

2. Специальные расчеты

2.1. Распечатка протокола

Протокол расчета по основной модели имеет вид:

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА от 14/04/2009

Version: 9.2, Processor date: 13/04/2005
 Computer: GenuineIntel 3.2GHz, RAM: 1046448 KB
 System: Microsoft Windows XP (Workstation), Version 5.1

```

09:55 65_ Фиксированная память - 256 МБ, виртуальная память - 748 МБ.
09:55 173_ Исходные данные.
        файл D:\Модели ЛИРЫ\LDATA\вор-051-A.TXT
09:55 168_ Ввод исходных данных основной схемы.
09:55 10_ Формирование форматов данных.
09:55 466_ Контроль исходных данных _1. Суперэлемент типа 2000.
09:55 12_ Контроль исходных данных _2. Суперэлемент типа 2000.
09:55 1_ Данные записаны в файл расчета
        D:\Модели ЛИРЫ\LWORK\вор-051-A#00.вор-051-a
09:55 173_ Исходные данные.
        файл D:\Модели ЛИРЫ\LDATA\VOR-SE.TXT
09:55 500_ Ввод и контроль исходных данных суперэлемента типа 2001
09:55 10_ Формирование форматов данных.
09:55 466_ Контроль исходных данных _1. Суперэлемент типа 2001.
09:55 12_ Контроль исходных данных _2. Суперэлемент типа 2001.
09:55 98_ Из системы уравнений исключено 2388 неизвестных.
        X-0. Y-0. Z-0. UX-0. UY-0. UZ-2388.
09:55 1_ Данные записаны в файл расчета
        D:\Модели ЛИРЫ\LWORK\вор-051-A#00.вор-051-a
09:55 574_ Контроль суперэлементов основной схемы
09:56 98_ Из системы уравнений исключено 26407 неизвестных.
        X-0. Y-0. Z-0. UX-6993. UY-7170. UZ-12244.
09:56 523_ Упорядочение матрицы жесткости основной схемы.
        Построение графа матрицы.
09:56 562_ Перенумерация в схеме
09:56 101_ Оптимизация времени расчета суперэлемента 2000.
09:57 577_ Упорядочение матрицы жесткости схемы. Суперэлемент 1.
        Построение графа матрицы.
09:57 562_ Перенумерация в схеме
09:57 101_ Оптимизация времени расчета суперэлемента 2001.
09:57 520_ Информация о расчетной схеме суперэлемента типа 2000.
        - порядок системы уравнений 207991
        - ширина ленты 181051
        - количество элементов 36971
        - количество узлов 34687
        - количество загрузений 9
        - плотность матрицы 1%
        - количество суперузлов 0
        - размер виртуальной памяти 41216 Kb
        - дисковая память : 349.664 M
09:57 520_ Информация о расчетной схеме суперэлемента типа 2001.
        - порядок системы уравнений 21510
        - ширина ленты 20400
        - количество элементов 4530
        - количество узлов 3585
        - количество загрузений 9
        - плотность матрицы 2%
        - количество суперузлов 204
        - размер виртуальной памяти 7214 Kb
  
```

- дисковая память : 22.675 М

09:57 532_ Количество суперэлементов 16
Количество типов суперэлементов 1

09:57 539_ Суммарное количество узлов 92047
Суммарное количество элементов 109435

09:57 522_ Ресурсы необходимые для выполнения расчета

1. Размер виртуальной памяти 15 - 16 М
2. Дисковая память : 667.590 М
 - форматы данных 39.000 М
 - матрица жесткости основной схемы 349.664 М
 - матрицы жесткости суперэлементов 24.152 М
 - динамика (f04) 33.324 М
 - перемещения (f07) 67.401 М
 - усилия (f08) 61.619 М
 - реакции (f09) 0.000 М
 - расчетные сочетания (f10) 92.429 М
3. Ориентировочное время расчета 6.17 мин.
 - Гаусс 2.69 мин.
 - динамика 3.01 мин.
 - расчетные сочетания 0.09 мин.

09:57 65_ Фиксированная память - 368 МБ, виртуальная память - 748 МБ.

09:57 576_ Формирование матрицы жесткости суперэлемента 1.

09:57 579_ Разложение матрицы жесткости суперэлемента 1.
Ориентировочное время работы 1 мин.

09:57 529_ Вычисление нагрузок в суперузлах суперэлемента = 2001.

09:57 37_ Суммарные узловые нагрузки на основную схему

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1	0	0	717.16	1.5889	-1.6265	0.1917
2	0	0	109.12	-0.0512	-1.5682	0.1792
3	0	0	67.687	3.3952	0.6684	0.0852
4	0	0	166.91	-0.0785	-2.3236	0.2637
5	0	0	16.920	0.6630	0.4050	-0.0247
6	-6.6470	0	0	0.0004	0.0104	-0.0021
7	0	-6.7840	0	-0.0006	-0.0006	-0.0044
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0

09:57 575_ Формирование матрицы жесткости основной схемы.

09:57 578_ Разложение матрицы жесткости основной схемы.
Ориентировочное время работы 3 мин.

10:00 569_ Накопление масс

10:00 536_ Распределение масс для загрузки 8
Количество активных масс 103930

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
	2601.18	2603.25	2613.77	0	0	0

10:00 536_ Распределение масс для загрузки 9
Количество активных масс 103930

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
	2601.18	2603.25	2613.77	0	0	0

10:00 20_ Определение форм колебаний. Загрузка 8.

10:00 3_ Итерация 1. Ошибка 9.27E+001% точность 1.0E-004%.
Количество форм 3. Получено форм 0.
Достигнутая частота 0.00 Гц.

10:01 3_ Итерация 2. Ошибка 5.72E+001% точность 1.0E-004%.
Количество форм 3. Получено форм 0.
Достигнутая частота 0.00 Гц.

10:01 3_ Итерация 3. Ошибка 1.06E+000% точность 1.0E-004%.
Количество форм 3. Получено форм 1.
Достигнутая частота 0.39 Гц.

10:01 3_ Итерация 4. Ошибка 1.62E-002% точность 1.0E-004%.
Количество форм 3. Получено форм 2.
Достигнутая частота 0.45 Гц.

