7	-	1
3.11	1	-	0,7	-	1	-	0,9
3.12	1	-	0,7	-	0,9	-	1

Согласно вышеприведенной таблице для проверки здания по первой группе предельных состояний необходимо провести **28 расчетов**. Следовательно, для проверки

здания по первой и второй группе предельных состояний необходимо провести **56 расчетов***.

* *При проведении 56 расчетов будут учтены все возможные комбинации ветровых нагрузок, но только при одном направлении ветра.*

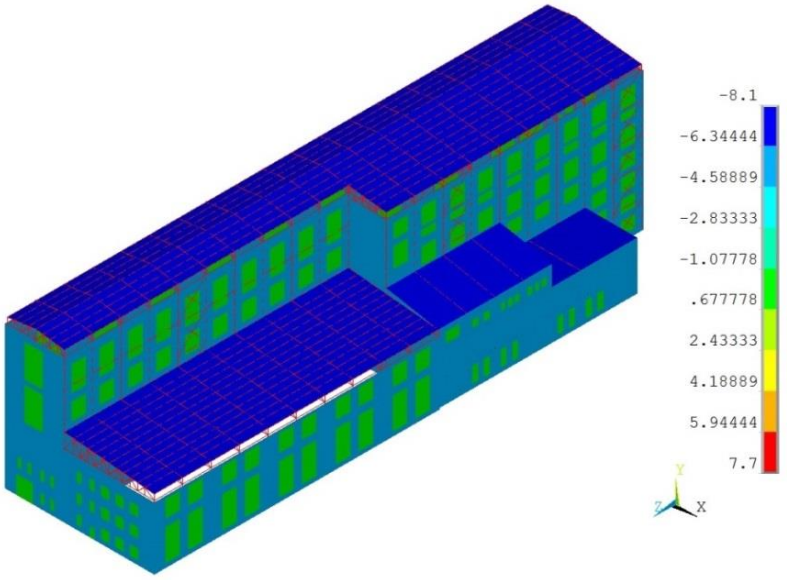
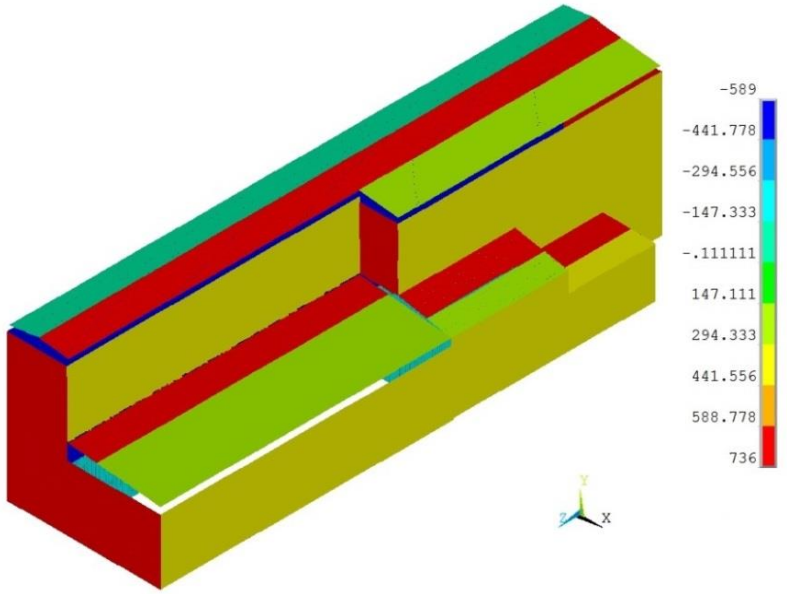
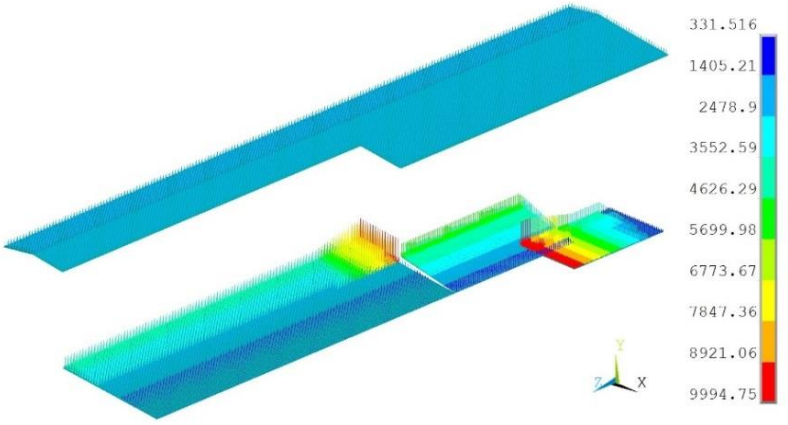
Для минимизации количества расчетов были выполнены только **6 расчетов**. Расчеты были выполнены с консервативным подходом, поэтому коэффициент сочетания у всех нагрузок равен единице (табл.4.4).

