

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донской государственный технический университет»

Утверждено на заседании кафедры
«Строительная механика и теория сооружений»
28 августа 2023 г.

РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА
СЕЙСМИЧЕСКИЕ И ПУЛЬСАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ (ДЛЯ
ОБЪЕКТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ
КАФЕДРЫ СМиТС

Учебное пособие

Ростов-на-Дону

2023

УДК 624.04

Расчет пространственных стрержневых систем на сейсмические и пульсационные нагрузки. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2023. – 98 с.

Приводятся современные методы расчета зданий и сооружений на сейсмические и пульсационные нагрузки по пространственной схеме. Пособие включает описание интерфейса и особенностей современных программных комплексов расчета зданий и сооружений и их взаимосвязь с комплексами сквозного проектирования САПР.

Предназначено для бакалавров направления 08.03.01 заочной формы обучения «Строительство».

УДК 624.04

Составители: проф., д-р техн. наук.

Л.Н.Панасюк

канд. техн. наук, доц.

Е.В.Труфанова

Рецензент: проф, д-р физ.-мат. наук

А.А. Ляпин

© Донской государственный
технический университет, 2023.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ.....	7
1.1 История динамики сооружений.....	7
1.2 Предмет и задачи динамики сооружений	8
1.3 Теоретическая и экспериментальная динамика сооружений	9
1.4 Частоты и формы собственных колебаний.....	10
1.5 Общие положения при проектировании сейсмостойких зданий	11
РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТЫ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ	15
2.1 Методы расчетов и их применение	15
2.2 Спектральный метод расчета	17
2.3 Прямой динамический метод расчета с применением расчетных сейсмических воздействий как функций времени	18
2.4 Расчеты элементов конструкций	20
РАЗДЕЛ 3: МОДЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР ВВОДА ПУЛЬСАЦИОННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	20
3.1 <i>Статическая ветровая нагрузка</i>	20
3.2. Расчет по определению частот и форм свободных колебаний	31
3.3 Расчет пульсационных и сейсмических нагрузок	42
3.4. Определение сейсмических нагрузок.....	49
РАЗДЕЛ 4: ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ.....	51
4.1. Пример 1.....	51
4.2. Пример 2.....	65
4.3. Пример 3.....	74
4.4. Пример 4.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно на земном шаре проходит свыше 300 тысяч землетрясений, большинство из которых, к счастью, имеет небольшую силу или проявляются в ненаселенных районах. Однако некоторые очаги сильных землетрясений располагаются близко к населенным пунктам. В этом случае происходят большие повреждения и обрушения недостаточно прочных сооружений.

Число человеческих жертв при землетрясениях может достигать колоссальных размеров. Так, при землетрясении 1 сентября 1962 года в городе Газвина (Иран) погибло около 12 тысяч человек. При землетрясении 16 сентября 1978 г., на севере-востоке Иране (Табас) погибло около 25 тысяч человек. При землетрясении 20 июня 1990г в Северо-западном Иране (Манджил), сила 7.3-7.7 баллов по шкале Рихтера, 50000 погибших. 26 декабря 2003 на юго-востоке Ирана, с эпицентром в городе Бам, произошло сильнейшее землетрясение магнитудой 6.5, что соответствует 9 баллам по шкале МСК-64. По последним официальным данным погибло по крайней мере 42000 человек.



Рис. 1. Великое землетрясение Канто 1923 года (Япония)

В 1556 г, в провинции Шанси (Китай) погибло около 830 тыс. человек; землетрясение в Калькутте (Индия) 11 октября 1737г. унесло жизни свыше 300 тыс. человек; при землетрясении в г. Бухта - свыше 100 тыс. человек. В числе разрушительных землетрясений последних лет можно отметить землетрясение в Спитаке (1988 г.), на Курилах (1994 г.), в Кобе (Япония, 1995 г.), в Нефтегорске (1995 г.), в городе Измит (Турция, 1999 г.).



Рис. 2. Землетрясение 1988-го года, уничтожившее город Спитак

Одной из важных задач сейсмостойкого строительства является разработка методов расчета зданий и сооружений, позволяющих наиболее точно оценить возможности конструкций сопротивляться различным сейсмическим воздействиям. Анализ возможных последствий (разрушений) дает информацию для проектирования более сейсмостойких конструкций, нахождения экономичных решений, повышения их безопасности, усиления уже поврежденных зданий и сооружений.

В становление и развитие теории сейсмостойкости большой вклад внесли Абдурашидов К. С., Айзенберг Я. М., Барштейн М. Ф., Быховский В. А., Гольденблат И. И., Дарбинян С. С., Егупов В. К., Жарницкий В. И., Жунусов Т. Ж., Забегаев А. В., Завриев К. С., Кабулов В. К., Карапегян Б. К., Карцивадзе Г. Н., Корчинский И. Л., Мартемьянов А. И., Медведев С. В., Назаров А. Г., Напетваридзе Ш. Г., Николаенко Н. А., Поляков С. В., Рассказовский В. Т.,

Расторгуев Б. С., Рашидов Т. Р., Саакян А. О., Савинов О. А., Синицын, А. П., Смирнов С. Б., Уразбаев М. Т., Хачиян Э. Е., Шапиро Г. А., и многие другие. Среди зарубежных исследователей необходимо отметить работы Био М., Блюма Дж., Борджерса Дж., Велетсосу А., Джекобсена Л, Дженнингса П., Канаи К., Клафа Р., Мута К., Наим Ф., Ньюмарка Н., Окамато Ш., Паули Т., Пензиена Дж., Розенблюета Э., Хаузнера Дж,

В настоящее время расчет зданий и сооружений на действие сейсмических нагрузок производится в соответствии со СНиП II-7-81* (СП 14.13330.2011), в основу которых заложено упругое деформирование конструкций с введением некоторых обобщенных корректив, учитывающих податливость систем и образование пластических шарниров. Расчет прочности элементов производится по предельным усилиям, воспринимаемым элементом в нормальных, наклонных и пространственных сечениях. При этом вводятся специальные коэффициенты условий работы, учитывающие особенности сейсмического воздействия. Такой подход рассматривается как условно статический метод расчета на сейсмические воздействия. Метод имеет свои положительные стороны и недостатки. Главное достоинство его заключается в простоте, когда используются хорошо известные инженеру приемы и правила, применяемые для расчета конструкций при обычных статических воздействиях. Однако такой подход не учитывает локальные повреждения в элементах. Сейсмическая нагрузка определяется в предположении упругого деформирования конструкций, а образование остаточных деформаций, трещин, пластических зон производится условными эмпирическими коэффициентами, которые не зависят ни от интенсивности землетрясения, ни от свойств самого сооружения. Вместе с тем, реальные условия деформирования конструкций при сейсмических воздействиях очень сложные. Сейсмическая нагрузка, помимо особенностей воздействия, зависит также и от динамических характеристик зданий и сооружений. При сильных землетрясениях в конструкциях появляются и развиваются повреждения. Это приводит к изменению их

жесткостных и динамических характеристик. В процессе сейсмического воздействия сооружение изменяет свои свойства столько раз, сколько циклов нагружения (толчков) оно перенесло за время землетрясения, и, по существу, на каждом этапе должно рассматриваться сооружение с новыми характеристиками. Кроме того, к моменту землетрясения в зданиях и сооружениях уже существует то или иное напряженно-деформированное состояние, вызванное действием их собственного веса, полезных нагрузок, тектонических движений грунтов, неравномерных осадок, усадочных и температурных напряжений. Влияние предшествующих сейсмическому воздействию нагрузок (предыстории) вносит свой вклад не только в изменение прочностных и деформативных свойств материалов, но и в изменение динамических характеристик здания в целом.

Нормативный метод не позволяет учесть вышеизложенные факторы, что приводит к значительным отклонениям результатов расчета и проектирования от фактического характера работы конструкций при реальных землетрясениях. Поэтому весьма актуальным и своевременным является разработка новых усовершенствованных методов расчета сейсмостойкости, наиболее правильно отражающих поведение зданий при землетрясениях, обеспечивающих большую надежность и, в то же время, экономичность проектных решений.

РАЗДЕЛ 1: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ

1.1 История динамики сооружений

Динамика сооружений как наука зародилась в 20-х гг. XX в. Её возникновение было обусловлено практическими нуждами строительства, значительным увеличением динамических нагрузок на сооружения: повышением мощностей и скоростей движения машин, скоростей подвижных нагрузок и т.д. Однако развитие динамики сооружений в эти годы существенно отставало от её теоретической базы — теории колебаний и строительной

механики, и фактической информации, доставляемой динамическими испытаниями сооружений.

Применявшийся в этот период традиционный метод учёта влияния динамической нагрузки - введение в статический расчёт сооружения динамического коэффициента нагрузки, был несовершенным; он игнорировал динамические характеристики сооружений и нагрузок. В 30-х гг. Динамика сооружений стала быстро развиваться, опираясь на экспериментальные данные и достаточно строгую теорию (Д. Д. Баркан, Н. И. Безухов, С. А. Бернштейн, А. Ф. Смирнов и др.).

В 50—60-х гг. в СССР, впервые в мировой практике были опубликованы инструкции по динамическому расчёту сооружений (разработанные ЦНИИСК и НИИ оснований и подземных сооружений), отражавшие высокий уровень развития динамики сооружений в СССР. В эти годы получили развитие новые важные направления в динамике сооружений: динамический расчёт конструкций с нелинейными упругими или диссипативными характеристиками. Также получили развитие расчеты сооружений на случайные нагрузки с применением методов статистической динамики или теории случайных процессов - В. В. Болотин, И. И. Гольденблат, Н. А. Николаенко и др.

1.2 Предмет и задачи динамики сооружений

Динамика сооружений - наука о колебаниях и методах расчёта сооружений, подвергающихся действию динамических нагрузок, и способах уменьшения колебаний. Динамические нагрузки на сооружение характеризуются настолько быстрым изменением во времени их величины, направления или места приложения, что вызывают колебания сооружения, которые необходимо учитывать при его расчёте. Таковы нагрузки, возникающие при работе машин с неуравновешенными движущимися массами, при ударах массивных тел, при землетрясениях и взрывах и т.д. Колебательный характер имеют не только перемещения точек сооружения, но и внутренние усилия и напряжения в его элементах.

Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки, т. е. при вынужденных колебаниях и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций, а значения амплитуд скоростей и ускорений колебаний зданий и сооружений, в которых находятся люди или помещение производства с точной технологией, - требованиями безвредного влияния колебаний на здоровье людей и на качество выпускаемой продукции.

Динамика сооружений тесно связана со статикой сооружений, являющейся основным разделом строительной механики. Вопрос о прочности и долговечности сооружения решается на основе статических и динамических расчётов.

Динамика сооружений использует хорошо разработанные методы статики сооружений, однако существенно их обобщает с помощью принципа Даламбера, вводя в уравнение новую переменную - время.

1.3 Теоретическая и экспериментальная динамика сооружений

По методам исследования различают экспериментальную и теоретическую динамику сооружений.

Теоретическая динамика сооружений разрабатывает аналитические и численные методы определения амплитуд вынужденных колебаний, а также частот и форм свободных колебаний сооружений. Методы решения основной проблемы зависят от вида динамической нагрузки и расчётной схемы сооружения. По своему виду динамические нагрузки разделяются на детерминированные, изменяющиеся во времени по определённом закону, и случайные, изменяющиеся во времени незакономерно и характеризующиеся статистическими величинами. В зависимости от вида расчётной схемы сооружения - балка, ферма, рама, арка, плита, свод, оболочка, применяют

соответствующий метод для определения амплитуды колебаний как функции координат точек сооружения.

Методы определения частот и форм колебаний зависят только от расчётной схемы сооружения. Знание частот и формы соответствующих колебаний сооружения позволяет ещё до его расчёта на динамическую нагрузку предугадать качественную картину вынужденных колебаний, максимально сократить этот расчёт и выявить невыгодные значения частот периодических нагрузок и продолжительности кратковременных нагрузок.

Экспериментальная динамика сооружений с помощью опытов в натуре и на моделях изучает динамические нагрузки на сооружения: от стационарных и подвижных машин и механизмов, сейсмические, ветровые, пульсации давления жидкостей и газов в водопроводах, котлах и т.п. А также динамические характеристики материалов и конструкций: динамические модули упругости, внутреннее трение и внешние сопротивления, пределы выносливости материалов и соединений конструкций - заклёпочных, сварных и др. Экспериментальная динамика сооружений изучает пределы прочности и текучести при больших скоростях деформирования, вызываемых мощными ударами, проверяет надёжность расчётных схем сооружений и эффективность способов уменьшения колебаний.

1.4 Частоты и формы собственных колебаний

Частоты и формы собственных колебаний являются важнейшими динамическими характеристиками конструкций. Зная частоты и формы собственных колебаний, а также возмущающую нагрузку, можно не только полностью провести динамический расчет конструкций, но и предусмотреть возможные мероприятия по уменьшению динамических деформаций и усилий. Обычно для динамического расчета конструкций используют метод разложения по формам собственных колебаний; при этом точность расчета существенно зависит от числа учитываемых таких форм колебаний. В практических расчетах

строительных конструкций, характеризующихся густыми спектрами частот колебаний, основным расчетным случаем является расчет на резонанс.

Существуют различные методы определения частот и форм собственных колебаний многоэтажных зданий. Наиболее распространены методы деформаций и сил. При этом следует считаться с реальной статической схемой здания, которая непосредственно зависит от его расчетной схемы (каркасная, бескаркасная, смешанная и т. д.).

В зависимости от расчетной схемы здания преобладают изгибные или сдвиговые поступательные колебания, изгибносдвиговые и крутильнопоступательные. Существует множество приближенных способов вычисления частот и форм собственных колебаний, распространенных в практике динамических расчетов сооружения: формула Дункерлая используется для определения приближенного значения первой частоты собственных колебаний систем со многими степенями свободы; метод спектральных функций; энергетический метод; метод последовательных приближений; метод приведения масс и т. д.

1.5 Общие положения при проектировании сейсмостойких зданий

Новые конструктивные схемы зданий и сооружений в начале процесса проектирования подлежат обязательной экспертной проработке специалистами научно-исследовательских и проектных организаций, специализирующихся в области сейсмостойкого строительства.

При проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и при усилении зданий существующей застройки следует:

- принимать объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие, как правило, симметричность и регулярность распределения в плане и по высоте здания масс, жесткостей и нагрузок на перекрытия;

- применять материалы, конструкции и конструктивные схемы, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок (легкие материалы, сейсмоизоляцию, другие системы динамического регулирования сейсмической нагрузки);
- создавать возможность развития в определенных элементах конструкций допустимых неупругих деформаций;
- выполнять расчеты металлических конструкций зданий и сооружений с учетом нелинейного деформирования конструкций;
- предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах и соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключающие возможность хрупкого их разрушения;
- располагать тяжелое оборудование на минимально возможном уровне по высоте здания.

При использовании сейсмоизоляции и других систем динамического регулирования сейсмических нагрузок выбор той или иной системы, а также расчет и конструирование должны производиться с участием специализированных проектных и научных организаций.

В зданиях с несущими стенами, кроме наружных продольных стен, должно быть не менее одной внутренней продольной стены. Здания должны иметь правильную форму в плане. Смежные участки здания выше или ниже планировочной отметки не должны иметь перепады более 5 м.

Перекрытия в зданиях следует располагать на одном уровне.

Перед строительством здания или сооружения снижение интенсивности сейсмических воздействий может быть достигнуто повышением сейсмостойкости оснований. Необходимо строить на грунтах I и II категории согласно классификации СНиПа II-7-81*, т.к. чем грунт прочнее, плотнее, мало насыщен водой, тем быстрее скорость прохождения через него сейсмической волны. Проектирование фундаментов зданий следует выполнять в

соответствии с требованиями нормативных документов по основаниям зданий и сооружений и свайным фундаментам. Глубину заложения фундаментов рекомендуется увеличивать путем устройства подвальных этажей.

Фундаменты зданий высотой более 16 этажей на нескальных грунтах следует, как правило, принимать свайными или в виде сплошной фундаментной плиты с заглублением подошвы относительно отметки отмостки не менее чем на 3,0 м.

Фундаменты зданий, возводимых на нескальных грунтах, должны, как правило, устраиваться на одном уровне. Подвальные этажи следует предусматривать под всем зданием. При расчетной сейсмичности 7 и 8 баллов допускается устройство подвала под частью здания. При этом следует располагать его симметрично относительно главных осей здания. Для зданий выше 12 этажей устройство подвала под всем зданием обязательно.

Перекрытия и покрытия следует выполнять в виде жестких горизонтальных дисков, надежно соединенных с вертикальными конструкциями здания и обеспечивающих их совместную работу при сейсмических воздействиях. Покрытия зданий следует проектировать из конструкций, которые максимально снижают их вес, используя, например, в металлических каркасах профилированный настил и эффективные утеплители.

Междуэтажные перекрытия в зданиях с металлическими каркасами рекомендуется выполнять преимущественно монолитными железобетонными. В случаях применения сборных железобетонных перекрытий следует предусматривать конструктивные противосдвиговые мероприятия (монолитные обвязочные пояса, шпоночные стыки между панелями и др.), аналогичные тем, что рекомендуются для сейсмостойких зданий с железобетонными каркасами.

Покрытия и перекрытия зданий, объединяющие отдельные элементы конструкций в пространственный каркас, должны создавать жесткий в своей плоскости диск. Для увеличения жесткости этого диска в покрытиях с использованием стального профилированного настила необходимо

предусматривать систему связей в плоскости верхних поясов ферм, в которой роль распорок могут выполнять прогоны.

В многоэтажных каркасных зданиях системой, воспринимающей горизонтальную сейсмическую нагрузку, может служить пространственный каркас с жесткими рамными узлами; пространственный каркас с жесткими рамными узлами с заполнением, участвующим в восприятии сейсмической нагрузки; каркас с вертикальными связями, диафрагмами или ядрами жесткости; безригельный каркас.

Монолитные здания следует проектировать, как правило, в виде перекрестно-стеновой системы с несущими (в основном из тяжелого бетона) или ненесущими внешними стенами. Перекрытия могут предусматриваться монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Крупнопанельные здания следует проектировать с продольными и поперечными несущими сквозными стенами. Поперечные и продольные стены совместно с перекрытиями и покрытиями образуют единую пространственную систему, воспринимающую сейсмические нагрузки.

В зависимости от типа усиления стены в зданиях из могут быть:

- из кирпичной (каменной) кладки;
- комплексной конструкции - выполняются устройством в кладке вертикальных железобетонных включений (сердечников) или применением трехслойных стен, внутренний слой которых из монолитного железобетона;
- каркасно-кирпичные (каркасно-каменные) стены - усиленные монолитными железобетонными колоннами с использованием кладки в качестве опалубки. Колонны совместно с горизонтальными монолитными или сборно-монолитными поясами образуют каркас с несущим заполнением из кладки;
- усиленные вертикальным армированием, предварительным напряжением или другими экспериментально обоснованными методами.

При проектировании стальных несущих каркасов создавать условия для развития пластических деформаций. При выборе конструктивных схем предпочтение следует отдавать схемам, в которых зоны пластичности возникают в первую очередь в связях и в горизонтальных элементах каркаса (ригелях, перемычках, обвязочных балках и т. п.). Следует по возможности выносить стыки из зоны максимальных напряжений.

Стальные колонны многоэтажных каркасов рамного типа следует проектировать замкнутого (коробчатого или кругового) сечения, равноустойчивого относительно главных осей инерции, а колонны рамно-связевых каркасов двутаврового или замкнутого сечений. Ригели стальных каркасов следует проектировать из прокатных или сварных двутавров.

Несущая способность элементов стальных каркасов должна быть такой, чтобы пластические шарниры образовывались в ригелях или в соединениях ригелей с колоннами, но не в колоннах. Это требование может не соблюдаться, если сжатие в колонне от постоянной нагрузки не превышает 30% от значения несущей способности колонны на сжатие.

РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТЫ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

2.1 Методы расчетов и их применение

В данном параграфе рассмотрены рекомендуемые современными нормами (СНиП, СП) методы расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия. А так же некоторые варианты расчетных моделей зданий. Отметим, что в современных нормах по инерции присутствует устаревшие принципы формирования расчетных моделей, доставшиеся в наследство с тех пор, когда невозможно было выполнять динамические расчеты пространственных сооружений высокой размерности. Например, к подобному рудименту можно отнести консольную расчетную схему здания.

Расчеты сооружений на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий следует выполнять с использованием:

- спектрального метода;
- прямого динамического метода с применением инструментальных записей ускорений грунта при землетрясениях или стандартного набора синтезированных акселерограмм.

Прямой динамический метод лучше отражает все особенности расчетной модели и воздействия на нее, но является гораздо более трудоемким, чем спектральный.

Расчеты по спектральному методу следует выполнять для всех зданий и сооружений. В случае несовпадения результатов расчета по спектральному методу и прямому динамическому методу следует принимать более невыгодное решение (при этом расчетные сейсмические нагрузки принимаются не ниже нагрузок, определенных по спектральному методу).

Для зданий и сооружений простой геометрической формы с симметричным и регулярным расположением масс и жесткостей расчетные сейсмические нагрузки следует принимать действующими горизонтально в направлении, как правило, в направлении продольной и поперечной оси плана здания или сооружения. Действие сейсмических нагрузок в указанных направлениях следует принимать отдельно.

При расчете сооружений с несимметричным и нерегулярным расположением масс и жесткостей следует учитывать наиболее опасные для данной конструкции или ее элементов направления действия сейсмических нагрузок. В тех случаях, когда определение опасного направления действия сейсмической нагрузки вызывает затруднения, рекомендуется выполнять независимые расчеты конструкции при трех взаимно ортогональных направлениях действия сейсмических сил.

2.2 Спектральный метод расчета

При определении расчетных значений горизонтальных сейсмических нагрузок на здания и сооружения высотой H , превышающей в два и более раз его ширину B и длину L допускается принимать расчетную схему (рисунок 2.3.1,а) в виде многомассового упруго-деформируемого консольного стержня, жестко заделанного в основании, несущего сосредоточенные массы весом Q_k , на уровне перекрытий, и совершающего колебательное движение по одному из направлений (x или y).

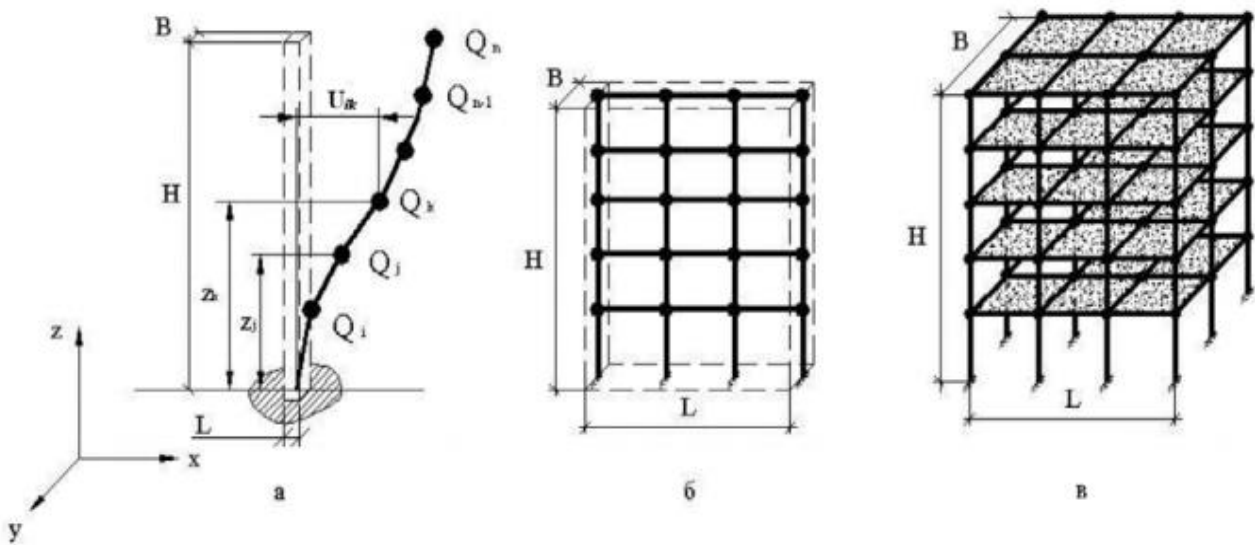


Рис. 3. Расчетные схемы зданий и сооружений: а) в виде многомассового консольного стержня; б) в виде многомассовой перекрестной системы; в) в виде пространственной динамической модели.

При ширине сооружения B , меньшей в три и более раз двух других его размеров (H и L) допускается принимать расчетную схему (рисунок 2.3.1,б) в виде многомассовой упруго-деформируемой перекрестной системы с сосредоточенными в узлах массами, расположенными на уровне перекрытий.

Как правило, рекомендуется использовать пространственные расчетные динамические модели с сосредоточенными в узлах массами (рисунок 2.3.1,в). Расчетное значение горизонтальной сейсмической нагрузки S_{ik} , приложенной к точке k и соответствующее i -ой форме собственных колебаний здания или сооружения, следует определять по формулам (1) и (2) [1]. В этих формулах

используется коэффициент допускаемых повреждений k_1 , физический смысл которого – величина, обратная коэффициенту допускаемых повреждений $1/k$, есть мера резерва несущей способности сооружения.

2.3 Прямой динамический метод расчета с применением расчетных сейсмических воздействий как функций времени

Прямые динамические расчеты зданий и сооружений следует выполнять с использованием расчетных акселерограмм $a_i(t) = A_i y_i(t)$, где i - номер составляющей вектора колебаний; A_i - максимальное значение амплитуды ускорений; $y(t)$ - нормированная на единицу функция, описывающая колебание грунта во времени.

При проектировании особо важных объектов в прямых динамических расчетах следует использовать расчетные акселерограммы, построенные для заданной вероятности непревышения максимальных сейсмических воздействий, соответствующей карте ОСР. Расчетные акселерограммы строятся на основе инструментальных записей сильных и промежуточных по величине землетрясений, зарегистрированных непосредственно на строительной площадке, либо в условиях, близких к условиям площадки проектируемого здания или сооружения. Величины A_i в этом случае определяются с помощью работ по уточнению сейсмической опасности площадки.

При проектировании нетиповых и ответственных зданий и сооружений в прямых динамических расчетах допускается использование синтезированных расчетных акселерограмм, построенных с учетом условий площадки и ее положения, относительно опасных сейсмогенных зон. При отсутствии инструментальных записей для генерации расчетных акселерограмм могут использоваться расчетные методы и данные о приращении сейсмической балльности за счет влияния местных грунтовых условий площадки, полученные при проведении ее сейсмического микрорайонирования.

При проектировании зданий и сооружений, не привязанных к конкретной площадке, в прямых динамических расчетах рекомендуется использовать пакет

трехкомпонентных синтезированных акселерограмм, которые были построены на основе записей колебаний грунтов, зарегистрированных в разных регионах страны с помощью цифровых сейсмостанций.

Амплитуды синтезированных акселерограмм в зависимости от сейсмичности площадки необходимо умножать во всех случаях при выполнении прямых динамических расчетов зданий и сооружений на масштабный коэффициент K соответственно.

Максимальные значения ускорения относятся к горизонтальным составляющим колебаний. При отсутствии инструментальных записей значения вертикальных ускорений основания допускается принимать равными 0,7 от значений горизонтальных ускорений.

При проведении прямых динамических расчетов с использованием набора синтезированных акселерограмм необходимо принимать в качестве расчетных акселерограммы, преобладающие периоды которых близки к периодам собственных колебаний здания по первой форме.

Рекомендации по выбору расчетных акселерограмм должны учитывать соответствия для конкретной площадки по основным сейсмологическим параметрам:

- магнитуде;
- эпицентральному расстоянию;
- глубине и механизму очага;
- грунтовым условиям и др.

Значения сейсмических нагрузок, перемещений и деформаций конструкций следует определять с учетом особенностей нелинейного деформирования конструкций.

При раздельном использовании в расчетах зданий и сооружений на действие горизонтальных и вертикальных компонент акселерограмм следует принимать наиболее опасные направления сейсмических воздействий.

Прямые динамические расчеты зданий с системами сейсмоизоляции, с адаптивными системами сейсмозащиты (включающимися и выключающимися связями), динамическими гасителями колебаний, демпфирующими устройствами и другими сейсмозащитными элементами следует выполнять при научном сопровождении и при участии организаций, имеющих лицензию на выполнение такого вида работ.

2.4 Расчеты элементов конструкций

Подбор сечений элементов конструкций, их узлов и соединений производится по несущей способности в предположении статического приложения сейсмических нагрузок. В случаях, обоснованных технологическими требованиями, допускается выполнять расчет по второй группе предельных состояний.

Расчеты металлических конструкций зданий и сооружений следует выполнять с учетом нелинейного деформирования материала.

При расчете элементов конструкций на прочность и устойчивость, помимо коэффициентов условий работы, следует вводить дополнительные коэффициенты γ , учитывающие повышение механических свойств материалов при высоких скоростях нагружения и определяемые согласно таблице 7* [1].

Сечения элементов следует принимать не меньше чем полученные по результатам расчета на основное сочетание нагрузок.

РАЗДЕЛ 3: МОДЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР ВВОДА ПУЛЬСАЦИОННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

3.1 Статическая ветровая нагрузка

В данном примере представлена решетчатая конструкция, на которую нагрузка передается в узлах и вычисляется согласно нормам с учетом отношения площадей элементов, воспринимающих ветер.

