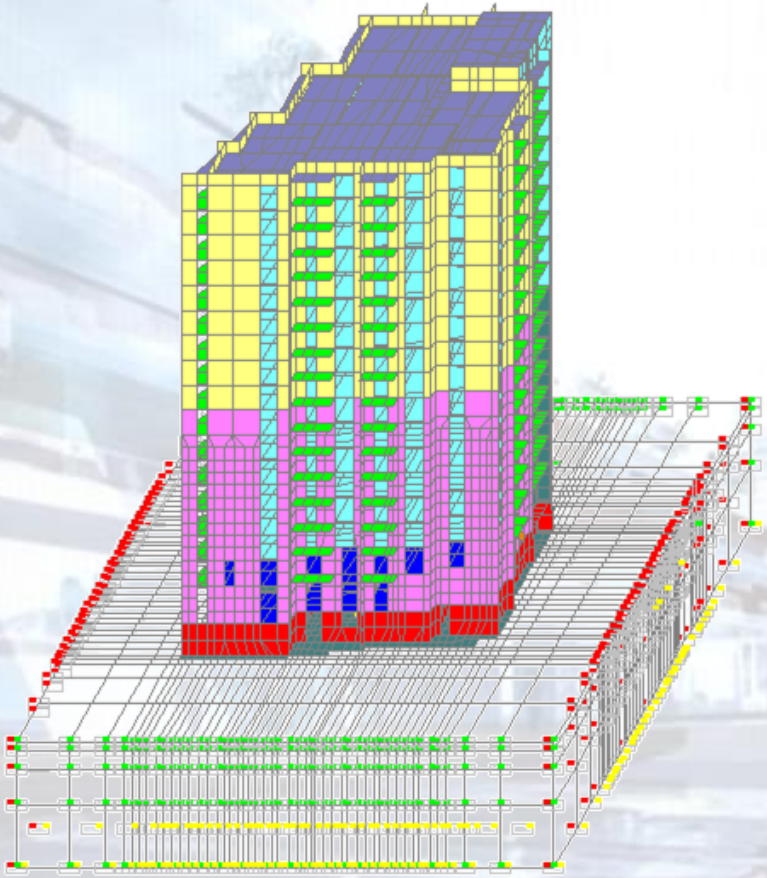
Технологии построения расчетных моделей кирпичных зданий в системе SCAD.



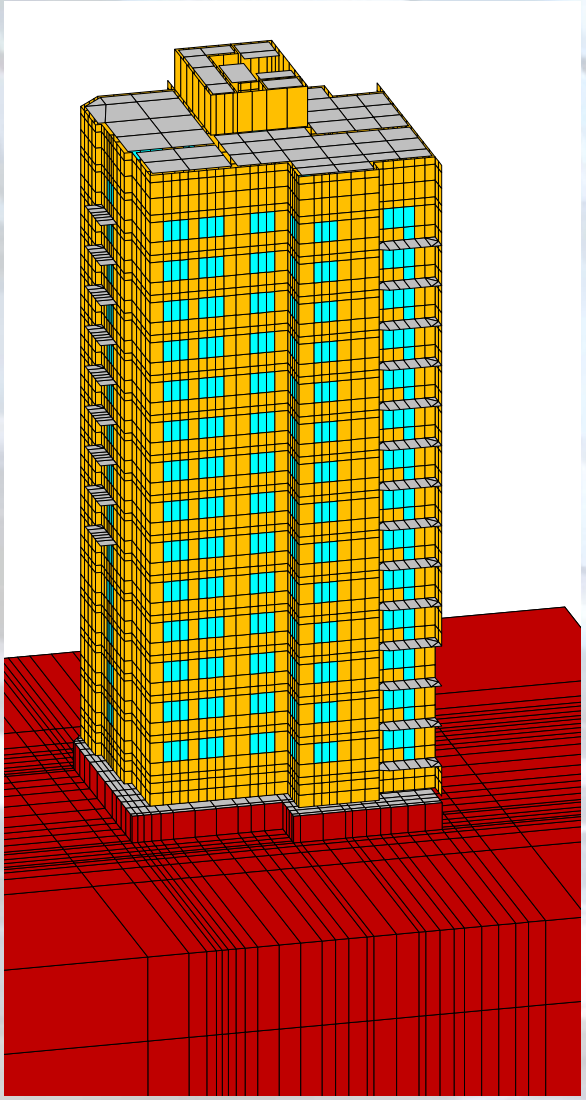
Теплых А.В. - главный конструктор ООО «КБТ» г. Самара.

План презентации.

1. Обзор кирпичных зданий, рассчита[illegible]х с применением МКЭ в различных с[illegible]
2. Требования нор[illegible]ю расчетов кирп[illegible]
3. Методика пост[illegible]
4. Особенности анали[illegible]ния здания.
5. Применение откорректированной модели для расчета по раскрытию трещин с[illegible]ных участков стен.
6. Демонстрация воз[illegible]жности применения специализированного ПО интегрированного с системой Scad через API.

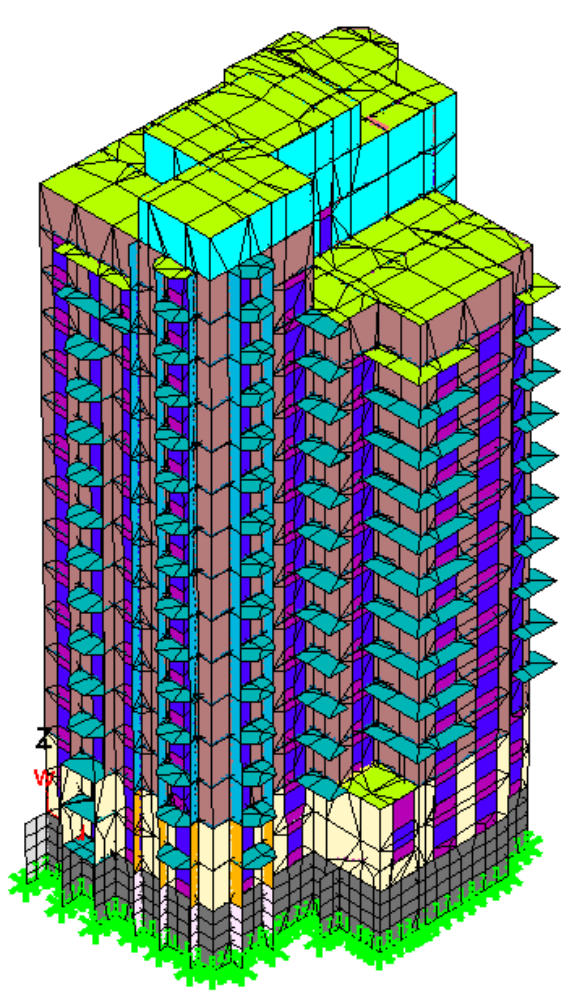
В переводе с языка программистов на русский
API – интерфейс взаимодействия приложений

Обзор кирпичных зданий, рассчитанных с применением МКЭ в различных системах.



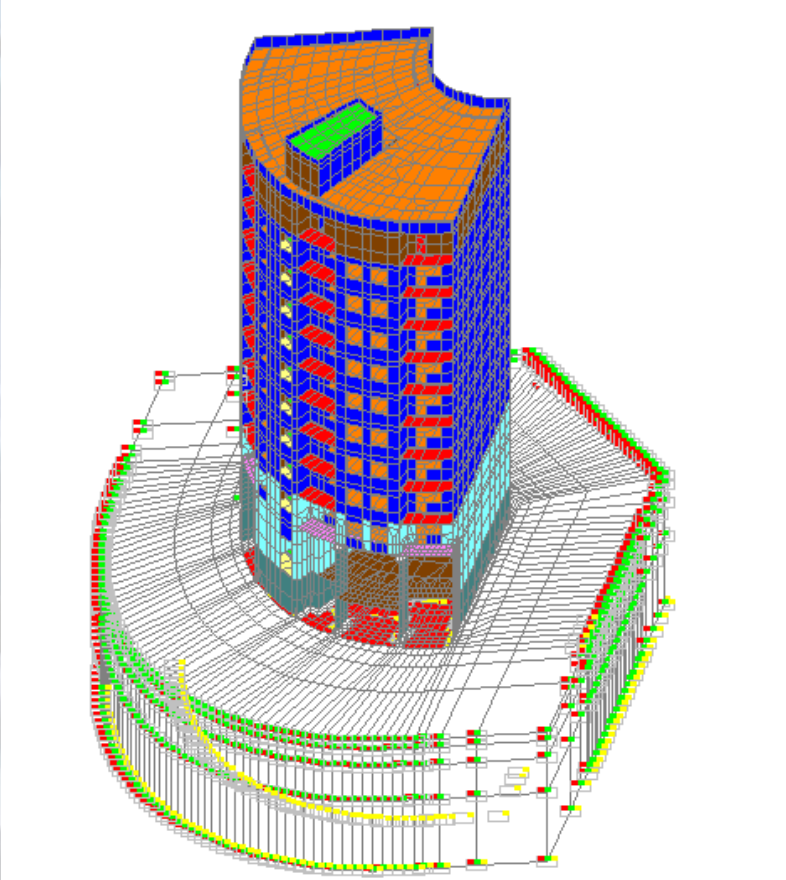
Расчет выполнен в 1998 г.
в системе «Полина»

Обзор кирпичных зданий, рассчитанных с применением МКЭ в различных системах.



Расчет выполнен в 2002 г.
в системе «STARK_ES»

Обзор кирпичных зданий, рассчитанных с применением МКЭ в различных системах.



Расчет выполнен в 2004 г.
в системе «SCAD»

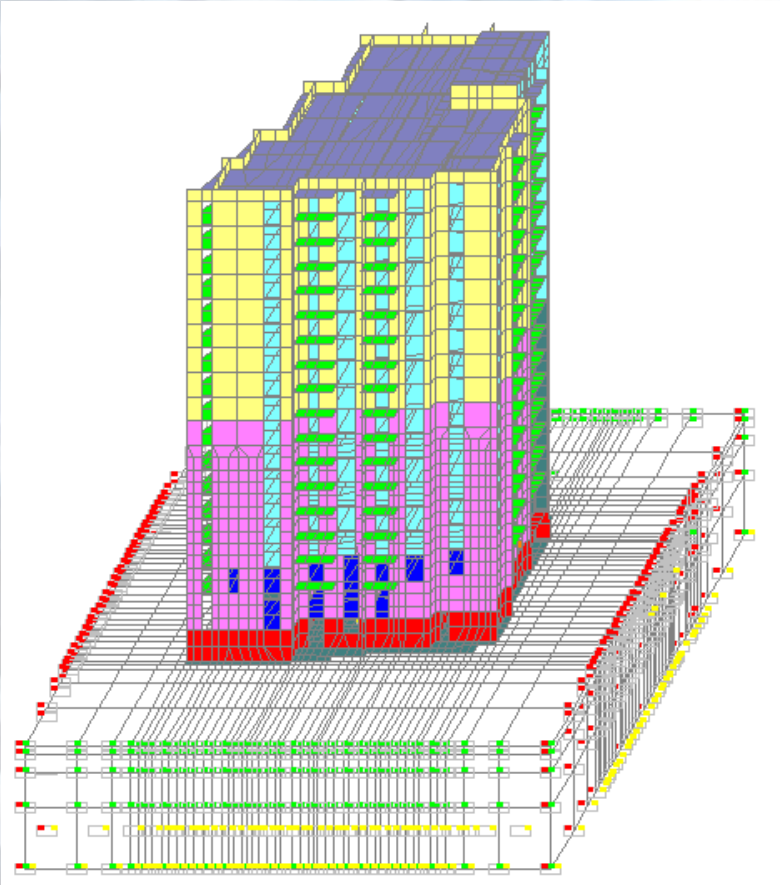
110925 степ. своб.

Время решения 15 мин.

1800 МГц

512 МБ ОЗУ

Обзор кирпичных зданий, рассчитанных с применением МКЭ в различных системах.



Расчет выполнен в 2004 г.
в системе «SCAD»

113503 степ. своб.

Время решения 20 мин.

1800 МГц

512 МБ ОЗУ

Требования нормативных документов к выполнению расчетов кирпичных зданий.

Перечень необходимых проверок представлен в п. 6.11 СНиП II-22-81*.

6.11. При расчете стен (или их отдельных вертикальных участков) на вертикальные и горизонтальные нагрузки должны быть проверены:

а) горизонтальные сечения на сжатие или внецентренное сжатие;

б) наклонные сечения на главные растягивающие напряжения при изгибе в плоскости стены;

в) раскрытие трещин от вертикальной нагрузки разнонагруженных, связанных между собой стен или разной жесткости смежных участков стен.

При учете совместной работы поперечных и продольных стен при действии горизонтальной нагрузки должно быть обеспечено восприятие сдвигающих усилий в местах их взаимного примыкания, определяемых по формуле

$$T = \frac{QAyH}{I} \leq hHR_{sq}, \qquad (38)$$

Основные положения для построения расчетных моделей.

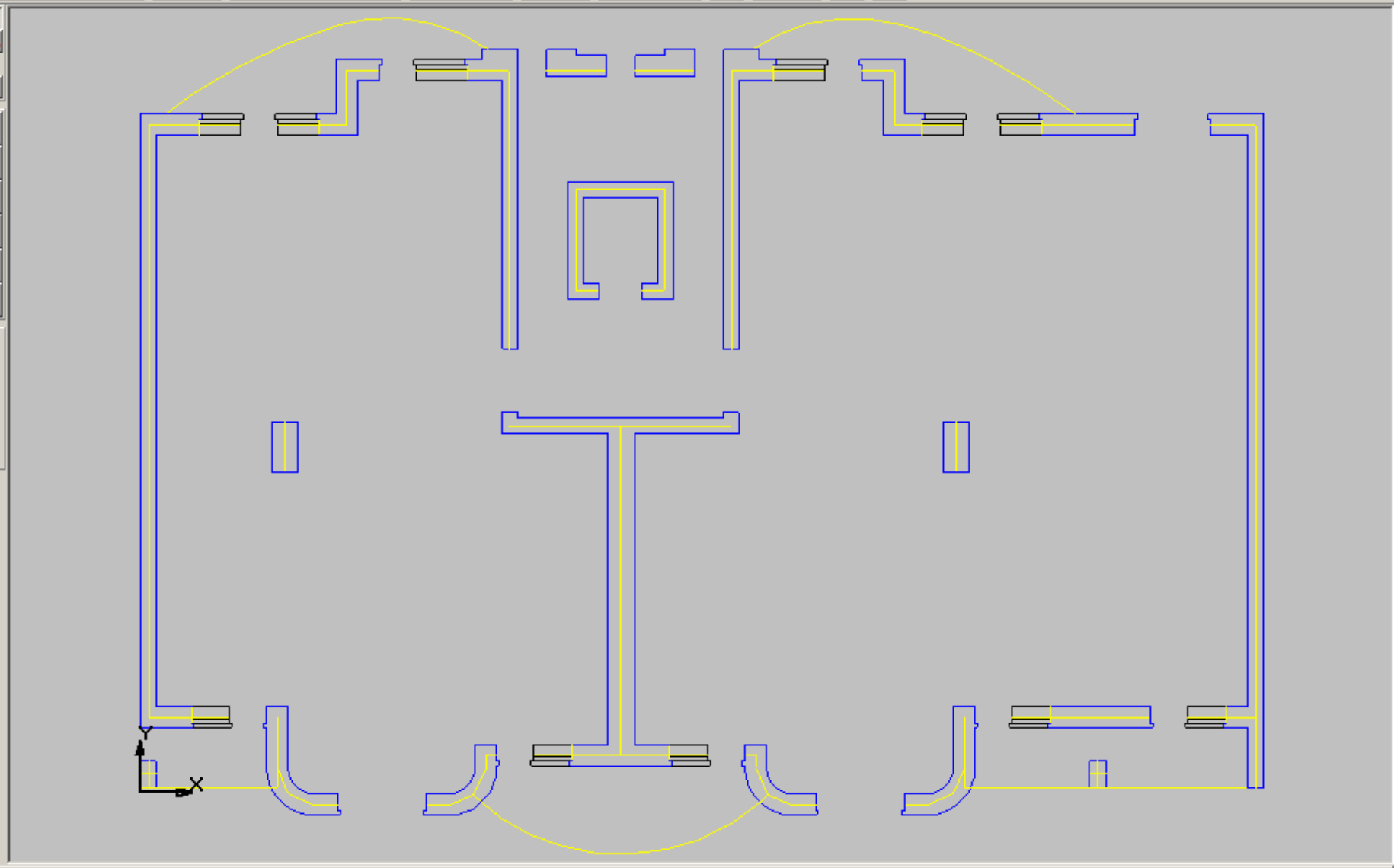
1. В качестве результатов расчета имеет смысл использовать только мембранные составляющие напряжений Nx или Ny, а также для определения поперечных сил приходящихся на отдельные участки стен результаты расчета нагрузок от фрагмента схемы от расположенной выше рассматриваемого сечения части здания для расчета и на главные растягивающие напряжения согласно п. 6.12 СНиП II-22-81*.
2. Моменты от опирания перекрытий с эксцентриситетом, изменения толщины стен и от ветровой нагрузки учитываются отдельно и добавляться к полученным мембранным составляющим напряжений в соответствии с правилами изложенными в СНиП II-22-81* и пособим к нему.
3. На участках между простенками над и под проемами возможно образование трещин, учет которых не представляется возможным, и эти участки исключаются из силовой работы. Участки стен между оконными проемами в расчетной модели работают либо независимо друг от друга, либо могут быть связаны только монолитными железобетонными поясами или армопоясами. Следует отметить, что придумать методику расчета монолитных железобетонных поясов средствами Scad достаточно просто, а вот задача по расчету армопоясов пока решить не удалось, и во всех проектах они назначались конструктивно с учетом реализованных ранее проектов.
4. Аналогично предыдущему пункту необходимо исключить работу на сдвиг сборных перекрытий в направлении, перпендикулярном плоскости перекрытия, что может быть достигнуто уменьшением модуля упругости перекрытия на порядок.
5. Необходимо обеспечить шарнирное сопряжение перекрытий со стенами.
6. При применении сборных перекрытий необходимо исключить передачу нагрузки на стены по продольной стороне плит, примыкающих к стенам.
7. Смежные участки стен считаются соединенными между собою идеально упруго при выполнении условия (38) СНиП II-22-81* и п. 7.19 пособия к СНиП II-22-81* по ограничению разности свободных деформаций смежных участков стен.