10:01 3_ Итерация 5. Ошибка 3.26E-004% точность 1.0E-004%.
Количество форм 3. Получено форм 2.
Достигнутая частота 0.45 Гц.

```

10:01 3_ Итерация 6. Ошибка 8.06E-006% точность 1.0E-004%.
        Количество форм 3. Получено форм 3.
        Достигнутая частота 0.60 Гц.
10:01 158_ Количество выполненных итераций 6
10:01 20_ Определение форм колебаний. Загрузка 9.
10:01 567_ Вычисление динамических сил. Загрузка 8
10:01 186_ Максимальное ускорение по оси X форма 1: 0.128
10:01 186_ Максимальное ускорение по оси X форма 2: 0.113
10:01 186_ Максимальное ускорение по оси X форма 3: 0.017
10:01 187_ Максимальное ускорение по оси Y форма 3: 0.002
10:01 567_ Вычисление динамических сил. Загрузка 9
10:01 187_ Максимальное ускорение по оси Y форма 1: 0.126
10:01 187_ Максимальное ускорение по оси Y форма 2: 0.156
10:01 186_ Максимальное ускорение по оси X форма 3: 0.001
10:01 187_ Максимальное ускорение по оси Y форма 3: 0.015
10:01 502_ Накопление нагрузок основной схемы.
10:02 37_ Суммарные узловые нагрузки на основную схему
        X      Y      Z      UX      UY      UZ
1-    7.596-7  0.0    2.040+4  2.543+1  -2.601+1  3.058
2-   -2.291+2  3.106+1  2.799+3  -8.193-1  -2.611+1  2.867
3-    0.0      0.0    1.155+3  5.432+1  1.069+1  1.364
4-    0.0      0.0    3.484+3  -1.249   -3.717+1  4.208
5-    0.0      0.0    5.555+2  1.061+1  6.480    -3.965-1
6-   -1.594+2  0.0     0.0     1.056-2  2.334-1  -4.844-2
7-    0.0     -1.625+2  0.0    -1.392-2  -1.347-2  -1.002-1
8-  1  1.028+2  4.729-2  0.0     0.0     0.0     0.0
8-  2  1.072+2  -3.504-1  0.0     0.0     0.0     0.0
8-  3  1.185    4.159-2  0.0     0.0     0.0     0.0
8-  4 -1.594+2  0.0     0.0     1.056-2  2.334-1  -4.844-2
9-  1  1.425-1  1.155+2  0.0     0.0     0.0     0.0
9-  2  4.477-2  -1.086+2  0.0     0.0     0.0     0.0
9-  3  8.375-2  3.120-1  0.0     0.0     0.0     0.0
9-  4  0.0     -1.625+2  0.0    -1.392-2  -1.347-2  -1.002-1
10:02 580_ Вычисление перемещений в основной схеме.
10:02 268_ Загрузка. Работа внешних сил
        1    2.994+2
        2    5.732
        3    1.278
        4    9.100
        5    4.508-1
        6    7.654-1
        7    1.053
        8-  1  4.384-1
        8-  2  4.631-1
        8-  3  1.469-3
        8-  4  7.654-1
        9-  1  7.481-1
        9-  2  6.511-1
        9-  3  1.099-3
        9-  4  1.053
10:02 542_ Вычисление перемещений в суперэлементах
10:02 586_ Вычисление усилий в основной схеме.
10:02 581_ Вычисление усилий в суперэлементах
10:02 604_ Выбор расчетных сочетаний усилий в основной схеме.
10:03 606_ Выбор расчетных сочетаний усилий в суперэлементах
10:04 39_ Контроль решения основной схемы.
10:05 7_ ЗАДАНИЕ ВЫПОЛНЕНО. Время расчета 9.82 мин.

```

Для специальных расчетов используется также «вспомогательная» модель «вор-051-А-безСЭ.lir», которая отличается от основной модели заменой суперэлементов фрагментами схемы и использованием 4 форм колебаний. Данная модель используется только для анализа динамики и устойчивости здания. Кроме

того, для расчета прогибов разработана нелинейная модель деформаций перекрытия типового этажа «вор-051-А-нел.lir», при построении которой использованы результаты армирования перекрытия по модели «вор-051-А.lir».

2.2. Анализ динамических свойств здания

Динамика здания при расчете на ветровые нагрузки должна удовлетворять двум требованиям: число собственных форм колебаний, учтенных в модели, должно отвечать требованию СНиП 2.01.07-85 (1996), п. 6.10, и крутильные колебания каркаса не должны быть основным тоном. Первое требование означает, что для рассматриваемого ветрового района задается пороговая частота f_l и учитываются только те обертоны колебаний, которые не превышают этой частоты. Второе требование следует из невозможности в существующих программных комплексах учесть мембранный сдвиг вследствие крутильных колебаний, поскольку такому сдвигу не противостоит арматура в оболочках ядра жесткости.

В модели учтены три собственных формы колебаний, которые показаны на рис. 2.1—2.6. Чтобы проверить допустимость учета в модели только трех собственных форм, необходимо вывести таблицу собственных частот колебаний при числе частот более трех. Результат расчета для 4 форм колебаний имеет вид:

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, ЧАСТОТЫ, ПЕРИОДЫ КОЛЕБАНИЙ, ЗАГРУЖЕНИЯ 8						
:N	: СОВСТВ.	: Ч А С Т О Т Ы		: ПЕРИОДЫ	: КОЭФФИЦИЕНТ	: МОДАЛЬНАЯ
: П/П:	ЗНАЧЕНИЯ	:-----:-----:		:-----:	: РАСПРЕДЕЛЕНИЯ:	МАССА
:	:	: РАД/С	: ГЦ	: С	:	: В %
1	0.403320	2.48	0.39	2.5329		
2	0.344894	2.90	0.46	2.1659		
3	0.260095	3.84	0.61	1.6334		
4	0.079566	12.57	2.00	0.4997		

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, ЧАСТОТЫ, ПЕРИОДЫ КОЛЕБАНИЙ, ЗАГРУЖЕНИЯ 9						
:N	: СОВСТВ.	: Ч А С Т О Т Ы		: ПЕРИОДЫ	: КОЭФФИЦИЕНТ	: МОДАЛЬНАЯ
: П/П:	ЗНАЧЕНИЯ	:-----:-----:		:-----:	: РАСПРЕДЕЛЕНИЯ:	МАССА
:	:	: РАД/С	: ГЦ	: С	:	: В %
1	0.403320	2.48	0.39	2.5329		
2	0.344894	2.90	0.46	2.1659		
3	0.260095	3.84	0.61	1.6334		
4	0.079566	12.57	2.00	0.4997		

Для III ветрового района строительства вышеуказанные СНиП устанавливают $f_l = 1,2$ Гц. Поскольку значение частоты четвертой формы колебаний превышает пороговую 1,2 Гц, достаточно учитывать при расчете три формы колебаний.

Из представленных иллюстраций видно, что первая форма колебаний изгибная в направлении Y, вторая форма колебаний изгибная в направлении X, **третья** форма колебаний крутильная. Таким образом, опасных крутильных колебаний при воздействии ветра не возникает.