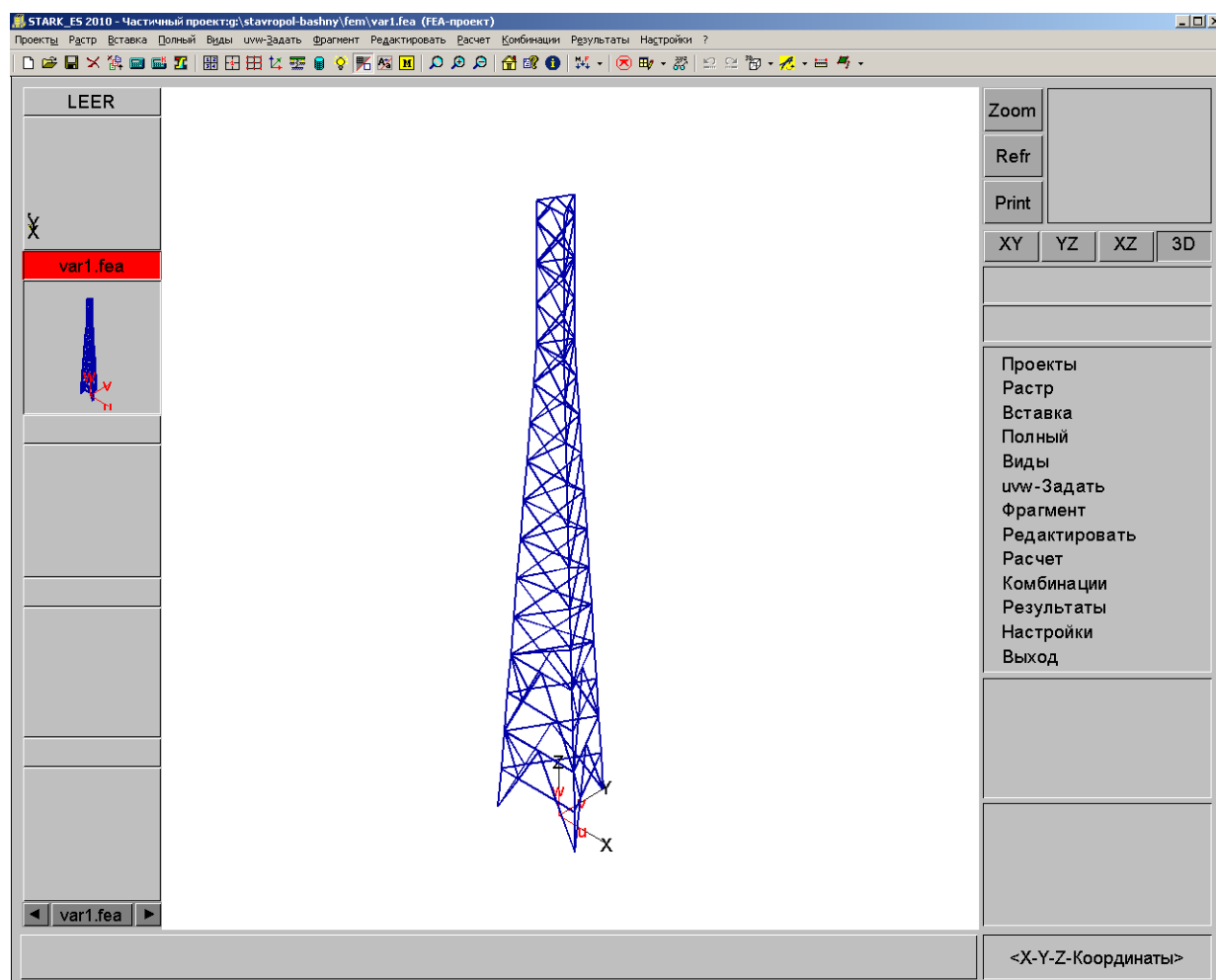


Рис. 4. Аксонометрия геометрии расчетной схемы

В данном примере ветровую нагрузку необходимо задать силами, приложенными в узлах башни. Подсчет значения сил на разных отметках нужно выполнить «вручную». Можно использовать вспомогательные средства – например, электронные таблицы.

Нормативный ветровой напор по заданию 38 кг/м^2 . Распределение ветрового напора по высоте выполним в MS EXCEL. Отметки одного пролета округляем. Результаты вычисления в MS EXCEL сведены в таблице 11.

Таблица 11

Высота, м	Коэф. К	Коэф. Е	Активный, кг/м ²	Пассивный, кг/м ²	Средняя, кг/м ²
0.00	0.50	1.22	15.20	11.40	13.30
3.59	0.50	1.22	15.20	11.40	13.30

7.18	0.57	1.15	17.19	12.89	15.04
10.78	0.67	1.05	20.23	15.18	17.70
14.36	0.74	1.00	22.41	16.81	19.61
17.95	0.81	0.95	24.59	18.45	21.52
21.54	0.87	0.91	26.43	19.82	23.12
25.13	0.91	0.89	27.79	20.84	24.32
28.72	0.96	0.87	29.15	21.87	25.51
32.32	1.00	0.85	30.52	22.89	26.71
35.91	1.05	0.82	31.89	23.91	27.90
39.50	1.09	0.80	33.25	24.94	29.09
43.09	1.13	0.79	34.38	25.78	30.08
46.69	1.17	0.78	35.47	26.61	31.04
50.29	1.20	0.77	36.57	27.43	32.00
54.02	1.24	0.76	37.70	28.28	32.99
55.89	1.26	0.75	38.27	28.70	33.49

Затем определяем коэффициент:

$$C_K = \frac{1}{A_K} \sum C_{Ki} A_i .$$

При определении площади контура решетчатой конструкции учтена высота проекции сечений на плоскость, перпендикулярную ветровому воздействию. Результаты определяем в табличной форме в MS EXCEL (Таблица 12).

Таблица 12

Высота, м	Средняя, кг/м ²	Ширина башни, м	Площадь панели, м ²	Длина опорной стойки (пояса), м	Площадь сечения опорной стойки, м ²	Площадь сечения горизонтальных балок, м ²	Площадь раскоса, м ²	Суммарная площадь решетки, м ²
0.000	13.300	8.280						
3.590	13.300	7.830	28.917	3.597	1.007	1.096	1.058	5.227
7.180	15.040	7.380	27.302	3.597	1.007	1.033	1.009	5.066
10.780	17.705	6.930	25.758	3.607	1.010	0.970	0.961	4.912
14.360	19.610	6.480	24.004	3.587	0.789	0.907	0.912	4.310
17.950	21.519	6.030	22.455	3.597	0.791	0.844	0.865	4.158
21.540	23.122	5.580	20.840	3.597	0.572	0.781	0.819	3.563
25.130	24.316	5.130	19.224	3.597	0.572	0.718	0.774	3.409
28.720	25.509	4.680	17.609	3.597	0.572	0.655	0.729	3.258
32.320	26.706	4.230	16.038	3.607	0.574	0.592	0.687	3.114
35.910	27.900	3.680	14.198	3.601	0.479	0.515	0.641	2.755
39.500	29.094	3.330	12.583	3.594	0.478	0.466	0.602	2.626
43.090	30.082	2.880	11.147	3.597	0.478	0.403	0.570	2.499
46.690	31.040	2.880	10.368	3.600	0.479	0.403	0.553	2.467
50.290	31.997	2.880	10.368	3.600	0.479	0.403	0.553	2.467
54.020	32.989	2.880	10.742	3.730	0.496	0.403	0.565	2.526
55.890	33.487	2.880	5.386	1.870	0.249	0.403	0.412	1.725
		ИТОГО:	276.94					54.083

Окончательно:

$$C_K = 1,4 \times 54,08 / 276,94 = 0,273.$$

При определении ветровой нагрузок используется рекомендованная в нормах методика определения нагрузок на решетчатые конструкции – нагрузки определяются для конструкции в целом. Вначале определены нагрузки на каждую панель, затем нагрузки распределены в узлы конструкции с учетом фактической площади проекций сечений элементов. Для контроля

распределения вычислена сумма нагрузок по панелям и сумма узловых сил. Нагрузки вычислены расчетные, с коэффициентом надежности 1.4. Результаты представлены в табличной форме. При этом учтено влияние ветра на панели с противоположной стороны, поэтому результаты на каждый узел удвоены.

Таблица 13

Высота, м	Средняя, кг/м ²	Ширина башни, м	Площадь панели, м ²	Расчетная нагрузка на одну панель, кПа	Расчетная нагрузка на каждый узел, кН
0.000	13.300	8.280			2.7
3.590	13.300	7.830	28.917	5.4	5.6
7.180	15.040	7.380	27.302	5.7	6.1
10.780	17.705	6.930	25.758	6.4	6.5
14.360	19.610	6.480	24.004	6.6	6.7
17.950	21.519	6.030	22.455	6.8	6.8
21.540	23.122	5.580	20.840	6.7	6.6
25.130	24.316	5.130	19.224	6.5	6.4
28.720	25.509	4.680	17.609	6.3	6.1
32.320	26.706	4.230	16.038	6.0	5.8
35.910	27.900	3.680	14.198	5.5	5.3
39.500	29.094	3.330	12.583	5.1	4.9
43.090	30.082	2.880	11.147	4.7	4.6
46.690	31.040	2.880	10.368	4.5	4.6
50.290	31.997	2.880	10.368	4.6	4.8
54.020	32.989	2.880	10.742	5.0	3.7
55.890	33.487	2.880	5.386	2.5	1.3

Вводим узловые нагрузки. Для направления 1 узловые силы направлены вдоль оси У согласно принятой системе координат.

Меню: **Редактировать** → **Нагрузки** → **Узловые** → **Силы и моменты**.

Значение сил вдоль оси У устанавливаем согласно таблице и вводим в схему.

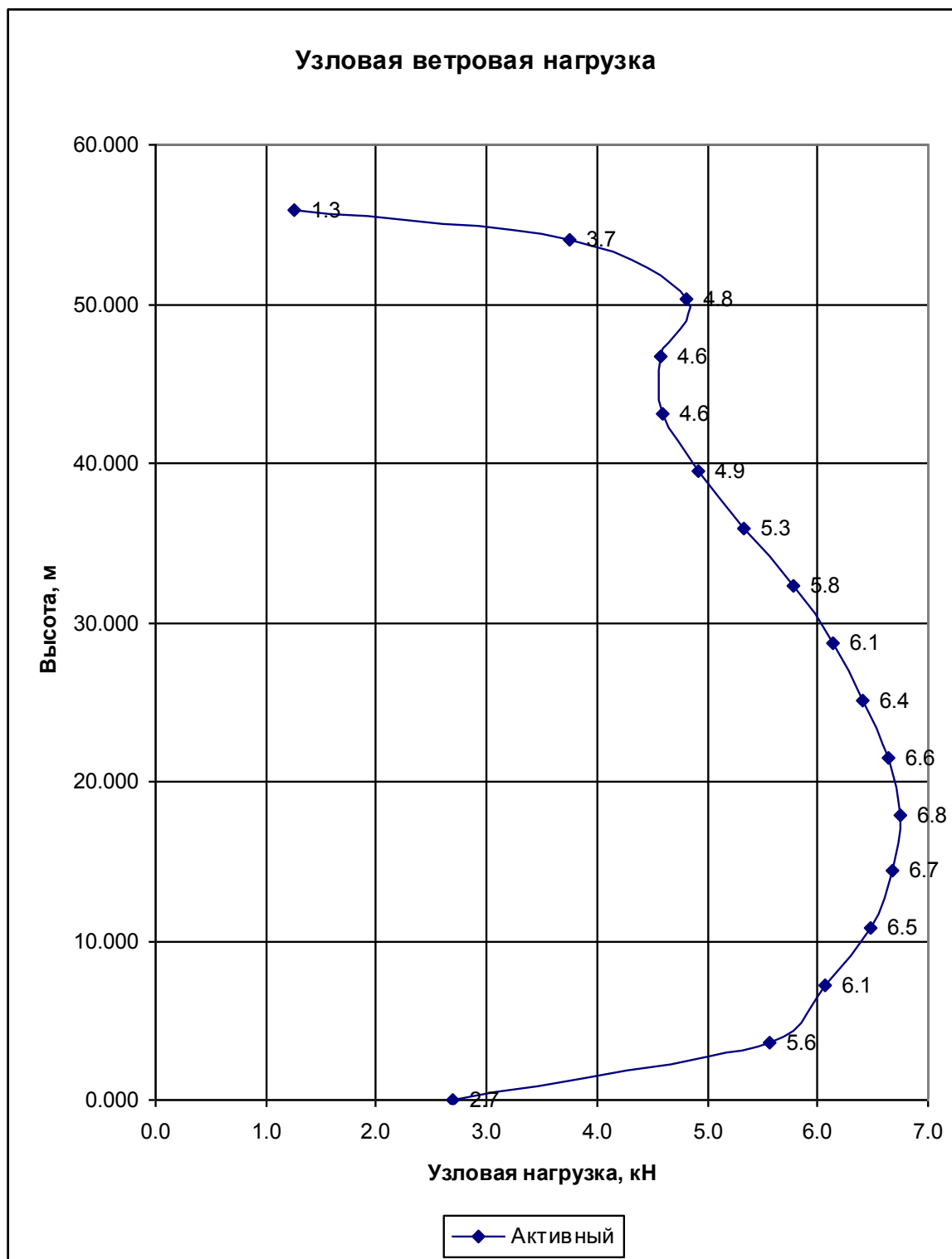


Рис. 5. Узловая ветровая нагрузка. кН

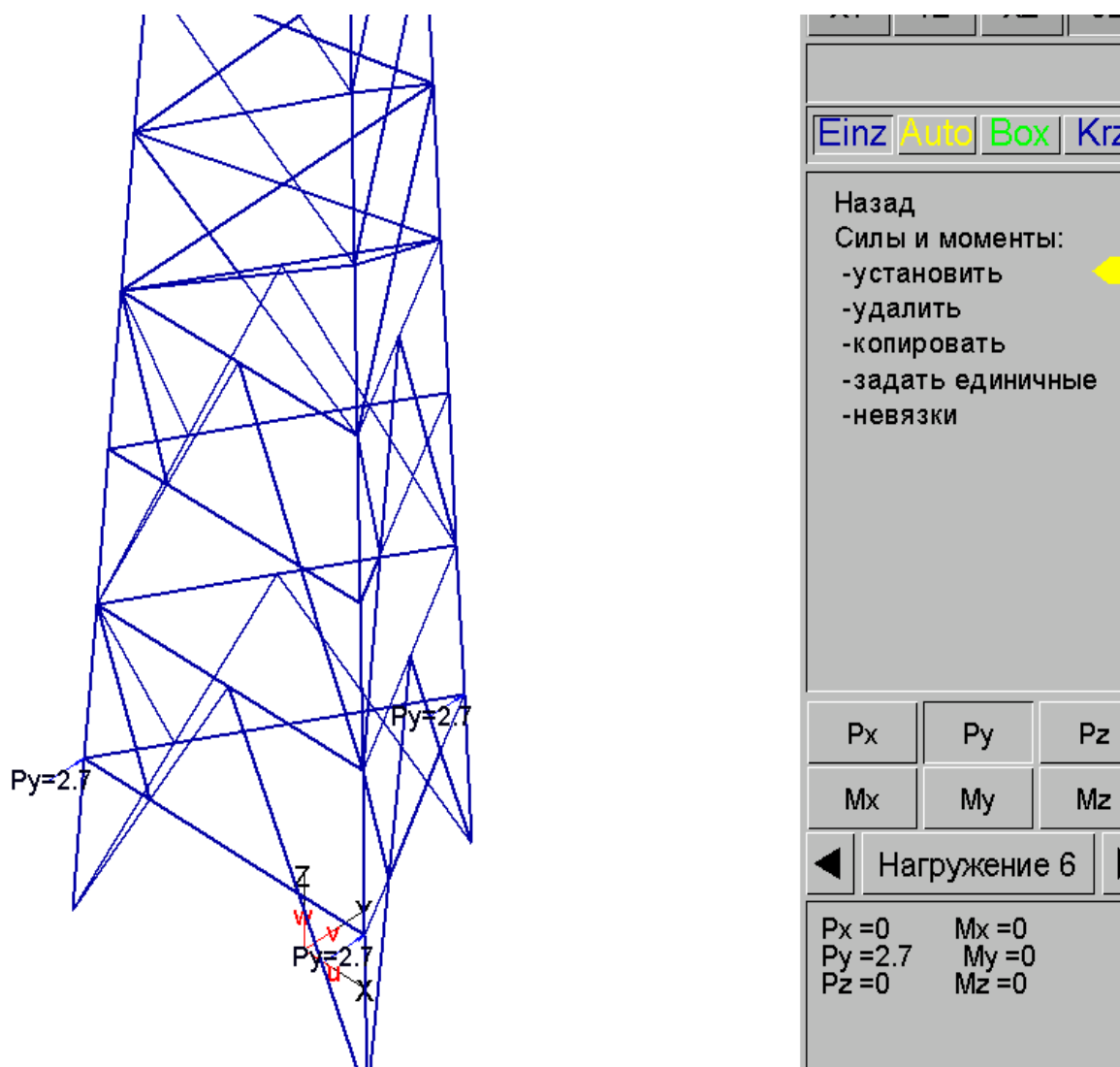


Рис. 6. Процесс ввода ветровых сил в нагрузку 6

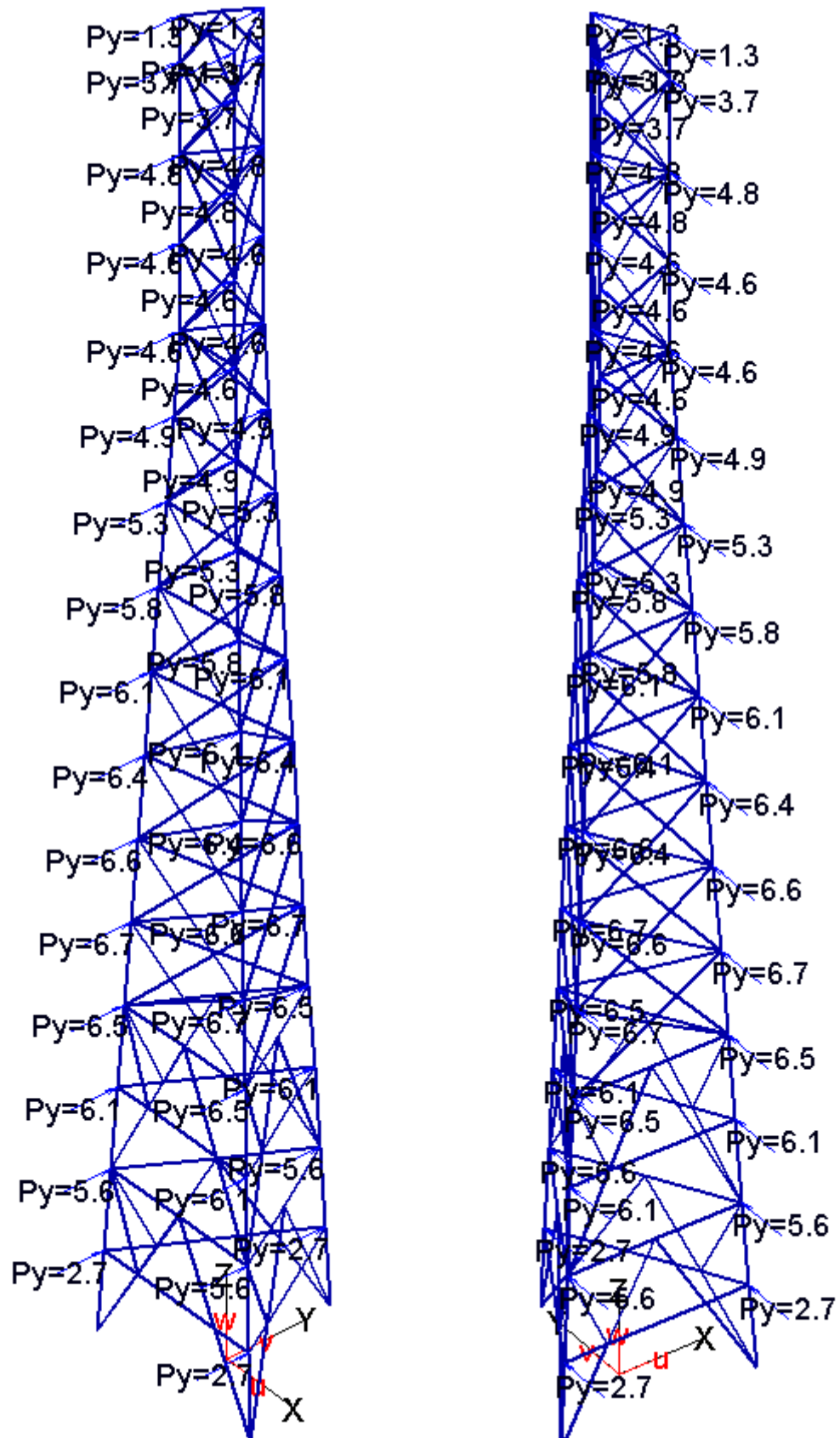


Рис. 7. Узловые ветровые нагрузки по направлению 1

Процесс ввода нагрузок по другим направлениям практически не отличается от ввода нагружения 6. Однако нужно учесть, что эти направления не перпендикулярны глобальным осям координат. Поэтому требуется вычислить коэффициенты для ввода сил P_x и P_y , чтобы силы были направлены вдоль соответствующего направления.

Проекции сил: $P_x = P \times \cos \alpha$, $P_y = P \times \sin \alpha$. Из геометрических соображений следует, что для нагружения 7 (для направления 2) $\cos \alpha = 0,866$, $\sin \alpha = -0,5$. Для нагружения 8 (направление 3) $\cos \alpha = -0,866$, $\sin \alpha = -0,5$.

Таблица 14

Высота, м	Расчетная узловая нагрузка, кН	Проекция P_x , кН	Проекция P_y , кН
0.000	2.7	2.3	-1.3
3.590	5.6	4.8	-2.8
7.180	6.1	5.3	-3.0
10.780	6.5	5.6	-3.2
14.360	6.7	5.8	-3.3
17.950	6.8	5.9	-3.4
21.540	6.6	5.8	-3.3
25.130	6.4	5.6	-3.2
28.720	6.1	5.3	-3.1
32.320	5.8	5.0	-2.9
35.910	5.3	4.6	-2.7
39.500	4.9	4.3	-2.5
43.090	4.6	4.0	-2.3
46.690	4.6	4.0	-2.3
50.290	4.8	4.2	-2.4
54.020	3.7	3.2	-1.9
55.890	1.3	1.1	-0.6

Процесс ввода сил аналогичен вводу по направлению 1, просто значения устанавливаются для проекций сил на X и Y .

Имя	Значение
Px =	2.3
Py =	-1.3

OK

Рис. 8. Установка проекций сил

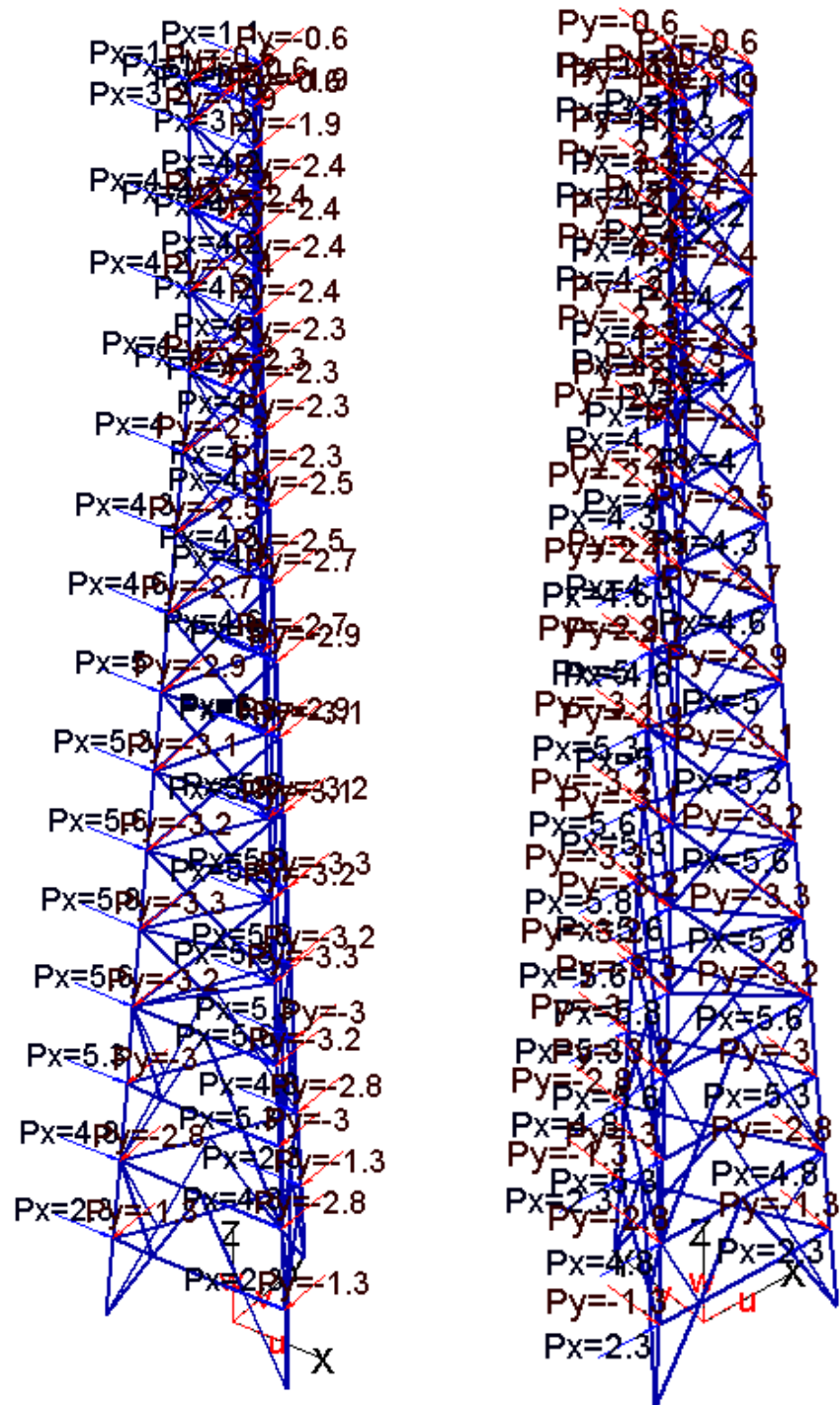


Рис. 9. Нагрузки нагружения 7 (направление 2)

Для определения сейсмических и пульсационных воздействий сначала необходимо выполнить расчет по определению частот и форм свободных колебаний. Затем, на основе этого расчета, сформируются пульсационные ветровые и сейсмические нагружения.

3.2. Расчет по определению частот и форм свободных колебаний

Нагрузки, введенные в проект вручную, можно разделить на две группы. В первую входят нагрузки, природа которых неразрывно связана с массой конструкций, элементов, оборудования и т.д. Во второй группе нагрузки, которые не обусловлены массами отдельных элементов. Например, ветровые нагрузки, температурные и т.д.

При выполнении расчета по определению частот и форм свободных колебаний необходимо указать программе, какие нагрузки предполагают наличие инерционных свойств (масс), а какие нет.

Для этого вводится динамическая комбинация нагрузок. Коэффициент, стоящий для каждого нагружения в этой комбинации, указывает, как перевести нагрузку (силу) в массу. Массивным нагрузкам нужно ставить коэффициент 0.1, немассивным – ноль. Коэффициент 0.1 соответствует обратной к ускорению свободного падения g величине: $k = 1/g$.

Однако нормы задают ряд понижающих коэффициентов для разных типов нагрузок. Для постоянной нагрузки коэффициент будет 0.09, для длительной – 0.08.

В расчете учтем только массы от собственного веса конструкций и оборудования (нагружения 1 и 2).

Введем соответствующую динамическую комбинацию. Меню: **Комбинации**. После открытия диалогового окна выберем вкладку **Массы**, введем новую комбинацию и установим значения коэффициентов к первому и второму нагружению 0.09 и 0.08 соответственно.

После подтверждения ввода можно приступить непосредственно к расчету.

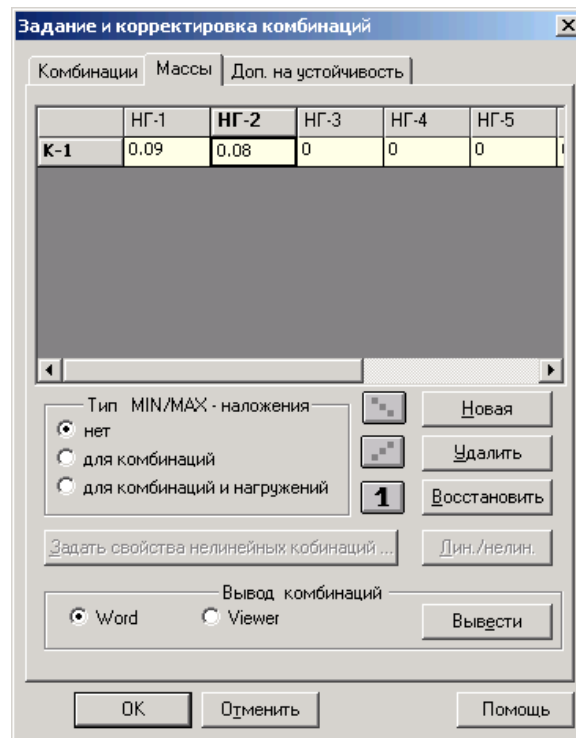


Рис.11. Динамическая комбинация

Меню **Расчет** → **Общий**. Открывается диалоговое окно выбора типа расчета. Выбираем вариант **Собственные колебания**, устанавливаем число собственных форм 12. Чем больше мы рассмотрим форм, тем точнее будет этот и следующие расчеты. Однако вместе с тем будет расти общая трудоемкость работы. Остальные опции можно оставить по-умолчанию.

После нажатия кнопки **ОК** начинается сам расчет по определению частот и форм. После успешного выполнения расчета программа загружает модель, и отдельной программой (Viewer) автоматически открывается протокол расчета.

Из меню Viewer можно выполнить экспорт протокола в документ Word (по просьбе программы указать имя и папку, в которой сохраняется протокол с тем, чтобы позже вставит его в отчет).

Выбор типа расчета

Вид расчета

- ☐ Статический расчет
- ☐ Устойчивость
- ☒ Собственные колебания
- ☐ Спектральный сдвиг
- ☐ "Деформированные" колебания
- ☐ "Нелинейная" устойчивость
- ☐ "Нелинейный" спектральный сдвиг

Итерационный расчет

- ☐ Теория II порядка
- ☐ Трос
- ☐ Односторонние опоры
- ☐ Односторонние шарниры
- ☐ Превышение итераций
- ☒ Прерывание итераций

Итерации: 200

Точность: 1e-006

Количество собственных форм: 12

Точность: 0.0001

- ☐ Однопоточный расчет
- ☒ Оптимизация
- ☐ Закрепление узлов

Задание стандартов ...

Вывод результатов

- ☒ Усилия
- ☒ Реакции
- ☒ Невязки

Проект: Башня

Примечание:

Исполнитель: Panasjuk L.