Рассмотрим реализацию представленных на предыдущем слайде положений на примере выполненной расчетной модели.

Материалы к презентации\16-ти этажный дом на 22 партсъезда\Модели Scad\16 эт на 22 партсъезда Фунд на Винклеровском основании ветер 30 м-с.SPR

КОМПАС-3D 5.11 - [Лист D:\main\KV_po_Finskoy\2-я очередь\Секции 3-4\Исходные данные\Заготовка КЭМ типового этажа1.cdw->Вид 1]

Файл Редактор Выделить Удалить Операции Сервис Компоновка Настройка Окно ?



Вид... Вид 1 Слой... 0 Шаг курсора 5.0 Масштаб 0.777264 Привязки... 13352.66 9712.728

Щелкните левой кнопкой мыши на объекте для его выделения (вместе с Ctrl или Shift - добавить к выделенным)

Пуск G:\ D:\... КО... Micr... RU 22:53

Structure CAD () - D:\main\KV_po_Finskoy\2-я очередь\Секции 3-4\Исходные данные\Заготовка КЭМ типового этажа.SPR

Проект Файл Опции Операции Сервис Справка

Управление | Схема | Назначения | Узлы и Элементы | Загружения | Группы

Группы элементов

Выкл. | Исключить группу(группы)

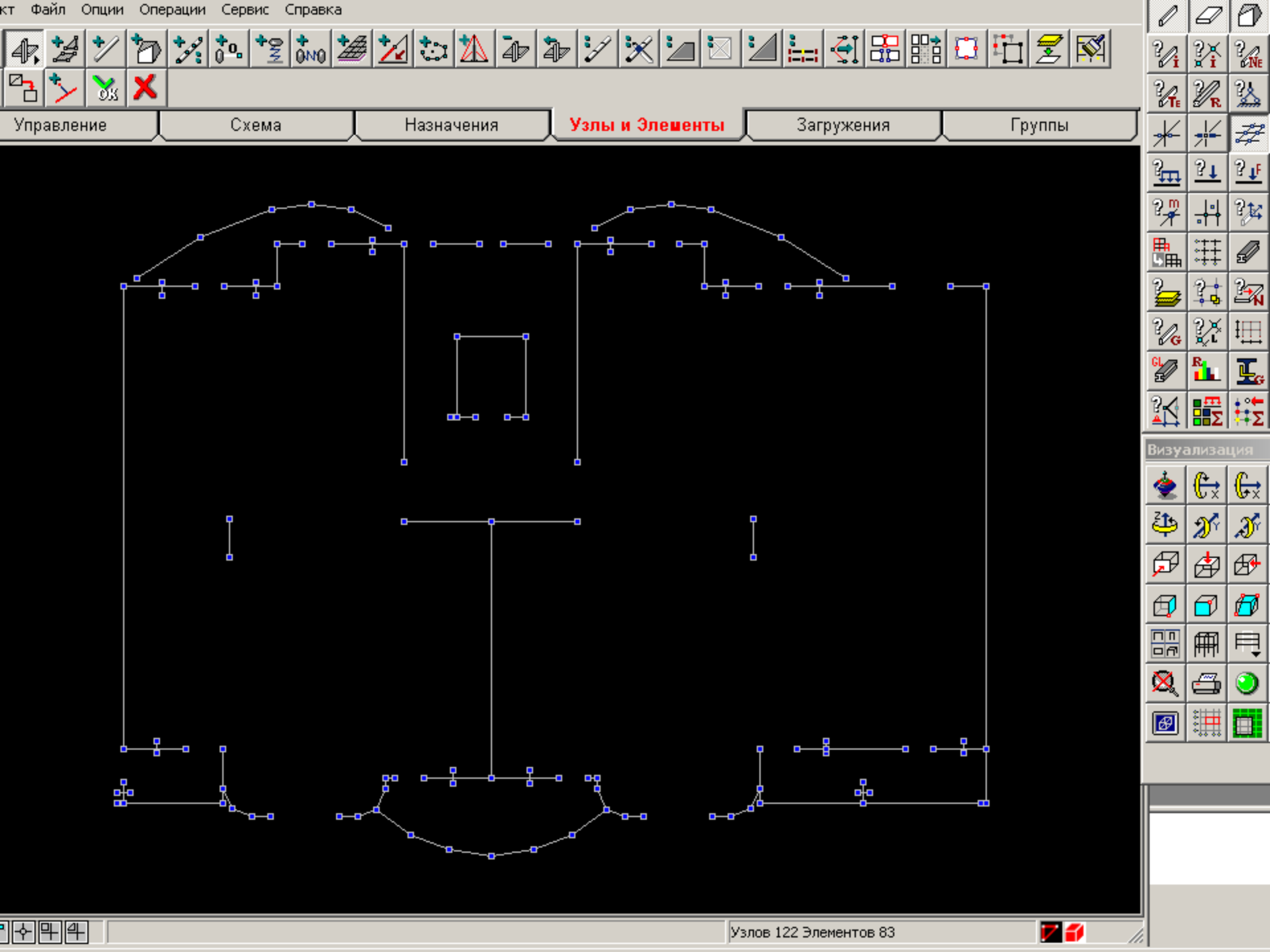
- LAYER1VIEW1
- LAYER2VIEW1