Загружение 8
Форма колебаний в гл. с. 1

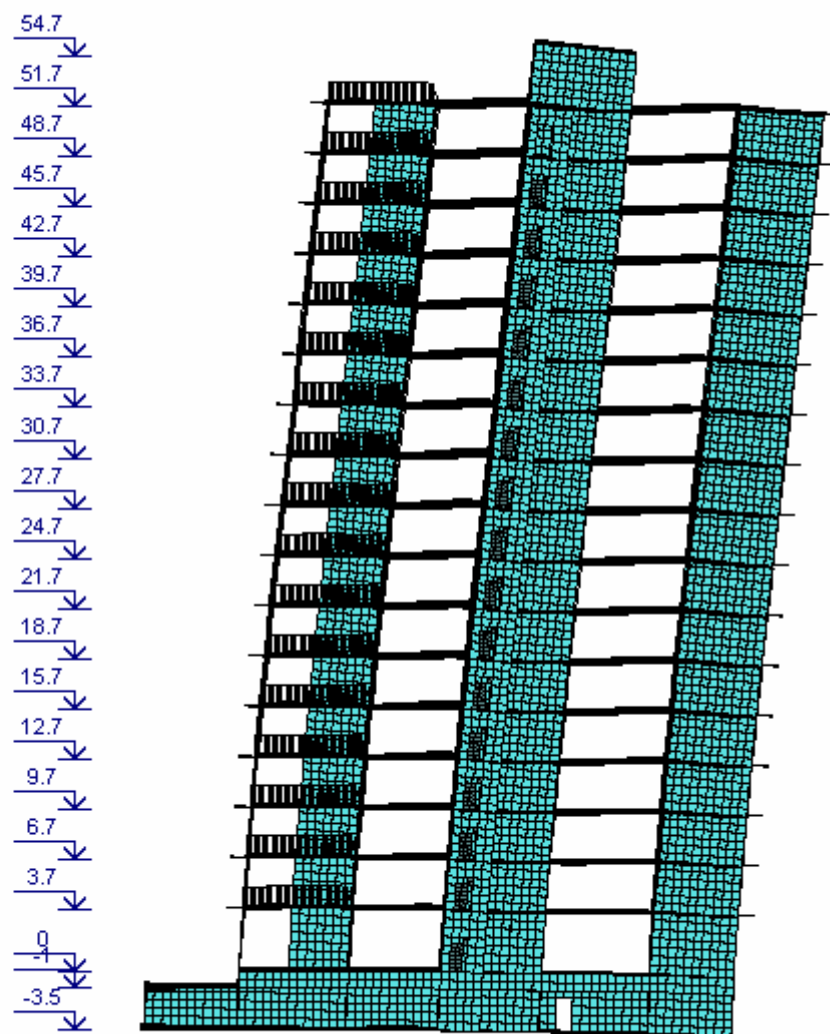


Рис. 2.1. Фасад 1–12. Первая форма колебаний

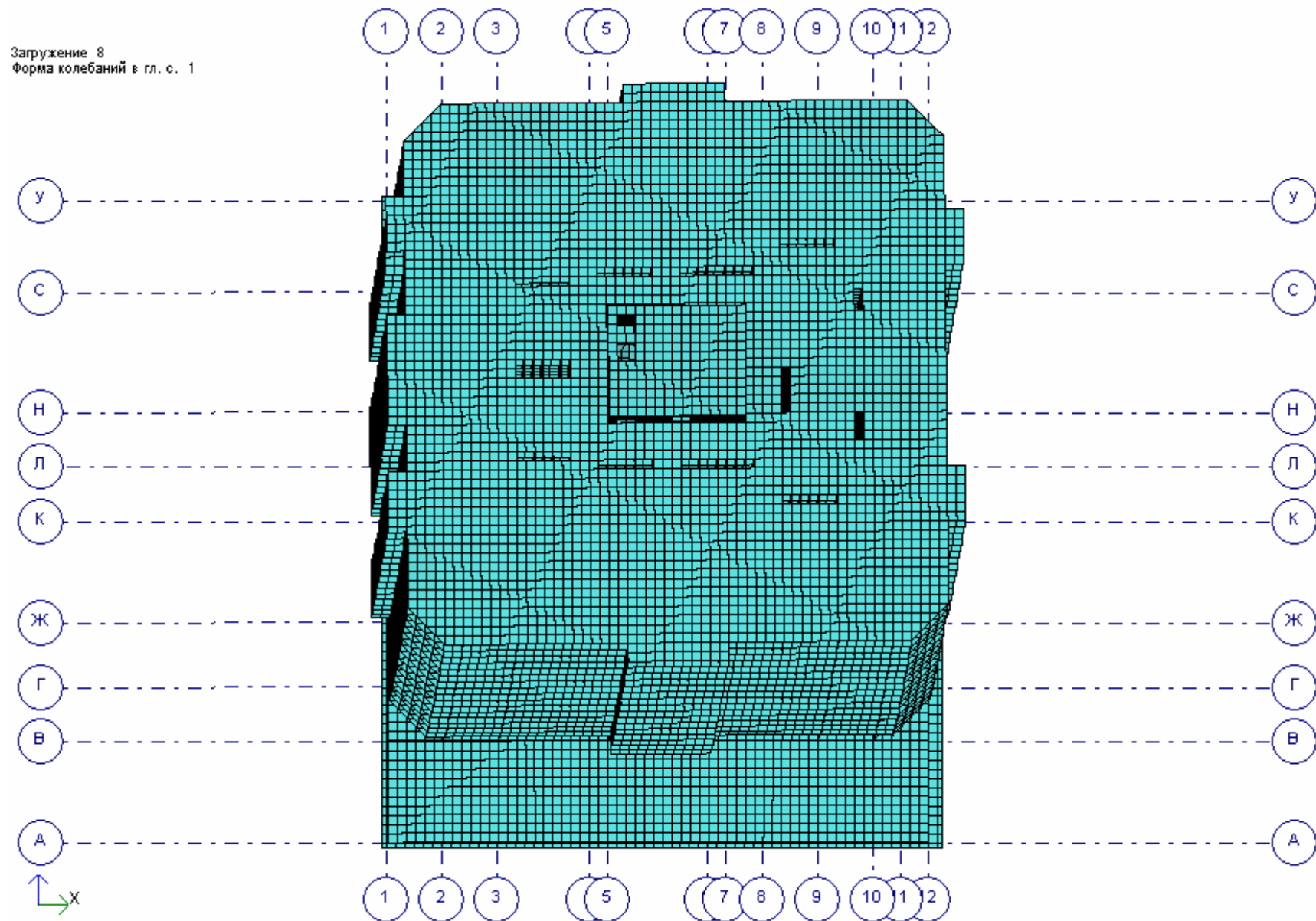


Рис. 2.2. Вид сверху. Первая форма колебаний

Загружение 8
Форма колебаний в гл. с. 2

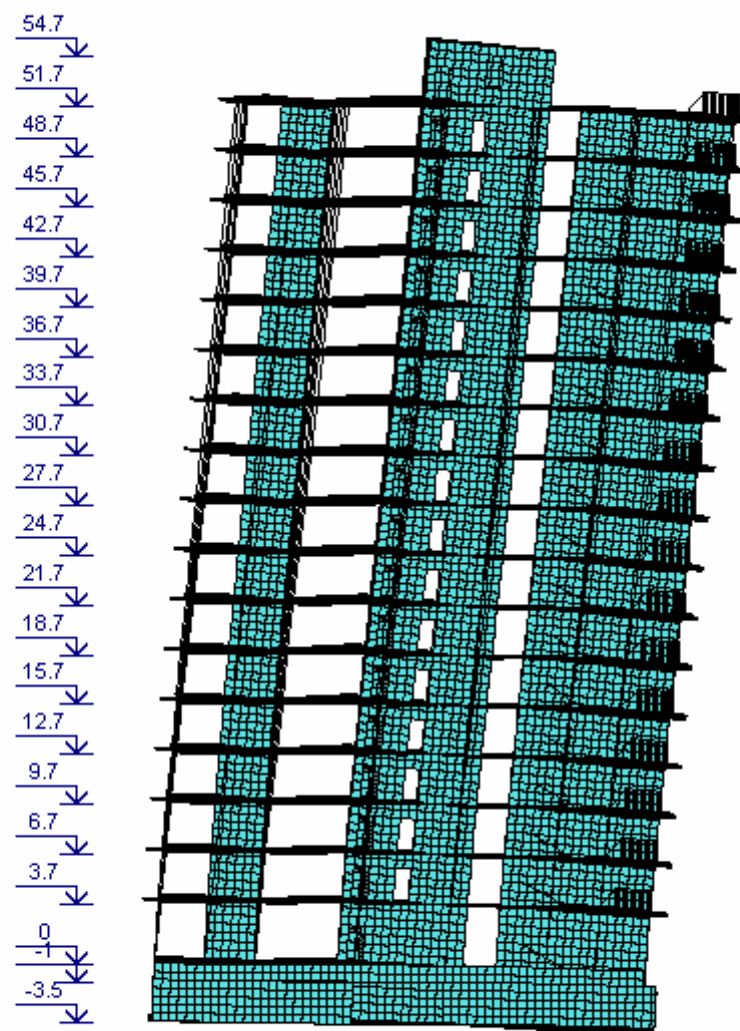


Рис. 2.3. Фасад 1–12. Вторая форма колебаний

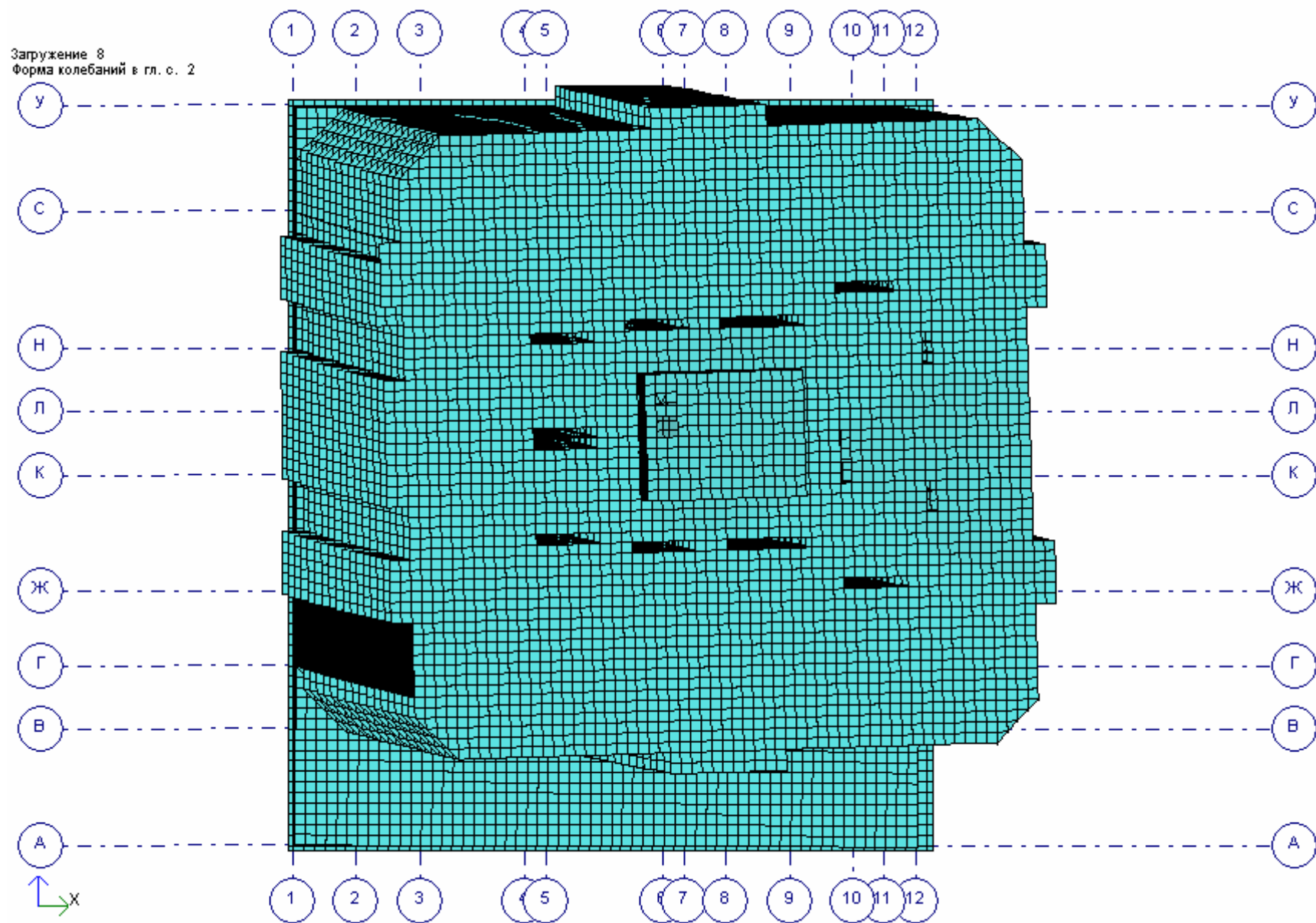


Рис. 2.4. Вид сверху. Вторая форма колебаний

Загружение 8
Форма колебаний в гл. с. 3