OK Отменить Помощь

Рис. 12. Опции расчета

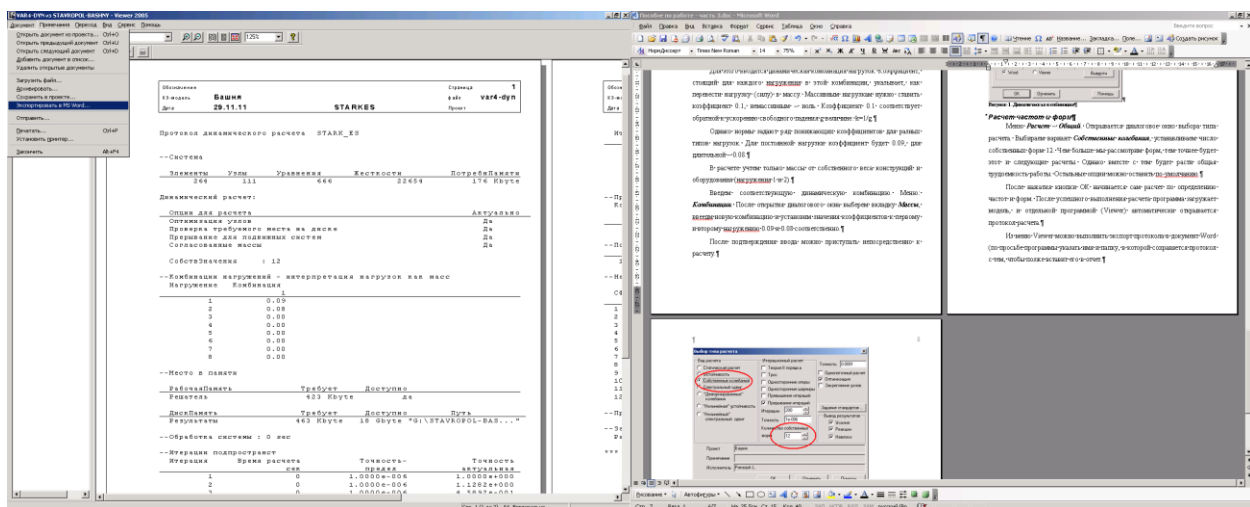


Рис.13. Экспорт протокола в Word

Далее приведен переданный в Word протокол расчета.

Протокол динамического расчета STARK_ES

--Система

Элементы	Узлы	Уравнения	Жесткости	ПотребнПамяти
264	111	666	22654	176 Kbyte

Динамический расчет:

Опции для расчета	Актуально	
Оптимизация узлов	Да	
Проверка требуемого места на диске		Да
Прерывание для подвижных систем		Да
Согласованные массы	Да	

СобствЗначения: 12

--Комбинации нагружений - интерпретация нагрузок как масс

Нагружение Комбинация

1	
1	0.09
2	0.08
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00

--Место в памяти

РабочаяПамять	Требует	Доступно	
Решатель	423 Kbyte	да	
ДискПамять	Требует	Доступно	Путь
Результаты	463 Kbyte	18 Gbyte	"G:STAVROPOL-BAS..."

--Обработка системы : 0 sec

--Итерации подпространст

Итерация	Время расчета сек	Точность- предел	Точность актуальная
1	0	1.0000e-006	1.0000e+000
2	0	1.0000e-006	1.1282e+000
3	0	1.0000e-006	4.5892e-001

4	0	1.0000e-006	2.0626e-001
5	0	1.0000e-006	1.9949e-001
6	0	1.0000e-006	4.9554e-002
7	1	1.0000e-006	4.1468e-002
8	0	1.0000e-006	2.1117e-001
9	0	1.0000e-006	1.5176e-001
10	0	1.0000e-006	2.0107e-002
11	0	1.0000e-006	3.8569e-002
12	0	1.0000e-006	1.8995e-002
13	0	1.0000e-006	5.0023e-003
14	0	1.0000e-006	1.5249e-003
15	1	1.0000e-006	5.4275e-004
16	0	1.0000e-006	2.1013e-004
17	0	1.0000e-006	8.4977e-005
18	0	1.0000e-006	4.3683e-005
19	0	1.0000e-006	1.4404e-005
20	0	1.0000e-006	4.0238e-006
21	0	1.0000e-006	1.0957e-006
22	0	1.0000e-006	3.0196e-007
23	0	1.0000e-006	3.0196e-007

--Проверка полноты собственных значений (Тест Штурма)

Комбинация	Время расчета Сек	Точность	Количество СобствЗнач (тест)	Количество СобствЗнач (найдено)
1	2.274997e+003	3.0196e-007	12	12

--ПолнаяМасса (действ)

Мх	My	Mz	Rmx	Rmy	Rmz
1.25e+001	1.25e+001	1.25e+001	6.16e-001	6.15e-001	1.54e-001

--Нагрузка / ОпорныеРеакции

СФ	Px / Ax [Kn]	Py / Ay [Kn]	Pz / Az [Kn]
1	-24.43 / 24.43	139.85 / -139.85	-0.01 / 0.01
2	139.94 / -139.94	24.40 / -24.40	0.00 / -0.00
3	-234.86 / 234.86	905.51 / -905.51	3.88 / 3.88
4	911.25 / -911.25	236.68 / -236.68	-3.50 / 3.50
5	-86.49 / 86.49	45.07 / -45.07	-0.72 / 0.72
6	1585.28 / -1585.28	706.58 / -706.58	2.20 / -2.20
7	706.73 / -706.73	-1597.79 / 1597.79	-1.05 / 1.05
8	13.10 / -13.10	23.85 / -23.85	-51.08 / 51.08
9	140.85 / -140.85	-993.68 / 993.68	-0.93 / 0.93

10	-979.49 / 979.49	-135.25 / 135.25	-1.29 / 1.29
11	774.49 / -774.51	450.58 / -450.65	-18.14 / 18.18
12	-448.77 / 448.78	774.82 / -774.78	-12.04 / 12.02

--Проверка ортогональности собственных форм успешно завершена

--Задача динамики завершена

Расчетное время : 3 сек

*** Расчет успешно завершен ***

Теперь можно приступить к анализу результатов расчета.

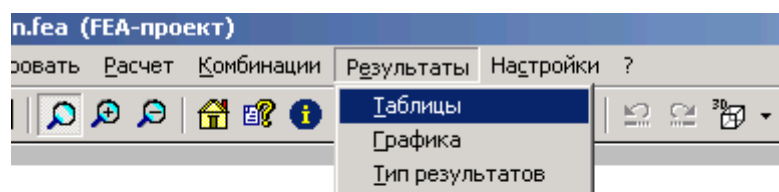


Рис.14. Вход в обработку результатов

Для вывода результатов выбираем меню **Результаты**. Их можно просматривать в графической и табличной формах. Здесь остановимся на графическом представлении. Выбираем подменю **Графика**.

Открывается окно, в котором выбираем, какие по типу результаты хотим просматривать. Выбираем тип – **Перемещения**.

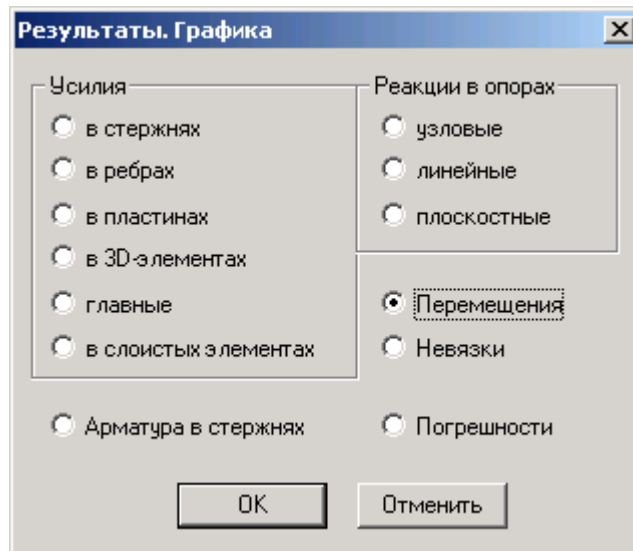


Рис. 15. Выбор типа результатов

После нажатия **OK** на экран выводится деформированная схема. Т.к. масштаб перемещений может быть мал, то с помощью задания коэффициента можно увеличить относительный масштаб перемещений. Значение коэффициента выбирается методом подбора для разных вариантов результатов.

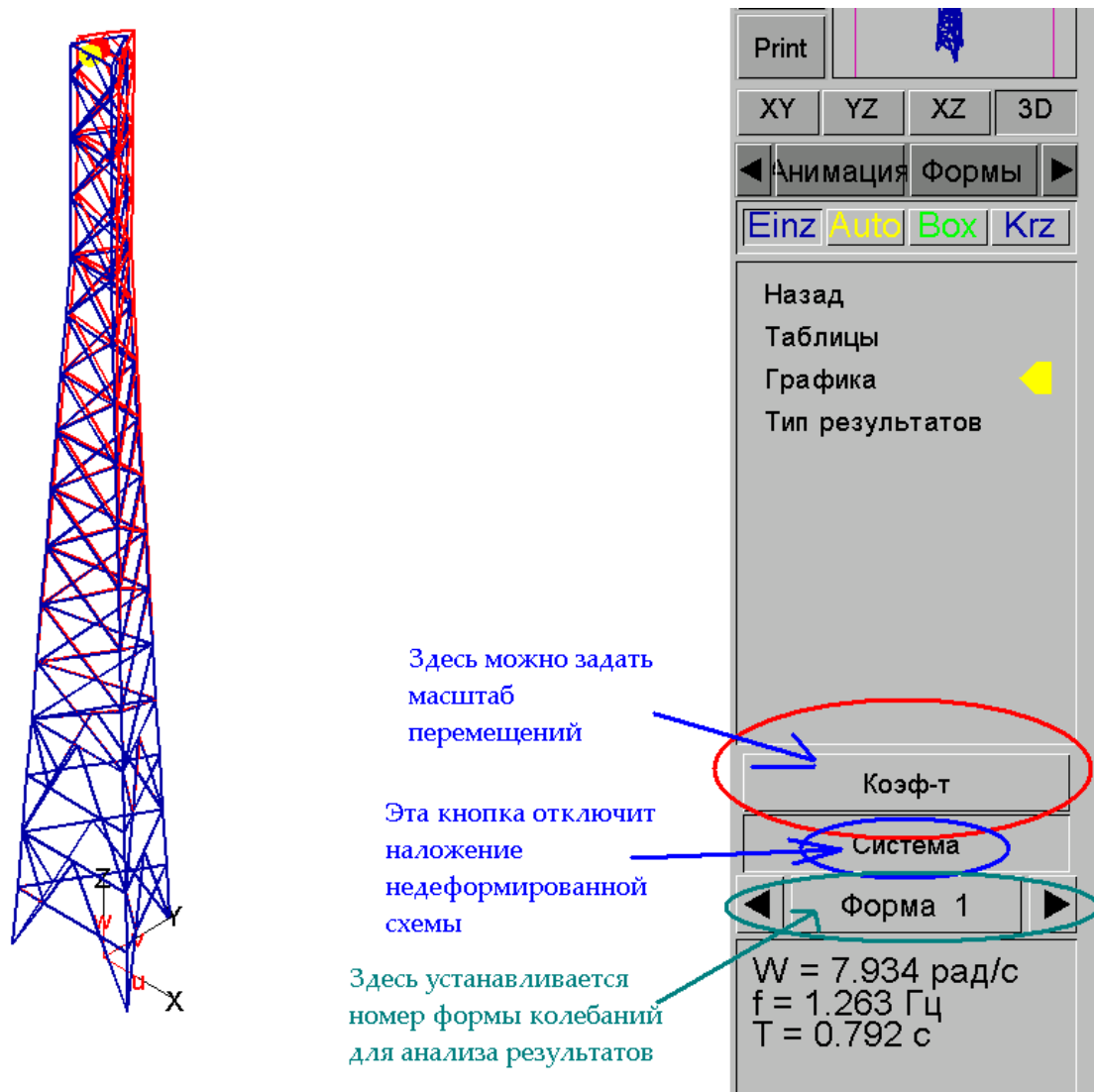


Рис.16. Окно результатов и его управляющие функции

Установим масштаб перемещений 5. Визуализация деформаций улучшится. Можно рассматривать деформированную схему под разным углом, в разных проекциях. Например:

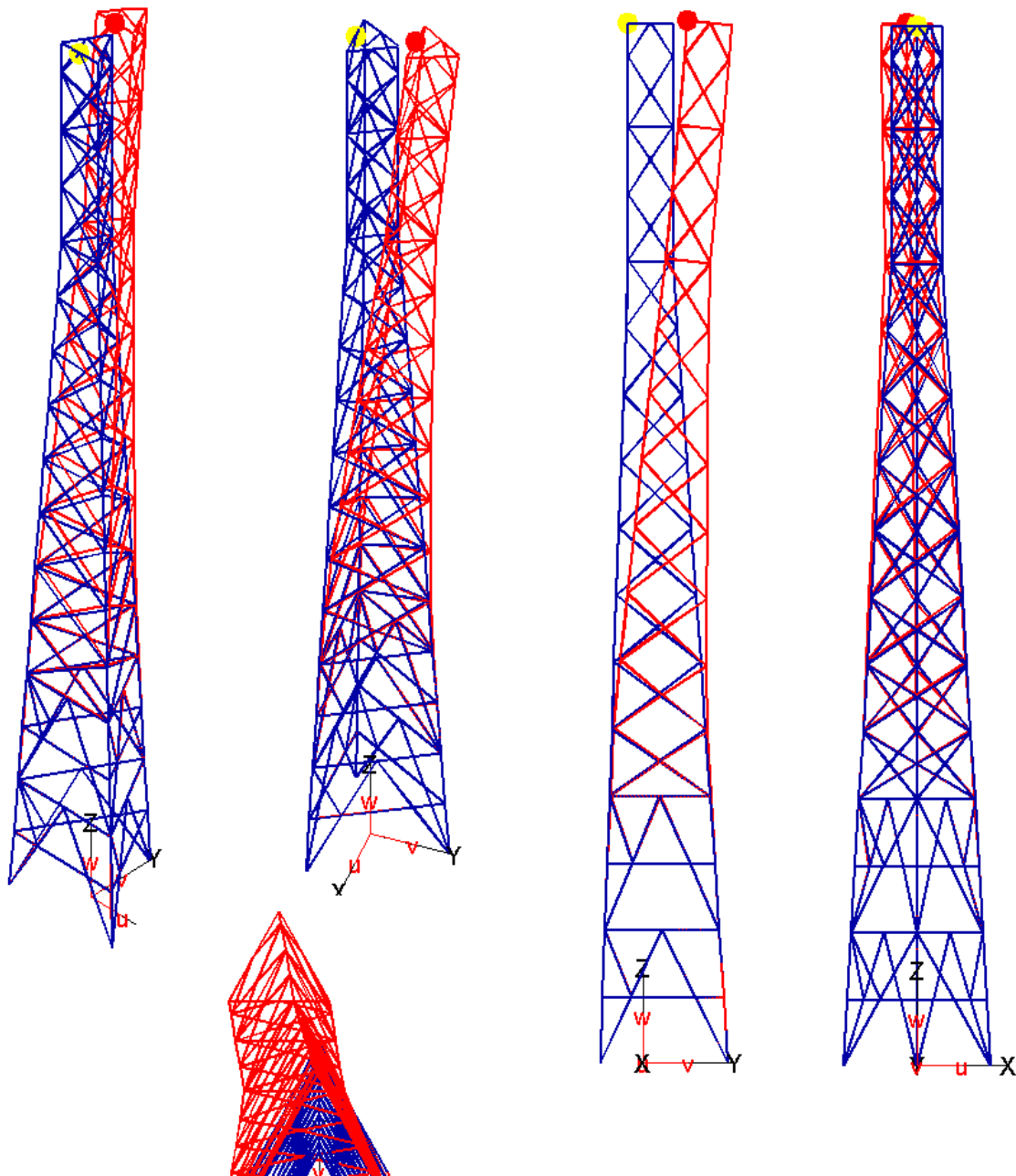


Рис.17. Варианты вывода результатов по первой форме колебаний

В нижнем правом углу выведена таблица со значениями частоты (f) и периода (T) свободных колебаний башни по первой форме.

◀	Форма 1	▶
$W = 7.934 \text{ рад/с}$ $f = 1.263 \text{ Гц}$ $T = 0.792 \text{ с}$		

Рис.18. Значения периодов и форм свободных колебаний по первой форме

Изменяя номера форм, можно просмотреть все остальные рассчитанные формы колебаний.

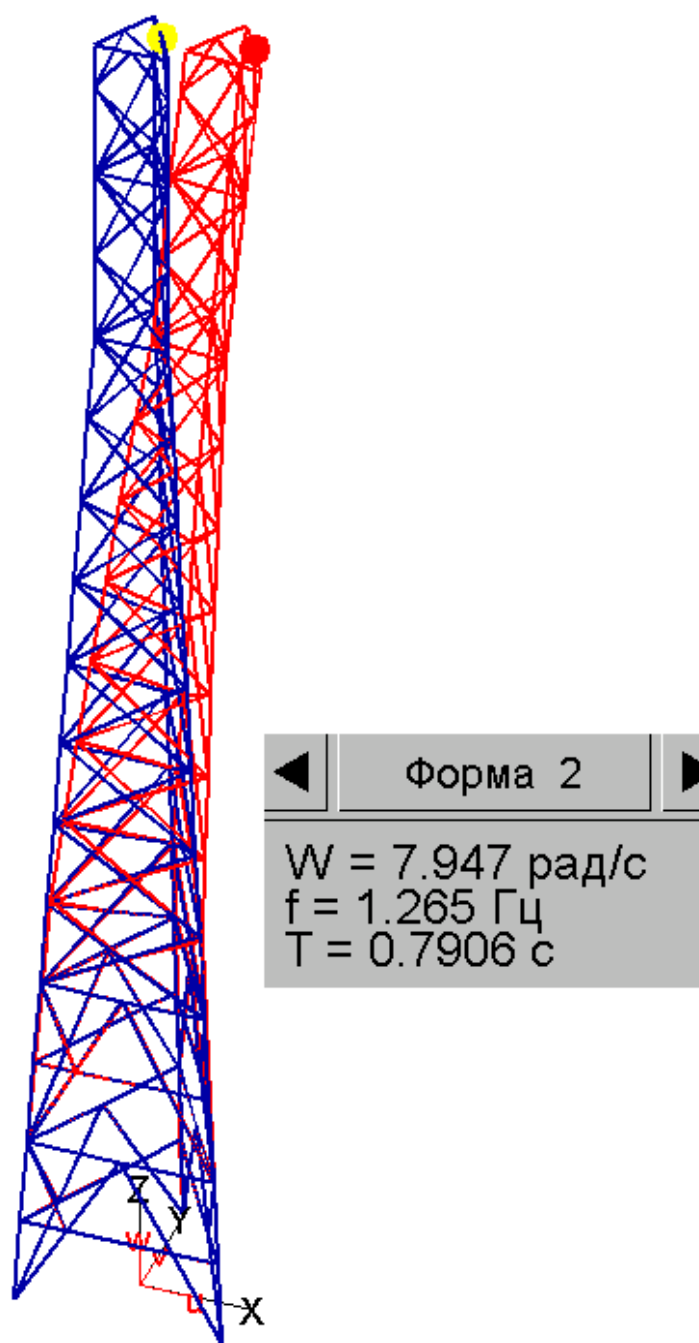


Рис.19. Вторая форма колебаний

Вторая форма практически по всем параметрам соответствует первой. Отличие в том, что колебания преимущественно лежат в другой плоскости.

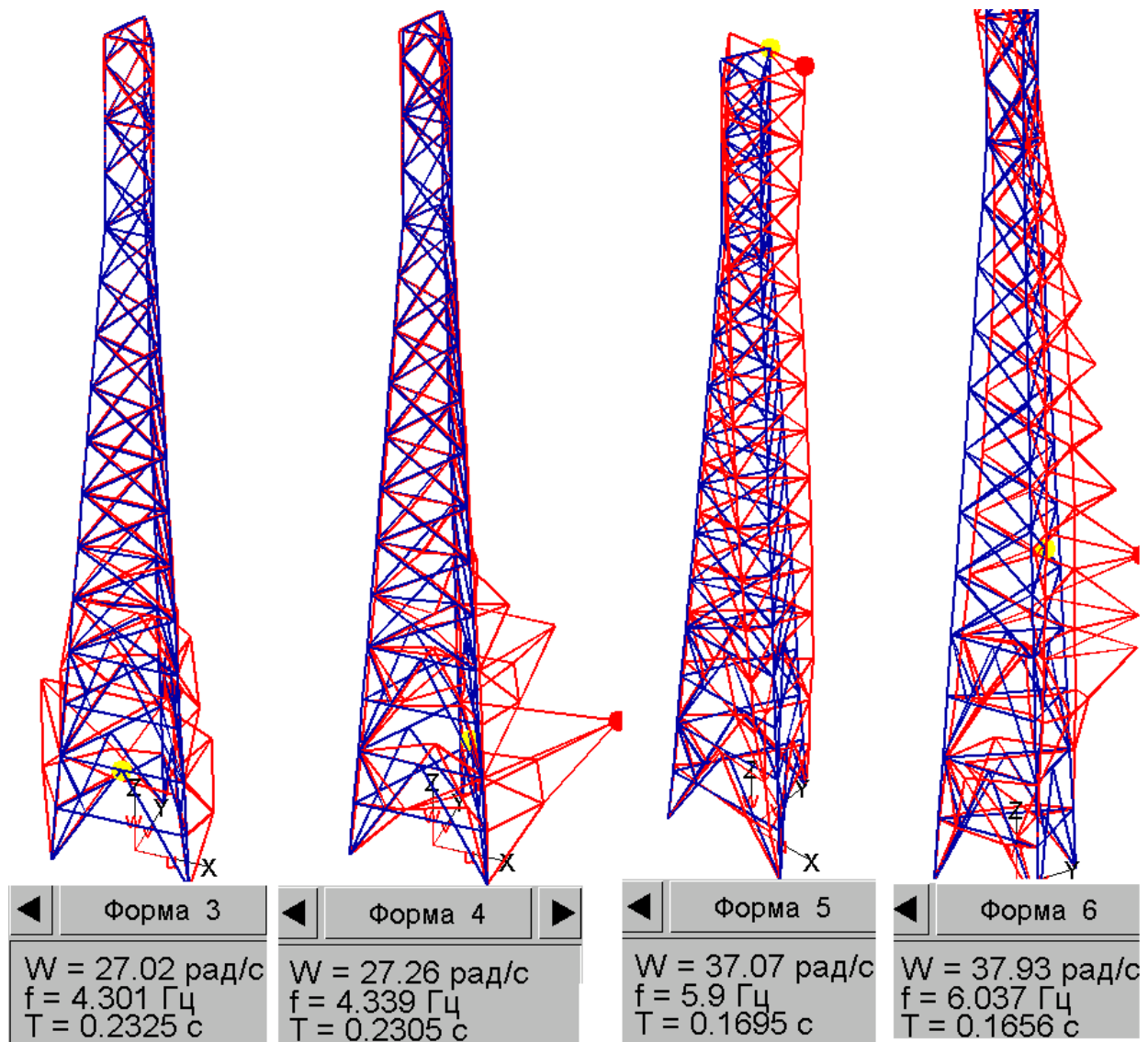


Рис.20. Формы колебаний 3-6

Формы 3-4 определяют локальные колебания нижних фрагментов решетки (раскосов) относительно всей конструкции. Форма 5 соответствует крутильным колебаниям конструкции в целом. Остальные формы так же соответствуют локальным колебаниям элементов решетки относительно конструкции в целом.

Для определения динамических нагрузок будем использовать формы № 1, 2, 5.

3.3 Расчет пульсационных и сейсмических нагрузок

Меню: **Расчет** → **Конструктивный**. Откроется диалоговое окно конструктивного расчета.

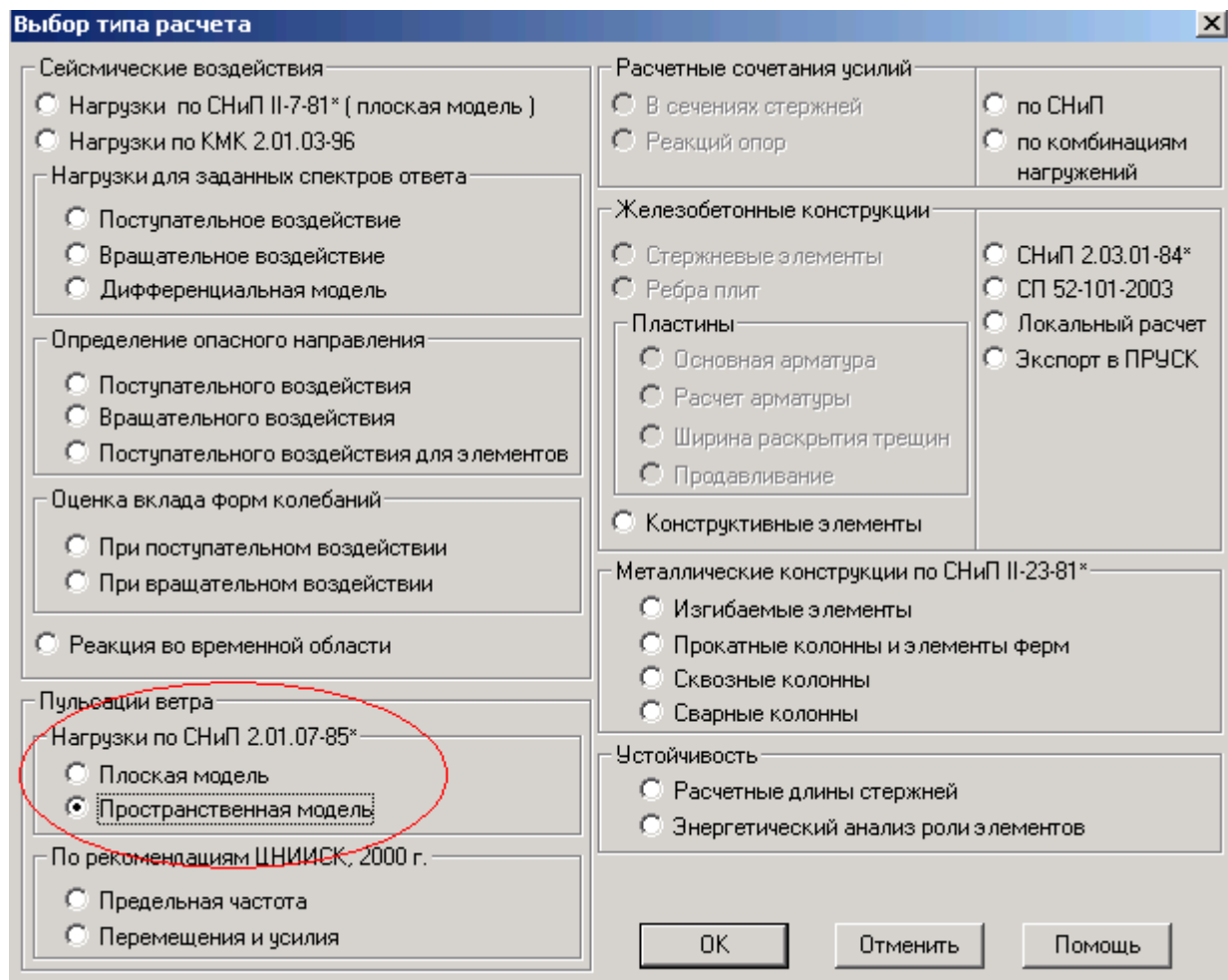
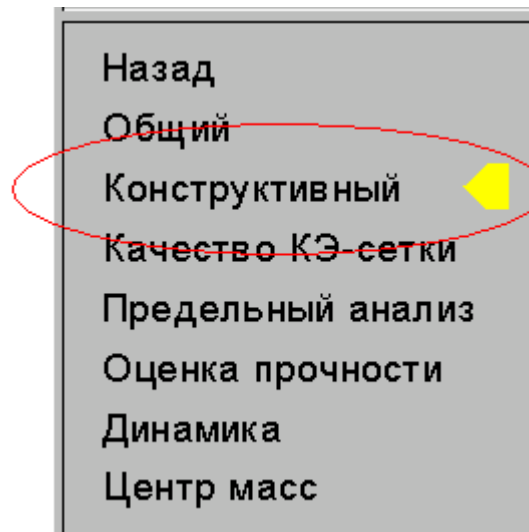


Рис.21. Вход в расчет для определения пульсационных нагрузок

Выбираем тип расчета – *пульсация ветра, пространственная модель*.

Открывается диалоговое окно, в котором следует заполнить основную часть и окно дополнительных условий.