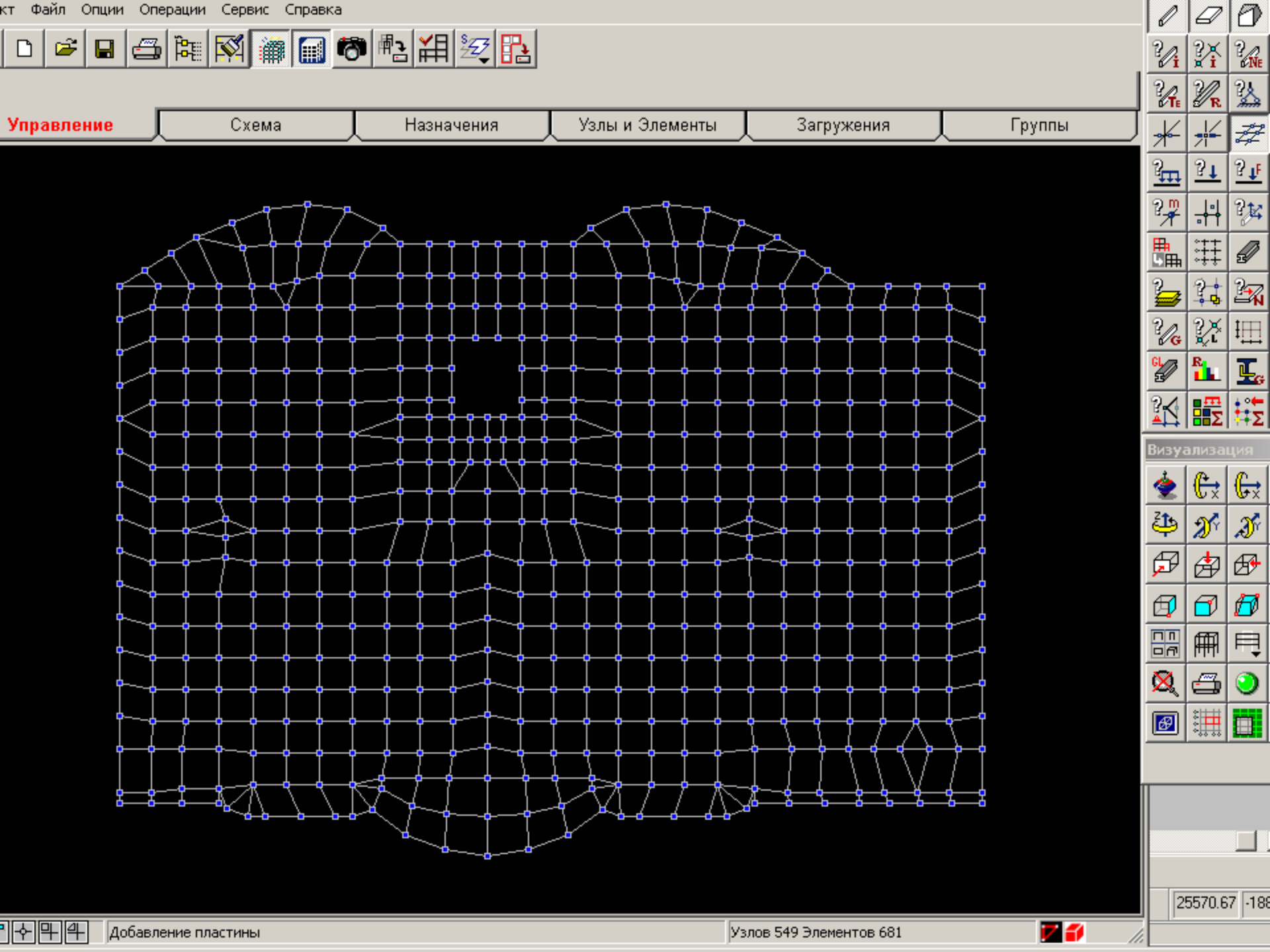
Закрыть | Применить

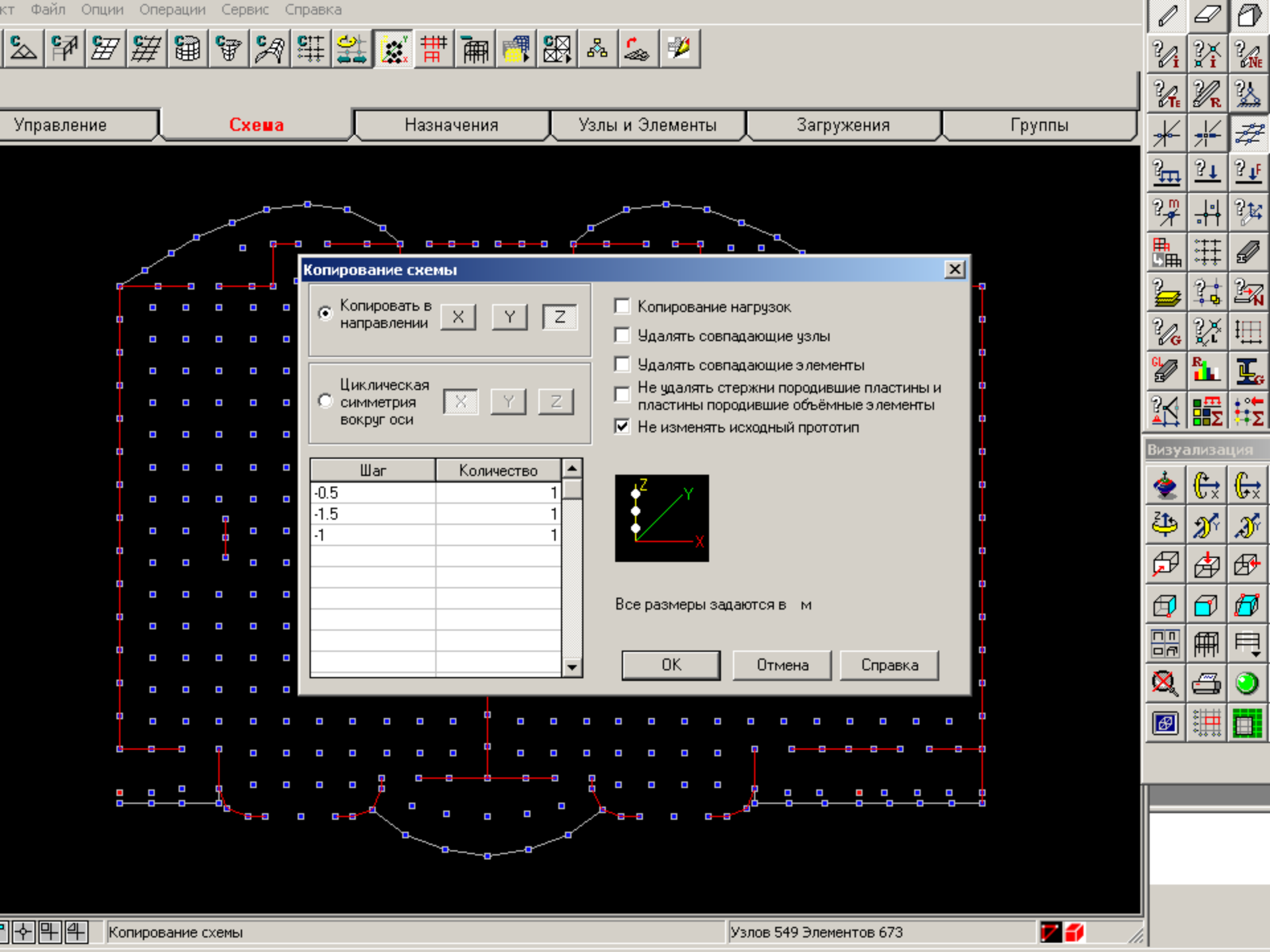
Фрагментировать

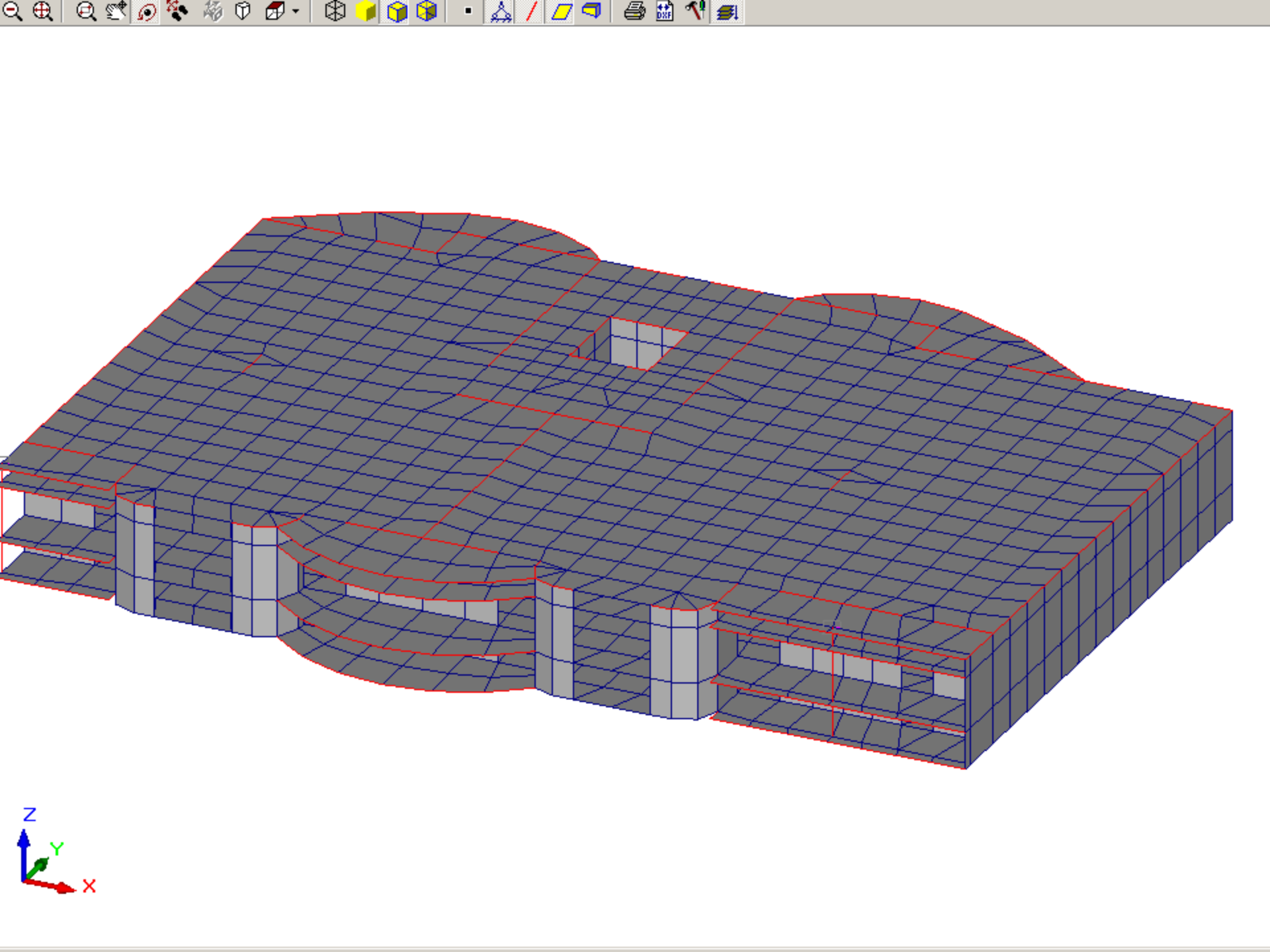
Визуализация

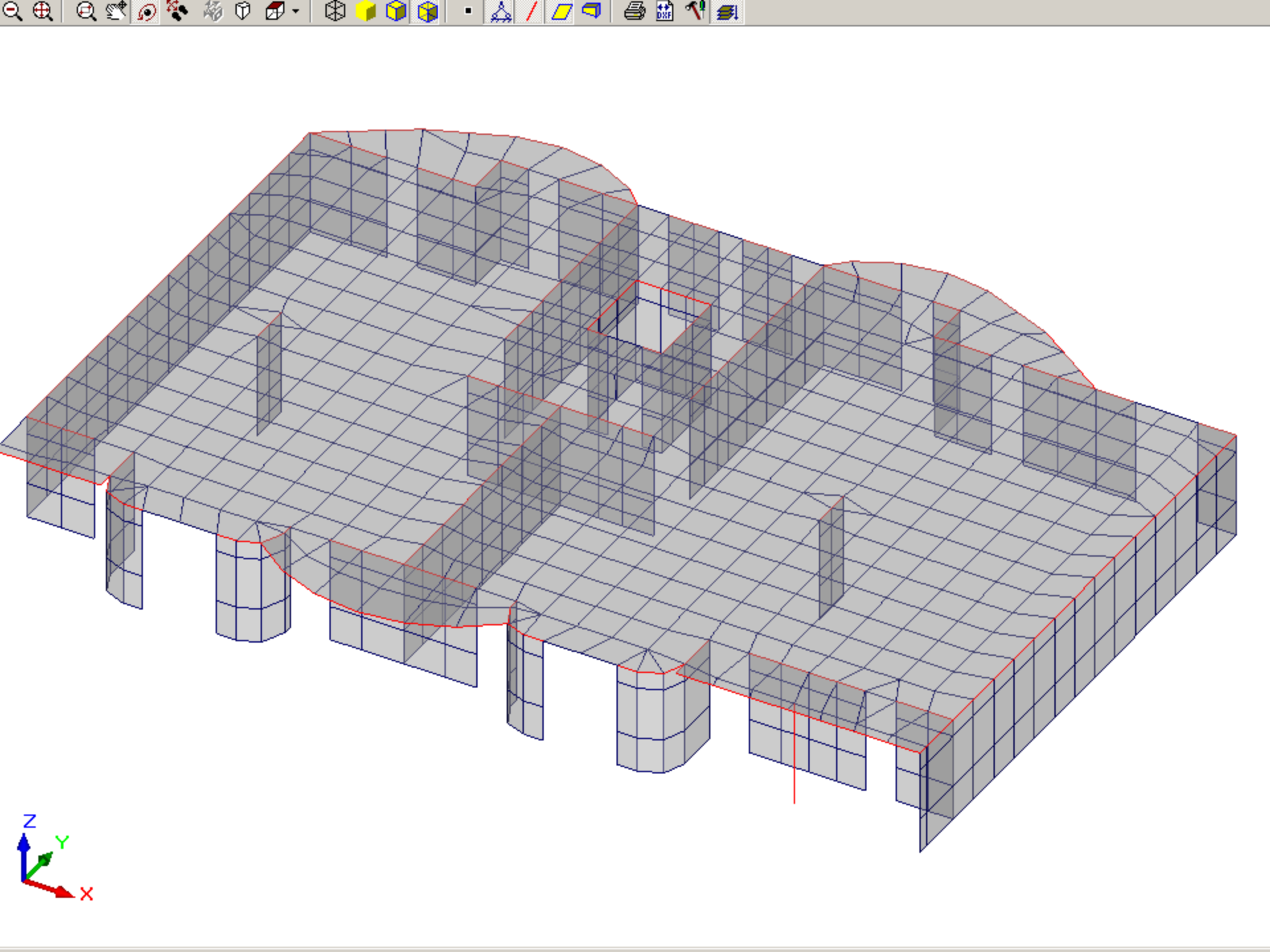
Узлов 457 Элементов 401

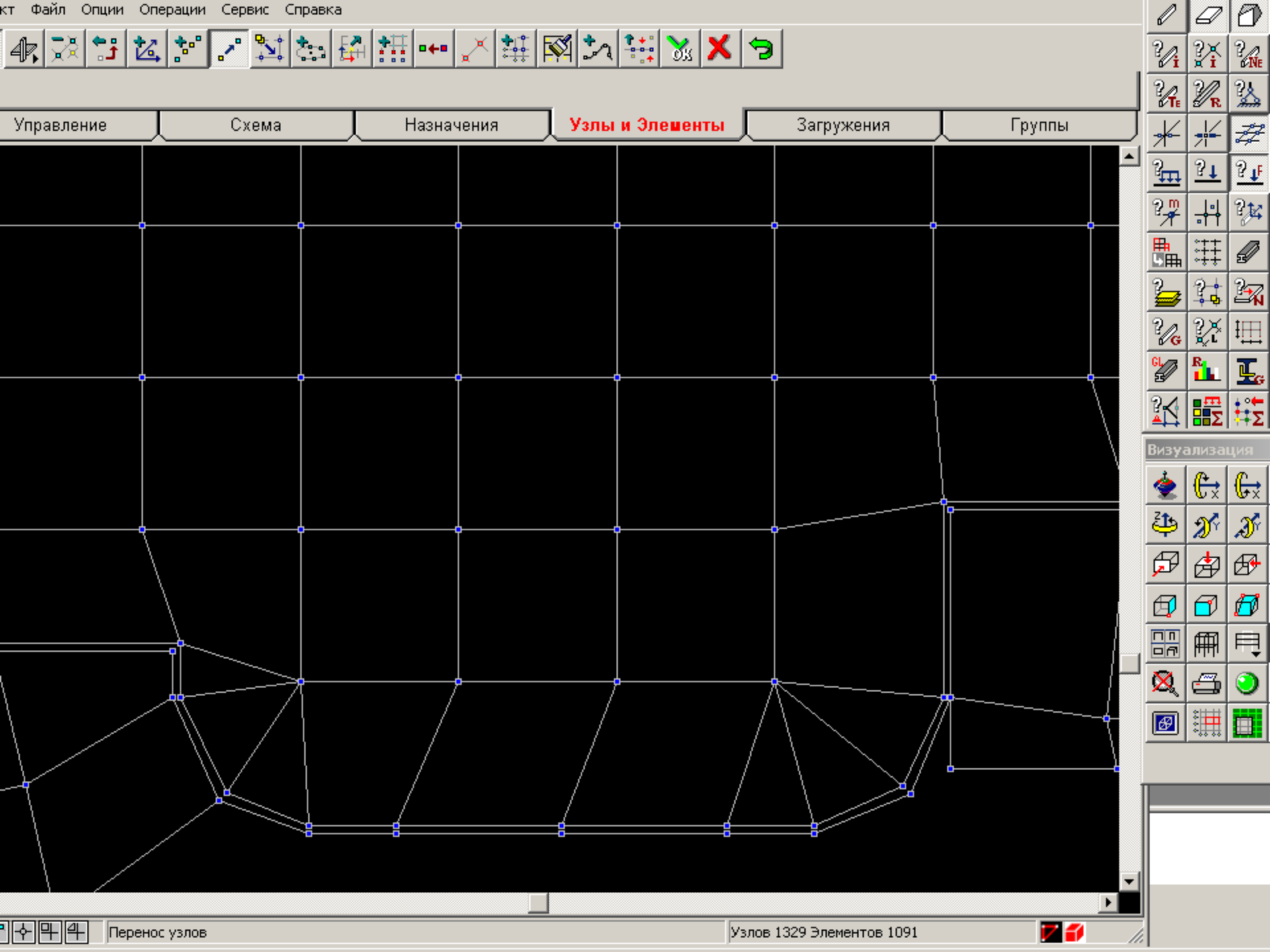

кт Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Визуализация
Узлов 122 Элементов 83

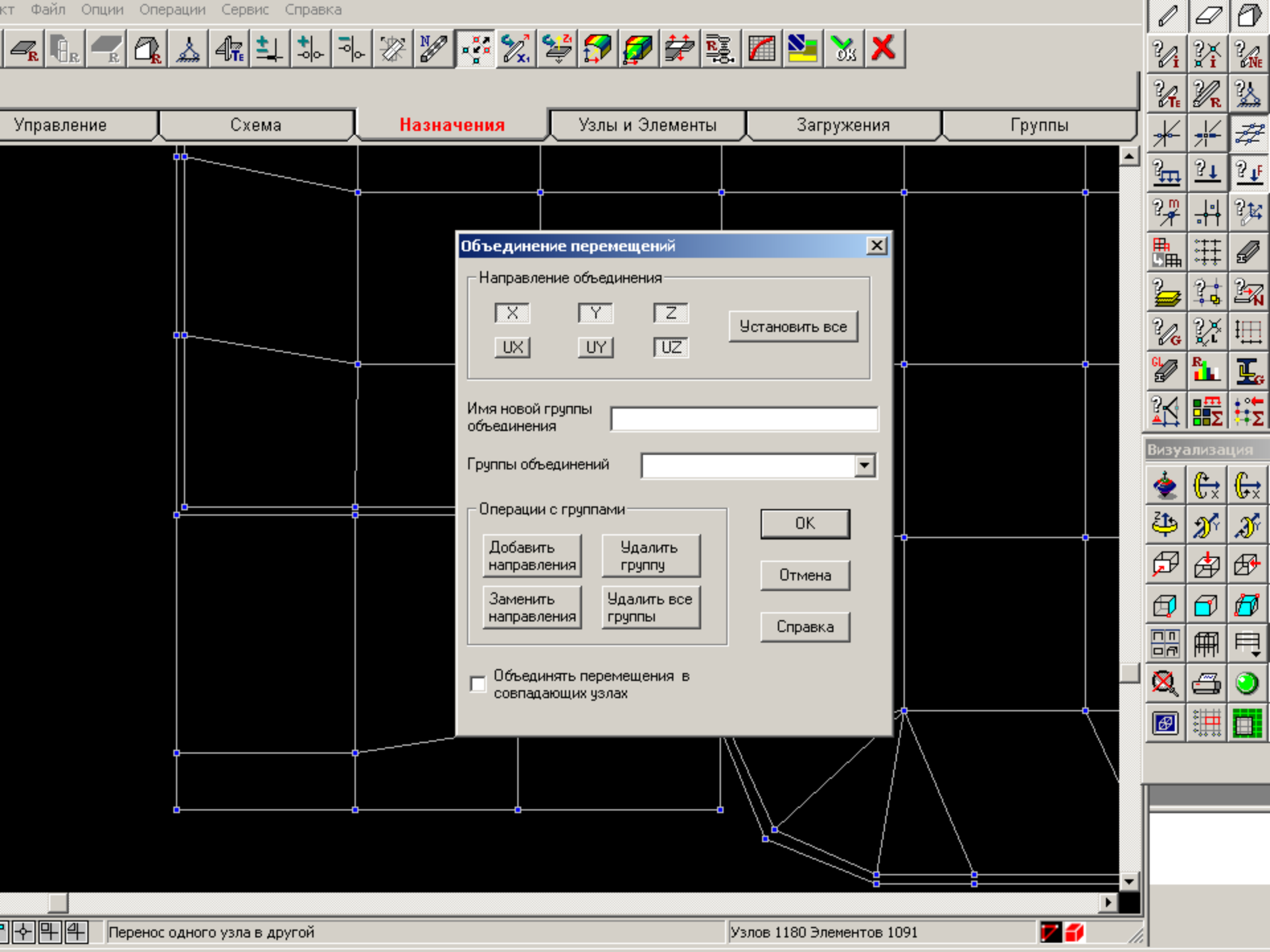

кт Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Визуализация
25570.67
Добавление пластины
Узлов 549 Элементов 681

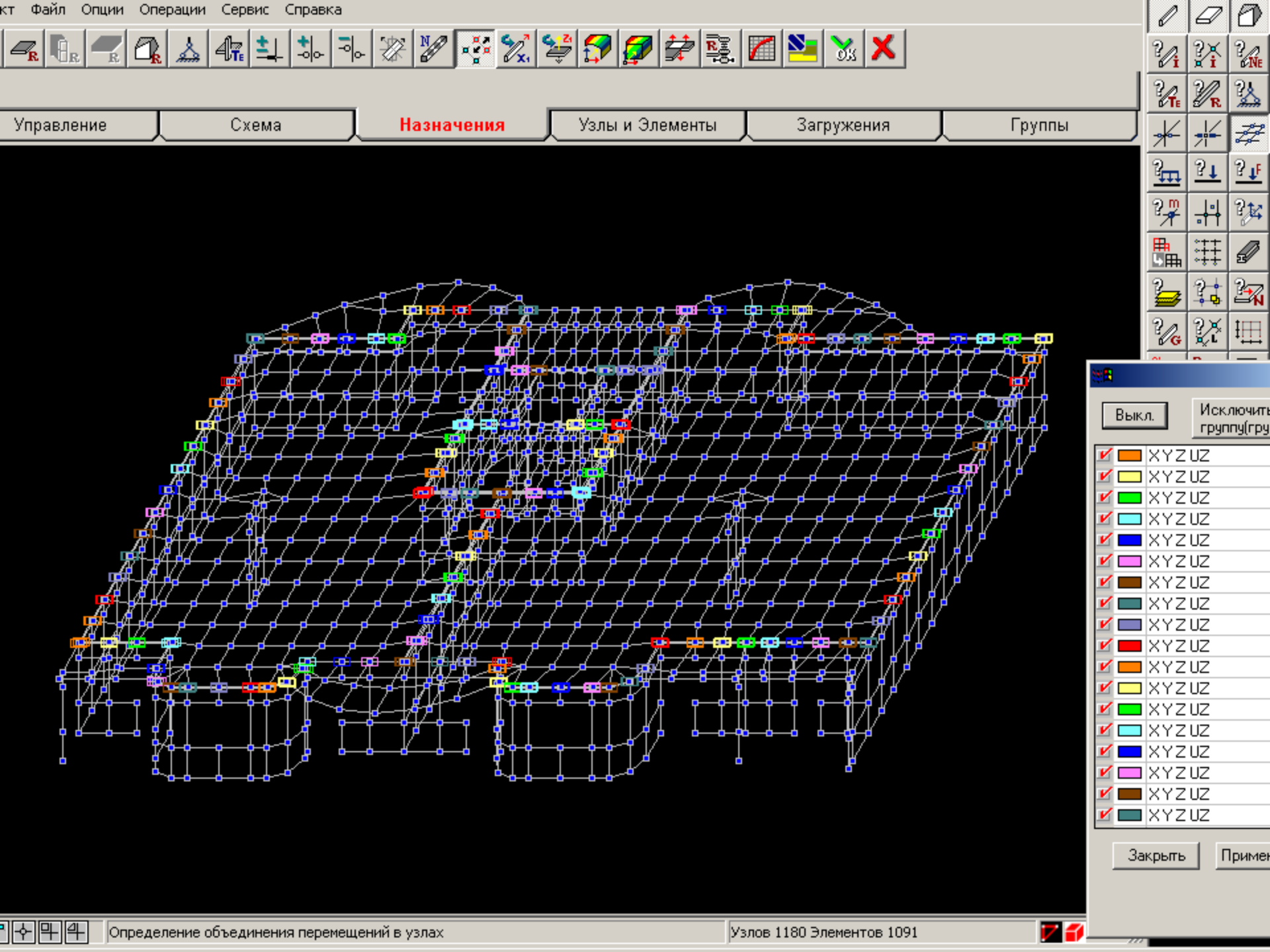

Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Копирование схемы
Копировать в направлении
X
Y
Z
Циклическая симметрия вокруг оси
Шаг
Количество
-0.5 1
-1.5 1
-1 1
Копирование нагрузок
Удалять совпадающие узлы
Удалять совпадающие элементы
Не удалять стержни породившие пластины и пластины породившие объёмные элементы
Не изменять исходный прототип
Все размеры задаются в м
OK
Отмена
Справка
Визуализация
Копирование схемы
Узлов 549 Элементов 673