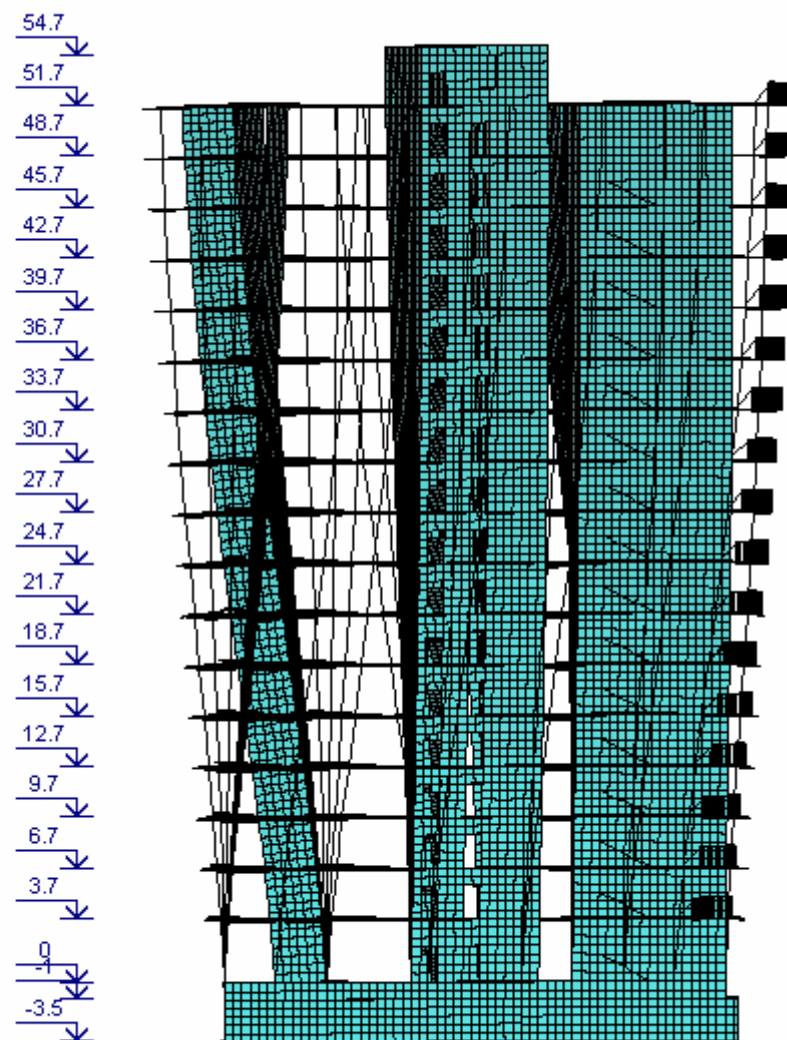


Рис. 2.5. Фасад 1–12. Третья форма колебаний

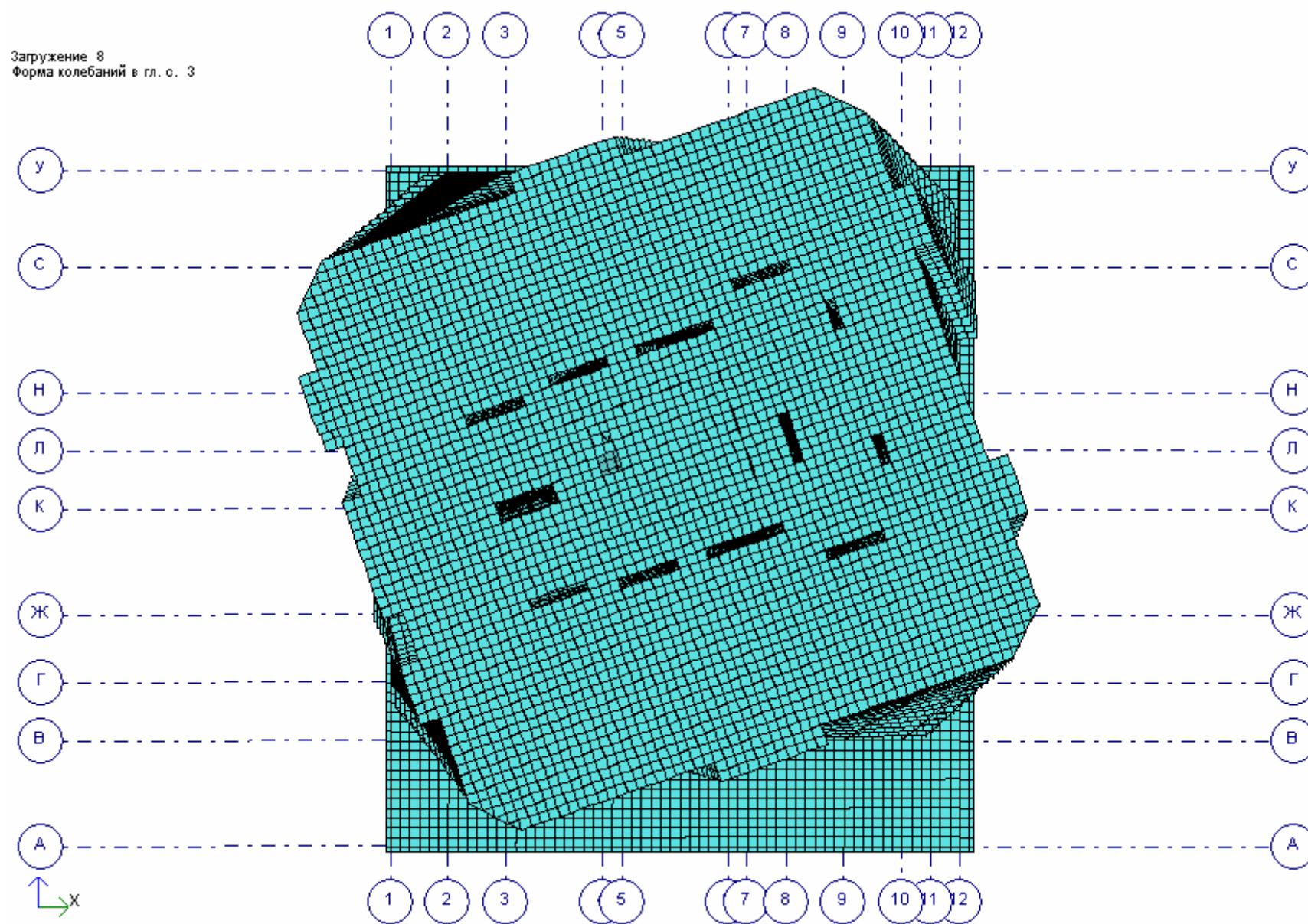


Рис. 2.6. Вид сверху. Третья форма колебаний

2.3. Расчет на устойчивость

Расчет здания на общую устойчивость проводился по РСН, содержащему все вертикальные загрузки (№1÷5) с коэффициентами 1. Результаты представлены таблицей коэффициентов запаса устойчивости для РСН и иллюстрациями первой формы потери устойчивости для РСН (рис. 2.7—2.8).