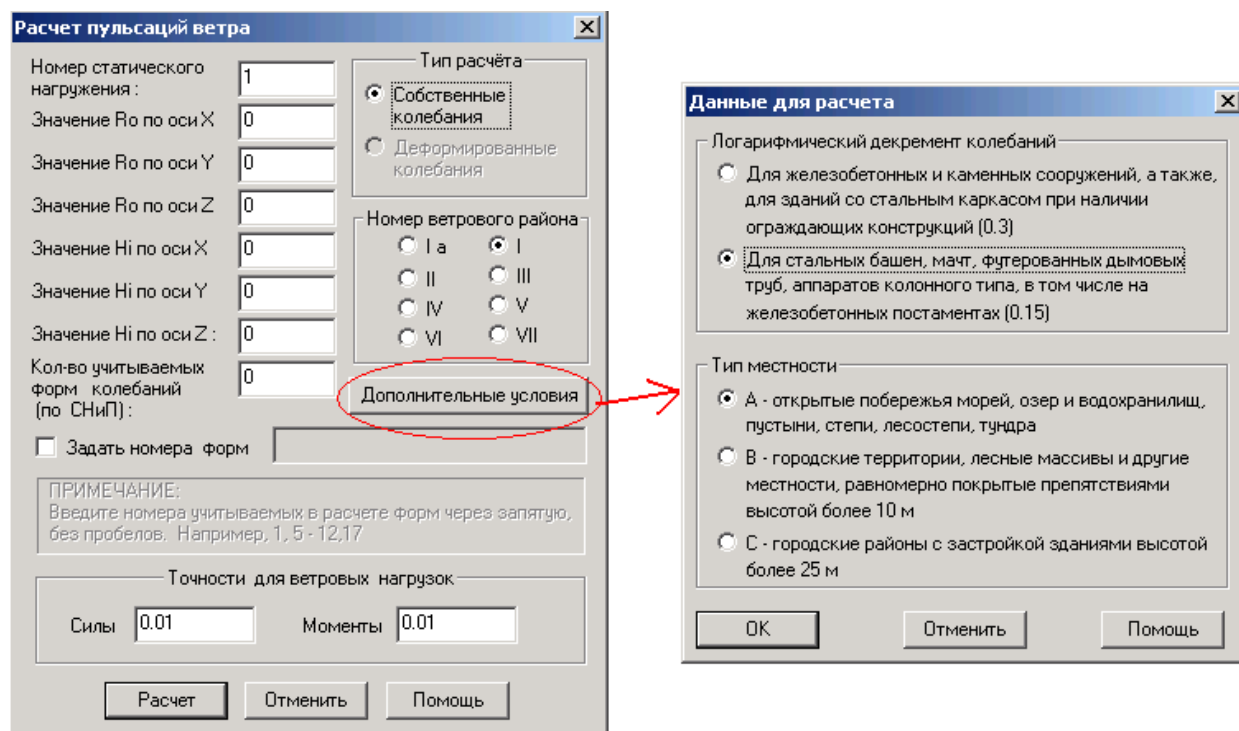


Рис.22. Окна параметров расчета пульсации ветра

Окно *дополнительные условия* заполняется один раз. Основное окно нужно заполнять каждый раз для расчета пульсации по направлениям 1, 2, 3. Основные данные заполняются согласно таблице 10, СНиП 2.01.07-85 (2003).

Пульсация ветра по направлению статического воздействия 6 (направление 1)

Расчет пульсаций ветра

Номер статического нагружения:

Значение R_0 по оси X:

Значение R_0 по оси Y:

Значение R_0 по оси Z:

Значение H_i по оси X:

Значение H_i по оси Y:

Значение H_i по оси Z:

Кол-во учитываемых форм колебаний (по СНиП):

☒ Задать номера форм

Тип расчёта

☒ Собственные колебания

☐ Деформированные колебания

Номер ветрового района

☐ Ia ☐ I

☐ II ☒ III

☐ IV ☐ V

☐ VI ☐ VII

ПРИМЕЧАНИЕ:
Введите номера учитываемых в расчете форм через запятую, без пробелов. Например, 1, 5 - 12,17

Точности для ветровых нагрузок

Силы Моменты

Рис.23. Параметры расчета для статического ветра по направлению 1

После нажатия кнопки **Расчет** появляется сообщение о его успешном выполнении. Войдем теперь в меню нагрузок для просмотра результатов расчета (**Редактировать** → **нагрузки** → **Нагружения**).

Мы вводили вручную 8 нагружений. Однако если посмотреть номера нагружений после этого расчета, то увидим, что появились два новых - № 9 и № 10. Эти нагружения автоматически сформированы программой и являются пульсационными составляющими ветровой нагрузки к статической в нагружении 6.

Нагружение 9	Нагружение 10
Узловых нагрузок = 97	Узловых нагрузок = 76
Элемент. нагрузок = 0	Элемент. нагрузок = 0
Нагрузок по стор. = 0	Нагрузок по стор. = 0
Точечных нагрузок = 0	Точечных нагрузок = 0
Линейных нагрузок = 0	Линейных нагрузок = 0
Плоскостных нагр. = 0	Плоскостных нагр. = 0

Рис.24. Добавочные автоматически созданные пульсационные нагружения

Если войти в режим узловых нагрузок, то можно увидеть эти силы на чертеже.

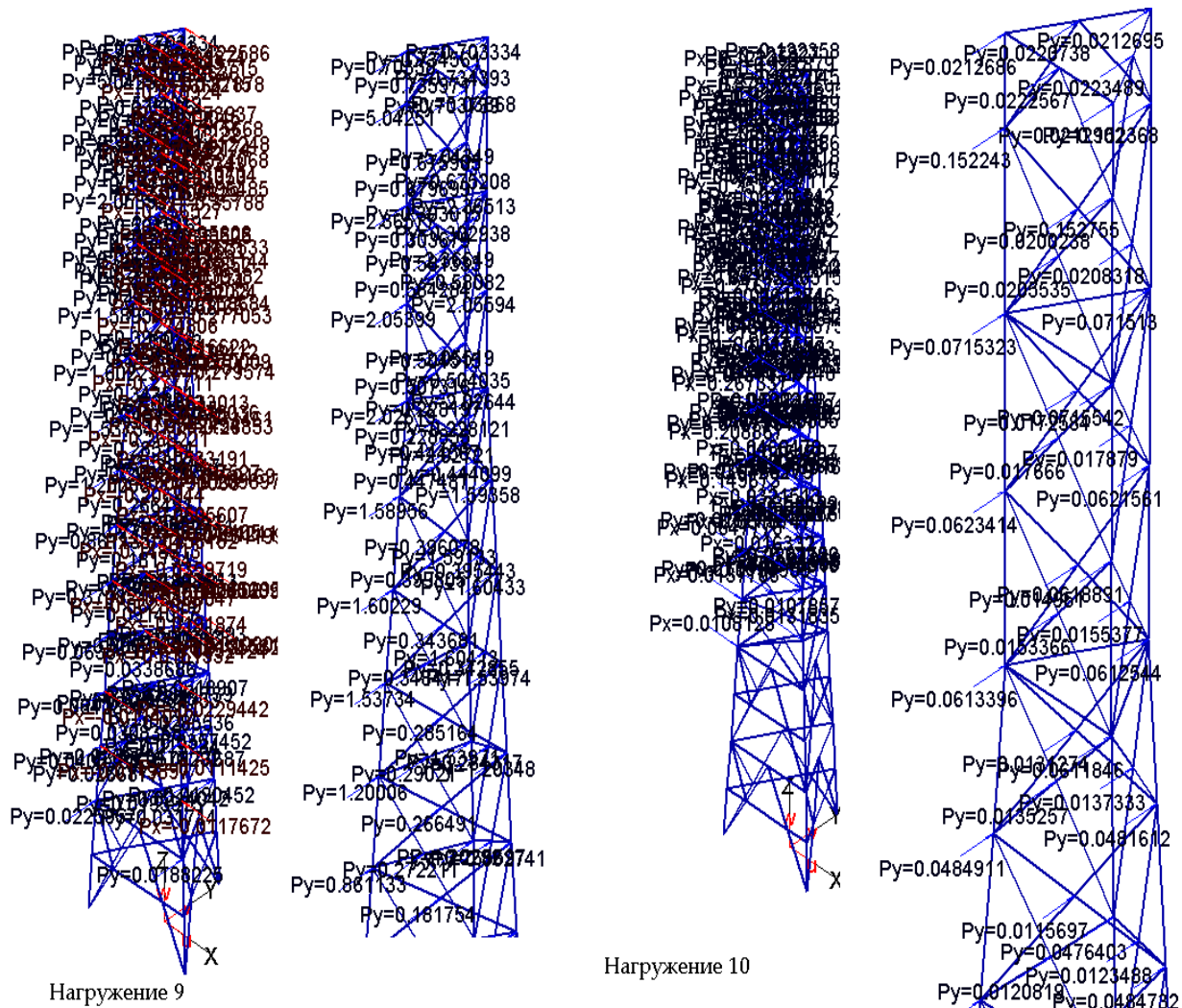


Рис.25. Дополнительные узловые нагрузки от пульсации ветра по направлению

1

Значения сил по нагружению 10 гораздо меньше, чем в нагружении 9. В принципе, нагружение 10 можно удалить. Покажем это в учебных целях. Входим в меню **нагружения (Редактировать → нагрузки → Нагружения)**. Выбираем нагружение 10 и нажимаем кнопку удалить. Теперь в проекте осталось только 9 нагружений.

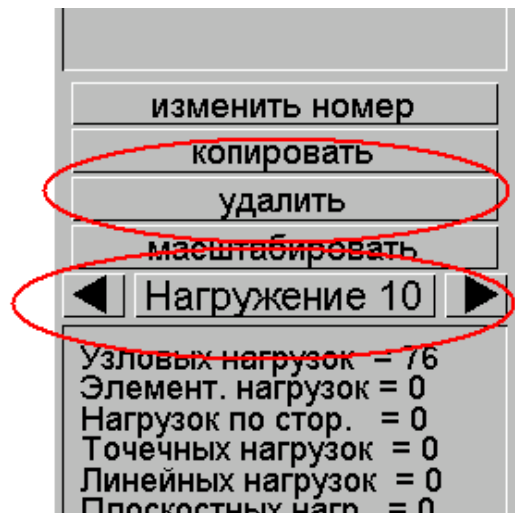


Рис.26. Удаление нагружения с малыми нагрузками

Пульсация ветра по направлению статического воздействия 7
(направление 2)

Расчет пульсаций ветра

Номер статического нагружения:

Значение R_0 по оси X:

Значение R_0 по оси Y:

Значение R_0 по оси Z:

Значение H_i по оси X:

Значение H_i по оси Y:

Значение H_i по оси Z:

Кол-во учитываемых форм колебаний (по СНиП):

☒ Задать номера форм

Тип расчёта

☒ Собственные колебания

☐ Деформированные колебания

Номер ветрового района

☐ I а ☐ I

☐ II ☒ III

☐ IV ☐ V

☐ VI ☐ VII

Дополнительные условия

ПРИМЕЧАНИЕ:
Введите номера учитываемых в расчете форм через запятую, без пробелов. Например, 1, 5 - 12,17

Точности для ветровых нагрузок

Силы Моменты

Рис.27. Параметры расчета пульсации для статического ветра по направлению 2

Пульсация ветра по направлению статического воздействия 8 (направление 3)

Расчет пульсаций ветра

Номер статического нагружения: 8

Значение R_0 по оси X: 7.17

Значение R_0 по оси Y: 8.28

Значение R_0 по оси Z: 8.28

Значение N_i по оси X: 55.89

Значение N_i по оси Y: 55.89

Значение N_i по оси Z: 7.17

Кол-во учитываемых форм колебаний (по СНиП): 3

☒ Задать номера форм: 1,2,5

Тип расчёта

☒ Собственные колебания

☐ Деформированные колебания

Номер ветрового района

☐ Ia ☐ I

☐ II ☒ III

☐ IV ☐ V

☐ VI ☐ VII

Дополнительные условия

ПРИМЕЧАНИЕ:
Введите номера учитываемых в расчете форм через запятую, без пробелов. Например, 1, 5 - 12,17

Точности для ветровых нагрузок

Силы: 0.01 Моменты: 0.01

Расчет Отменить Помощь

Рис.29. Параметры расчета пульсации для статического ветра по направлению 3

Сформированы новые нагружения № 12, 13, 14. Нагружения 12-13 подобны нагружениям 10-11 (с точностью до направления). Нагружение 14 имеет очень малые значения. Является паразитическим, следствием вычислительных погрешностей. Мы его удаляем из проекта.

Итак, с учетом вычисления форм свободных колебаний, сформированы динамические ветровые нагрузки.

1. Направлению статического ветра 1 (нагружение 6) соответствует пульсационная нагрузка в нагружении 9.
2. Направлению статического ветра 2 (нагружение 7) соответствует пульсационная нагрузка в нагружениях 10-11.
3. Направлению статического ветра 3 (нагружение 8) соответствует пульсационная нагрузка в нагружениях 12-13.

3.4. Определение сейсмических нагрузок

Сейсмические нагрузки задаем также в конструктивном расчете.

Рис.30. Вход в расчет сейсмических нагрузок

Рис.31. Параметры расчета сейсмической нагрузки по направлению 1

Автоматически сформировано 12 новых нагружений с номерами 14 – 25. Каждое нагружение соответствует очередной из 12 определенных форм колебаний.

Определение сейсмических нагрузок

Количество этажей : 16

Коэффициент $K1^*$: 1

Сейсмичность : 8

Категория грунта : 1

Угол между направлением сейсмического воздействия и осью x (в градусах) : -30

Учет вертикальных масс ☒

Расчет

Отменить

Помощь

Таблица 3

Таблица 6

Рис.32. Параметры расчета сейсмической нагрузки по направлению 2

Аналогично сформированы 12 нагружений с номерами 26 – 37.

Определение сейсмических нагрузок

Количество этажей : 16

Коэффициент $K1^*$: 1

Сейсмичность : 8

Категория грунта : 1

Угол между направлением сейсмического воздействия и осью x (в градусах) : 210

Учет вертикальных масс ☒

Расчет

Отменить

Помощь

Таблица 3

Таблица 6

Рис.33. Параметры расчета сейсмической нагрузки по направлению 3

Аналогично сформированы 12 нагружений с номерами 38 – 49

Итак, с учетом вычисления форм свободных колебаний, сформированы сейсмические нагрузки.

1. Направлению 1 соответствует сейсмическая нагрузка в нагружениях 14 – 25.
2. Направлению 2 соответствует сейсмическая нагрузка в нагружениях 26 – 37.
3. Направлению 3 соответствует сейсмическая нагрузка в нагружениях 38 – 49.

РАЗДЕЛ 4: ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

4.1. Пример 1.

Статический и динамический расчет многоэтажного жилого дома, расположенного на участке, ограниченном ул. Красноармейской, ул. Журавлева, ул. Греческого города Волос, в г. Ростове-на-Дону,

Модель построена в пространственной постановке по комплексной схеме верхнее строение – фундаментная плита – свайное основание. Выполнены статический, динамический расчет, по результатам которого определена пульсационная составляющая ветровой нагрузки. Кроме того, выполнен расчет на общую потерю устойчивости здания.

Расчет выполнен по лицензионной версии программы MicroFE-2005, имеюще сертификат соответствия СНиП № РОСС RU.СП11.Н00169 №0313922, действительный по 10.06.2007г..

В данном томе отчета приведено описание расчетной схемы на уровне позиций и конечных элементов. Даются принятые в модели материалы. Приведено описание нагрузок расчетной схемы.

Ветровые нагружения сформированы согласно вычисленным таблицам распределения ветрового напора по высоте. Далее приведена таблица ветрового напора по высоте и графики распределения линейного ветрового давления в уровне плит перекрытий (кг/м).

Распределение нормативного ветрового напора по высоте. Таблица 2

Высота, м	Коэф. К	Коэф. Е	Нормативное распределение ветрового потока		Расчетное распределение ветрового потока	
			Активный, кг/м ²	Пассивный, кг/м ²	Активный, кг/м ²	Пассивный, кг/м ²
0.00	0.50	1.22	15.20	11.40	21.3	16.0
4.20	0.50	1.22	15.20	11.40	21.3	16.0
7.85	0.59	1.13	17.80	13.35	27.2	20.4
11.15	0.67	1.04	20.46	15.34	31.4	23.6
14.45	0.74	1.00	22.47	16.85	34.2	25.7
17.75	0.81	0.95	24.47	18.35	36.7	27.5
21.05	0.86	0.91	26.24	19.68	38.5	28.8
24.35	0.90	0.89	27.49	20.62	40.2	30.2
27.65	0.95	0.87	28.75	21.56	42.0	31.5
30.95	0.99	0.85	30.00	22.50	43.7	32.8
34.25	1.03	0.83	31.26	23.44	45.5	34.1
37.55	1.07	0.81	32.51	24.38	47.2	35.4
40.85	1.11	0.80	33.70	25.27	48.6	36.4
44.15	1.14	0.79	34.70	26.03	50.0	37.5
46.55	1.17	0.78	35.43	26.57	51.4	38.5

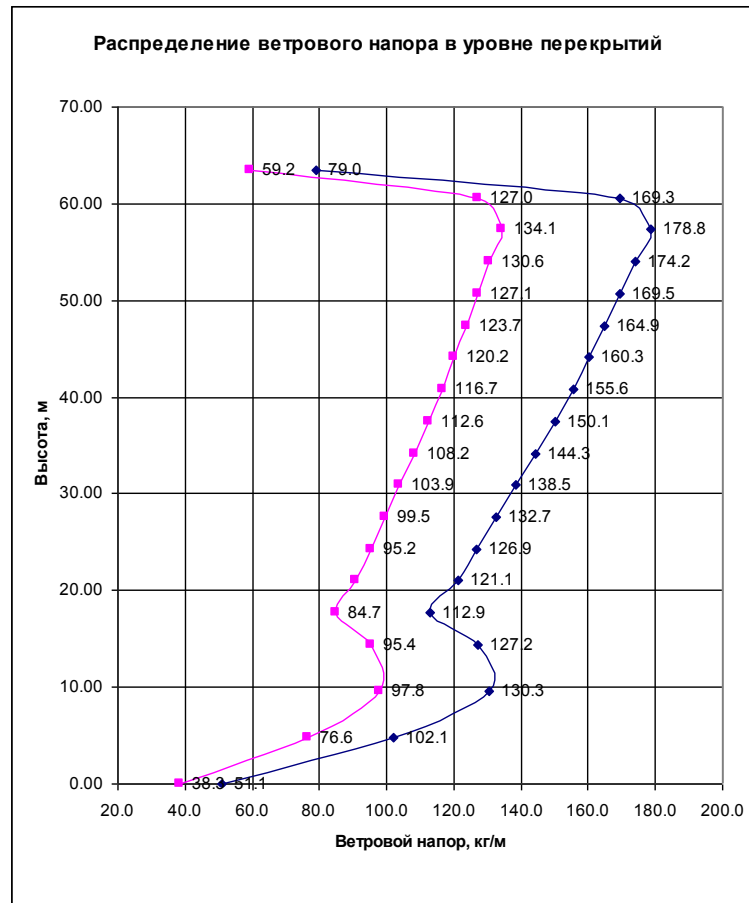


Рис. 34. Распределение линейного ветрового давления в уровне перекрытий

Нагрузки 8 и 9 — добавочные, использованы для повышения надежности конструктивных решений при «разламывающем» действии ветра на вогнутые вовнутрь фрагменты здания. Анализ результатов показал, что результаты армирования с учетом и без учета «ветровых карманов» практически совпадают, т.е. влияние «ветровых карманов» в данном здании оказалось незначительное.

Для учета нагрузок от ветра построена отдельная модель фиктивных элементов. Высота фиктивных элементов соответствует высотам этажей, размеры в плане приводят к опиранию элементов на верхнюю и нижнюю точки колонн или стен этажа. К этой модели приложена свободная распределенная нагрузка от действия ветра по осям X и Y. Свободная нагрузка автоматически трансформирована в узловые силы от ветра в уровнях плит перекрытий этажей.

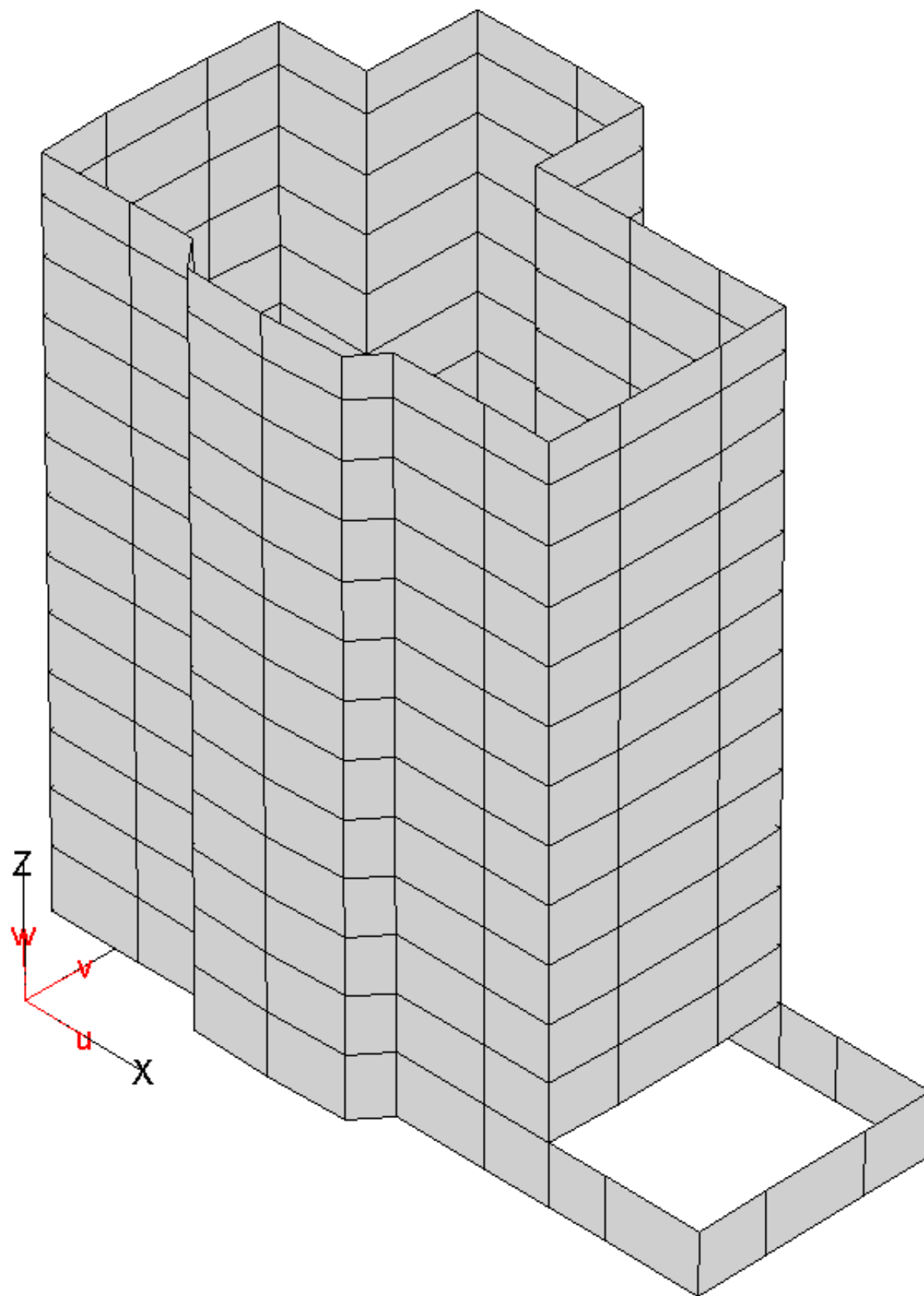


Рис. 35. Схема фиктивных конечных элементов для задания ветровой нагрузки

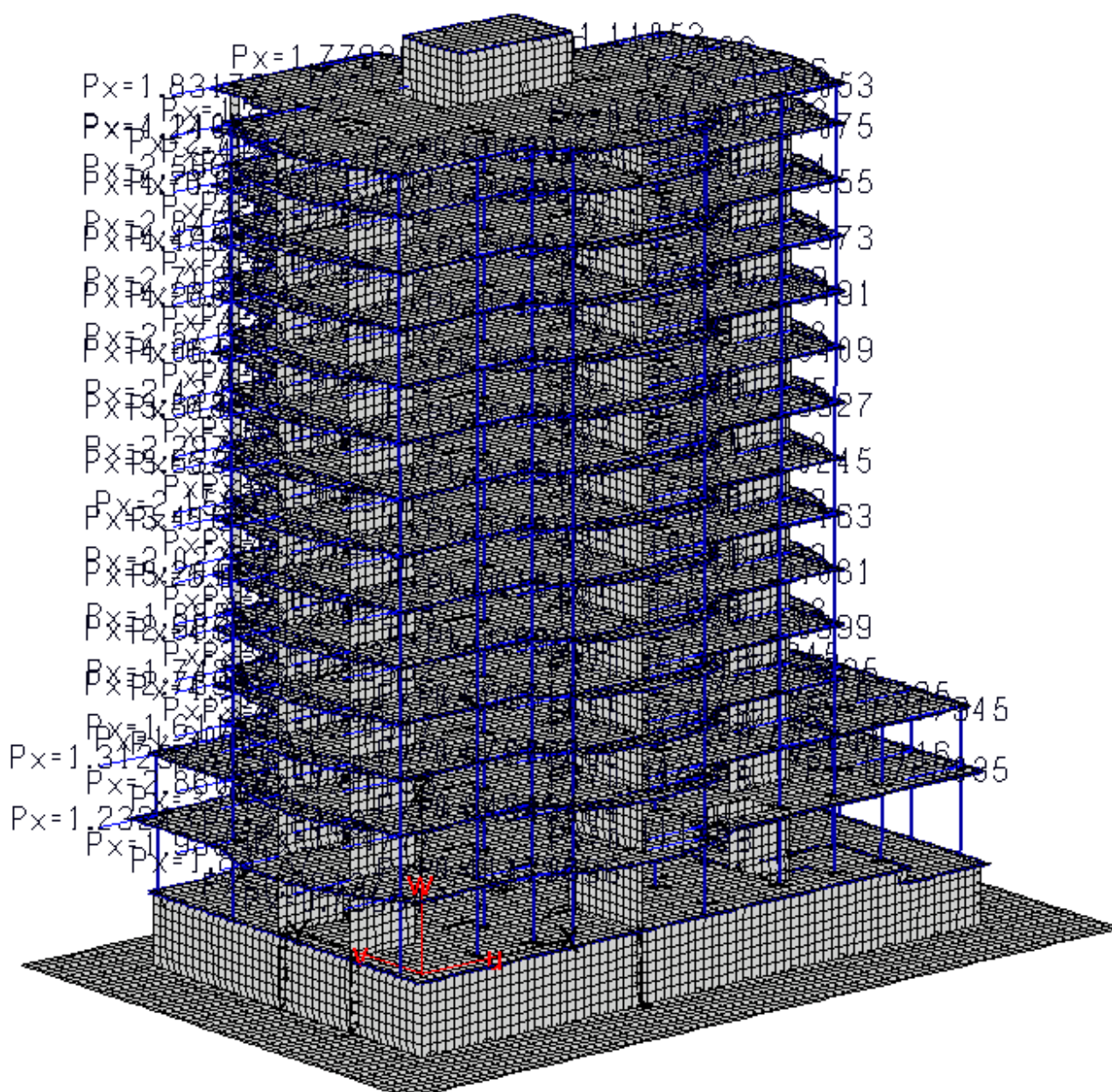


Рис. 36. Узловая ветровая нагрузка +X (нагружение 6)

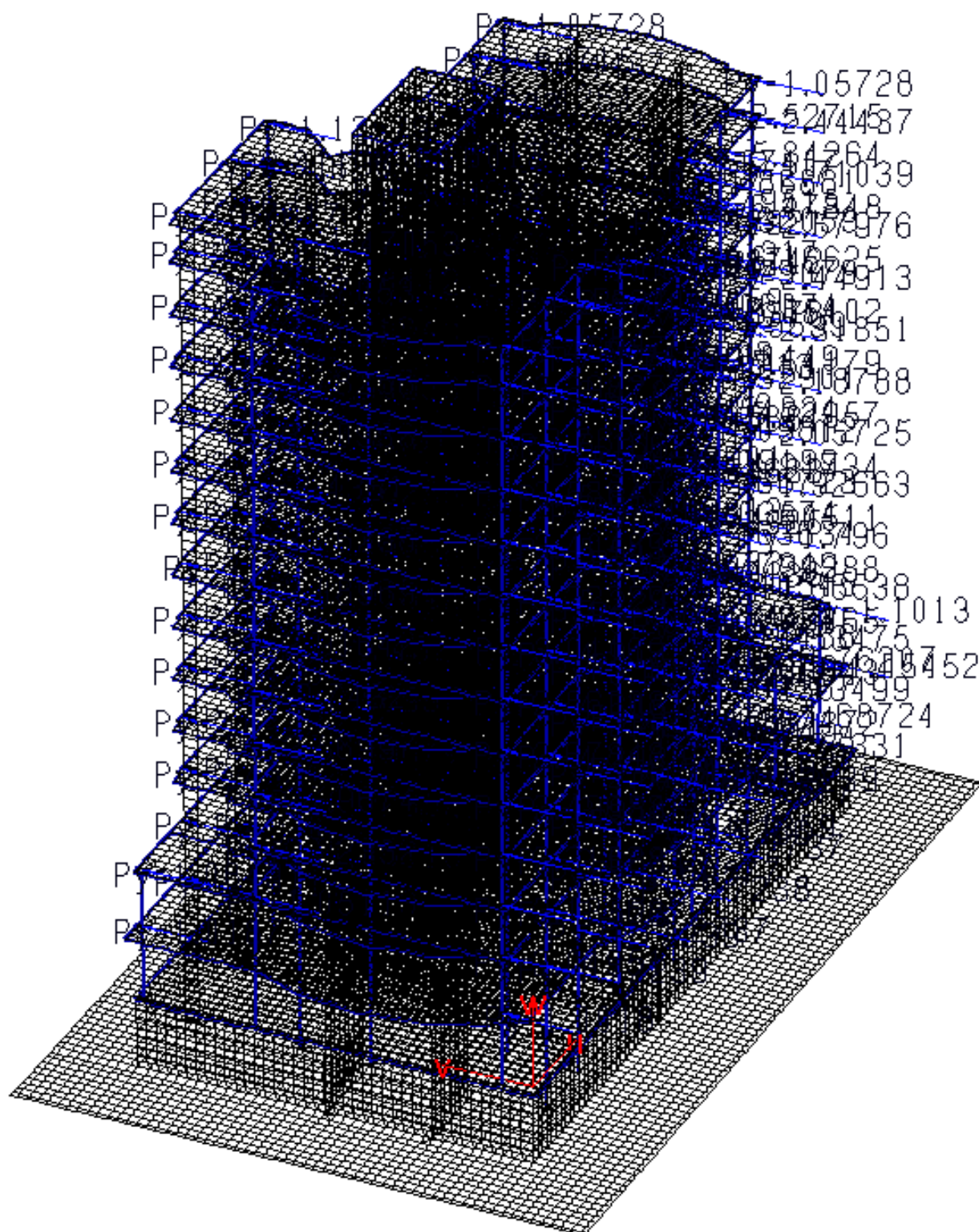


Рис. 37. Узловая ветровая нагрузка +У (нагружение 7)