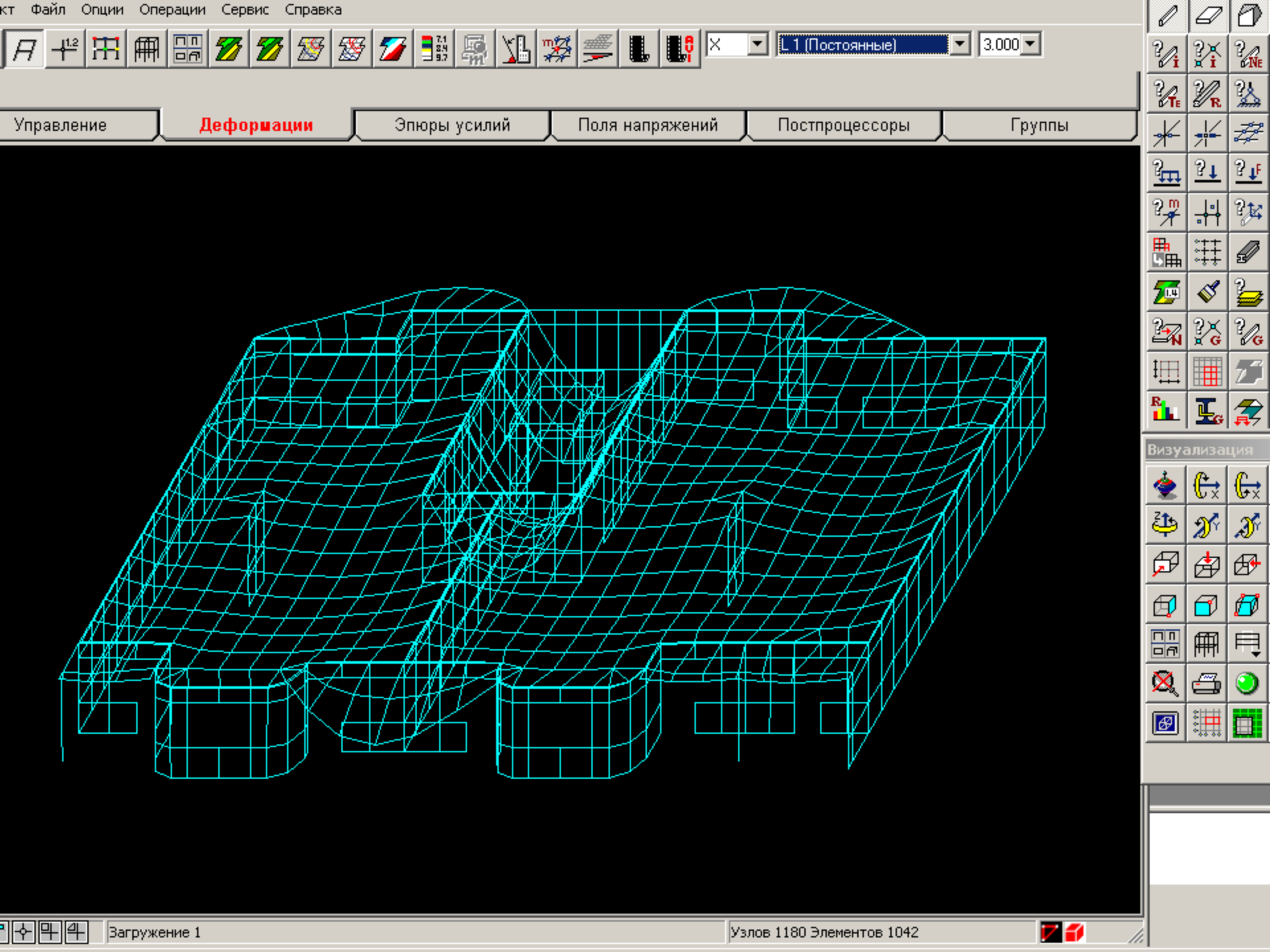

Z
Y
X

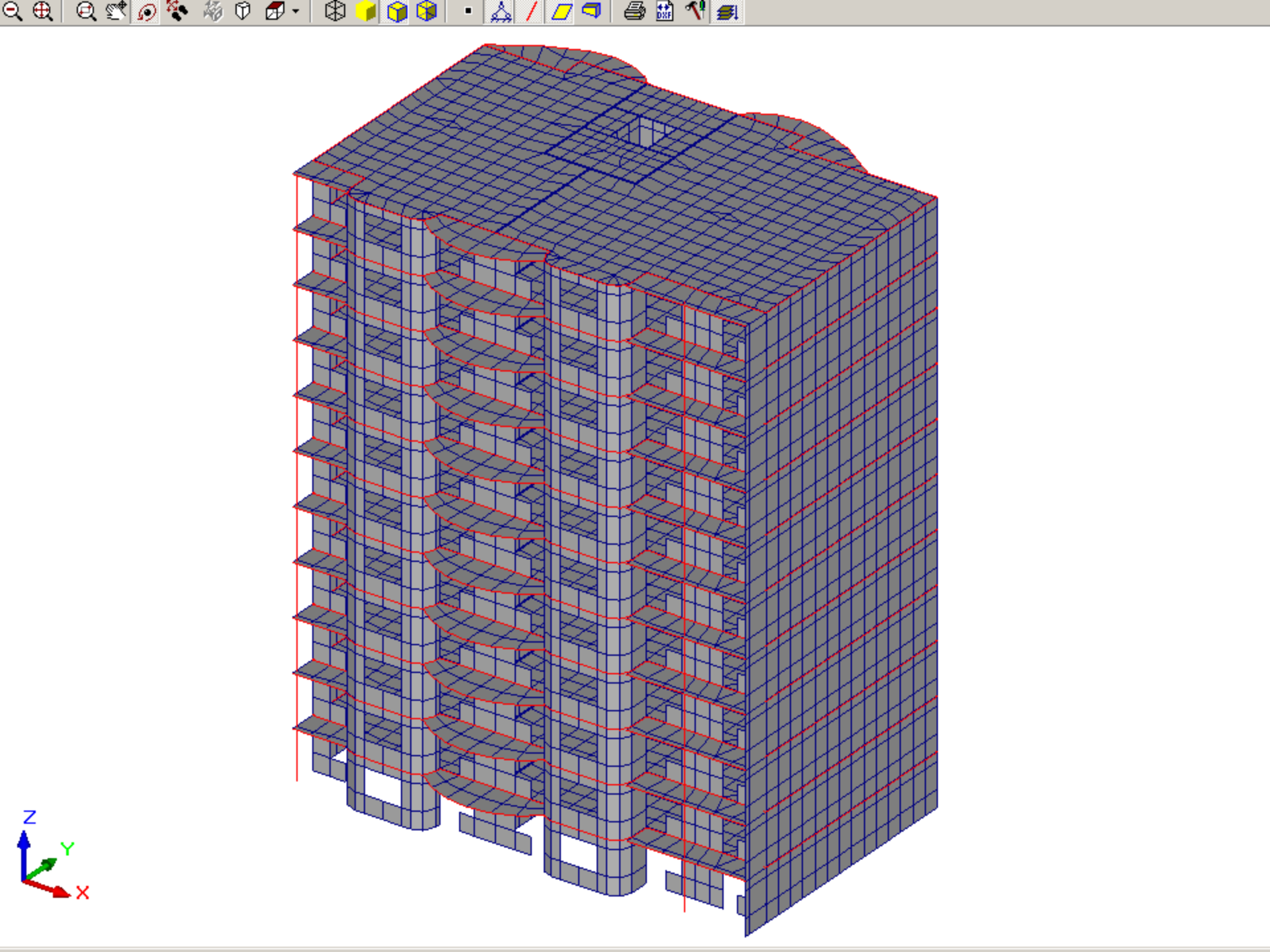

Z
Y
X

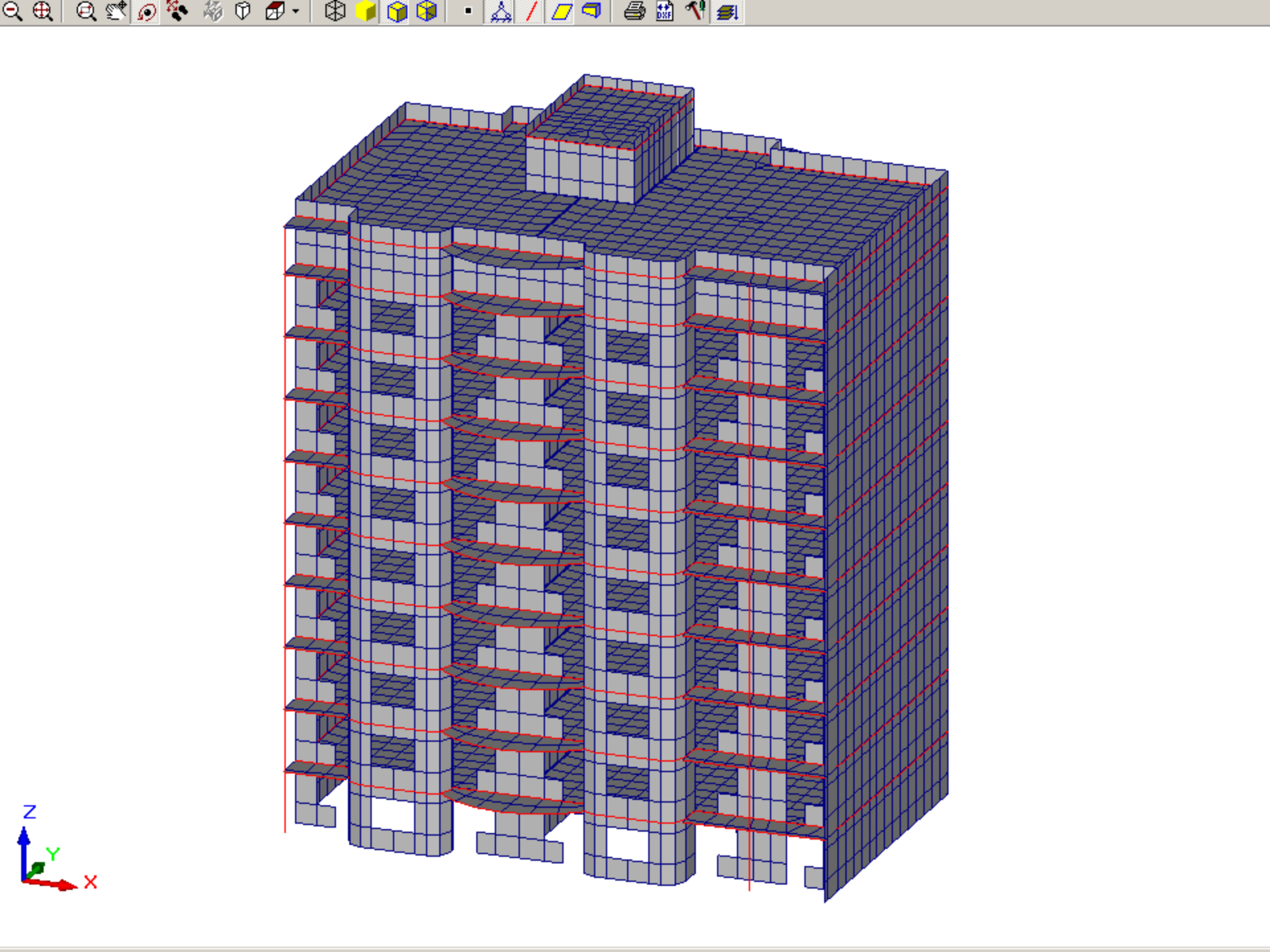

кт Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Визуализация
Перенос узлов
Узлов 1329 Элементов 1091

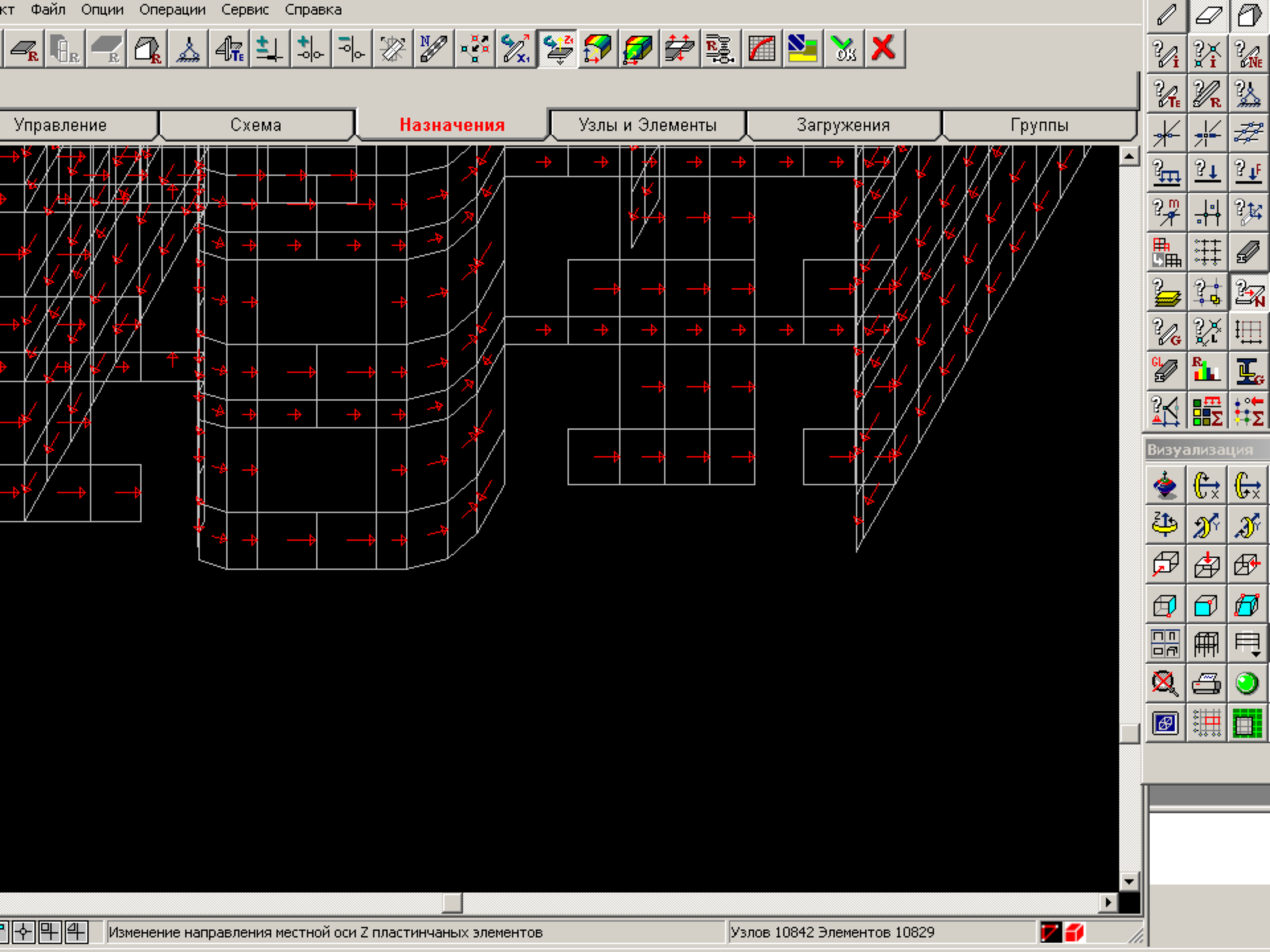

Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Объединение перемещений
Направление объединения
X
Y
Z
UX
UY
UZ
Установить все
Имя новой группы объединения
Группы объединений
Операции с группами
Добавить направления
Удалить группу
Заменить направления
Удалить все группы
OK
Отмена
Справка
Объединять перемещения в совпадающих узлах
Визуализация
Перенос одного узла в другой
Узлов 1180 Элементов 1091

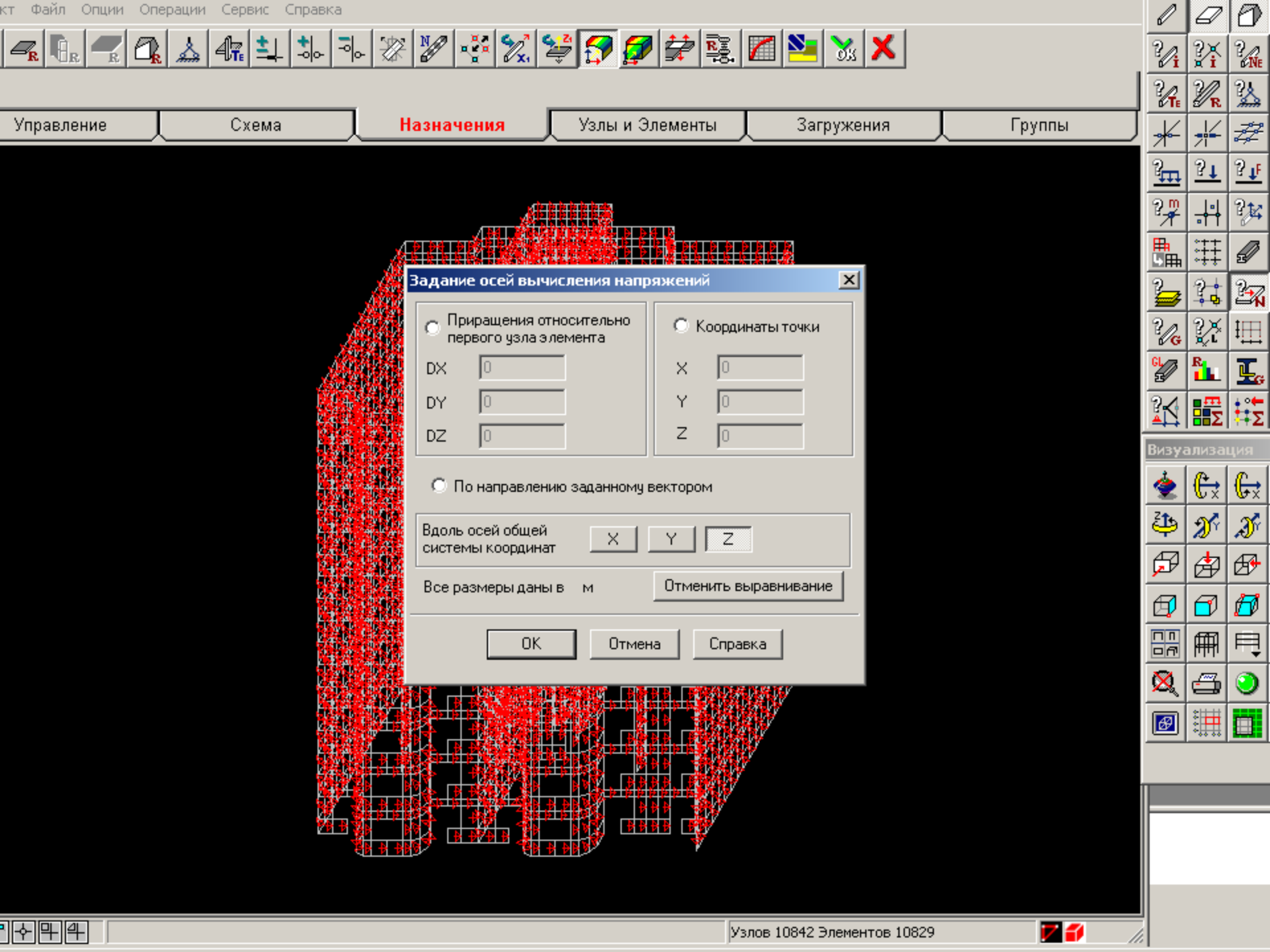

Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Выкл.
Исключить группу(гру
XYZ UZ
Закрыть
Примен
Определение объединения перемещений в узлах
Узлов 1180 Элементов 1091