Стандартная таблица коэффициентов запаса для РСН имеет вид:

Fri Apr 10 13:07:40 2009 ВОР-051-А

Номер загрузки	Коэффициент запаса устойчивости	КОММЕНТАРИЙ
1	26.7819	

Можно видеть, что обеспечивается требование СП 52-103-2007, п. 6.2.8, о том, чтобы запас общей устойчивости сооружения был не ниже 2.

1
Форма потери устойчивости в гл. с. 1
Коэффициент 26.7819

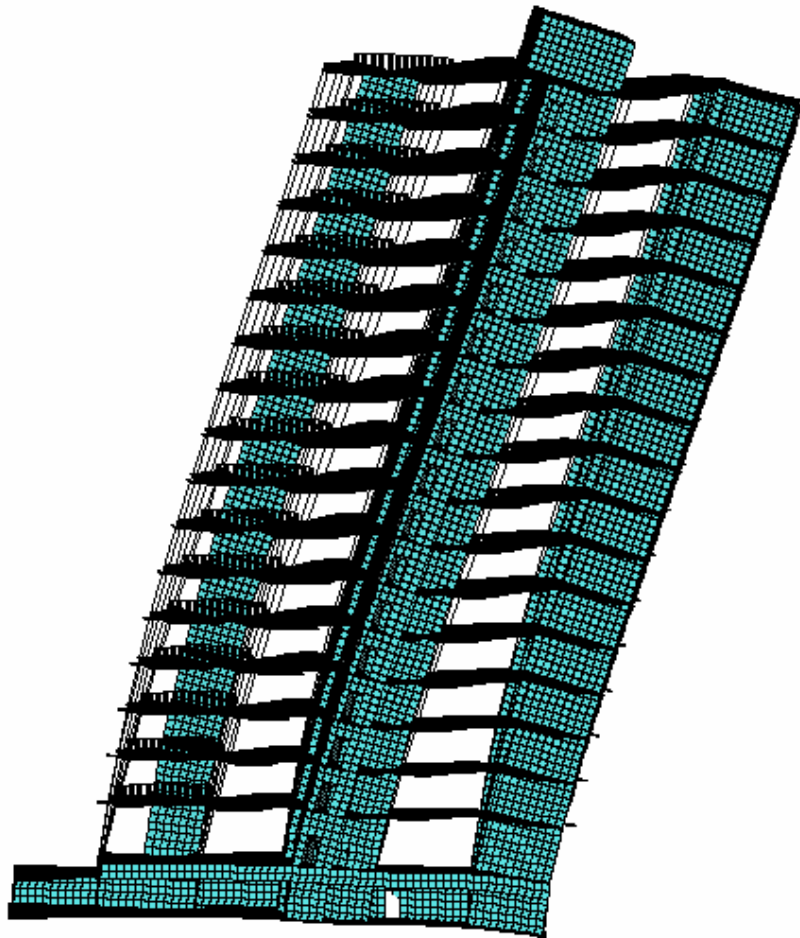
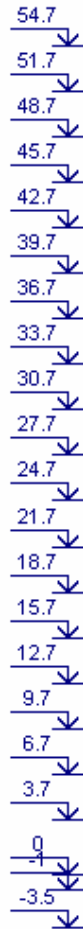


Рис. 2.7. Первая форма потери устойчивости (фасад А-У)