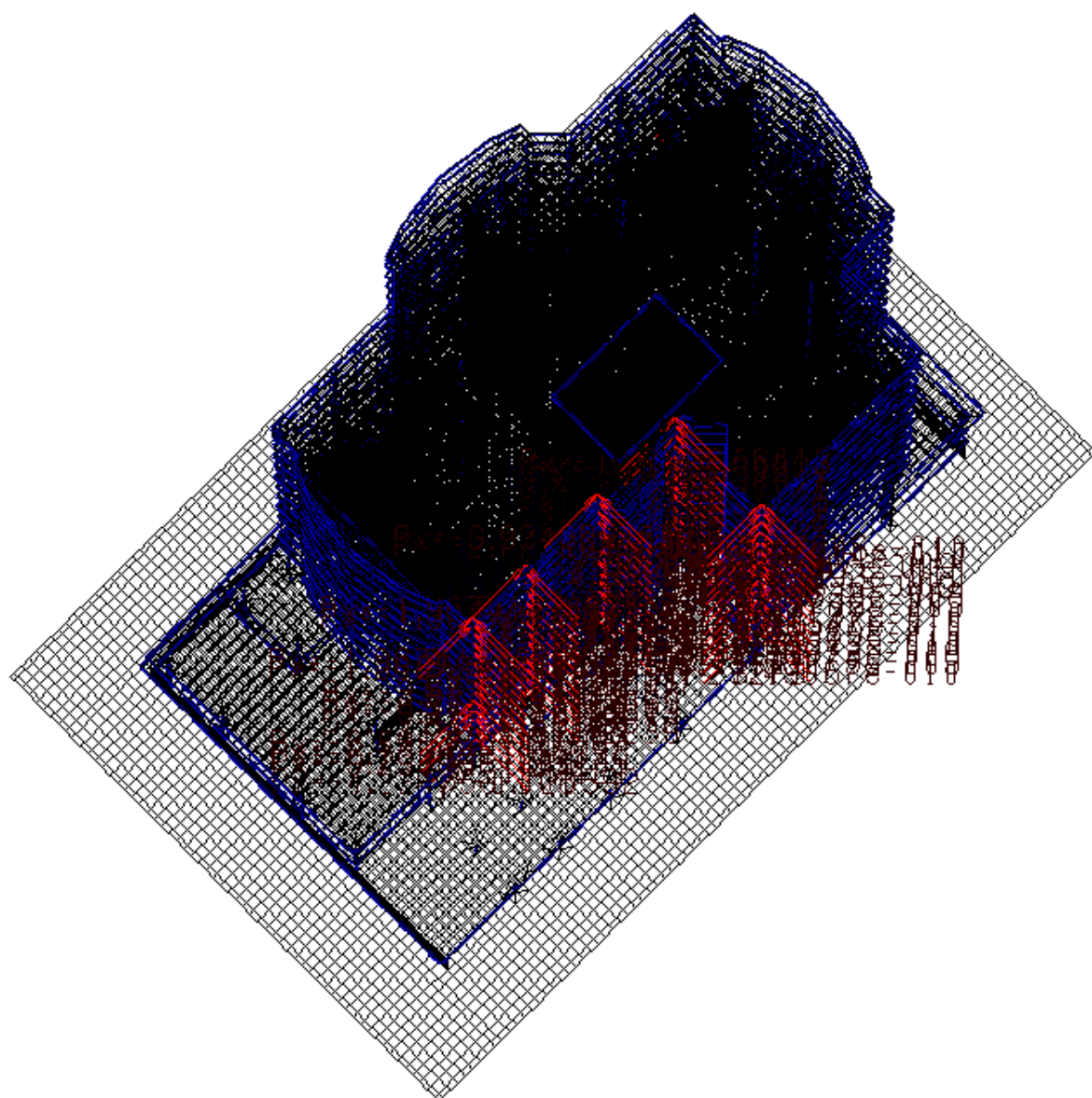


Рис. 38. Узловая ветровая нагрузка – ветровой «карман 1» (нагружение 8)

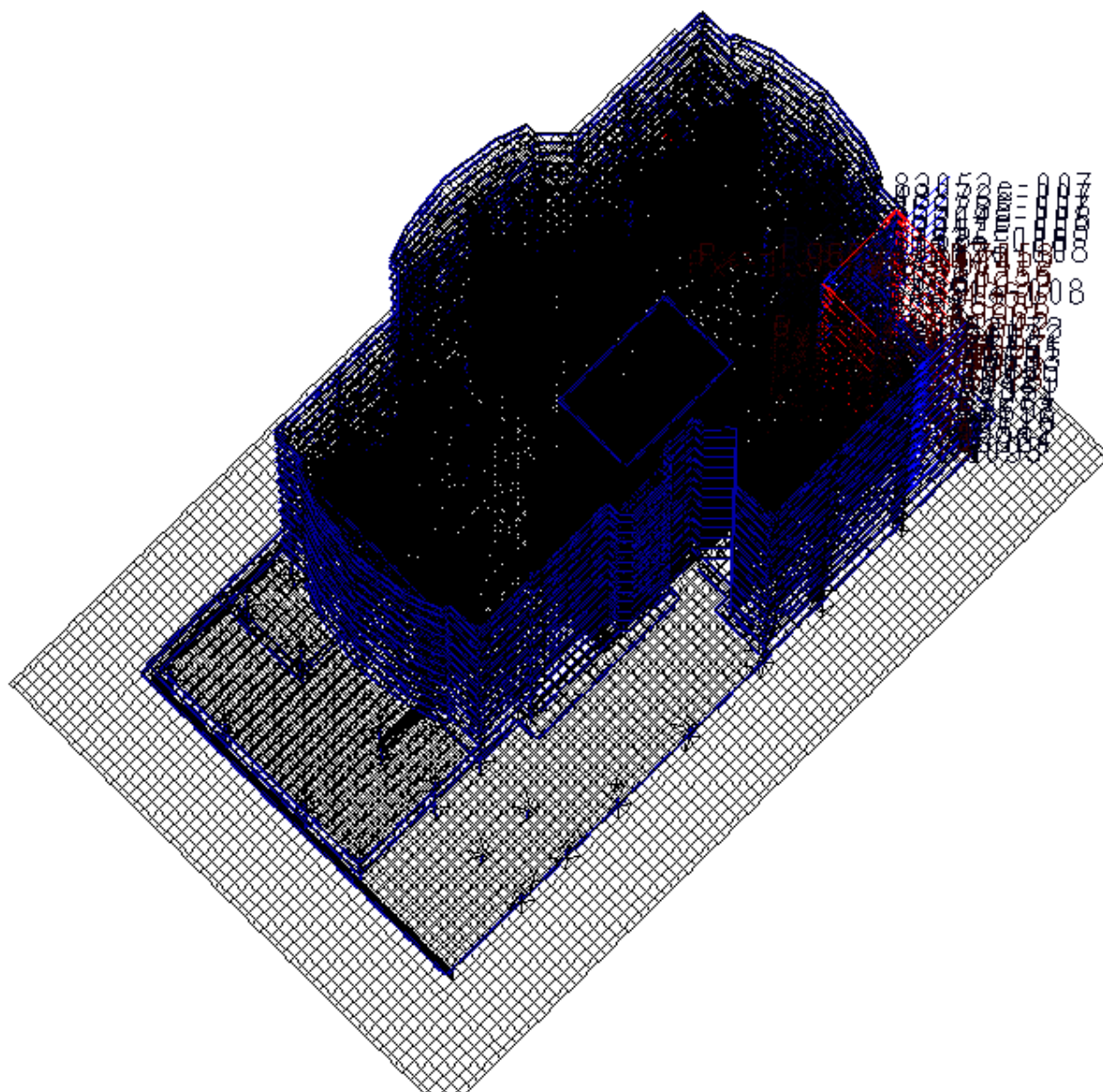


Рис. 39. Узловая ветровая нагрузка – ветровой «карман 2» (нагружение 9)

После определения частот и форм свободных колебаний (в конце примера приведены три формы колебаний) выполнено автоматизированное определение пульсационных составляющих ветровых нагрузок. При этом учитывалось 20 форм свободных колебаний. Пульсационные нагружения с нулевыми или очень малыми нагрузками удалены из состава воздействий.

Пульсационные составляющие использовали в качестве статических воздействий основные ветровые, т.е. нагружения 6 и 7. Пульсационные составляющие распределены в нагружениях 10-15.

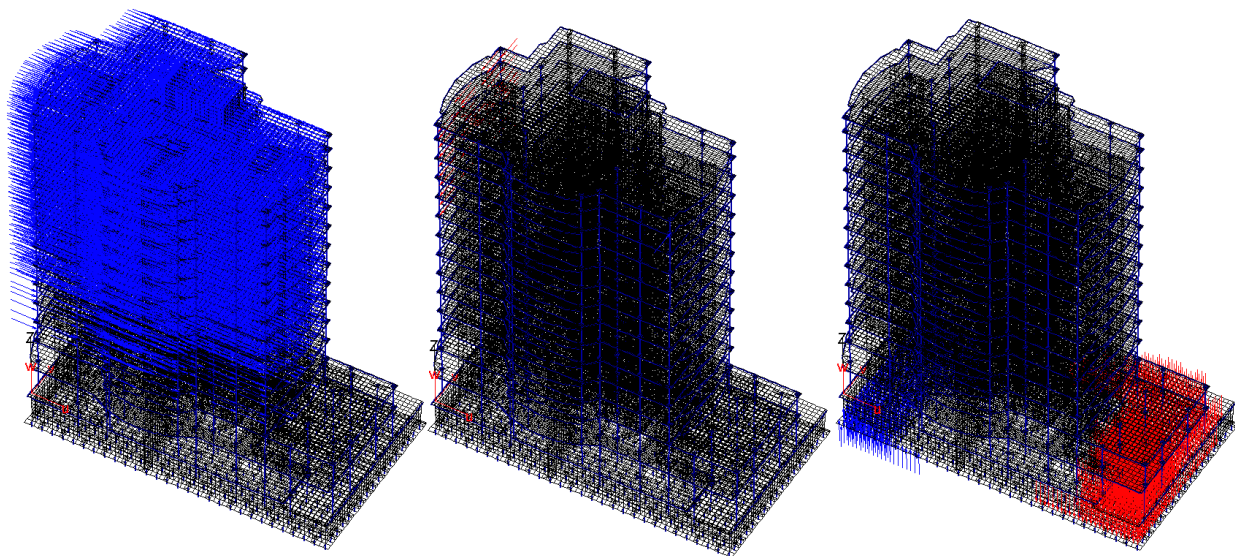


Рис. 40. Пульсационные составляющие по нагружению 10

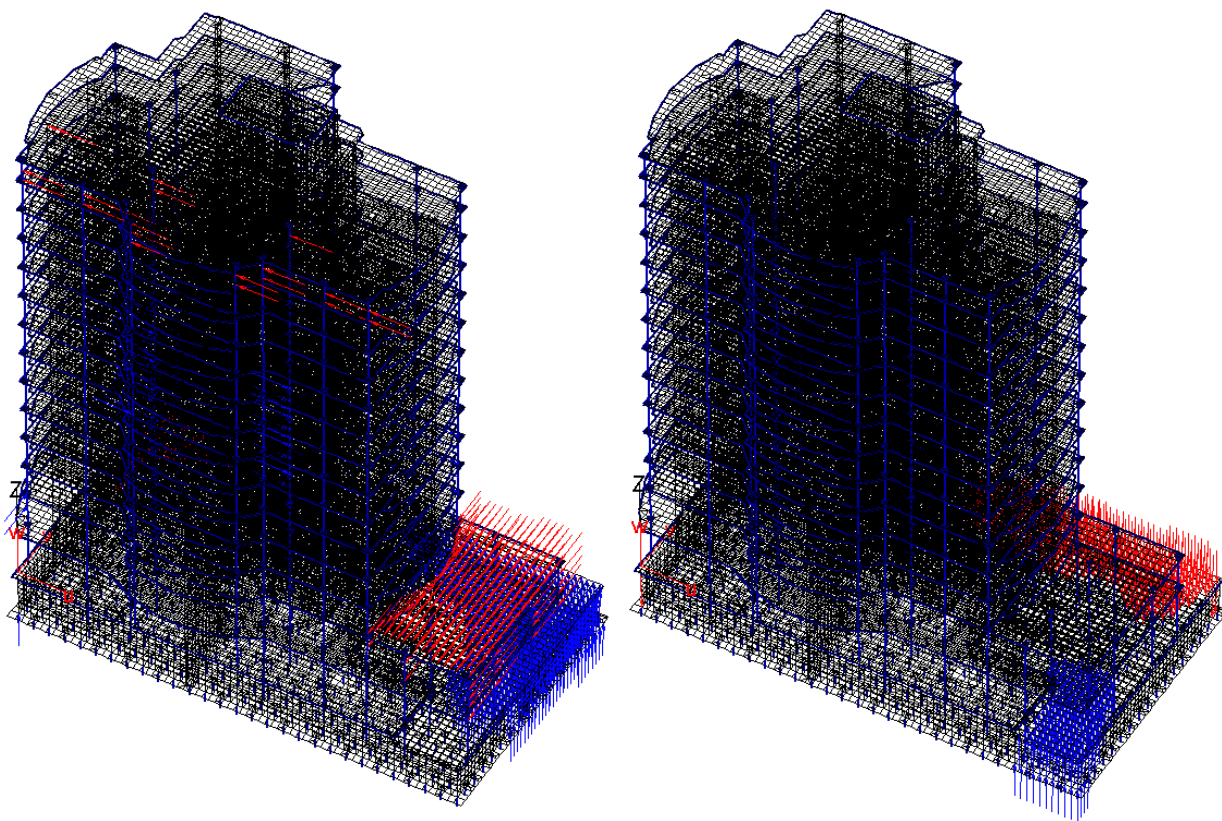


Рис. 41. Пульсационные составляющие по нагрузкам 11-12

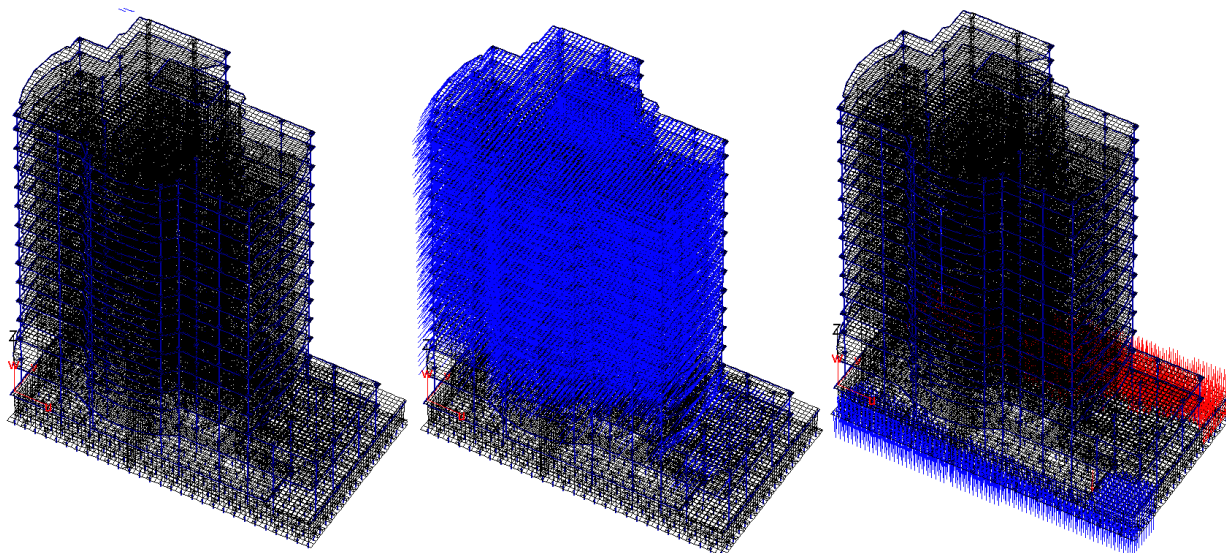


Рис. 42. Пульсационные составляющие по нагружению 13

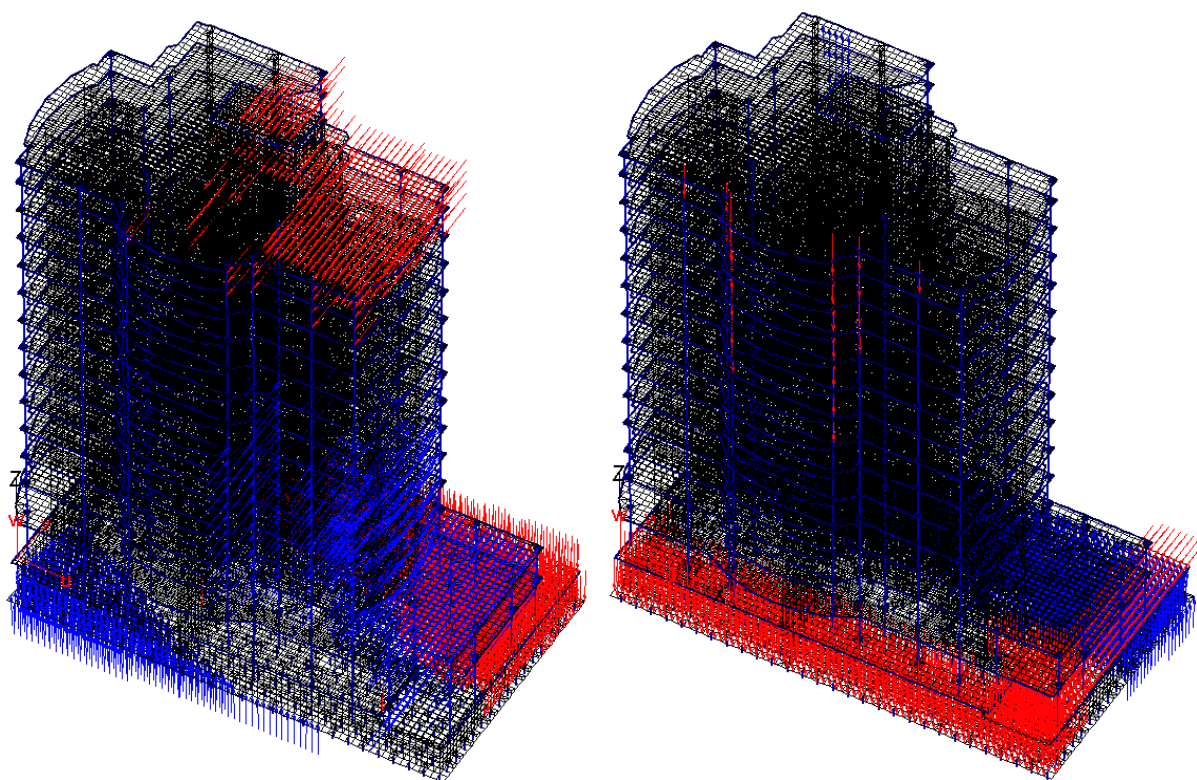


Рис. 43. Пульсационные составляющие по нагрузкам 14-15

Динамический анализ выполнен для следующей комбинации нагрузжений (учитывается, что все нагружения от внешних сил, не вычисляемых программой автоматически через плотность, надо делить на 10 – ускорение свободного падения).

Задание и корректировка комбинаций

Комбинации Собств. колебания Доп. комбинации

	НГ-1	НГ-2	НГ-3	НГ-4	НГ-5
К-1	0.9	0.09	0.08	0	0

ВНИМАНИЕ !!!
Коэффициенты комбинации при расчете на собственные колебания задаются с учетом деления на ускорение свободного падения g

Задать свойства нелинейных комбинаций ... Лин./нелин.

Вывод комбинаций
☒ Word ☐ Viewer Вывести

OK Отменить Помощь

На следующих рисунках приведены схемы деформации здания по свободным формам колебаний – учитывалось 20 форм. Первые две формы имеют преимущественно изгибный характер, третья форма – явно выраженное кручение. Период первой формы 2.94с, второй 2.02с, третьей 1.28с.

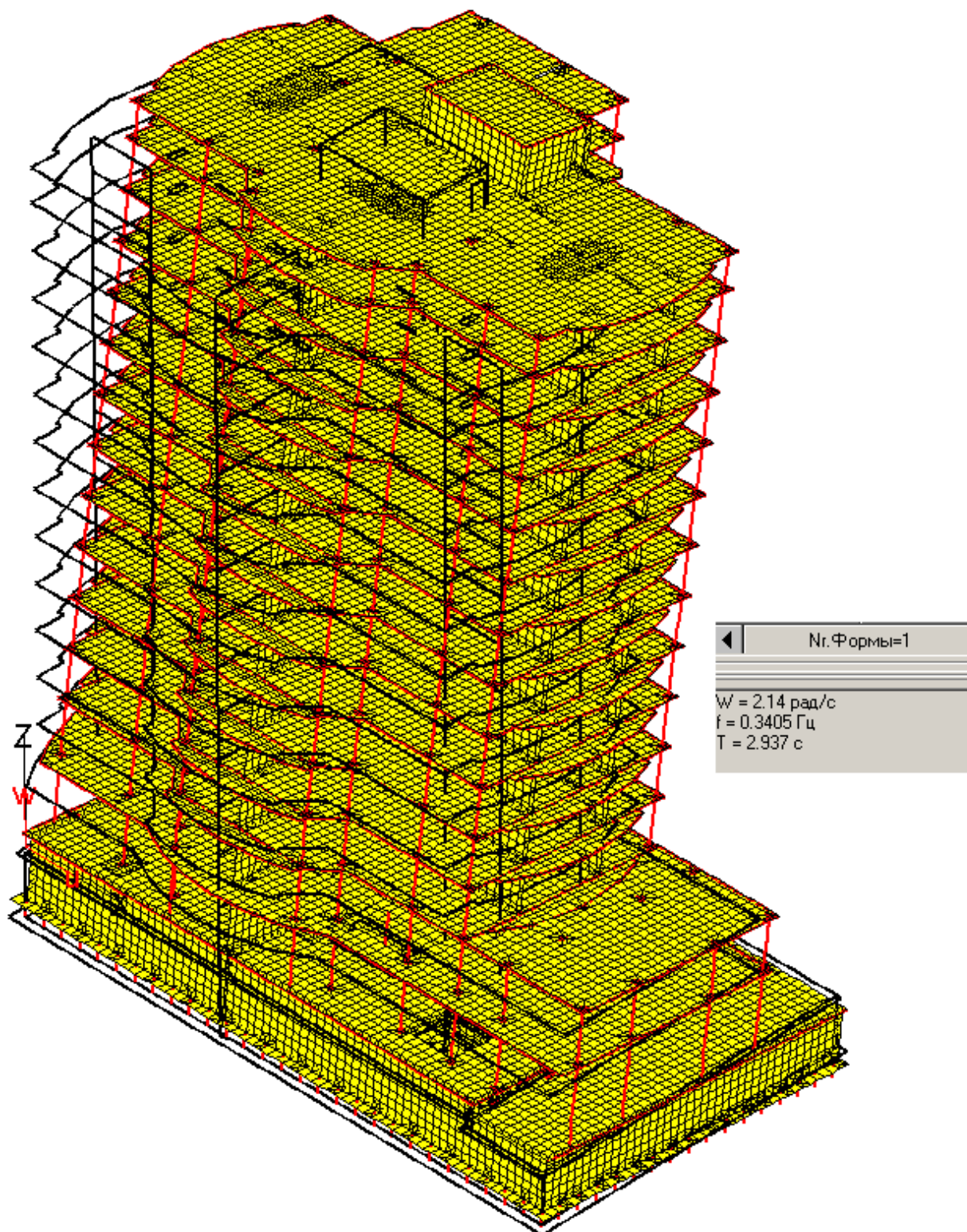


Рис. 44. Форма свободных колебаний 1

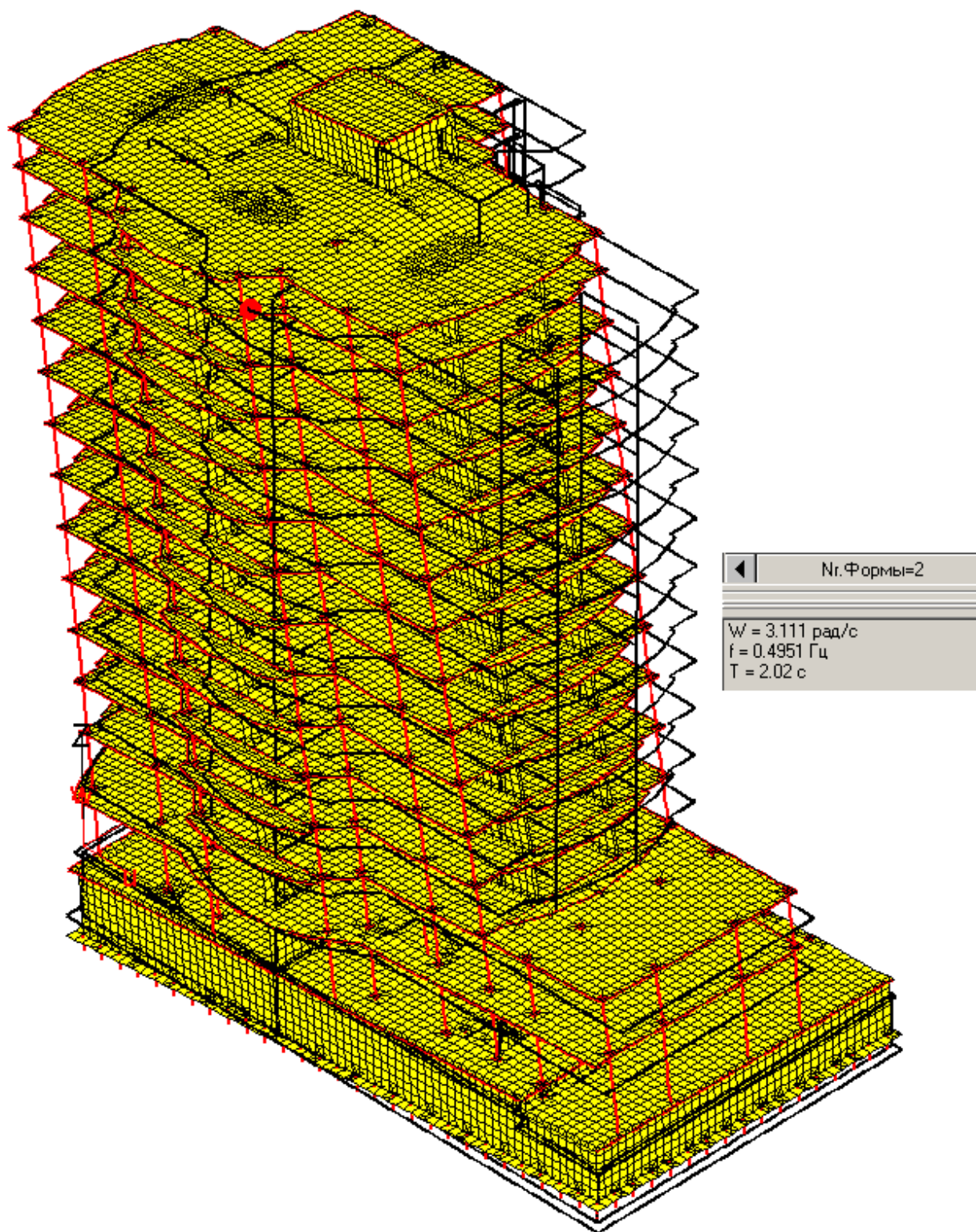


Рис. 45. Форма свободных колебаний 2

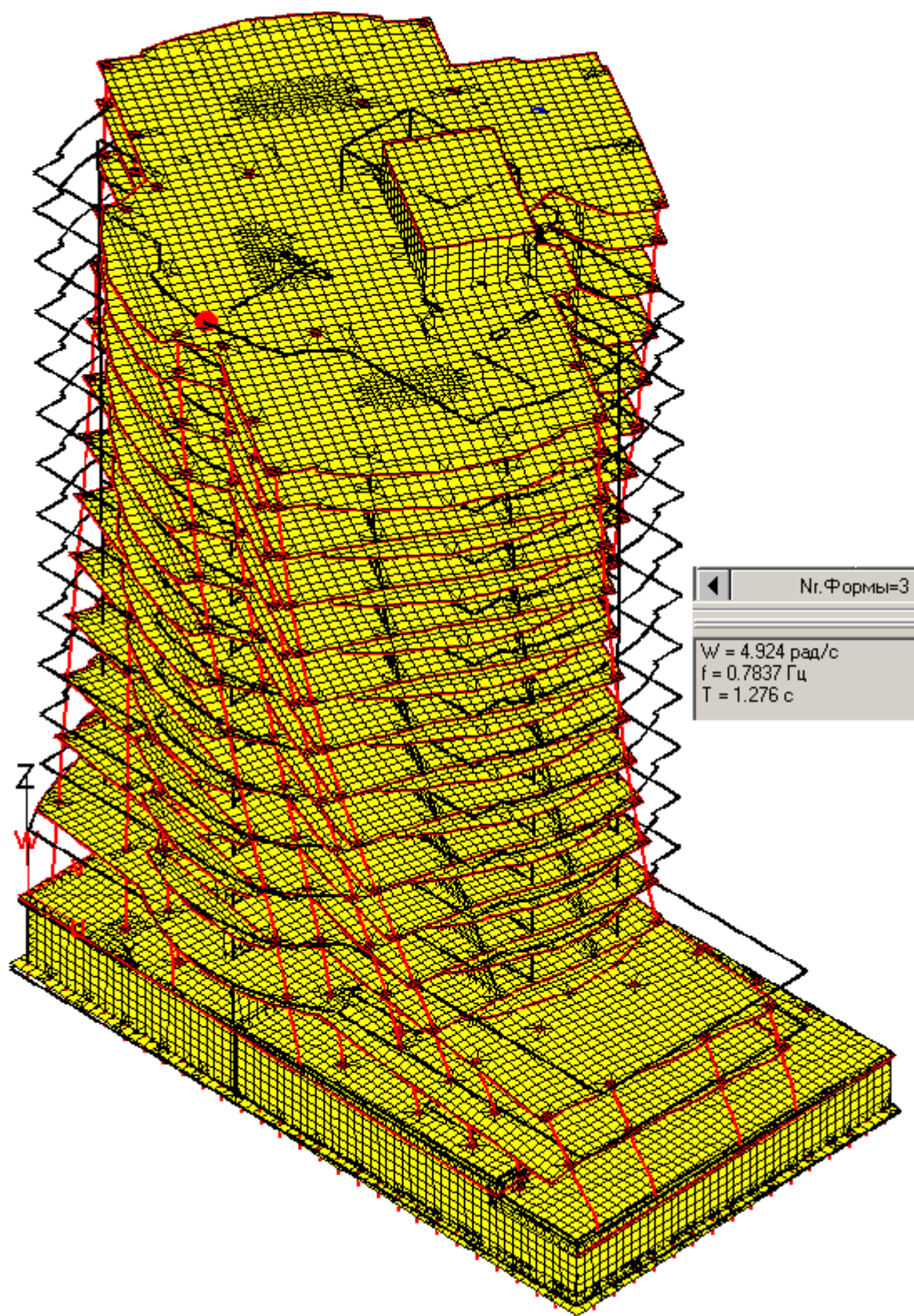


Рис. 46. Форма свободных колебаний 3

4.2. Пример 2.