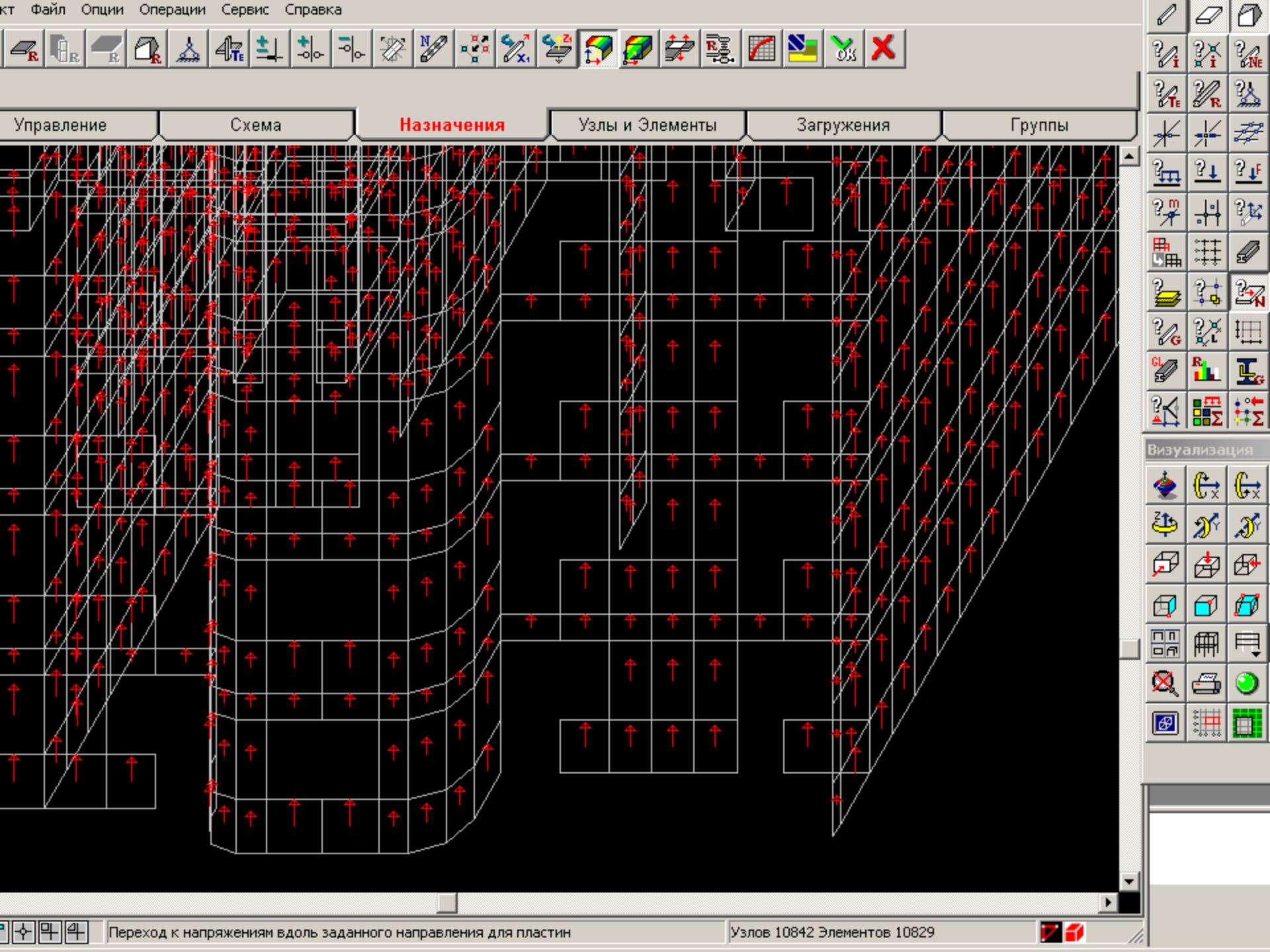

кт Файл Опции Операции Сервис Справка
L1 (Постоянные)
3.000
Управление
Деформации
Эпюры усилий
Поля напряжений
Постпроцессоры
Группы
Визуализация
Загружение 1
Узлов 1180 Элементов 1042


Z
Y
X


Z
Y
X


Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Визуализация
Изменение направления местной оси Z пластинчаных элементов
Узлов 10842 Элементов 10829


Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Задание осей вычисления напряжений
Приращения относительно первого узла элемента
DX 0
DY 0
DZ 0
Координаты точки
X 0
Y 0
Z 0
По направлению заданному вектором
Вдоль осей общей системы координат
X
Y
Z
Все размеры даны в м
Отменить выравнивание
OK
Отмена
Справка
Визуализация
Узлов 10842 Элементов 10829


Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
Визуализация
Переход к напряжениям вдоль заданного направления для пластин
Узлов 10842 Элементов 10829

Назначение жесткостных характеристик

Модуль упругости кладки определялся следующим образом

$E=0,8E_0$ – (формула (8) СНиП II-22-81* – как для статически неопределимых рамных систем, в которых элементы конструкции из кладки работают совместно с элементами из других материалов),

где $E_o=\alpha R_u$ (формула (1) СНиП II-22-81*)

Расчет жесткостных характеристик представлен в таблице 1.1.1

Определение характеристик кладки

Наименование и обозначение материалов кладки	**Марка р-ра**	**Этажи**			α	k	R *МПа*	γ_c	E_o *МПа*	E *МПа*
		Подв.	**1-8**	**9-16**						
Бетонные блоки марки 7,5	75	+	-	-	1500	2	2,9	1,1	9570	7656
Кирпич керамический марки 150		-	+	-	1000	2	2,2	1	4400	3520
Кирпич силикатный марки 150	100	-	-	+	750	2	2,2	1	3300	2640

Коэффициент Пуассона μ определялся по известной формуле сопротивления материалов связывающей модуль сдвига и модуль упругости

$G=E/2(1+\mu)$

Согласно пункту 3.27 СНиП II-22-81* $G=0,4E_0$, соответственно $\mu=1/0,8-1=0,25$.

Особенности задания постоянных нагрузок

При использовании автоматического приложения нагрузки от стен при задании характеристик использована приведенная плотность стен, позволяющая учесть толщину штукатурки и утеплителя в нагрузках.

Для наружных стен $\rho_{прив}=(1800(b_{ст}+b_{шт})+b_у\ \rho_у)/b_{ст.}$

Для внутренних стен $\rho_{прив}=1800(b_{ст}+2b_{шт})/b_{ст.}$

$b_{шт}=0,02$ *м* – толщина штукатурки;

$b_у=0,08$ *м* – толщина утеплителя;

$\rho_у=0,06$ т/м^3 – плотность утеплителя.

Приведенные в отчете значения плотностей рассчитаны по формуле для внутренних стен и приняты с целью уменьшения количества исходных данных для всех стен, что идет в запас прочности для наружных стен.

Расчет приведенной плотности для стены толщиной 510 мм.

$\rho_{прив}=1800(b_{ст}+2b_{шт})/b_{ст}=1800*(0,51+2*0,02)/0,51=1940$ *кг/м*^{3}

Расчет приведенной плотности для стены толщиной 640 мм.

$\rho_{прив}=1800(b_{ст}+2b_{шт})/b_{ст}=1800*(0,64+2*0,02)/0,64=1910$ *кг/м*^{3}

Расчет приведенной плотности для стены толщиной 380 мм.

$\rho_{прив}=1800(b_{ст}+2b_{шт})/b_{ст}=1800*(0,38+2*0,02)/0,38=1990$ *кг/м*^{3}

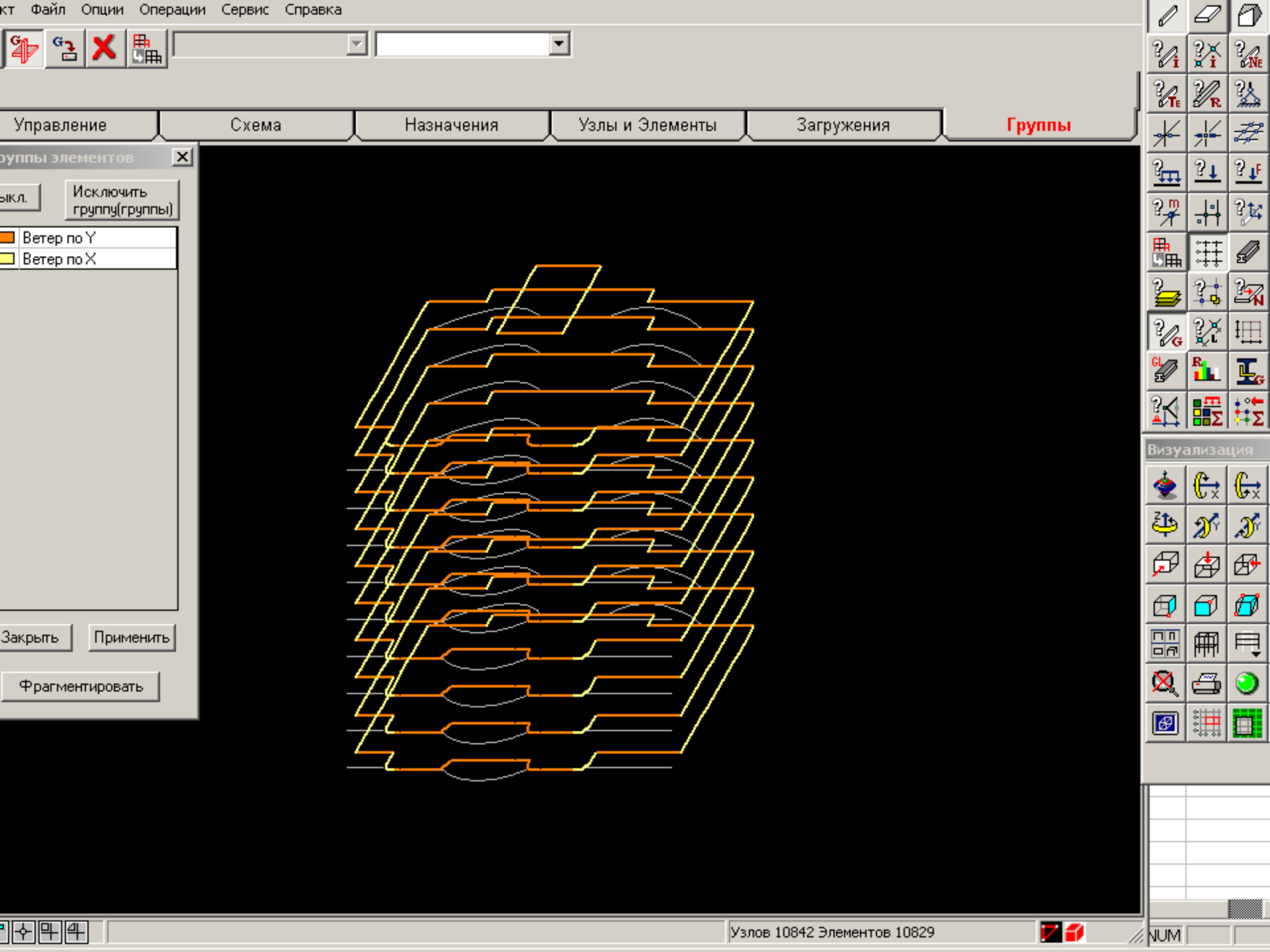
Толщина $b_{ст}$ м	**Приведенная плотность стен $\rho_{прив}$ т/м^3**		
	Нормативная	**γ_f**	**Расчетная**
0.51	1.94	1.1	2.14
0.64	1.87	1.1	2.06
0.38	1.99	1.1	2.19

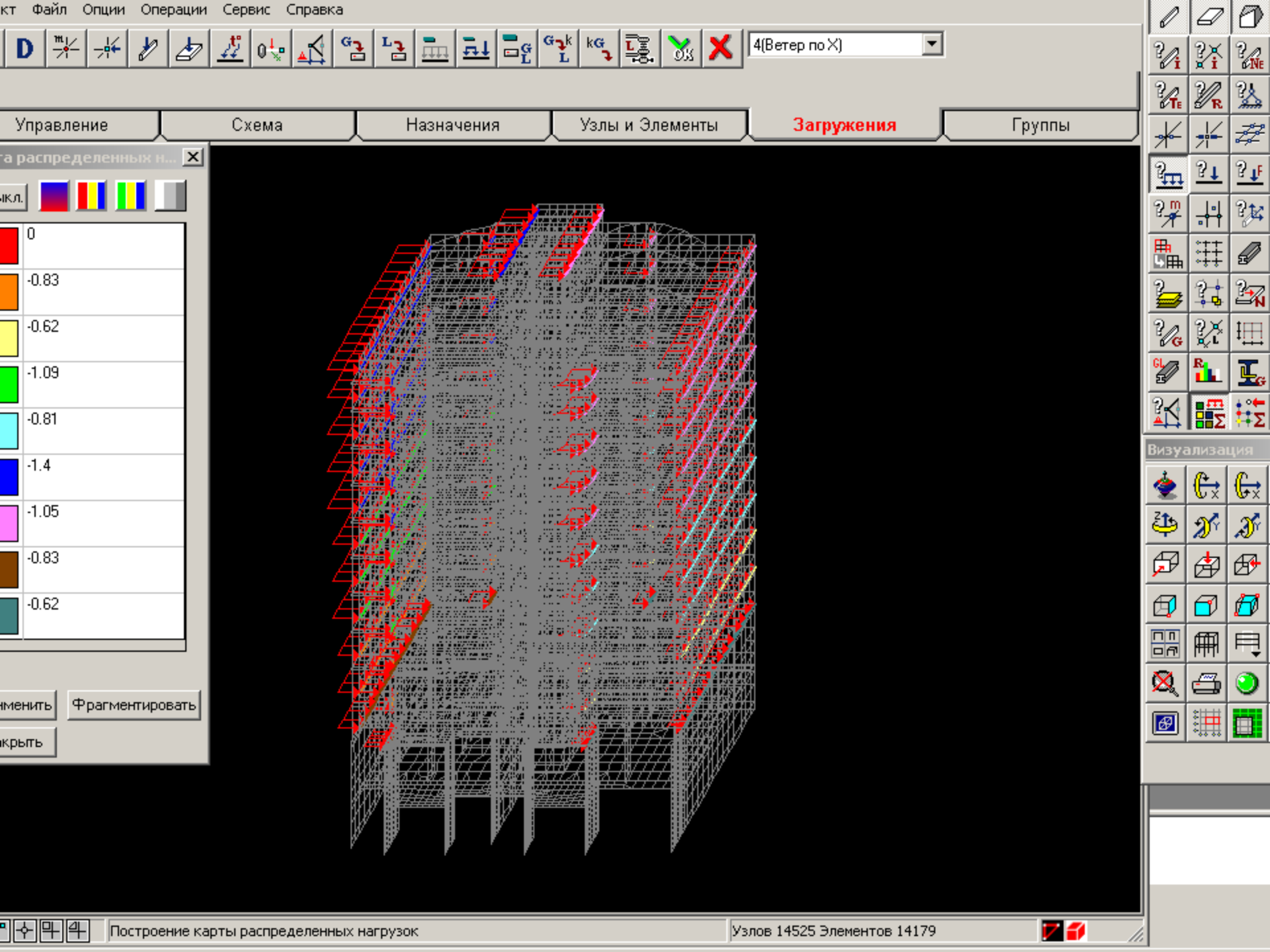
Для учета постоянных нагрузок с перекрытий аналогично рассчитывается приведенная плотность плит перекрытий.

Особенности задания ветровых нагрузок

Ветровую нагрузку удобнее всего приводить к распределенной на единицу длины и задавать в уровне перекрытий.