Табл.4.4. Коэффициенты сочетания (консервативный подход)

Номер	G	L	Z	WI	WII	SI	SII
1.1'	1	1	-	1	-	-	-
1.3'	1	1	-	-	1	-	-
2.1'	1	-	1	1	-	1	-
2.7'	1	-	1	1	-	-	1
3.1'	1	-	1	-	1	1	-
3.7'	1	-	1	-	1	-	1

Области приложения некоторых вариантов нагрузок приведены в табл.4.5. Собственный вес был учтен автоматически при задании плотности материалов и ускорения свободного падения.

Табл.4.5. Области приложения некоторых вариантов нагрузок

Нагрузка	Области приложения
Температура в зимний сезон, [°C]	
Ветер при одном из вариантов распределения давления, [Па]	
Снег с учетом снеговых мешков, [Па]	

5. Расчет здания

В данном разделе представлены результаты расчета только при сочетании нагрузок под номером 2.7', т.к. при данном сочетании нагрузок в конструкциях здания наблюдаются наибольшие напряжения.

Результаты расчета стальных конструкций представлены на рис.5.1.

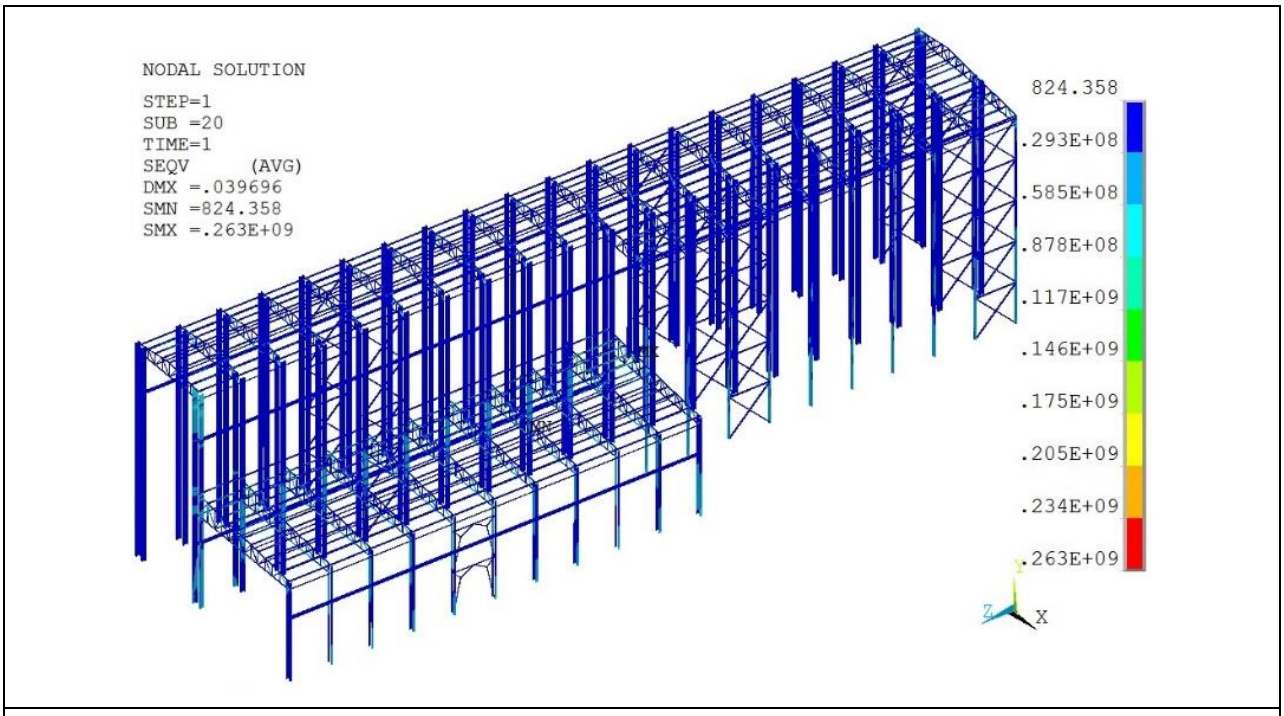


Рис.5.1. Карта распределения эквивалентных напряжений в каркасе, [Па]

Т.к. колонны работают на сжатие, а балки на изгиб, они имеют различные допускаемые напряжения. Поэтому для более удобной оценки полученных результатов карты напряжений для них необходимо выводить по отдельности.

Результаты расчета каменных конструкций представлены на рис.5.2 и рис.5.3.

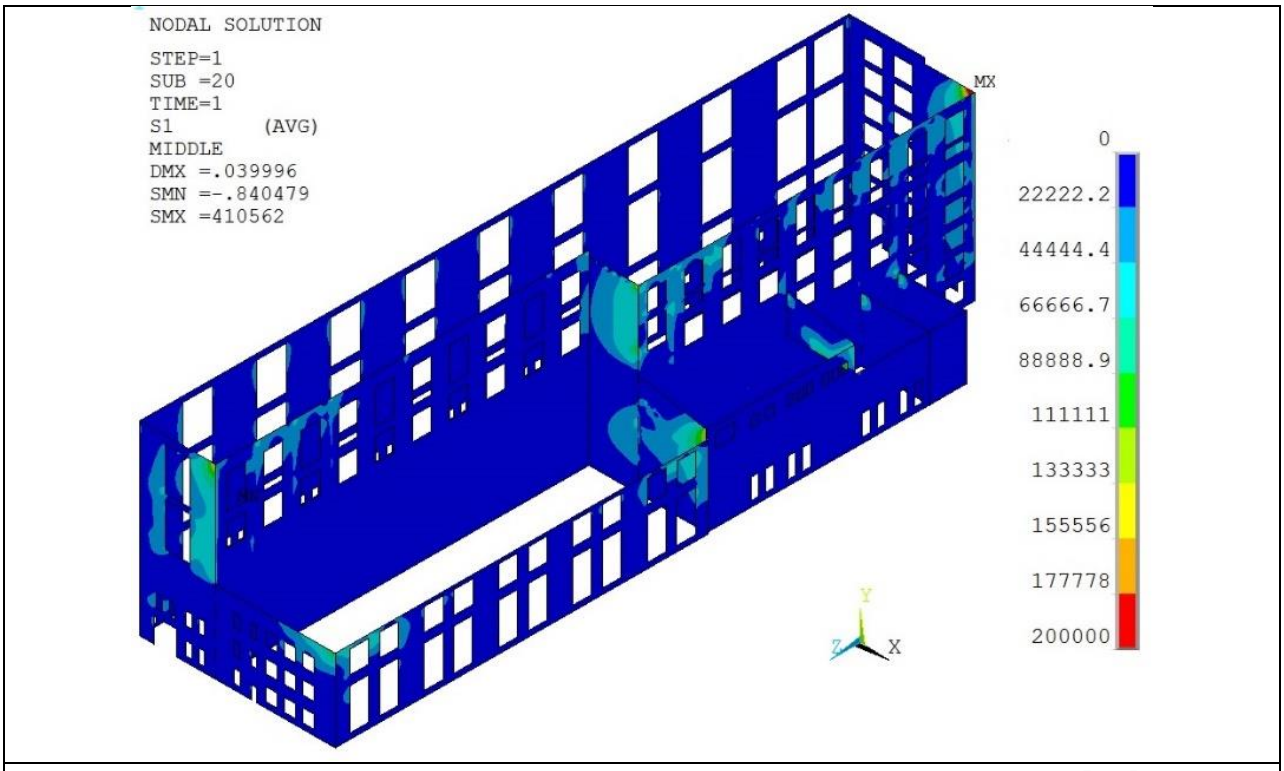


Рис.5.2. Карта распределения растягивающих напряжений в стенах, [Па]