1
Форма потери устойчивости в гл. с. 1
Коэффициент 26.7819

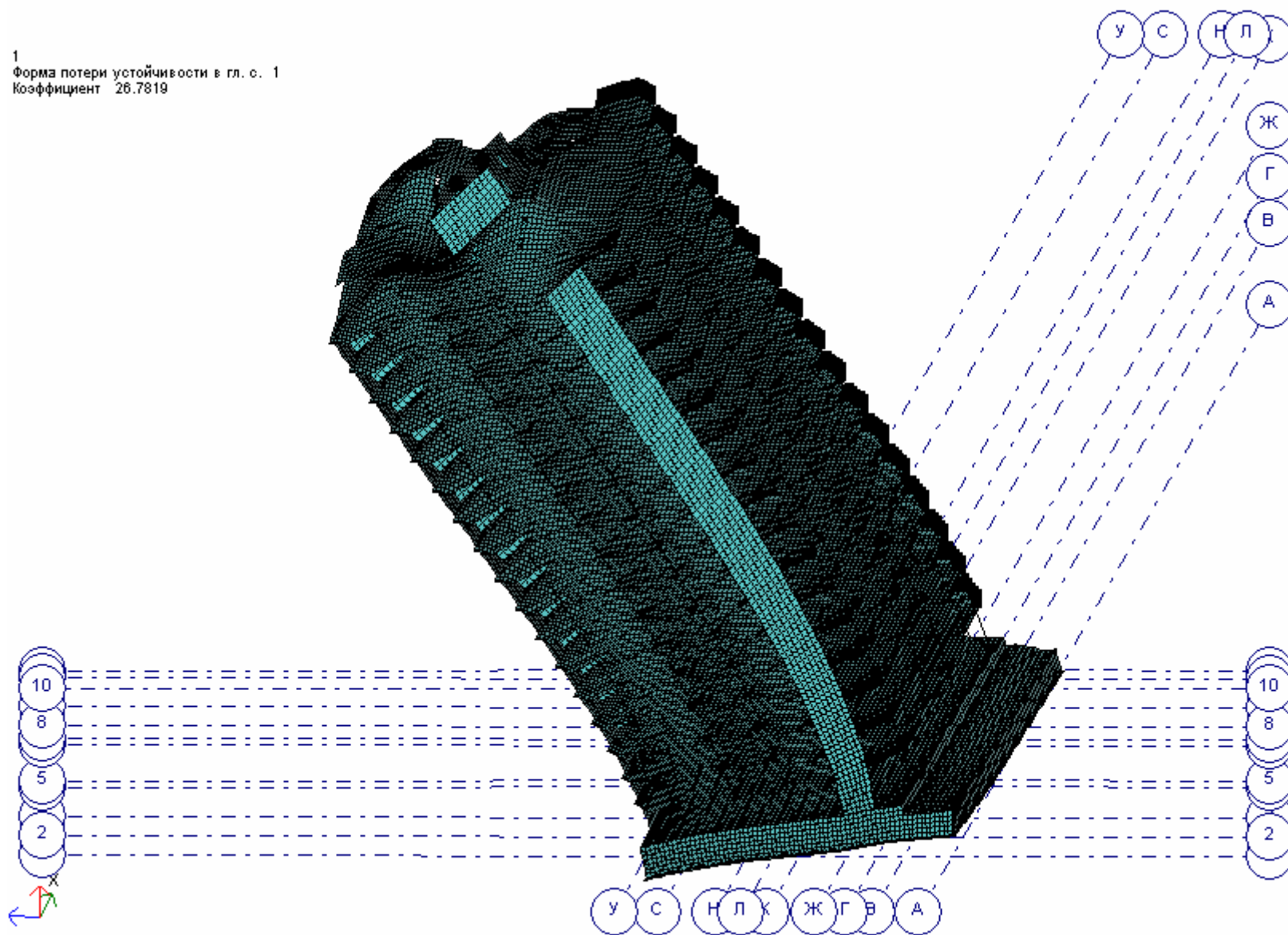


Рис. 2.8. Первая форма потери устойчивости

2.4. Горизонтальные перемещения

Для оценки максимальных горизонтальных перемещений строились изополя перемещений по осям X и Y при действии следующих РСН:

- 2 – суперпозиция загружений 1—5 и нагружения 8 с коэффициентом 1;
- 3 – суперпозиция загружений 1—5 и нагружения 8 с коэффициентом –1;
- 4 – суперпозиция загружений 1—5 и нагружения 9 с коэффициентом 1;
- 5 – суперпозиция загружений 1—5 и нагружения 9 с коэффициентом –1.

Максимальные перемещения в каждом РСН сведены в табл. 2.1, а изополе с наибольшим перемещением из всех РСН показано на рис. 2.9. Можно видеть, что горизонтальные перемещения здания не превышают 63 мм при допуске значения $h/500 = 54,9 \text{ м}/500 = 110 \text{ мм}$.

Таблица 2.1

РСН	Перемещения по X, мм		Перемещения по Y, мм	
	мини- мальное	макси- мальное	мини- мальное	макси- мальное
РСН 2: сумма всех вертикальных нагрузок и ветровая по напр. оси X	-1	38	0	16
РСН 3: сумма всех вертикальных нагрузок и ветровая против напр. оси X	-36	0	0	8
РСН 4: сумма всех вертикальных нагрузок и ветровая по напр. оси X	-1	5	0	62
РСН 5: сумма всех вертикальных нагрузок и ветровая против напр. оси Y	-4	1	-43	3

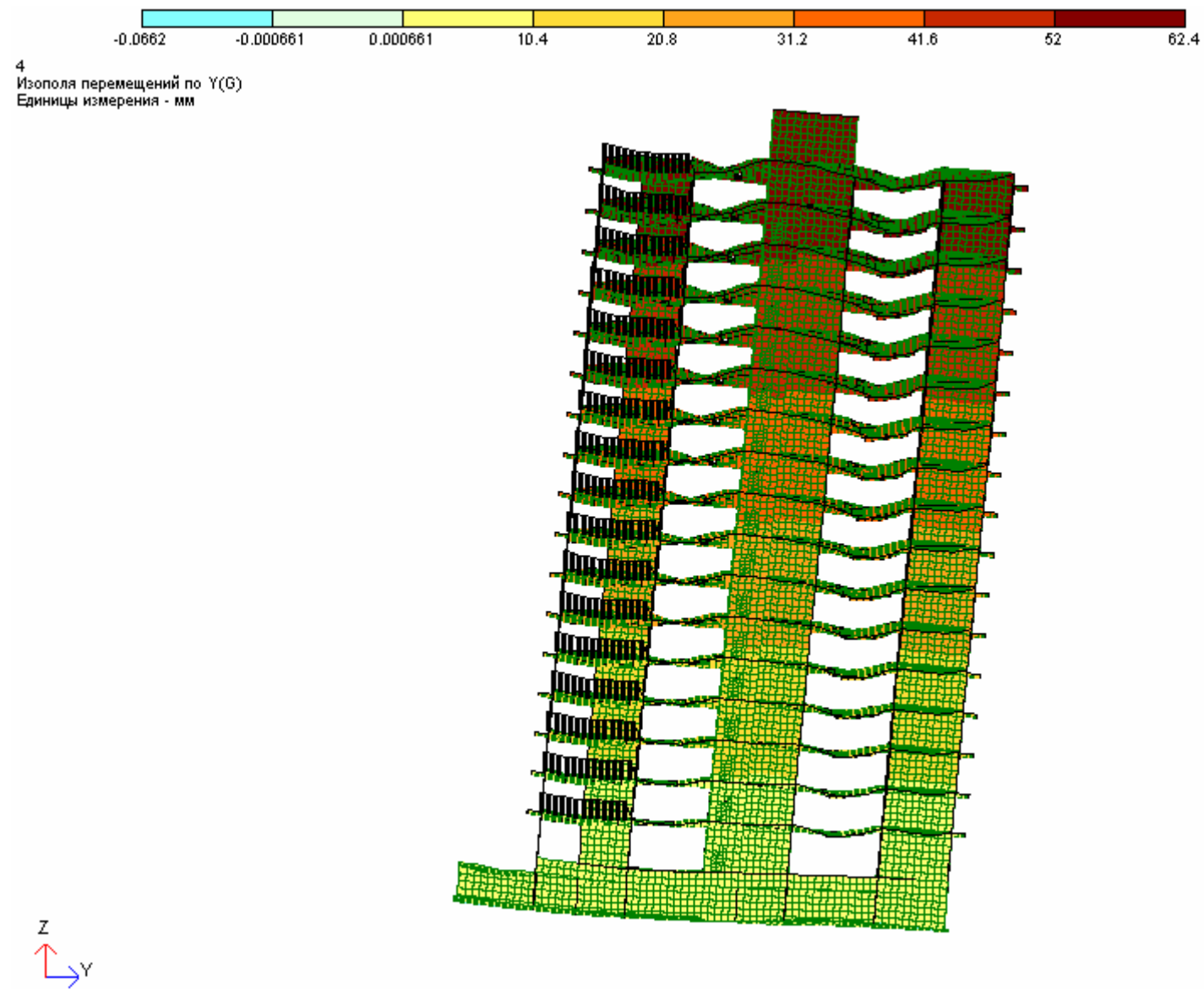


Рис. 2.9. Изополе горизонтальных перемещений каркаса

2.5. Прогибы

Расчеты прогибов перекрытия типового этажа основаны на результатах армирования соответствующих перекрытий из раздела 5. Для расчета прогибов построена конечно-элементная модель плиты перекрытия «вор-051-А-нел.lig» с расчетной схемой на рис. 2.12. Принятые характеристики основного и армирующего материала: диаграмма растяжения-сжатия бетона трехлинейная при продолжительном действии нагрузки по СП 52-101-2003, п. 5.1.23, класс бетона В25. Горизонтальный участок диаграммы заменен наклонным путем корректировки (обозначения по СП 52-101-2003): $\sigma_{b0} = 0,95R_b$, $\sigma_{bt0} = 0,95R_{bt}$. Фрагмент окна ввода диаграммы показан на рис. 2.10. Диаграмма растяжения-сжатия арматуры экспоненциальная, класс арматуры А-III, характеристики нормативные. Основная верхняя арматура $\varnothing 10$ шаг 200 мм в направлениях X и Y; основная нижняя арматура $\varnothing 14$ шаг 200 мм в направлениях X и Y. Дополнительная арматура плиты показана на рис. 2.12 цветовой схемой.