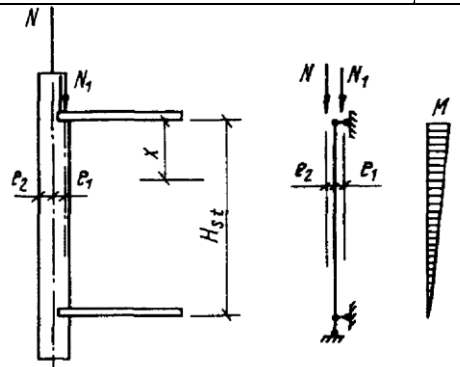
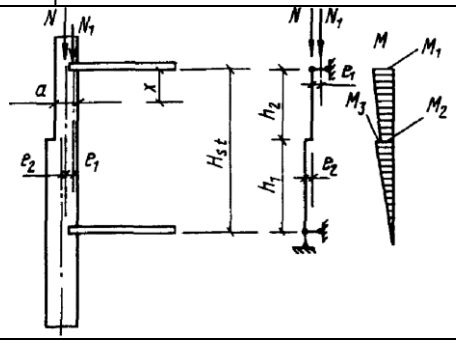
Высота (м)	Отметка	Этаж	Высота этажа	Напор кН/м	Отсос кН/м
2,89	4,2	1	4,2	0,88	0,66
5,78	7,2	2	3	0,66	0,49
8,67	10	3	2,8	0,71	0,53
11,56	12,8	4	2,8	0,81	0,60
14,45	15,6	5	2,8	0,88	0,66
17,34	18,4	6	2,8	0,95	0,71
20,23	21,2	7	2,8	1,01	0,76
23,12	24	8	2,8	1,06	0,80
26,01	26,8	9	2,8	1,11	0,83
28,9	29,6	10	2,8	1,16	0,87
31,79	32,4	11	2,8	1,21	0,90
34,68	35,2	12	2,8	1,25	0,94
37,57	38	13	2,8	1,29	0,97
40,46	40,8	14	2,8	1,33	1,00
43,35	43,6	15	2,8	1,37	1,02
46,24	46,4	16	2,8	1,40	1,05
49,13	49,2	Чердак	2,8	1,44	1,08
52	52	Маш помещ	2,8	1,47	1,10


кт Файл Опции Операции Сервис Справка
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
уппы элементов
ыкл.
Исключить группу(группы)
Ветер по Y
Ветер по X
Закрыть
Применить
Фрагментировать
Визуализация
Узлов 10842 Элементов 10829
NUM

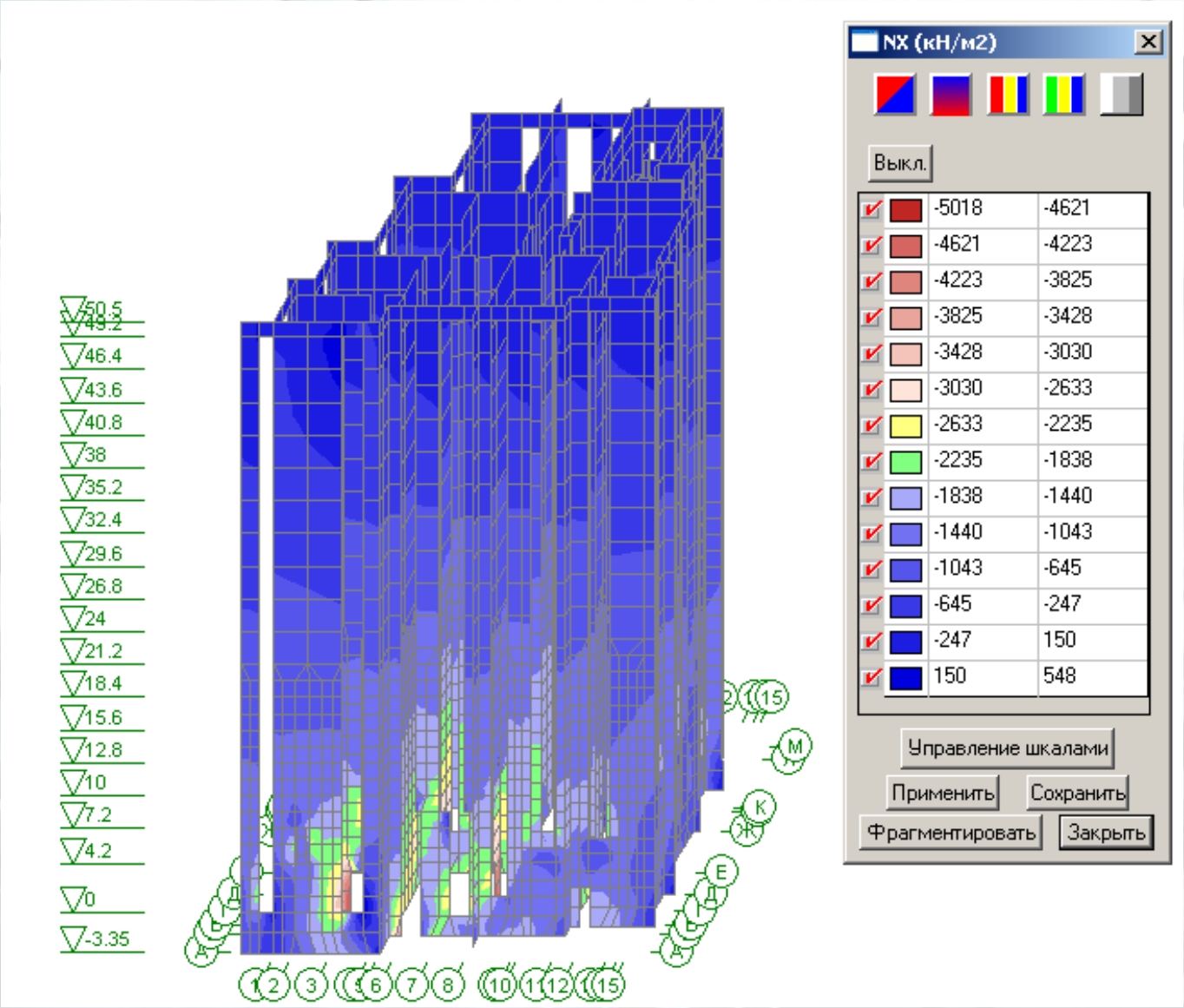

Файл Опции Операции Сервис Справка
4(Ветер по X)
Управление
Схема
Назначения
Узлы и Элементы
Загружения
Группы
0
-0.83
-0.62
-1.09
-0.81
-1.4
-1.05
-0.83
-0.62
Фрагментировать
Визуализация
Построение карты распределенных нагрузок
Узлов 14525 Элементов 14179

Особенности анализа напряженного состояния.

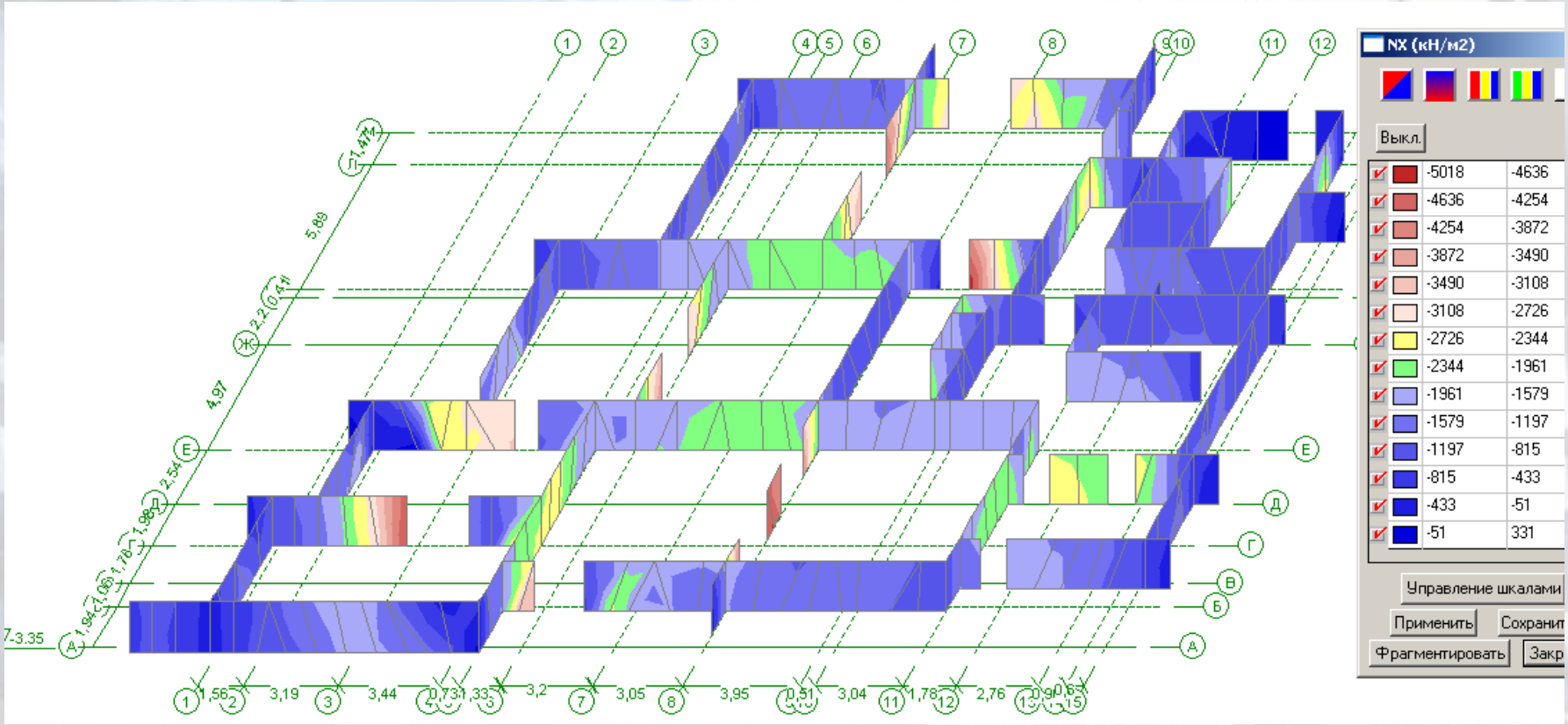
Методика расчета на внецентренное сжатие подробно представлена в табл. 12 пособия к СНиП II-22-81*

Конструкция стены, расчетные схемы и эпюры моментов	Формулы
	$N_x=N+N_1+N_2$; $M_x = N_1 e_1 \left(1-\frac{x}{H_{st}}\right)$; $e_1 = a_1 - \frac{t}{3} \le 7$ см
	$N_x=N+N_1+N_2$; $M_x = (N_1 e_1 - N_2 e_2)\left(1-\frac{x}{H_s}\right)$;
	$N_x=N+N_1+N_2$; $M_1=N_1 e_1$; $M_2 = \frac{N_1}{H_{st}}(e_1 h_1 - e_2 h_2) - \frac{N e_2 h_2}{H_{st}}$; $M_3 = \frac{N_1 h_1}{H_{st}}(e_1 + e_2) + \frac{N e_2 h_2}{H_{st}}$

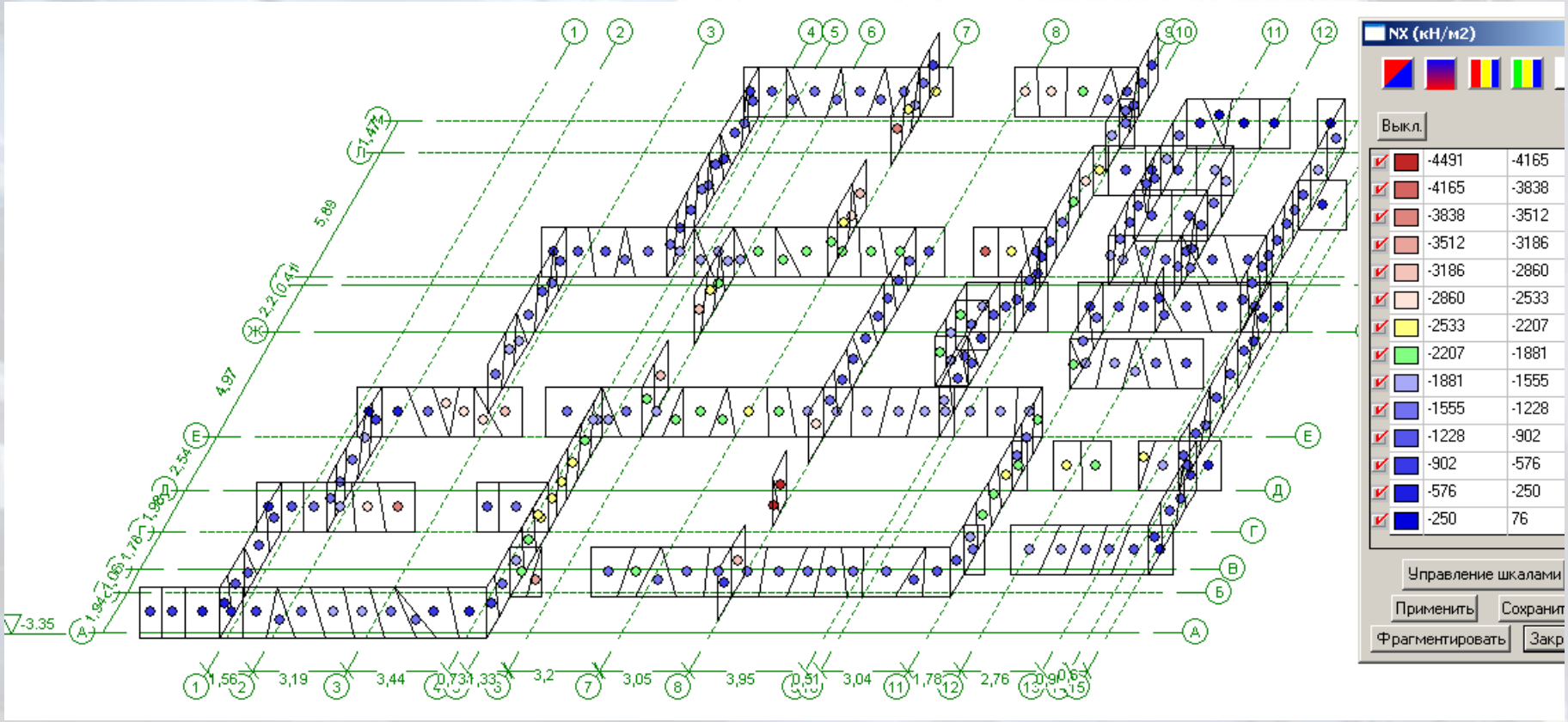
Возможности Scad позволяют выполнить качественную оценку напряженного состояния несущих стен.



Возможности Scad позволяют выполнить качественную оценку напряженного состояния несущих стен.



Возможности Scad позволяют выполнить качественную оценку напряженного состояния несущих стен.



Для дальнейшего использования мембранных напряжений, получаемых из Scad необходимо выполнить простейшие преобразования условия (13) СНиП II-23-81*, регламентирующего проверку прочности внецентренно-сжатых неармированных элементов.

Рассмотрим условие прочности внецентренно-сжатых элементов, представленного отношением (13) СНиП II-22-81*

$$N \le m_g \varphi_1 R A_c \omega,$$

где для прямоугольного сечения согласно формуле (14) СНиП II-22-81*,

$$A_c = A\left(1 - \frac{2e_0}{h}\right).$$

Поскольку для подавляющего большинства зданий h_{min}=38>30 см, то в соответствии с п. 4.7 СНиП II-22-81* $m_g=1$, тогда с учетом выше изложенного условие прочности(13) переписываем в развернутом виде

$N \le \varphi_1 \omega A\left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)R$, делим обе части на А

$\frac{N}{A} \le \varphi_1 \omega\left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)R$, после преобразования получаем

$\frac{N}{A}\frac{1}{\varphi_1 \omega\left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)} \le R$, в полученной формуле компонента $\frac{N}{A}$ представляет мембранную составляющую напряжений N_x получаемую из расчетной модели, таким образом можем записать

$$\frac{N}{A} = N_x.$$

Вводим понятие коэффициента учета эксцентриситета и принимая значение этого коэффициента

$k_e = \frac{1}{\varphi_1 \omega\left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)}$ записываем условие прочности внецентренно сжатых элементов в нужной нам форме.