Многоэтажный жилой дом по ул. Волкова – ул. Добровольского во 2-м МКР СЖР в г. Ростове-на-Дону. Секции 1 и 2. Конечно-элементные модели здания:

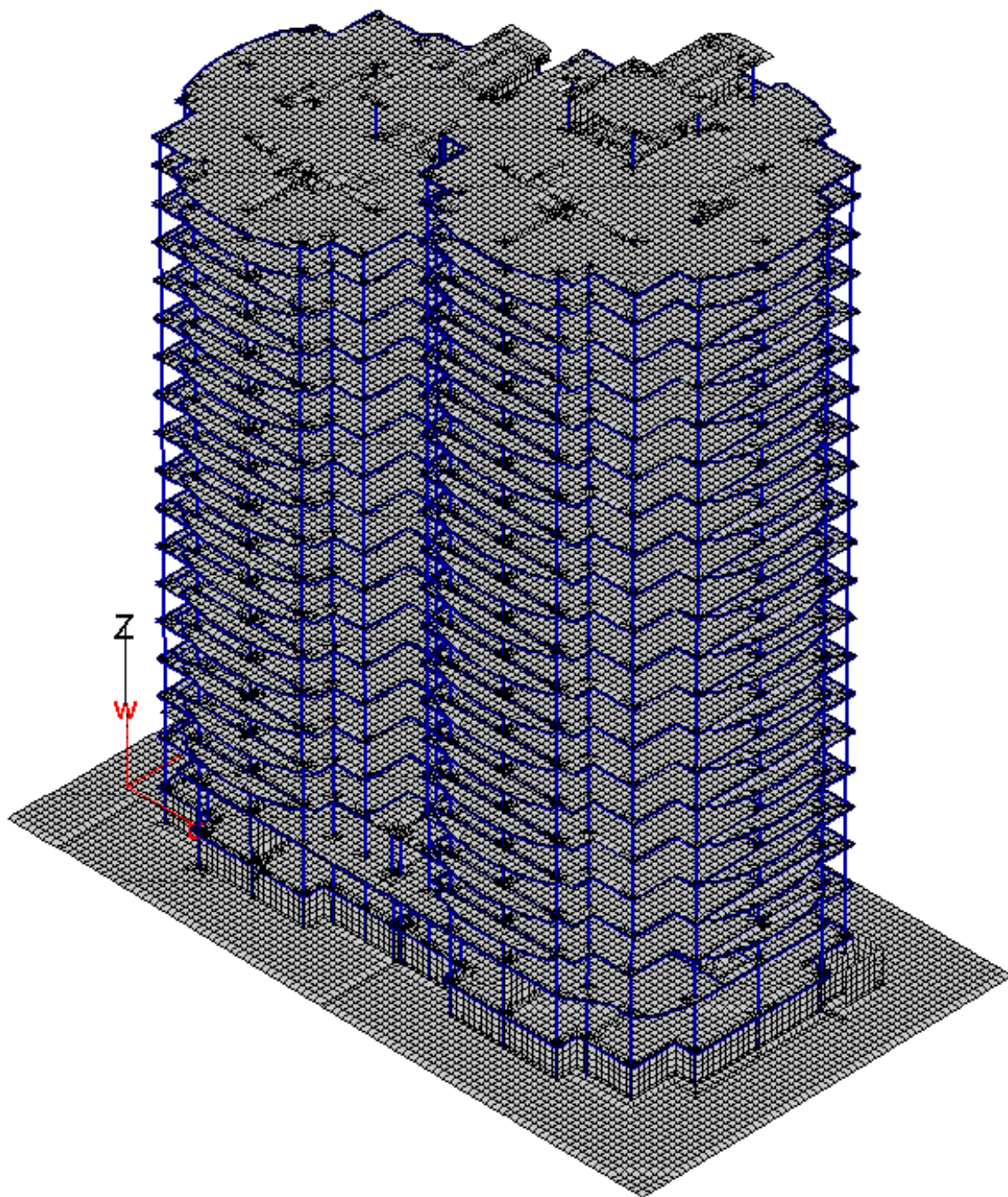


Рис. 47. Конечно-элементная модель здания в целом (вид 1)

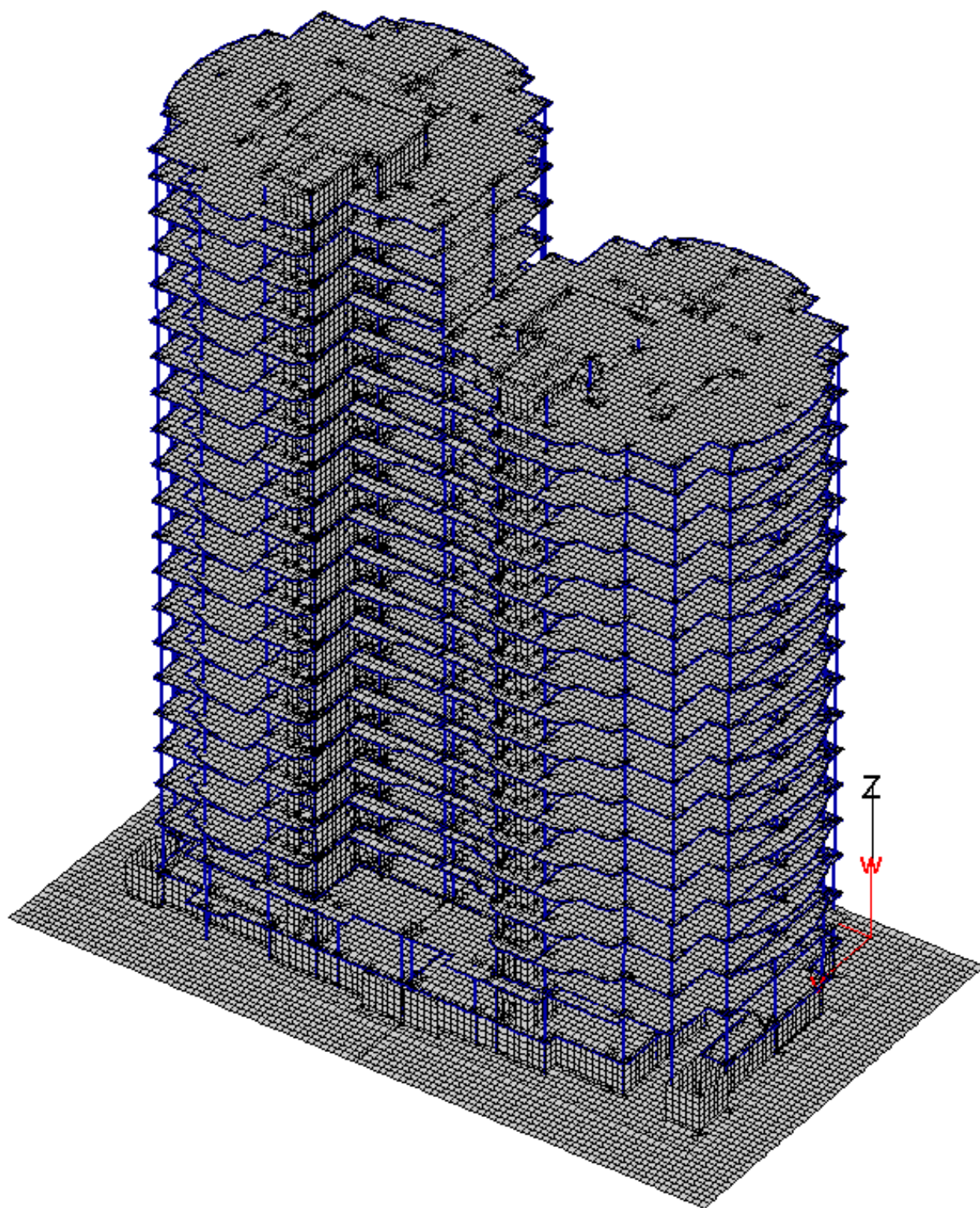


Рис. 48. Конечно-элементная модель здания в целом (вид 2)

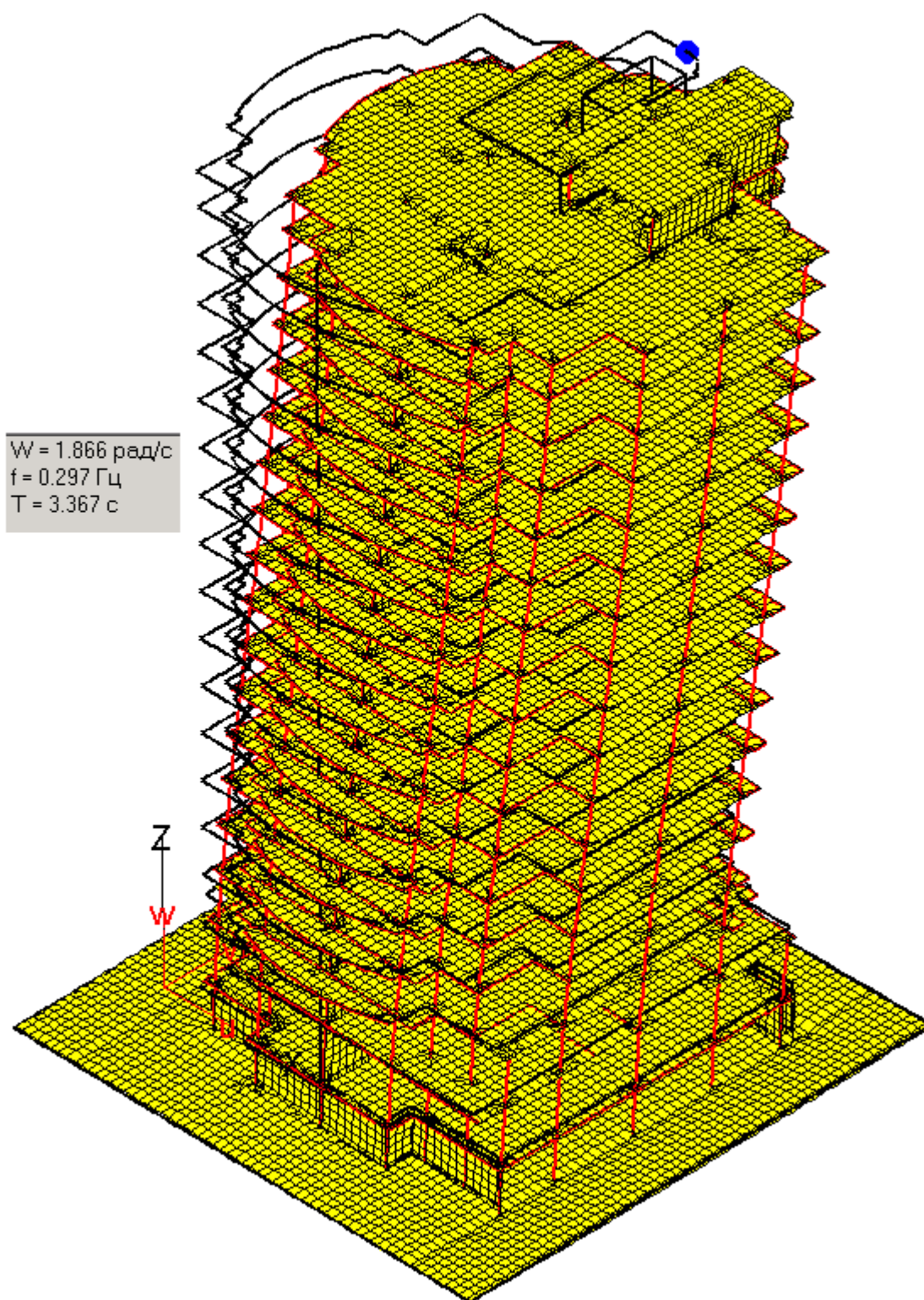


Рис. 49. Форма 1

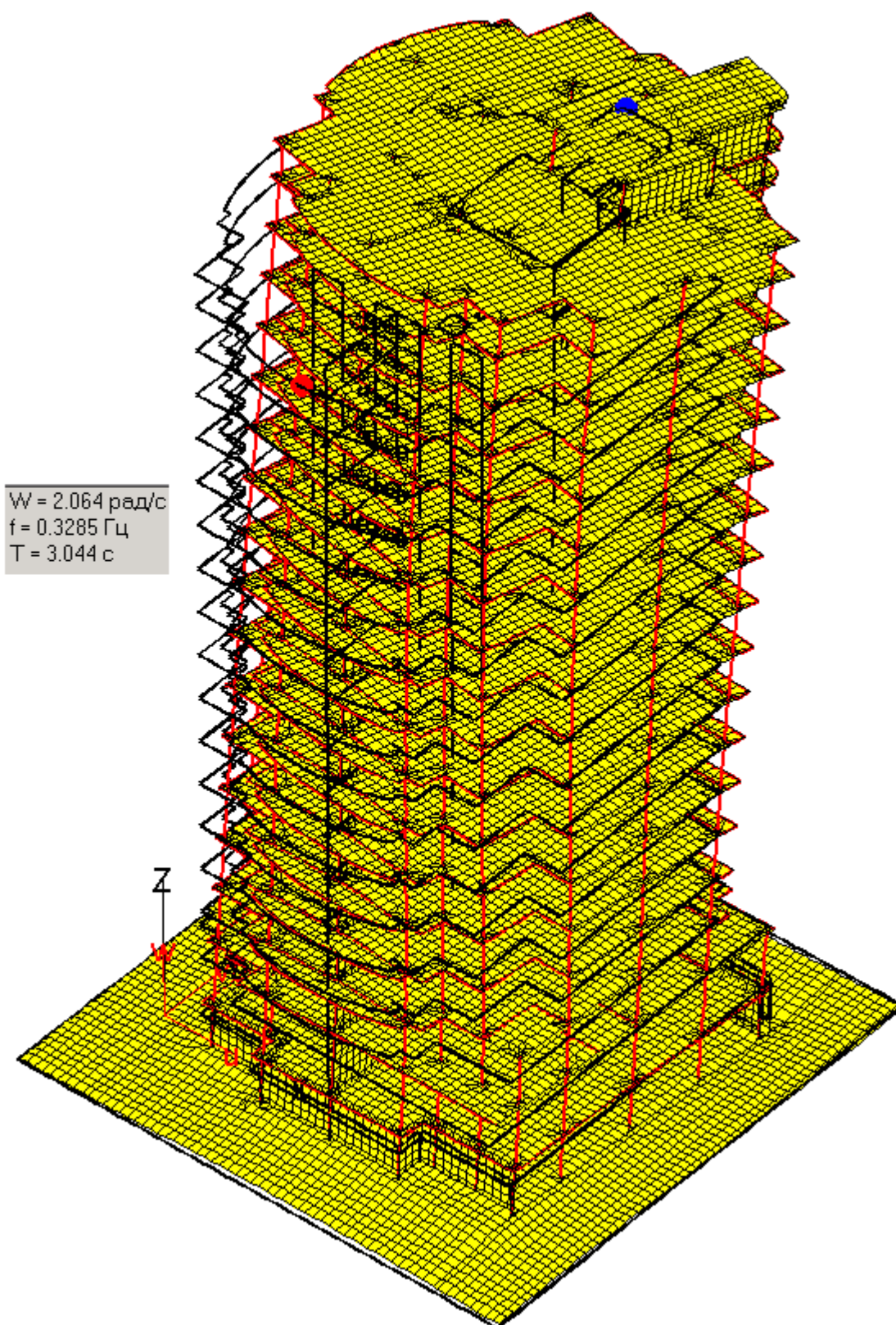


Рис. 50. Форма 2

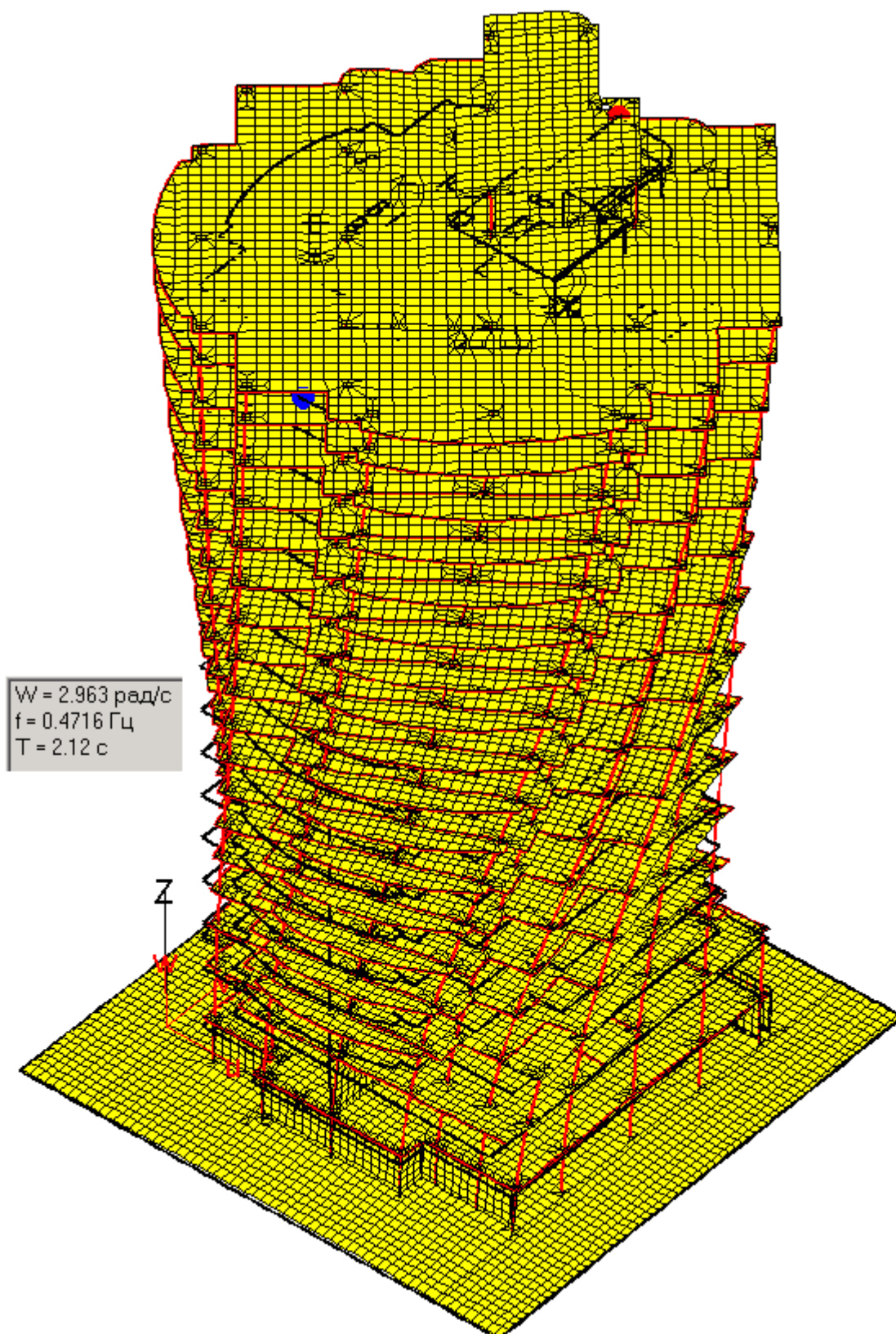


Рис. 51. Форма 3

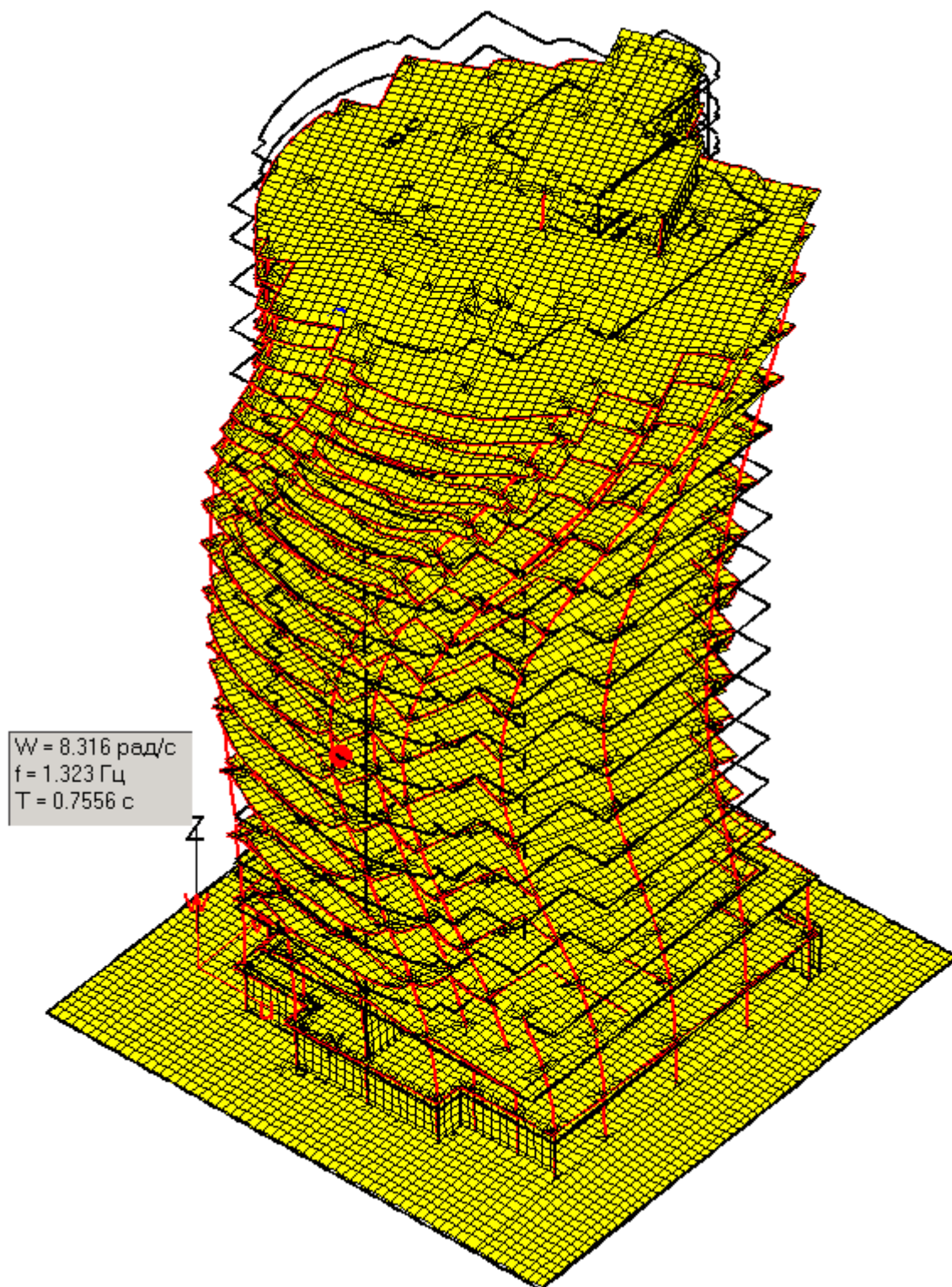


Рис. 52. Форма 4

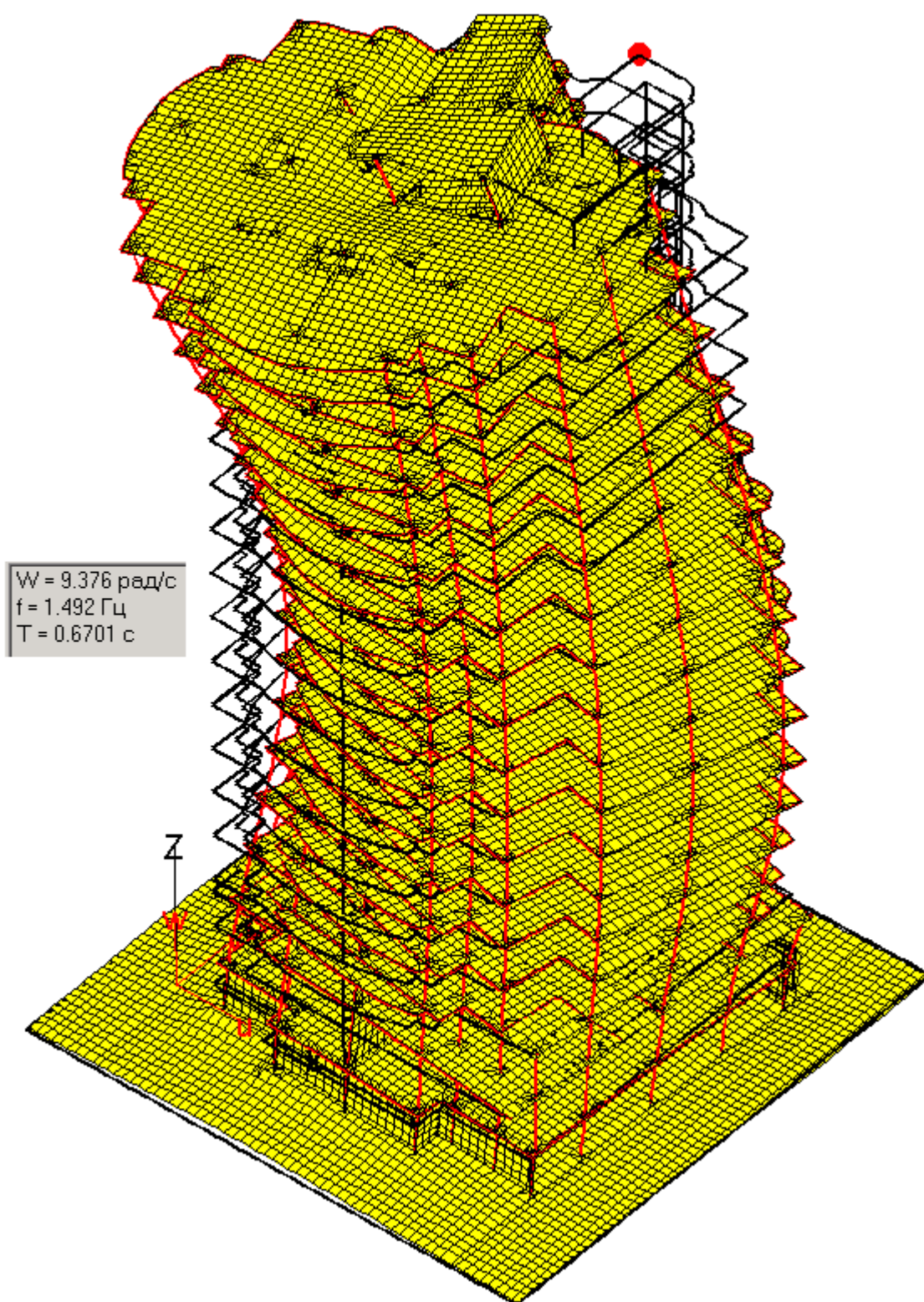


Рис. 53. Форма 5

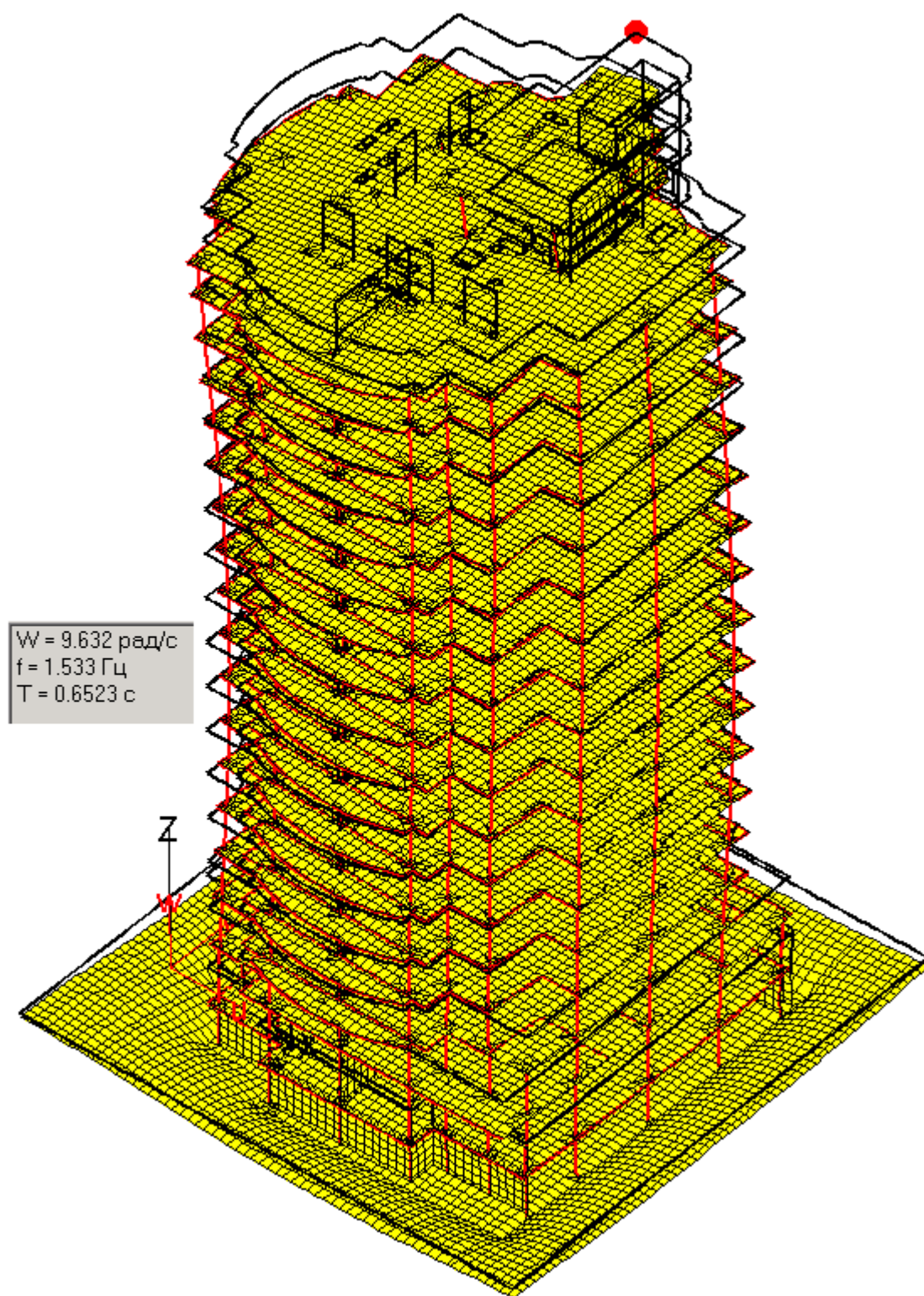


Рис. 54. Форма 6

Данные для расчета

Логарифмический декремент колебаний

- ☒ Для железобетонных и каменных сооружений, а также, для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций (0.3)
- ☐ Для стальных башен, мачт, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаменты (0.15)

Тип местности

- ☐ А - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра
- ☒ В - городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м
- ☐ С - городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м

OK Отменить Помощь

Расчет пульсаций ветра

Номер статического нагружения: 6

Значение R_0 по оси X: 30

Значение R_0 по оси Y: 17.6

Значение R_0 по оси Z: 30

Значение H_i по оси X: 66

Значение H_i по оси Y: 66

Значение H_i по оси Z: 44

Кол-во учитываемых форм колебаний (по СНиП): 14

Тип расчёта

- ☒ Собственные колебания
- ☐ Деформированные колебания

Номер ветрового района

- ☐ Ia ☐ I
- ☐ II ☒ III
- ☐ IV ☐ V
- ☐ VI ☐ VII

Дополнительные условия

☐ Задать номера форм

ПРИМЕЧАНИЕ:
Введите номера учитываемых в расчете форм через запятую, без пробелов. Например, 1, 5 - 12,17

Точности для ветровых нагрузок

Силы 0.01 Моменты 0.01

Расчет Отменить Помощь

Расчет пульсаций ветра

Номер статического нагружения: 7

Значение R_0 по оси X: 44

Значение R_0 по оси Y: 12

Значение R_0 по оси Z: 44

Значение H_i по оси X: 66

Значение H_i по оси Y: 66

Значение H_i по оси Z: 30

Кол-во учитываемых форм колебаний (по СНиП): 14

Тип расчёта

- ☒ Собственные колебания
- ☐ Деформированные колебания

Номер ветрового района

- ☐ Ia ☐ I
- ☐ II ☒ III
- ☐ IV ☐ V
- ☐ VI ☐ VII

Дополнительные условия

☐ Задать номера форм

ПРИМЕЧАНИЕ:
Введите номера учитываемых в расчете форм через запятую, без пробелов. Например, 1, 5 - 12,17

Точности для ветровых нагрузок

Силы 0.01 Моменты 0.01

Расчет Отменить Помощь

Рис. 55. Параметры расчета пульсационной составляющей нагрузки

4.3. Пример 3.