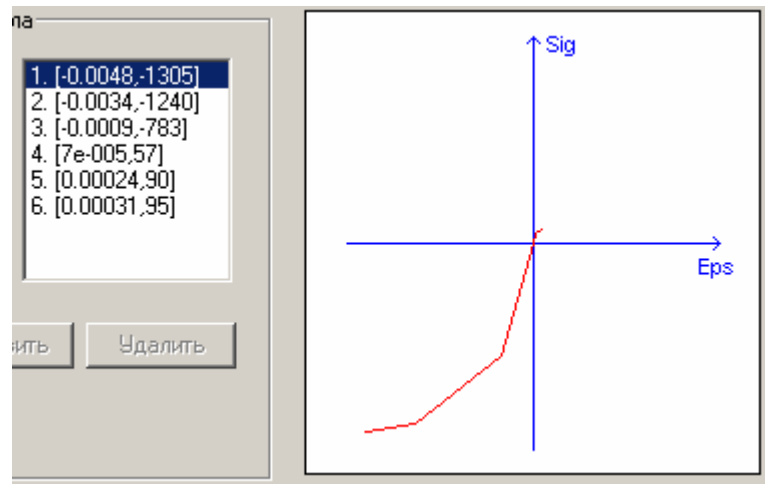


Рис. 2.10

В расчете принято следующее армирование ребер жесткости: балка в осях 10–12 и В–Ж сечением 200×600 мм имеет рабочую продольную арматуру с расположением стержней по верхней грани 2× $\varnothing 20$, по нижней грани 2× $\varnothing 14$; симметрично расположенные балки между осями С и У по краю плиты сечением 150×400 мм имеют рабочую продольную арматуру с расположением стержней по верхней грани 2× $\varnothing 14$, по нижней грани 2× $\varnothing 14$. (Эти балки показаны на рис. 1.17, пример армированного сечения на рис. 2.11.)

Расчет проведен при суммарном действии постоянных и длительных расчетных нагрузок (загружения 1, 2, 3 из сбора нагрузок в подразд. 1.6 с коэффициентами 1). Сетка КЭ построена на основе квадратных элементов 250×250 мм.

Результаты расчета прогибов показаны на цветовой схеме рис. 2.13. Показана, в частности, эпюра наиболее

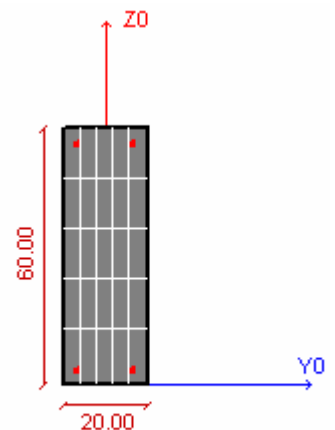


Рис. 2.11

опасных прогибов в смысле близости к предельному значению по СНиП 2.01.07-85*, табл. 19. В данном случае протяженность пролета 8,2 м и соответственно допускаемый прогиб 37 мм, что заметно превышает расчетный прогиб 23 мм.

Схема разрушений показана на рис. 2.14. Можно видеть, что разрушений в смысле выключения из работы отдельных элементов не возникает¹.

¹ В системе ЛИРА разрушения пластинчатых элементов указываются красными рисками.