После преобразований получаем условие прочности для внецентренно-сжатых неармированных элементов в новом виде

$$N_x k_e \leq R$$

$$k_e = \frac{1}{\varphi_1 \omega \left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)}$$

Проблема определения коэффициента k_e

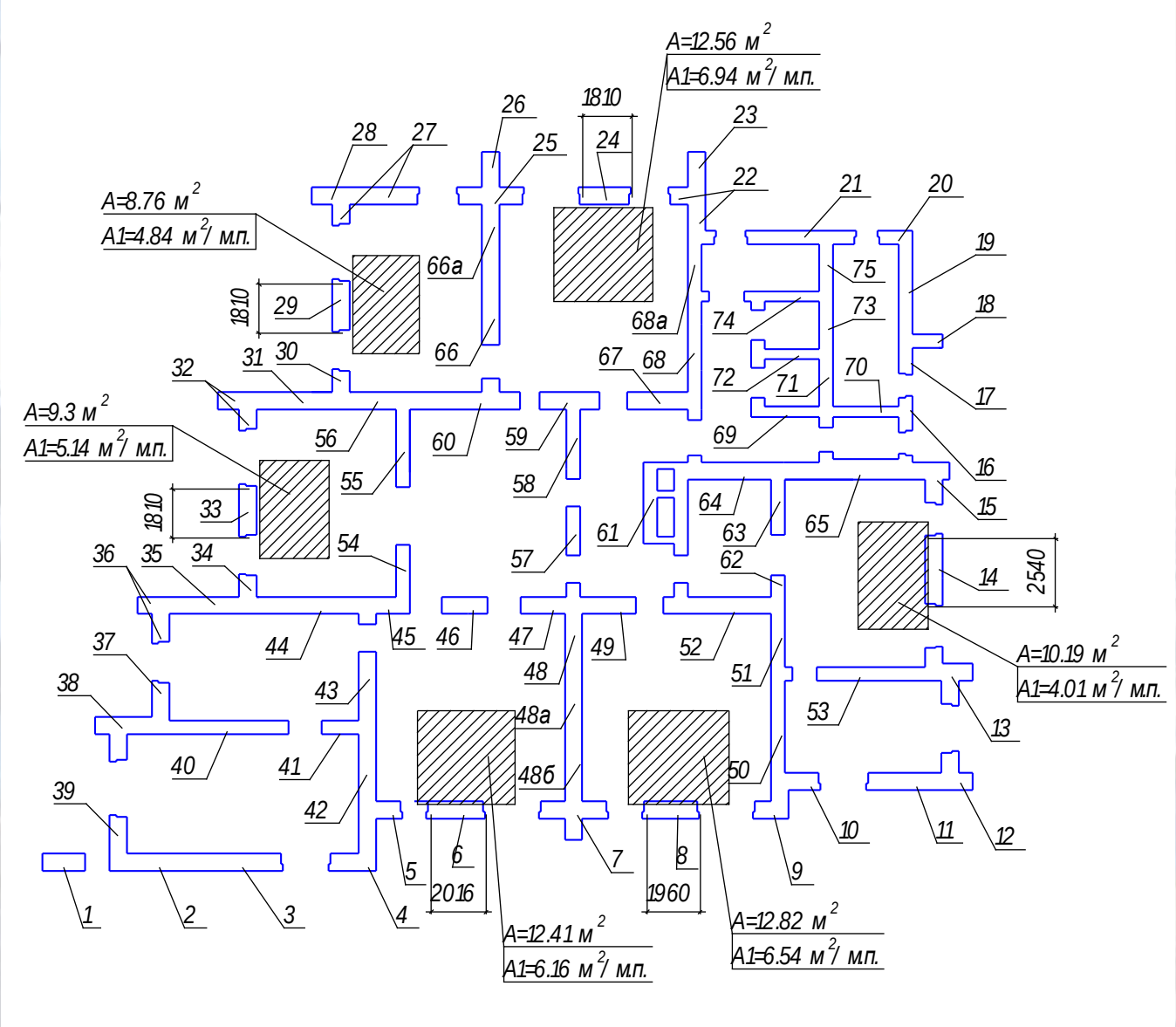
Поскольку N_x получаем из Scad, то остается проблема определения коэффициента k_e, которая успешно и быстро может быть решена только путем разработки специализированного программного обеспечения. Следует отметить, что на этапе проектировочного расчета, с целью назначения толщины стены можно принять следующие значения коэффициент учета эксцентриситета:

$k_e = 1.1$ для стен толщиной 640 мм и более;

$k_e = 1.2$ для стен толщиной от 510 мм до 640 мм;

$k_e = 1.35$ для стен толщиной от 380 мм до 510 мм.

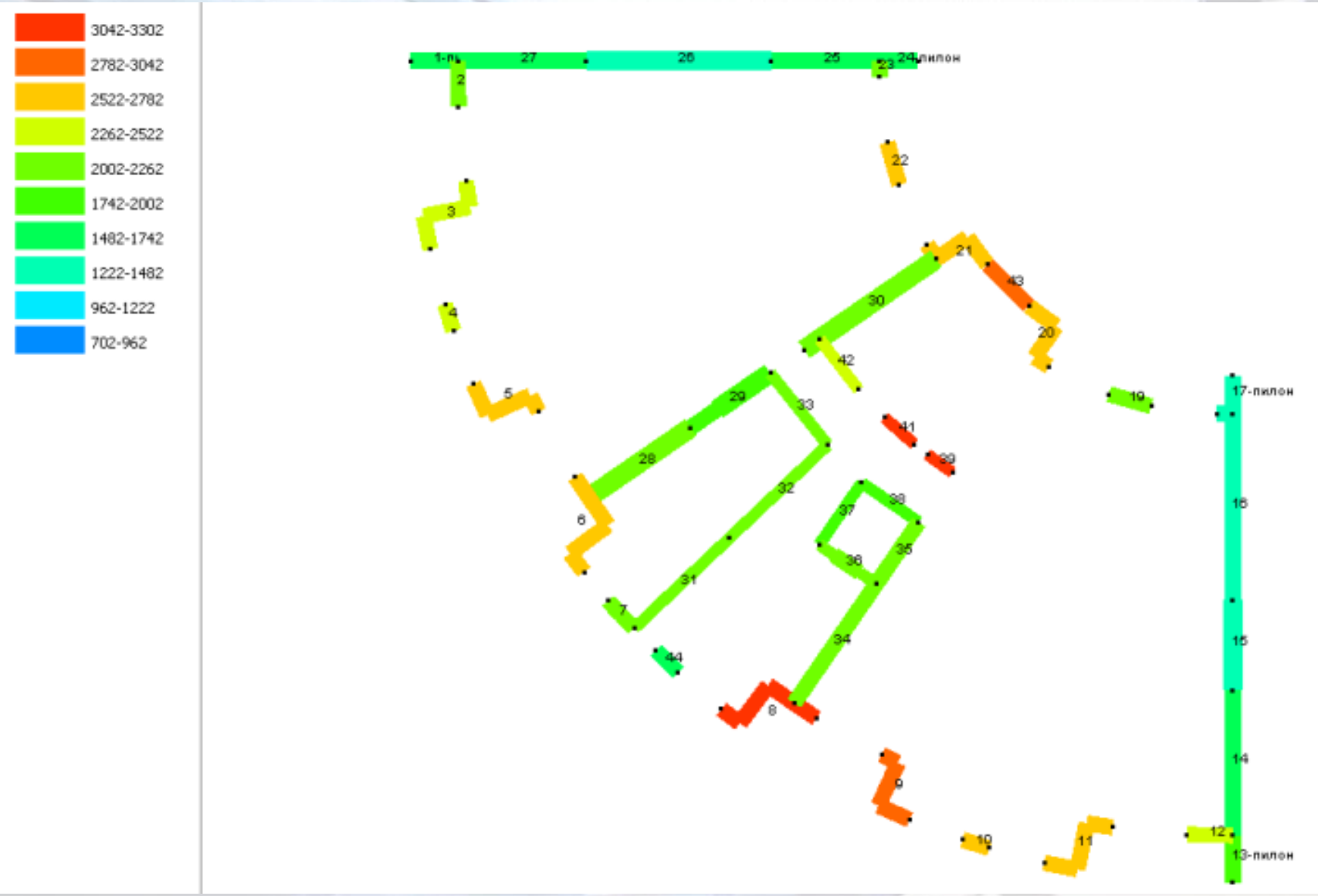
Для дальнейшей работы несущие стены здания разбиваются на вертикальные участки, каждому из которых присваивается название.



Для анализа формируется таблица, в которой для каждого участка определяются поэтажные напряжения с учетом экцентреситетов. Из Scad выбираются максимальные сжимающие напряжения из всех элементов принадлежащих рассмативаемому участку в пределах этажа.

Участок стены	Подв	1 эт	2 эт	3 эт	4 эт	5 эт
Макс.	5489 /	4373 /	3977 /	2672 /	2099 /	1945 /
1	3991 / 600	2453 / 640	1866 / 640	1741 / 640	1624 / 640	1529 / 640
2	2567 / 600	3359 / 640	2464 / 640	1816 / 640	1519 / 640	1379 / 640
3	1877 / 600	1801 / 640	2395 / 640	1857 / 640	1678 / 640	1534 / 640
4	3660 / 600	4037 / 640	2578 / 640	2177 / 640	1854 / 640	1596 / 640
5	3556 / 600	2179 / 640	2011 / 640	1900 / 640	1747 / 640	1506 / 640
6	2655 / 600	2291 / 640	2231 / 640	2489 / 640	1933 / 640	1754 / 640
7	4798 / 600	4149 / 640	3009 / 640	2413 / 640	2050 / 640	1761 / 640
8	1944 / 600	2086 / 640	2823 / 640	2254 / 640	2037 / 640	1932 / 640
9	3272 / 600	2212 / 640	2742 / 640	2322 / 640	1983 / 640	1733 / 640
10	3089 / 600	2570 / 640	3977 / 640	2342 / 640	1972 / 640	1702 / 640
11	3314 / 600	2202 / 640	1609 / 640	1524 / 640	1395 / 640	1286 / 640
12	4215 / 600	2290 / 640	1852 / 640	1657 / 640	1475 / 640	1324 / 640
13	2423 / 600	2014 / 640	1985 / 640	2672 / 640	1909 / 640	1638 / 640
14	1989 / 600	2554 / 640	1966 / 640	1786 / 640	1709 / 640	1597 / 640

Графическая визуализация представленной таблицы реализована в специализированном ПО, которое взаимодействует с моделью Scad через API, и будет ориентировано на расчет кирпичных зданий.



Определение поперечной силы для расчета отдельных участков стен.

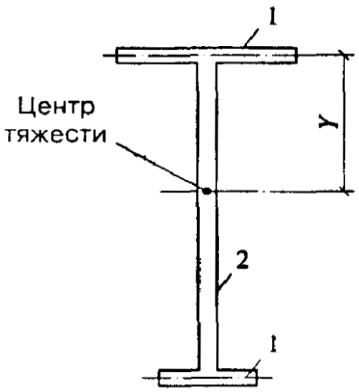
Поперечные силы на отдельных участках стен используются для следующих расчетов

1. При учете совместной работы поперечных и продольных стен при действии горизонтальной нагрузки должно быть обеспечено восприятие сдвигающих усилий в местах их взаимного примыкания, определяемых по формуле (38) СНиП II-22-81*

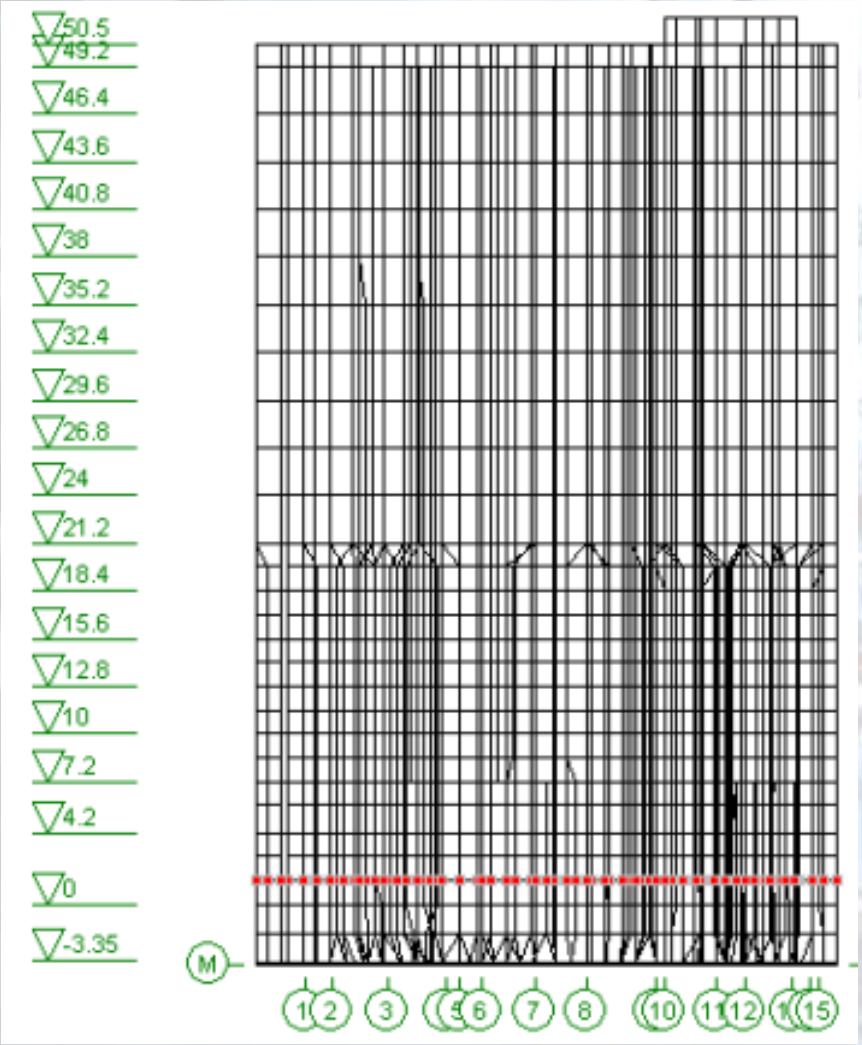
$$T = \frac{QAyH}{I} \leq hHR_{sq}.$$

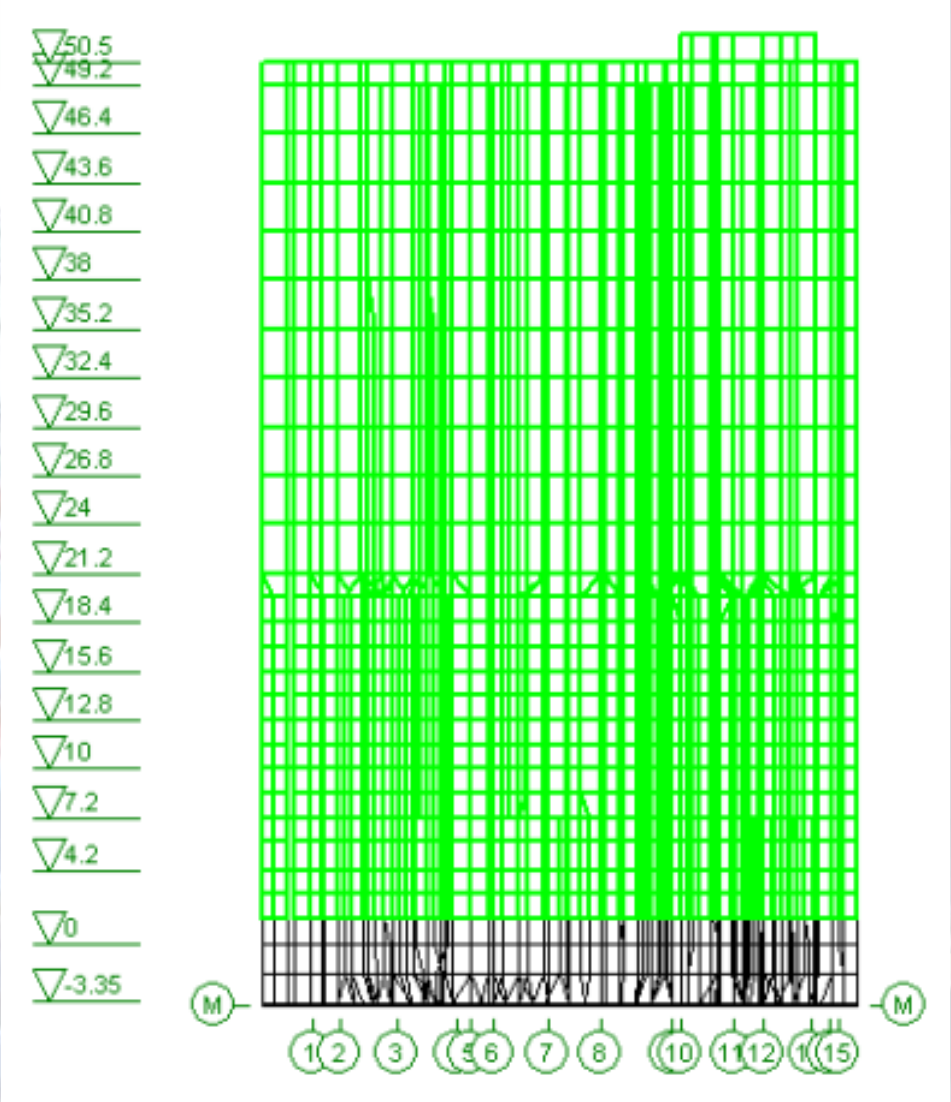
2. Поперечные стены рассчитываются на главные растягивающие напряжения по формуле (39) СНиП II-22-81*