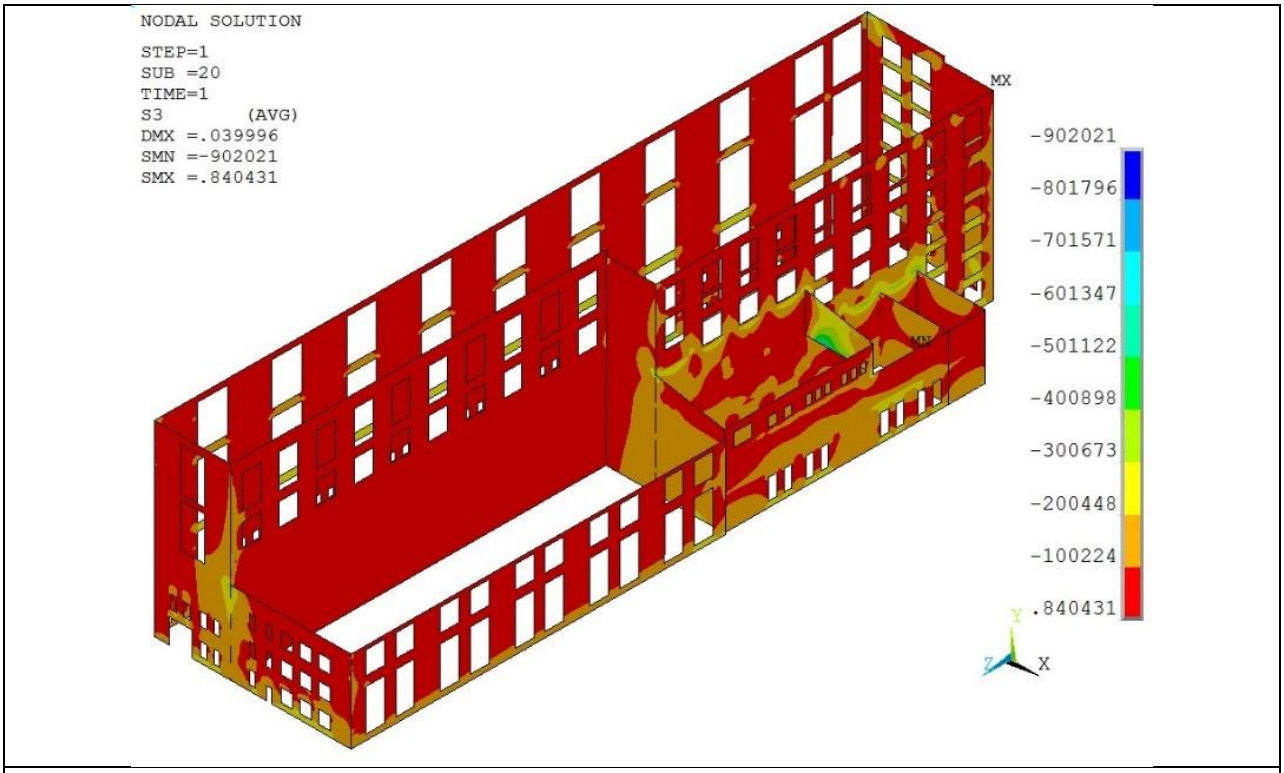


Рис.5.3. Карта распределения сжимающих напряжений в стенах, [Па]

При анализе растягивающих напряжений в кирпичной кладке оценивается трещинообразование, а при анализе сжимающих напряжений – смятие.

6. Выводы

По результатам поверочного расчета были определены наиболее опасные зоны и проанализировано их напряженно-деформированное состояние.

По результатам анализа получено, что необходимое условие прочности полностью выполняется только в стальных конструкциях. В каменных конструкциях это условие выполняется только для сжимающих напряжений, а для растягивающих напряжений не выполняется. Вследствие этого, в стенах здания имеются зоны, склонные к растрескиванию и последующему разрушению.

В связи с этим рекомендуется проведение специальных мероприятий для снижения уровня напряжений в каменных конструкциях здания с целью обеспечения возможности его безопасной эксплуатации.

7. Список литературы

1. **ГОСТ 27751-2014**. «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».
2. **СП 15.13330.2012**. «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*».
3. **СП 16.13330.2011**. «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*».
4. **СП 20.13330.2011**. «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».