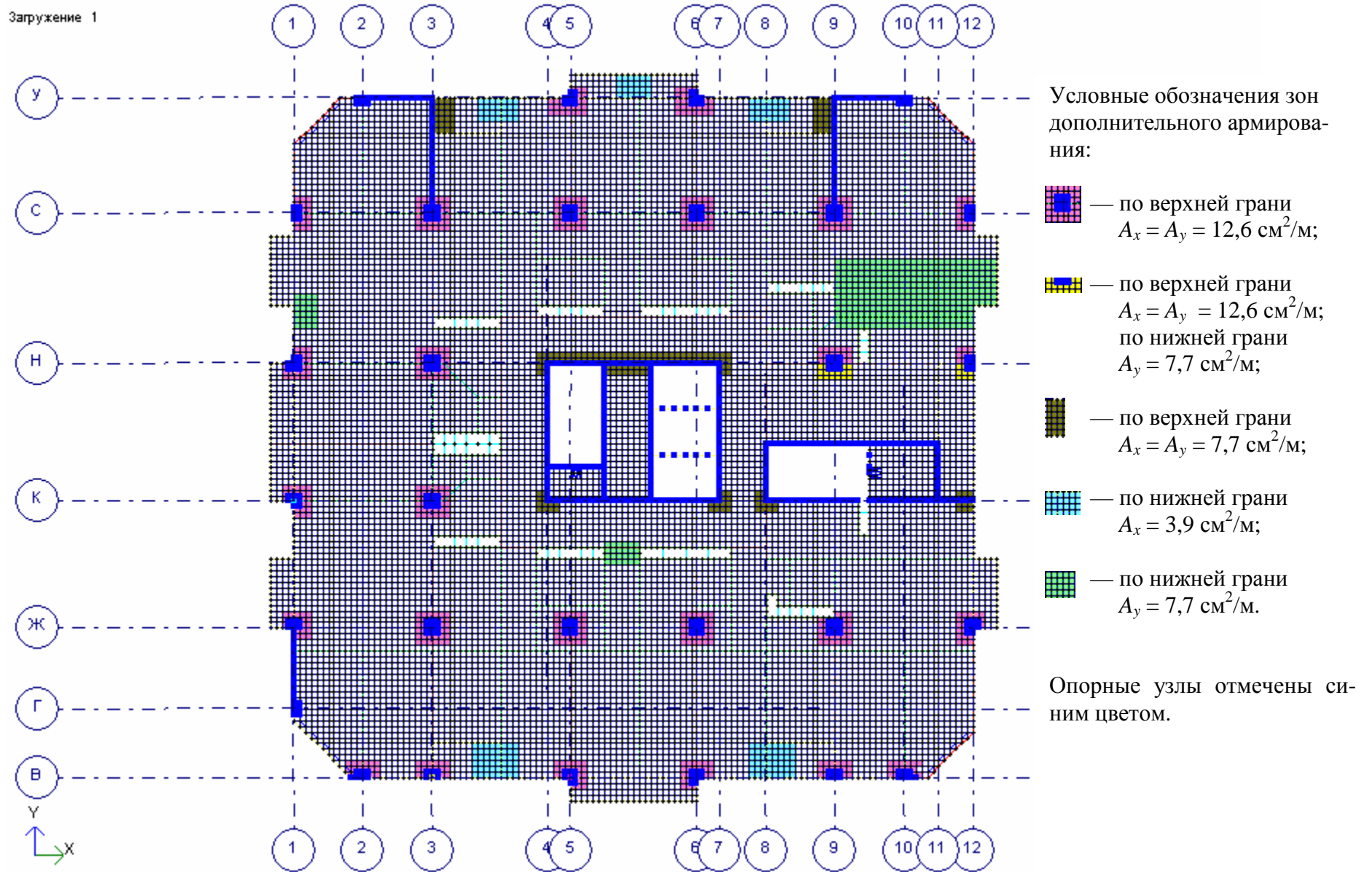


Рис. 2.12. Расчетная схема плиты перекрытия

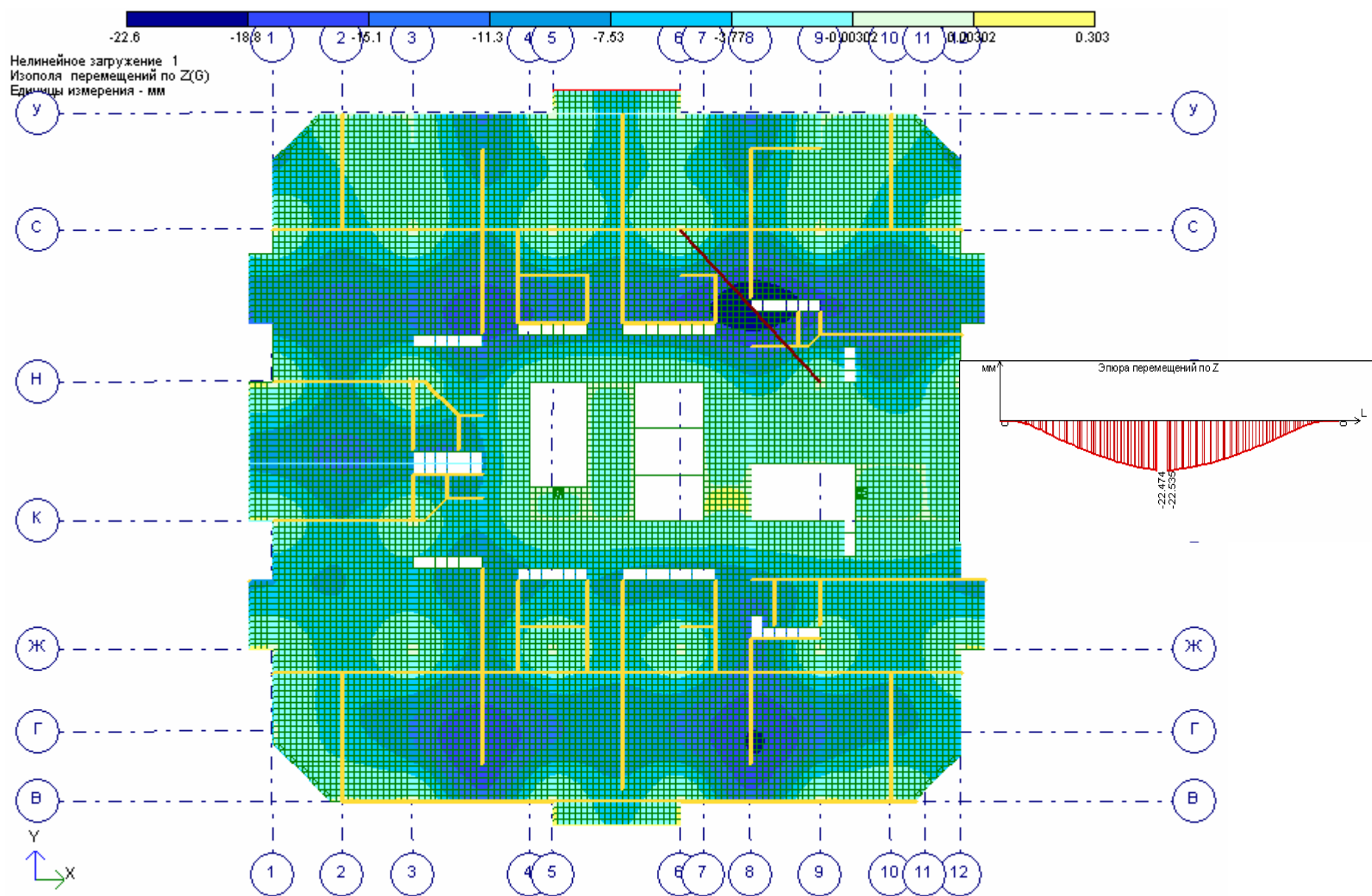


Рис. 2.13. Изополе прогибов

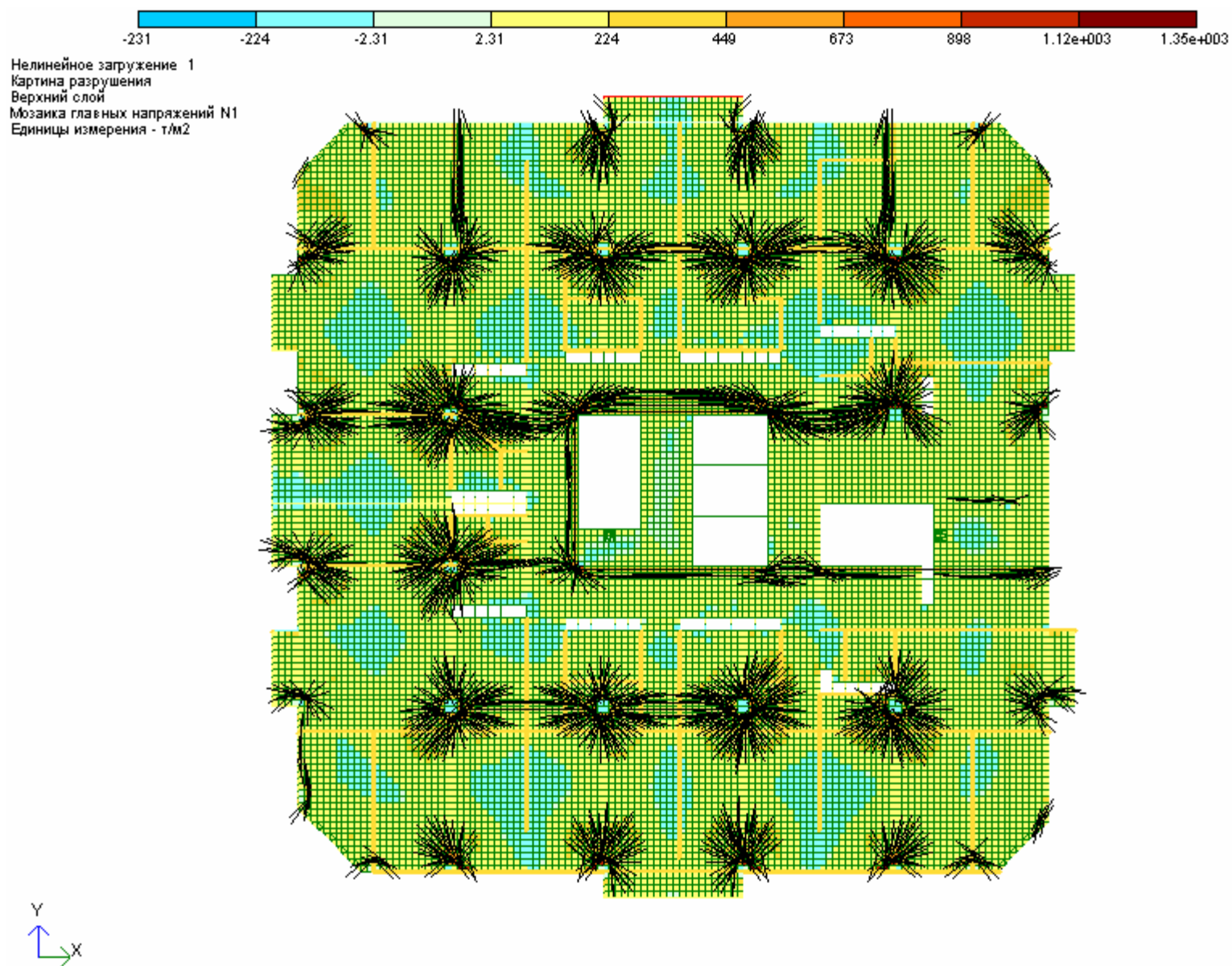


Рис. 2.14. Схема разрушений