$$Q \leq \frac{R_{tq}hl}{v}$$

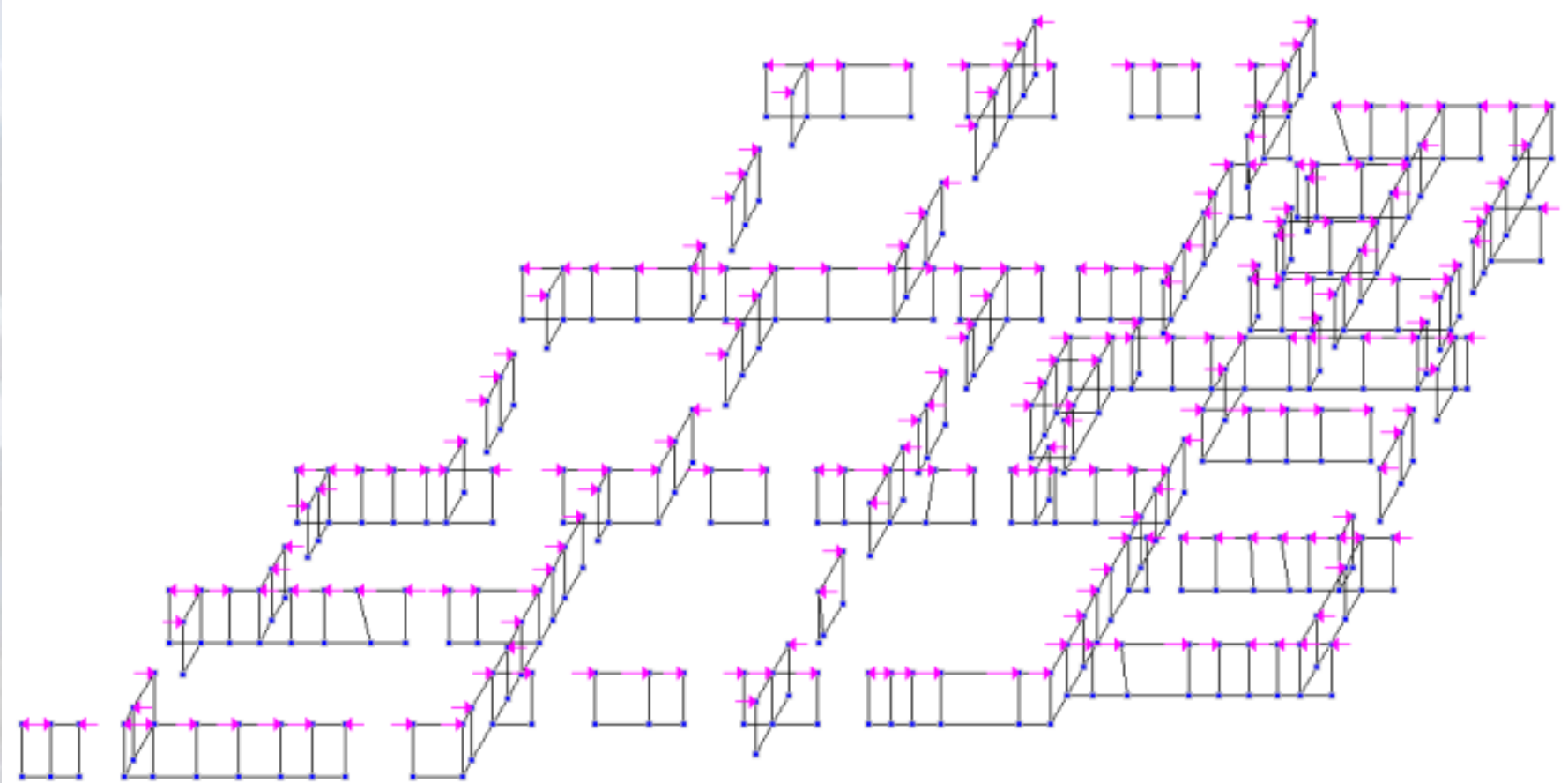


Подготовка групп узлов и элементов для расчета нагрузок от фрагмента схемы в нужном сечении.

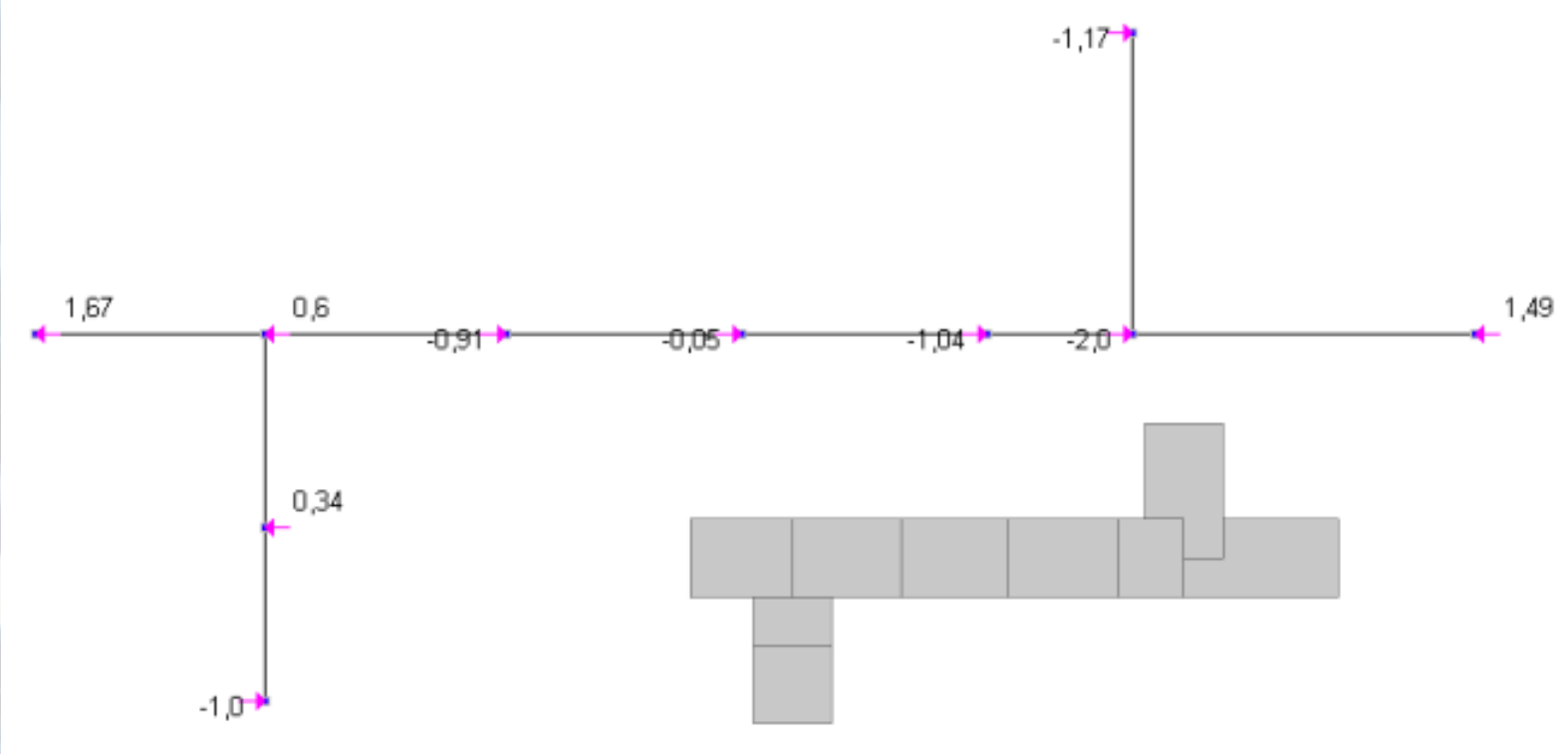




Возможность расчета нагрузок от фрагмента схемы позволяет определить узловые нагрузки в рассматриваемом сечении от расположенной выше части здания для любого загружения или комбинации.



Простое суммирование значений нагрузок в узлах позволяет определить поперечную силу для каждого участка стены например от ветровой нагрузки по оси Х.



Q=1.67+0.6+0.34-1-0.91-0.05-1.04-2-1.17+1.49=-2,07 кН

Расчет смежных участков стен по раскрытию трещин.

В соответствии с п. 7.19 пособия к СНиП II-22-81* при расчете условно принимается, что обе стены (или смежные участки одной и той же стены) не связаны друг с другом, и определяется свободная деформация каждой из двух стен отдельно при действии расчетных длительных нагрузок. Разность свободных деформаций этих стен должна удовлетворять условию

$$\delta_1 - \delta_2 \leq \delta_u$$

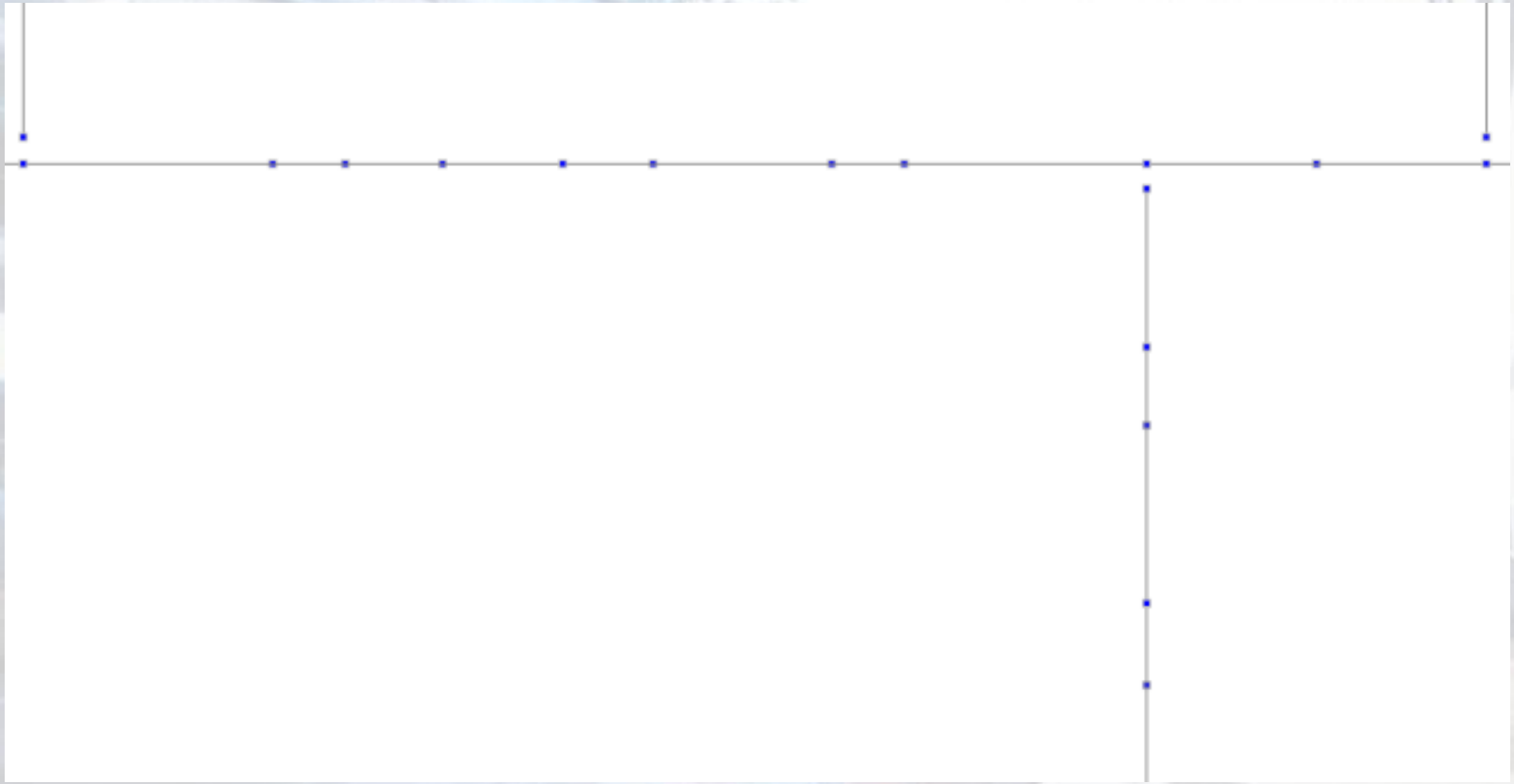
$$\delta_1 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{1i} h_i}{E_{1i}} + \delta_{sh1};$$

$$\delta_2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{2i} h_i}{E_{2i}} + \delta_{sh2};$$

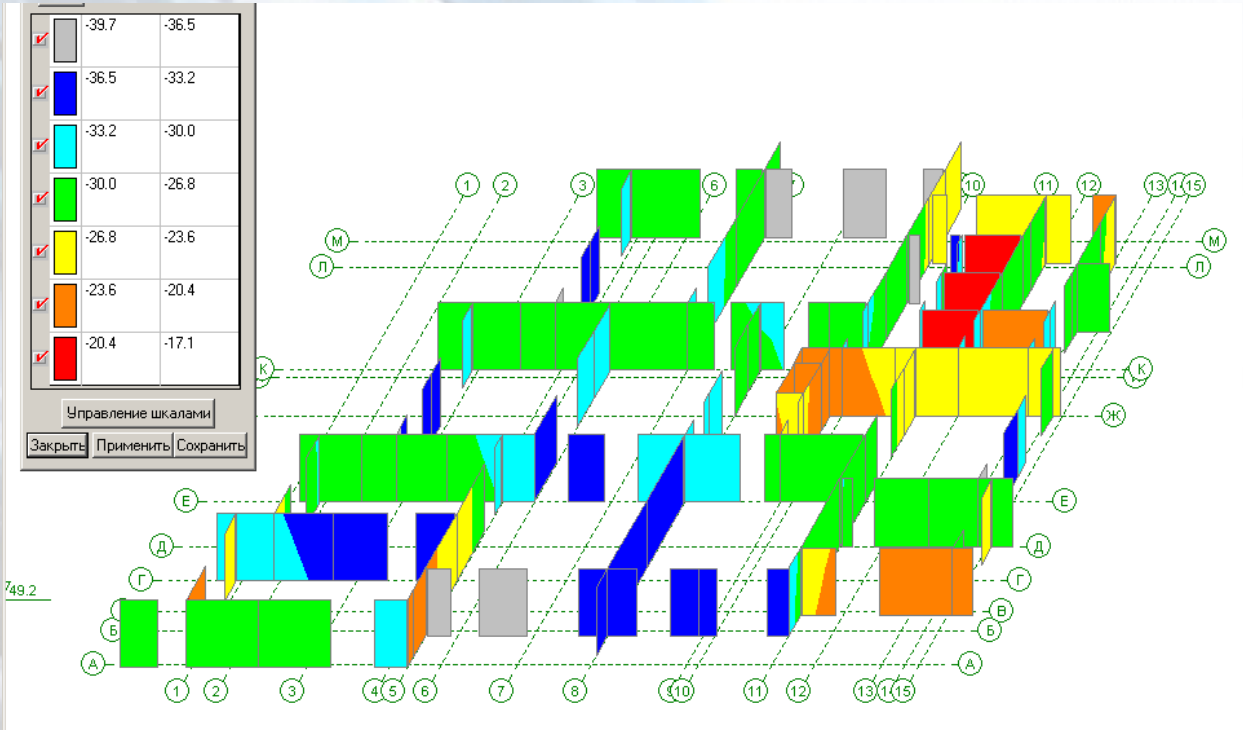
δ_{sh1} и δ_{sh2} - абсолютные деформации усадки первой и второй стены

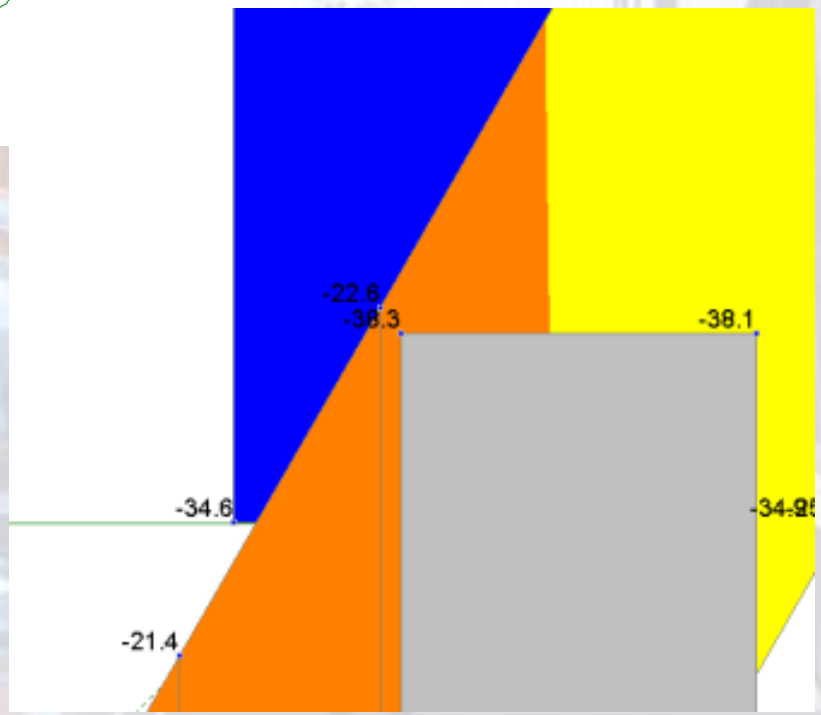
Расчет смежных участков стен по раскрытию трещин.

В пределах этажа все стены выполнены из одного кирпича, следовательно деформации усадки для всех смежных стен будут одинаковыми, а значит ими можно пренебречь. Без учета усадки формула 92 пособия представляет собой загон Гука, значит для расчетов можно использовать метод конечных элементов и соответственно систему Scad, приводя расчетную модель в соответствие с требованием п. 7.19 пособия.



Расчет смежных участков стен по раскрытию трещин.





Выводы!

Выводы:

1. Scad НУЖНО использовать для расчета пространственных моделей кирпичных зданий.
2. Реализованные в «SCAD» возможности позволяют провести предварительную оценку напряженного состояния здания, выполнить проектировочный расчет и назначить толщину стен.
3. Для эффективного использования результатов расчета требуется применение специализированного ПО интегрированного с системой через API.

В настоящее время нами совместно Оренбургской проектно-строительной компанией ООО «Техстромпроект» начата разработка программы «Стена» которая на основе результатов расчета мембранных напряжений в системе Scad будет пересчитывать эти напряжения с учетом коэффициентов k_e, формировать табличные и графические отчеты, рассчитывать армирование стен с выводом заготовок планов этажей в графические сисемы, а также выполнять расчет перемычек.

SCAD D:\Стена 1.0\PlanFloor.exe

Спасибо за внимание!