Расчет офисного центра со встроенной автостоянкой по пер. Доломановский в г. Ростове-на-Дону по комплексной пространственной схеме.



Рис. 56. Офисный центр



Рис. 57. Вид из космоса

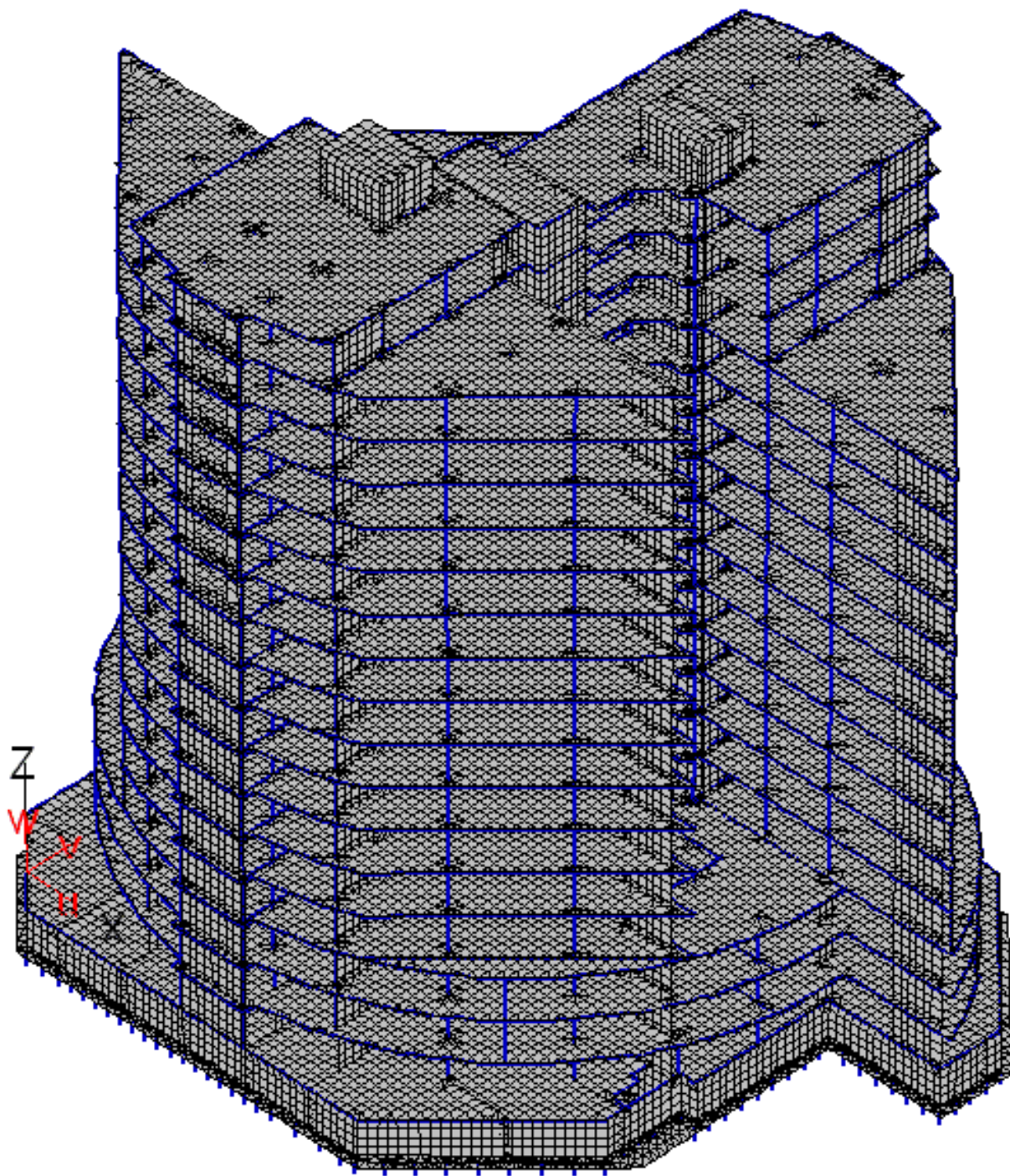


Рис. 58. Конечно-элементная модель. Вид 1.

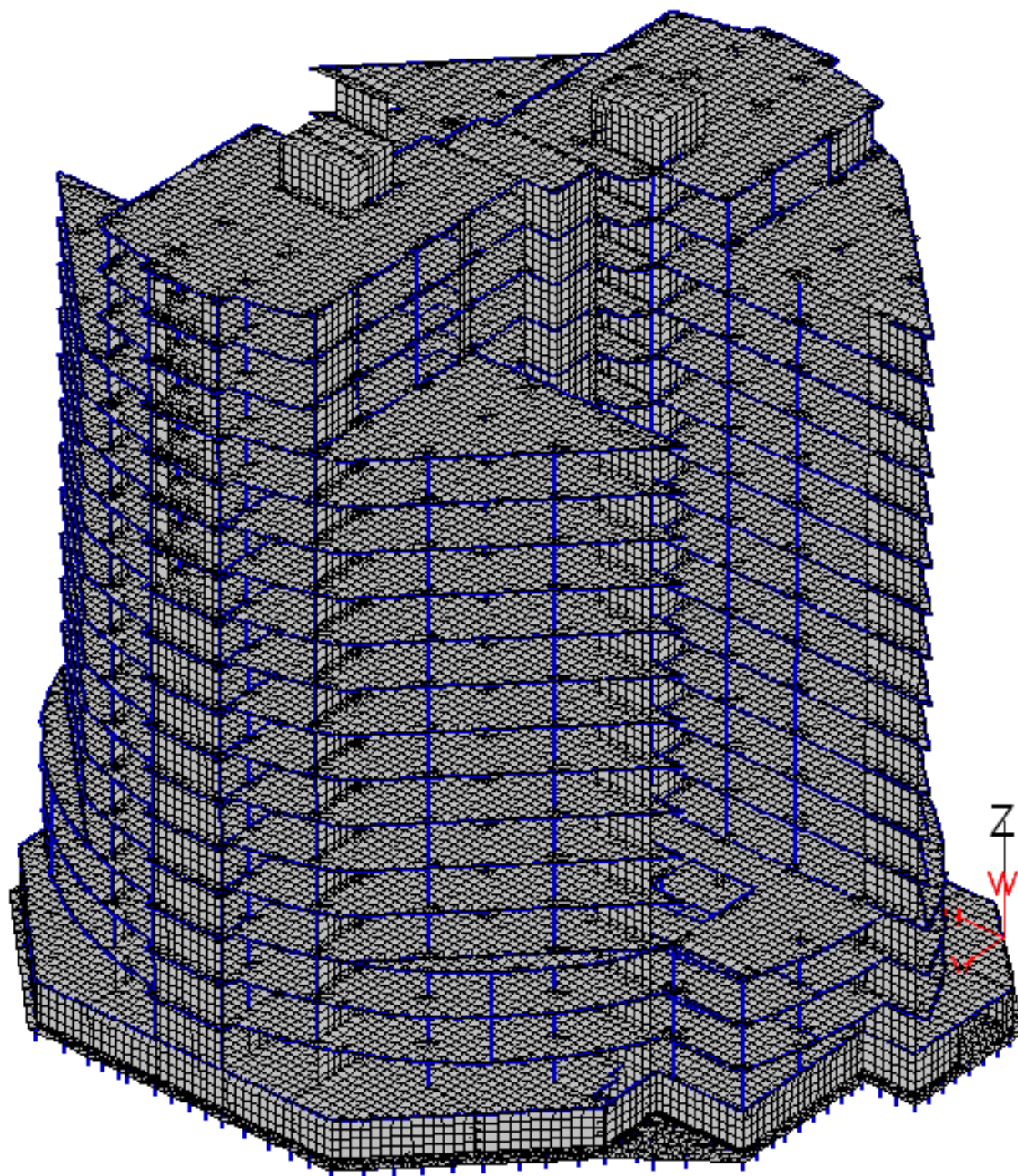


Рис. 59. Конечно-элементная модель. Вид 2.

Ветровые нагрузки в расчете приняты с учетом пульсации ветра. Т.к. ограждающие конструкции стен здания являются ненесущими, и в расчете они учтены нагрузкой, то ветровая нагрузка прикладывалась через вспомогательные балки в уровне плит перекрытий этажей. При учете пульсационной составляющей принят максимальный вариант нагрузки без учета снижающих коэффициентов. В следующей таблице приведен подсчет ветровой нагрузки, эпюра давления ветра отражена на графиках.

Ветровая нагрузка. Таблица 3

Высота, м	Коэф. К	Коэф. Е	Активный, кг/м ²	Пассивный, кг/м ²	Пульсационная, кг/м ²	Суммарная, кг/м		Погонный метр, кг/м		Пог м стат кг/м	
0.00	0.50	1.22	15.20	11.40	46.36	61.56	57.76	101.6	95.3	25.1	18.8
3.30	0.50	1.22	15.20	11.40	46.36	61.56	57.76	203.1	190.6	50.2	37.6
6.60	0.55	1.17	16.66	12.49	44.41	61.07	56.91	201.5	187.8	55.0	41.2
9.90	0.65	1.06	19.67	14.75	40.40	60.07	55.15	198.2	182.0	64.9	48.7
13.20	0.71	1.02	21.71	16.28	38.58	60.28	54.86	198.9	181.0	71.6	53.7
16.50	0.78	0.97	23.71	17.78	36.82	60.53	54.61	199.8	180.2	78.2	58.7
19.80	0.85	0.92	25.72	19.29	35.07	60.78	54.36	200.6	179.4	84.9	63.7
23.10	0.89	0.90	27.02	20.26	34.25	61.27	54.52	202.2	179.9	89.2	66.9
26.40	0.93	0.88	28.27	21.20	33.50	61.77	54.70	203.9	180.5	93.3	70.0
29.70	0.97	0.86	29.53	22.14	32.75	62.27	54.89	205.5	181.1	97.4	73.1
33.00	1.01	0.84	30.78	23.09	32.00	62.78	55.08	207.2	181.8	101.6	76.2
36.30	1.05	0.82	32.03	24.03	31.24	63.28	55.27	208.8	182.4	105.7	79.3
39.60	1.10	0.80	33.29	24.97	30.49	63.78	55.46	210.5	183.0	109.9	82.4
42.90	1.13	0.79	34.32	25.74	30.07	64.39	55.81	212.5	184.2	113.3	84.9
46.20	1.16	0.78	35.32	26.49	29.69	65.02	56.19	214.6	185.4	116.6	87.4
49.50	1.20	0.77	36.33	27.25	29.32	65.65	56.56	216.6	186.7	119.9	89.9
52.80	1.23	0.76	37.33	28.00	28.94	66.27	56.94	218.7	187.9	123.2	92.4
56.10	1.26	0.75	38.33	28.75	28.56	66.90	57.32	220.8	189.1	126.5	94.9
59.40	1.29	0.74	39.34	29.50	28.19	67.53	57.69	222.9	190.3	129.8	97.4

Кроме того, после определения частот и форм свободных колебаний выполнен автоматический учет пульсационной составляющей ветровой нагрузки (расчет на динамический ветер). Однако усилия в элементах

конструкции, полученные без учета снижающих коэффициентов, оказались несколько выше и они приняты в окончательном варианте расчета.

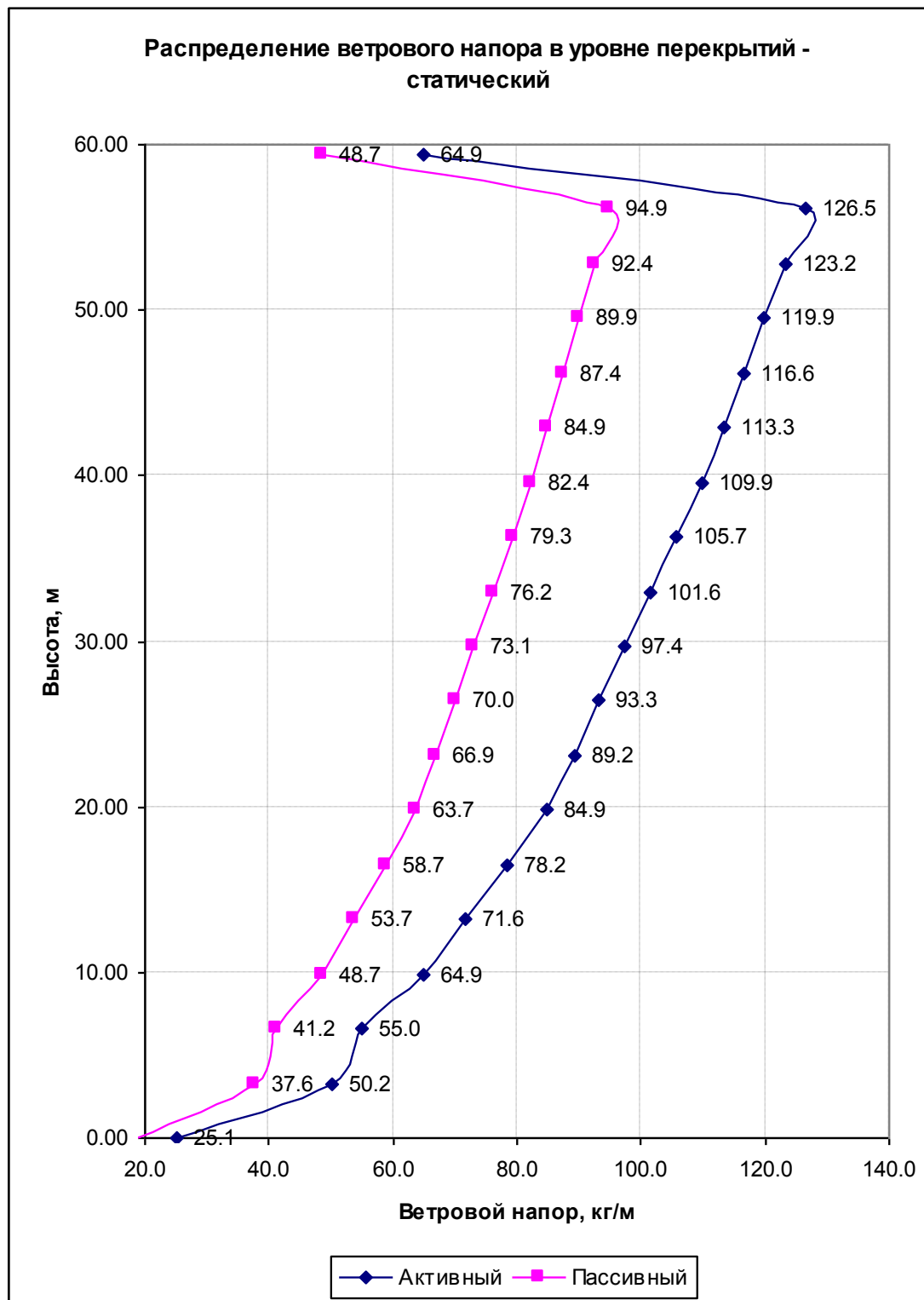


Рис. 60. Эпюра статического расчетного ветрового воздействия в уровне перекрытий

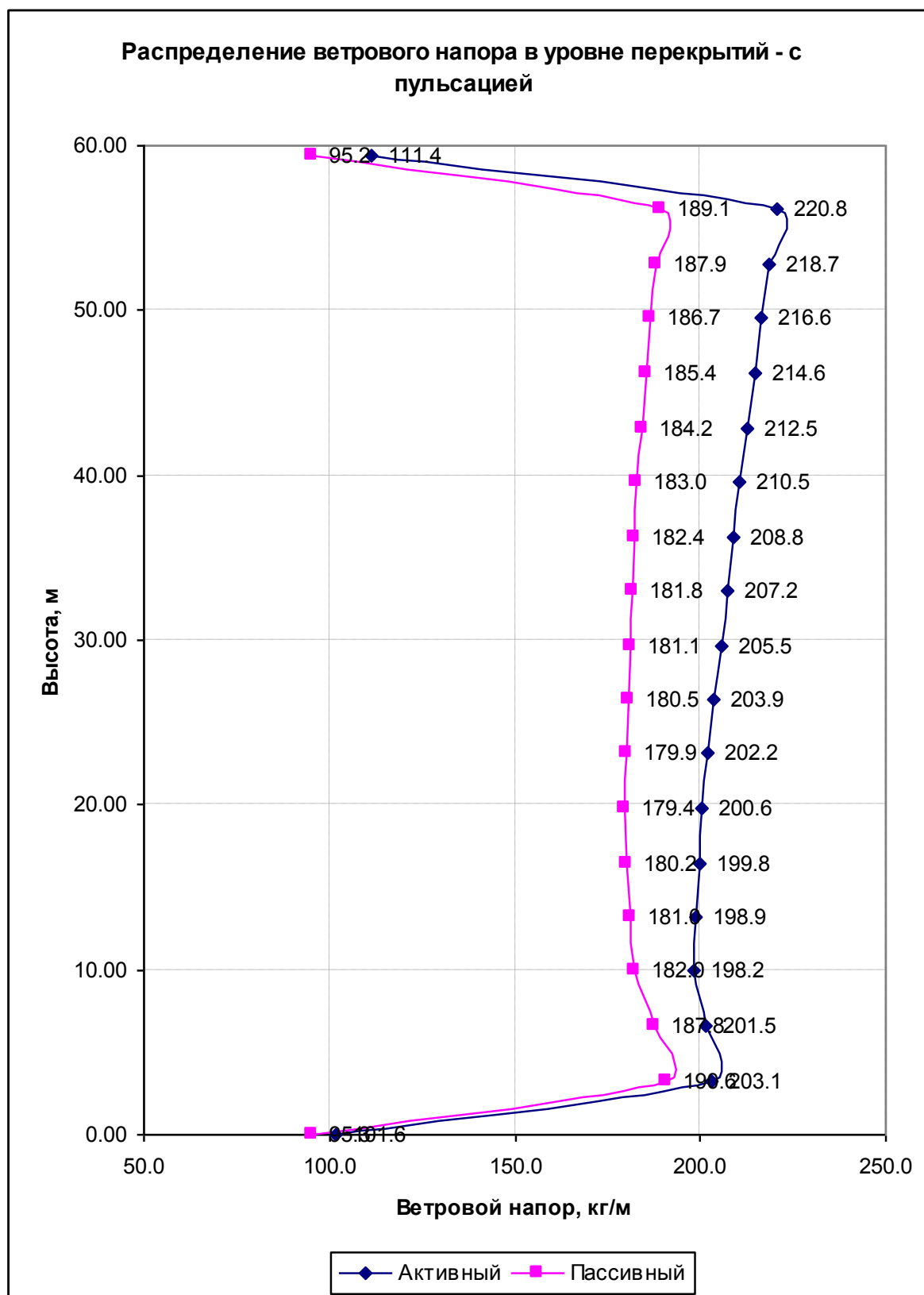


Рис. 61. Эпюра расчетного ветрового воздействия в уровне перекрытий с учетом пульсации

Далее на рисунках показано распределение ветрового потока в уровне перекрытий. Принято 4 основных направления ветра: по осям X , Y и под углом 45 и 135 градусов к основным осям. По этим направлениям отдельно учтены положительное и отрицательное направление ветра. Ветровые нагрузки учтены в нагружениях:

- 6 – ветер $+X$,
- 7 – ветер $-X$,
- 8 – ветер $+Y$,
- 9 – ветер $-Y$,
- 10 – ветер под 45 градусов $(+X, +Y)$,
- 11 – ветер под 45 градусов $(-X, -Y)$,
- 12 – ветер под 135 градусов $(+X, -Y)$,
- 13 – ветер под 135 градусов $(-X, +Y)$.

При вводе данных выполнено некоторое округление – так, близкие значения ветрового напора в разных этажах с учетом пульсации (199 – 216 кг/м) приняты по максимуму.

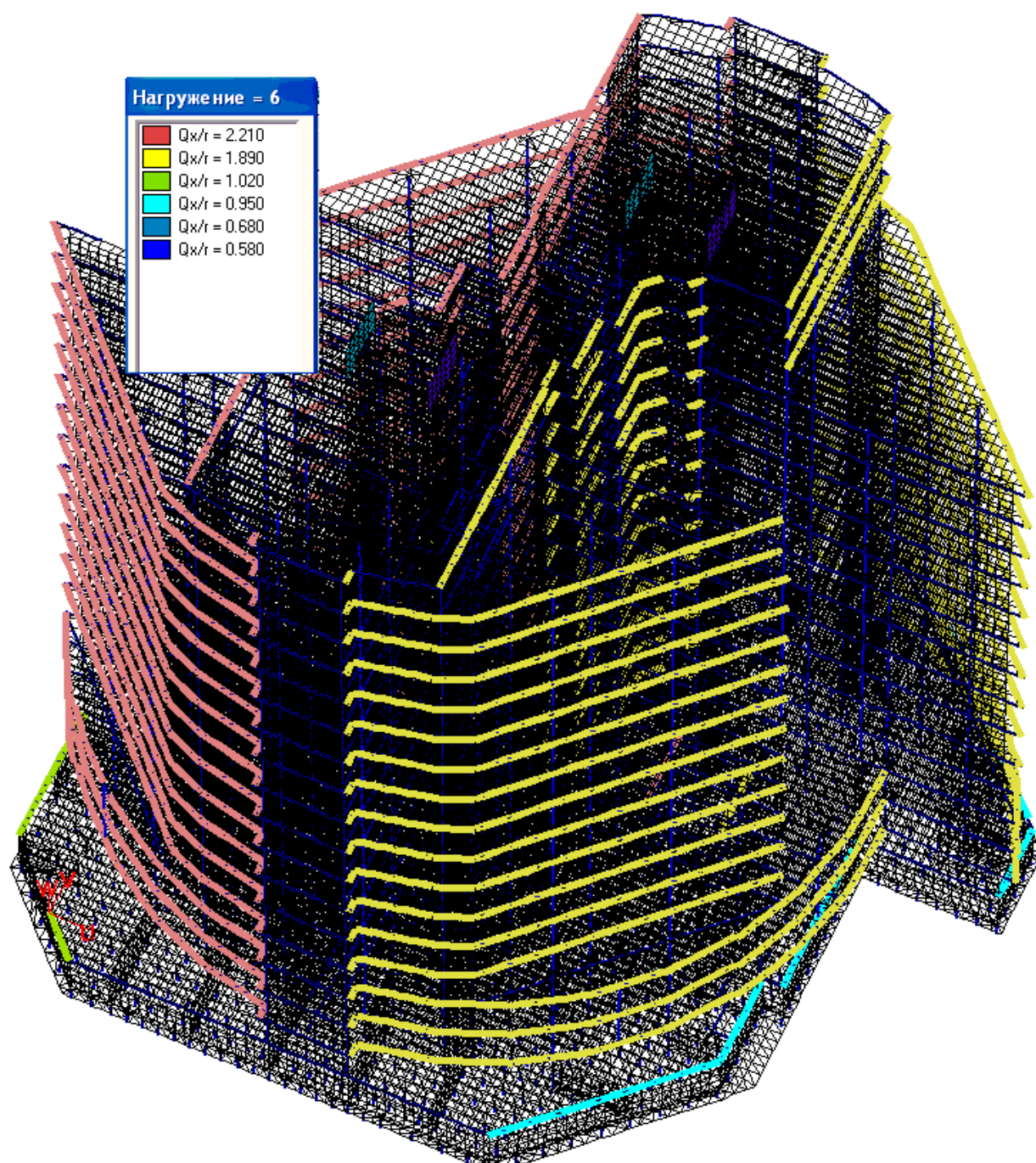


Рис. 62. Ветровая нагрузка по нагружению 6

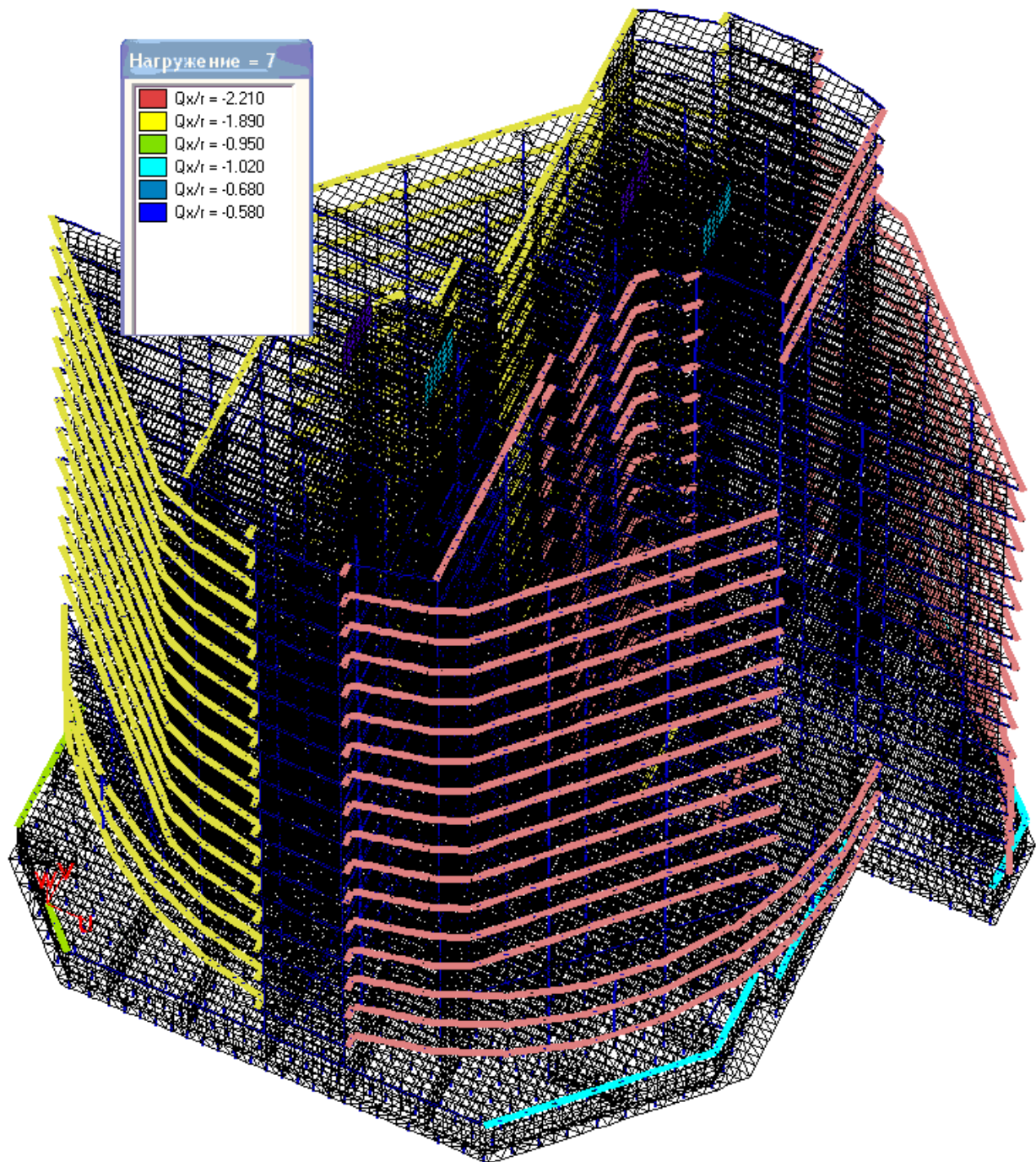


Рис. 63. Ветровая нагрузка по нагружению 7

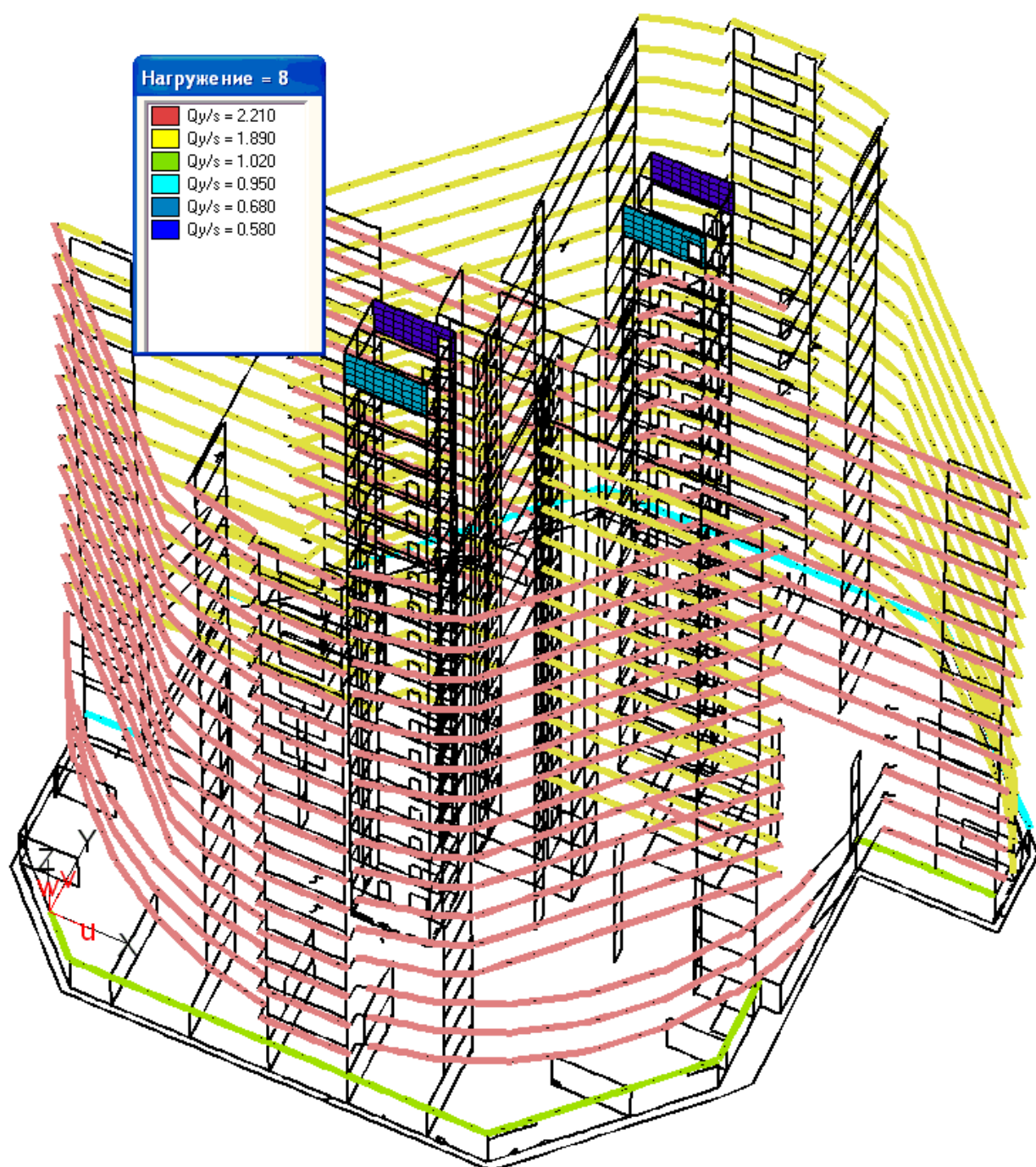


Рис. 64. Ветровая нагрузка по нагружению 8

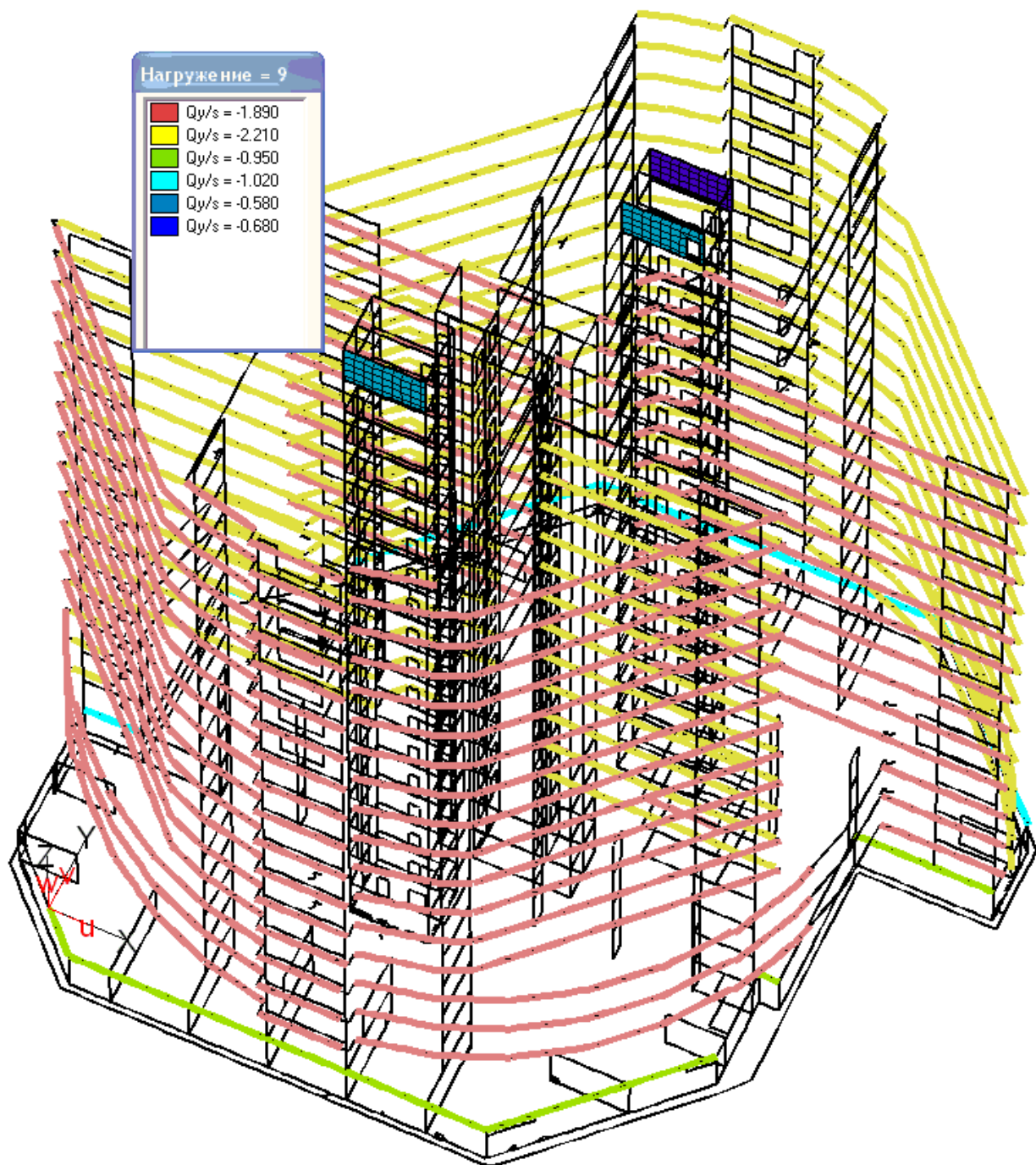


Рис. 65. Ветровая нагрузка по нагружению 9

4.4. Пример 4.

Объект – гостиничный комплекс «IBIS Krasnodar» по адресу ул.Красная, д. 25 г.

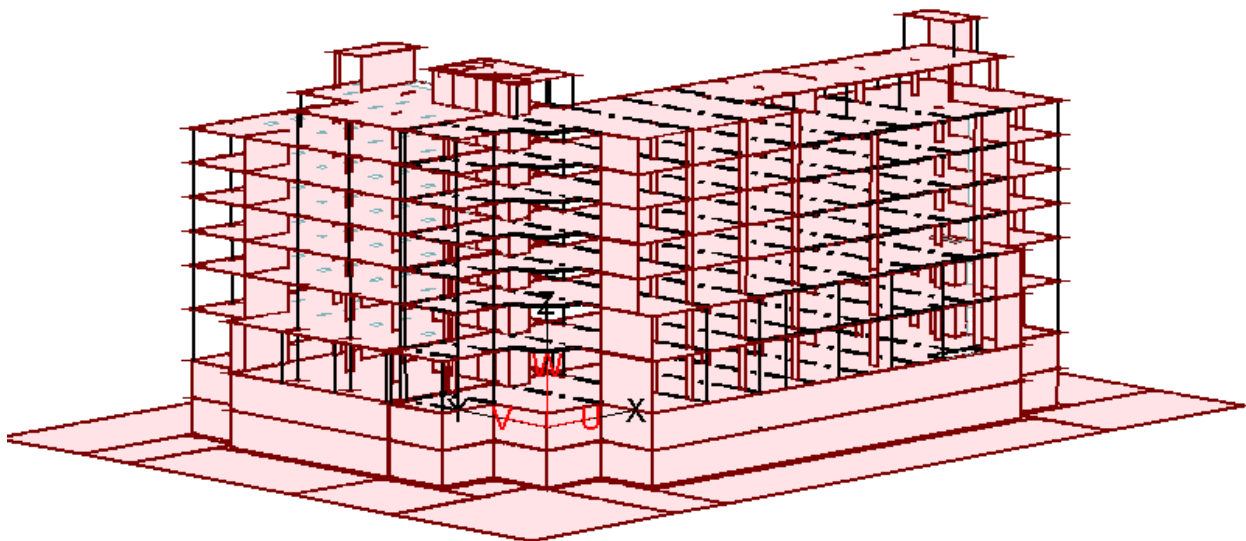


Рис. 66. Модель на уровне сборки позиций

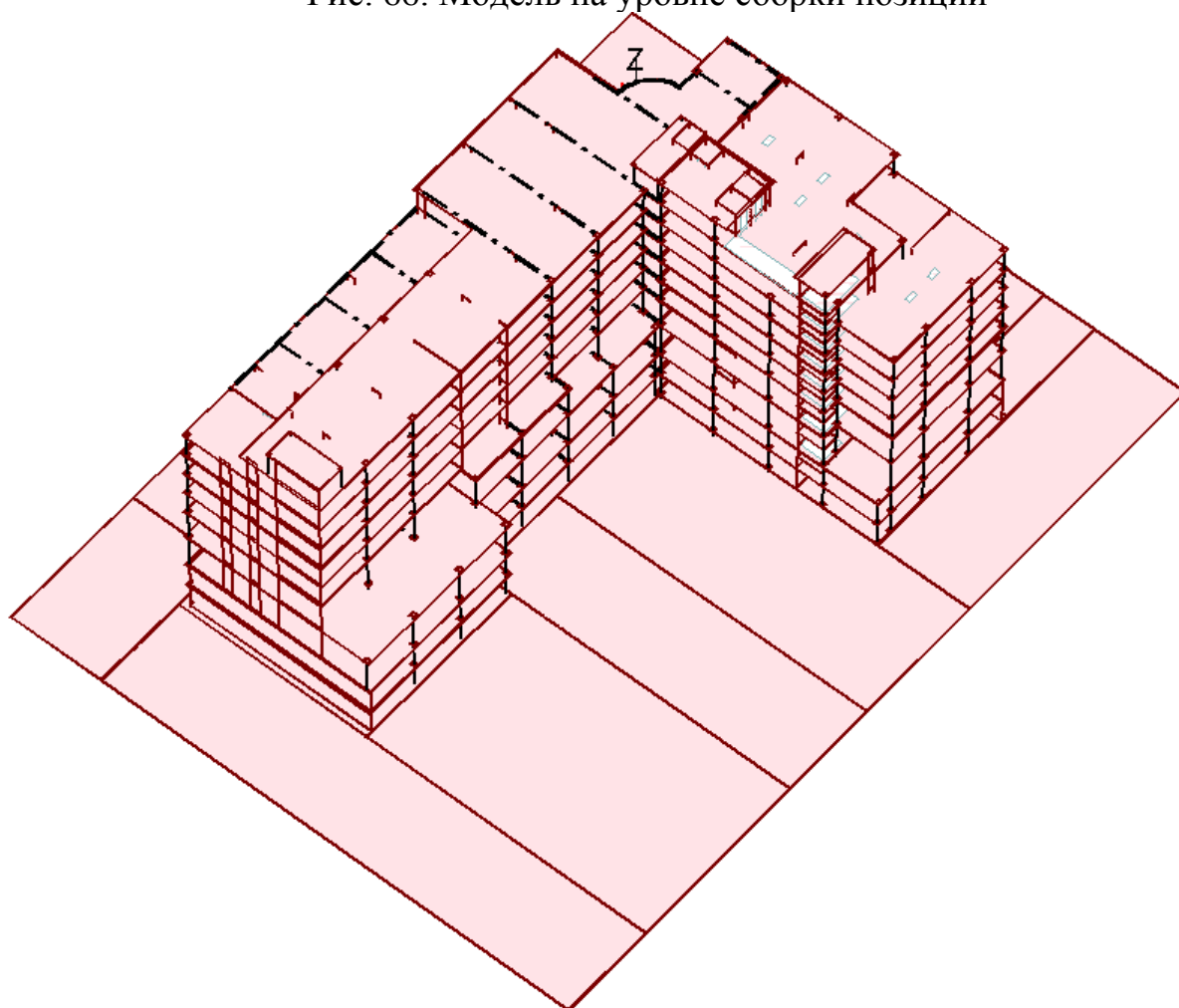


Рис. 67. Аксонометрия сборки позиций модели с учетом взаимовлияния блока Б

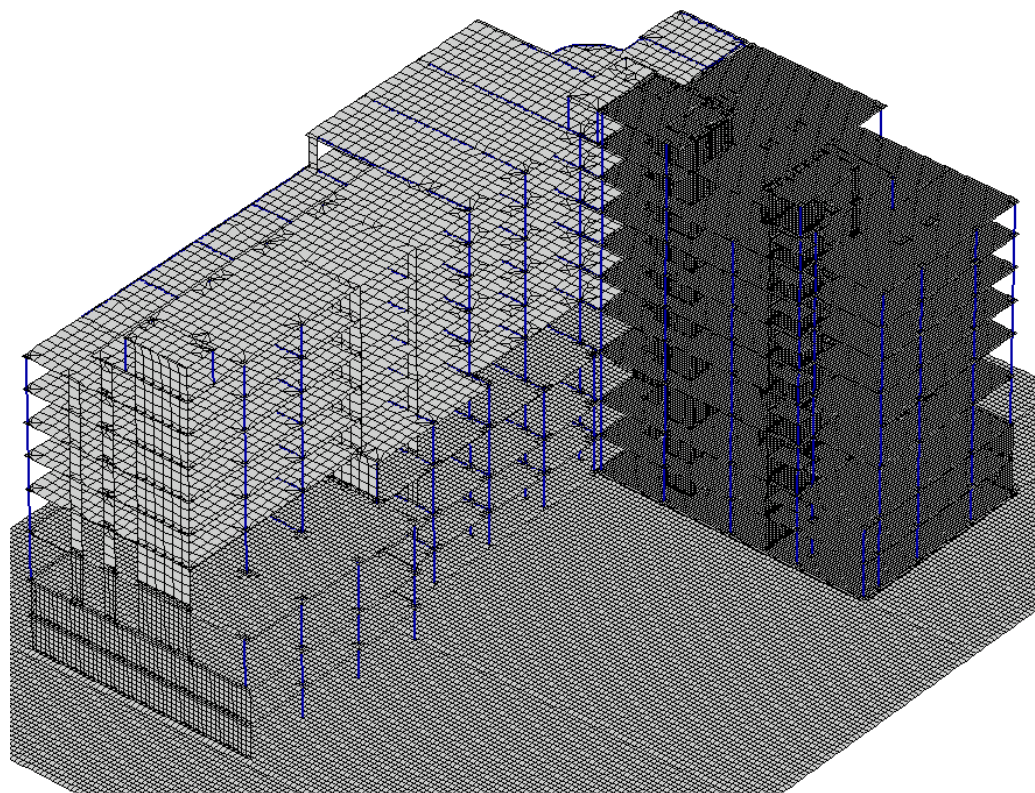
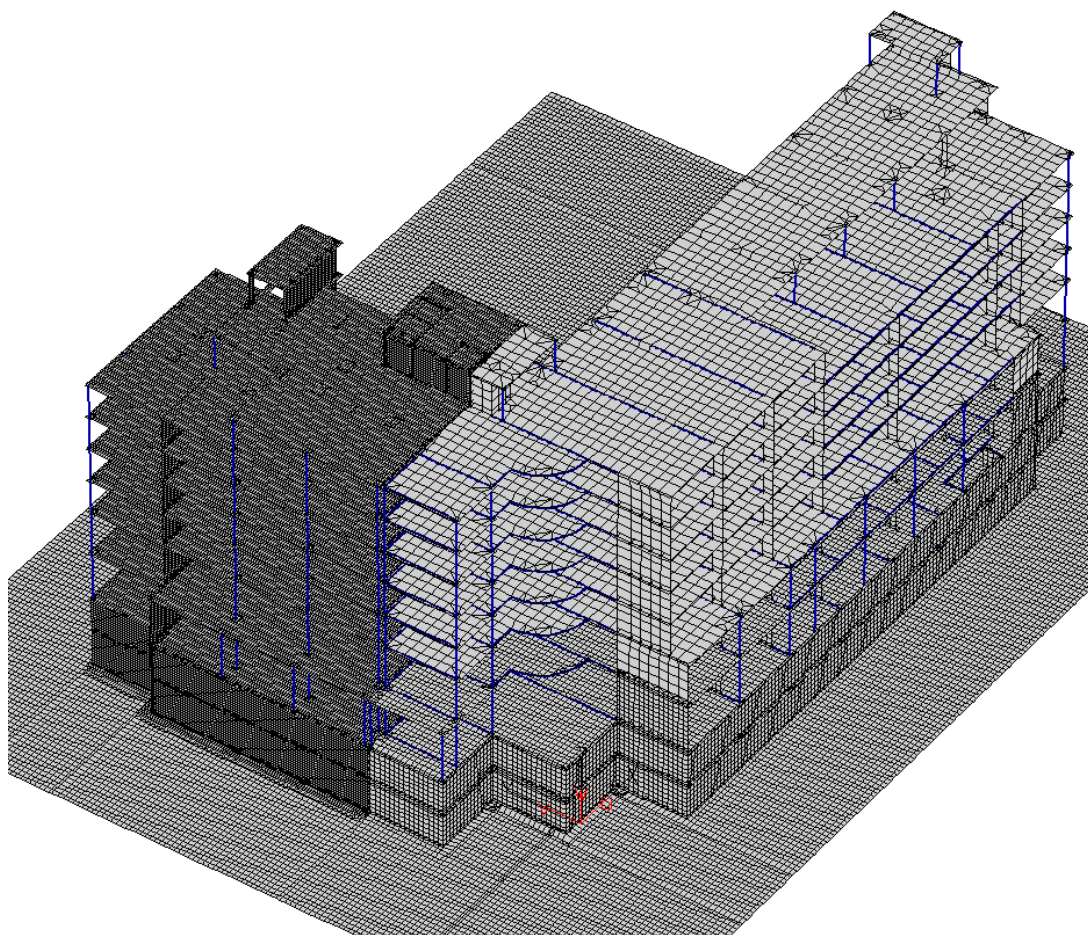


Рис. 68. Конечно-элементная модель 2 – с учетом взаимовлияния блока Б

На первом этапе выполнен расчет по определению частот и форм свободных колебаний. В расчете учтены 20 первых форм.

На втором этапе выполнено определение опасных направлений сейсмического воздействия. В результате выделено 7 наиболее опасных направлений.

Затем по каждому направлению автоматически сформированы сейсмические нагрузки для воздействия 7 баллов. По каждому направлению формировалось 20 нагружений, итого 140 сейсмических нагружений.

После этого выполнена оценка вклада нагрузок от каждого нагружения. При этом отдельно суммировались силы со знаком плюс и со знаком минус, что позволило оценить не просто суммарное воздействие по направлению, но и максимальное значение нагрузок.

На основе полученных значений определено 17 нагружений, которые дали наиболее значительный вклад в общую реакцию сооружения. Эти 17 нагружений сгруппированы по 7 различным опасным направлениям сейсмического воздействия. Нагружения имеют номера 13-19, сгруппированы по сейсмическим направлениям при определении расчетных сочетаний усилий согласно параметрам, приведенным в следующих диалоговых окнах.

При определении сейсмических нагрузок учитывалось и вертикальное колебательное движение системы.

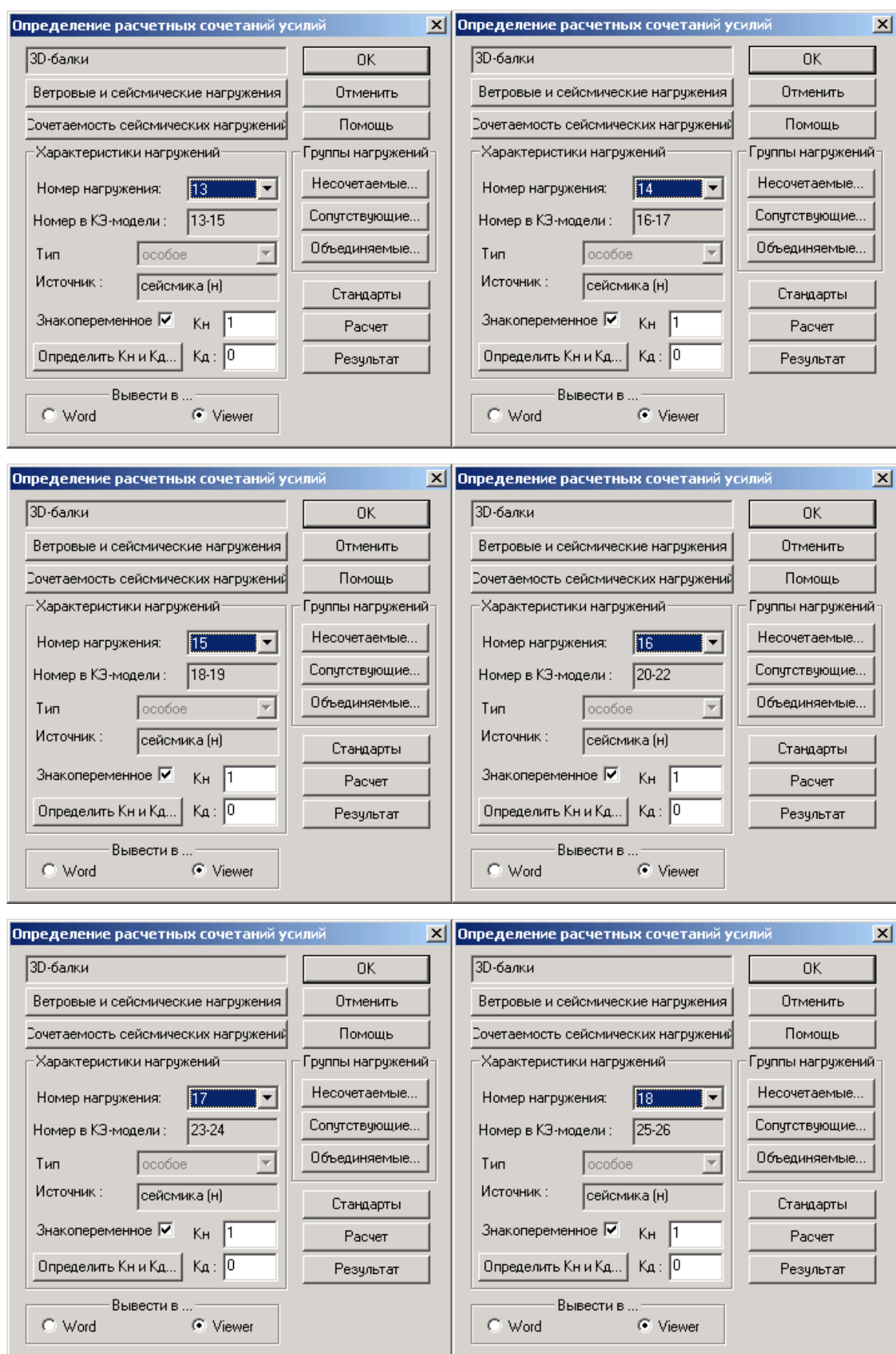


Рис. 69. Учет сейсмических нагружений при определении РСУ (а)

Определение расчетных сочетаний усилий

3D-балки

Ветровые и сейсмические нагрузки

Сочетаемость сейсмических нагрузений

Характеристики нагрузений

Номер нагрузения: 19

Номер в КЭ-модели: 27-29

Тип: особое

Источник: сейсмика (н)

Знакопеременное ☒ Кн: 1

Определить Кн и Кд... Кд: 0

Группы нагрузений

Несочетаемые...

Сопутствующие...

Объединяемые...

Стандарты

Расчет

Результат

Вывести в ...

☐ Word ☒ Viewer

Сейсмические и ветровые нагрузки

Сейсмика (перемещения) Ветер (перемещения)

Ветер (рекомендации) Коэффициенты демпфирования

Сейсмика (узловые нагрузки) Ветер (узловые нагрузки)

Сейсмические нагрузки

N 1-ой формы	Число форм	Метод	Nкомб
13	3	СНиП	0
16	2	СНиП	0
18	2	СНиП	0
20	3	СНиП	0
23	2	СНиП	0
25	2	СНиП	0
27	3	СНиП	0

Добавить Удалить Очистить

ПРИМЕЧАНИЯ.
Метод суммирования:
1 - СНиП, 2 - СЭС, 3 - сейсмика Узбекистана.
Nкомб: 0 - если нагрузки были получены на основе расчета на собственные колебания или номер соответствующей комбинации для 'деформированных' колебаний

OK Cancel Apply Help

Рис. 70. Учет сейсмических нагрузений при определении РСУ (б)

При определении степени влияния отдельных из 140 сейсмических нагрузений использованы суммарные значения положительных и отрицательных сил (вычислено отдельно – сумма положительных и отрицательных сил) по X, Y и Z согласно распечатке диалоговых окон.

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 1								
N ²	Px+	Px-	Pu+	Pu-	Pz+	Pz-		
1	15.6	-18.3	3.5	0.0	0.3	-0.2	<input type="checkbox"/>	Форма 1
2	0.0	-1206.3	1.2	0.0	0.3	-0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 2
3	25.8	-520.7	4.1	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	100.1	-182.3	0.5	-0.3	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	87.0	-283.9	1.9	-0.7	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.5	-0.6	0.6	-0.2	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	17.8	-59.4	0.0	0.0	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	144.1	-433.5	0.3	-0.1	1.9	-1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 8
9	1.4	-4.6	0.0	0.0	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	26.0	-53.0	1.1	-0.5	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.2	-0.2	0.0	0.0	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	0.0	0.0	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.1	-0.1	0.0	0.0	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.1	-0.4	0.0	0.0	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	0.0	0.0	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.2	-0.3	0.0	0.0	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.2	-0.3	0.0	0.0	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.4	-1.0	0.0	0.0	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 2								
N ²	Px+	Px-	Pu+	Pu-	Pz+	Pz-		
1	16.8	-14.3	267.9	-0.1	0.3	-0.2	<input type="checkbox"/>	Форма 1
2	1106.2	0.0	91.8	-0.3	0.3	-0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 2
3	477.5	-23.7	313.8	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	167.2	-91.8	42.1	-23.6	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	260.4	-79.8	147.9	-52.8	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.5	-0.5	43.1	-15.9	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	54.4	-16.4	4.4	-2.2	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	397.6	-132.2	25.0	-10.0	1.9	-1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 8
9	4.2	-1.3	4.1	-2.0	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	48.6	-23.8	83.3	-37.1	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.2	-0.2	2.7	-1.4	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	0.7	-0.4	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.1	-0.1	0.1	0.0	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.3	-0.1	0.1	0.0	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	0.8	-0.4	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.3	-0.1	0.0	0.0	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.3	-0.2	0.1	-0.1	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.9	-0.3	0.6	-0.3	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Рис. 71. Вклад сейсмических нагрузок по направлениям 1 и 2

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 3								
N:	Px+	Px-	Py+	Py-	Pz+	Pz-		
1	15.8	-13.4	344.1	-0.2	0.3	-0.2	<input type="checkbox"/>	Форма 1
2	1036.2	0.0	117.9	-0.4	0.3	-0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 2
3	447.2	-22.2	403.0	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	156.6	-86.0	54.1	-30.3	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	243.9	-74.7	189.9	-67.9	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.5	-0.4	55.3	-20.5	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	51.0	-15.3	5.7	-2.8	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	372.4	-123.8	32.1	-12.8	1.9	-1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 8
9	3.9	-1.2	5.2	-2.5	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	45.5	-22.3	106.9	-47.7	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.2	-0.1	3.5	-1.7	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.1	0.0	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	0.9	-0.5	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.1	-0.1	0.1	-0.1	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.3	-0.1	0.1	-0.1	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	1.1	-0.5	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.3	-0.1	0.1	0.0	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.3	-0.2	0.2	-0.2	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.9	-0.3	0.8	-0.4	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 4								
N:	Px+	Px-	Py+	Py-	Pz+	Pz-		
1	12.7	-10.8	484.2	-0.2	0.3	-0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 1
2	836.4	0.0	165.8	-0.6	0.3	-0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 2
3	361.0	-17.9	567.1	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	126.4	-69.4	76.1	-42.6	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	196.9	-60.3	267.2	-95.5	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.4	-0.4	77.8	-28.8	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	41.2	-12.4	8.0	-3.9	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	300.6	-99.9	45.2	-18.1	1.9	-1.8	<input type="checkbox"/>	Форма 8
9	3.2	-1.0	7.4	-3.6	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	36.7	-18.0	150.5	-67.1	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.1	-0.1	4.9	-2.5	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.1	-0.1	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	1.2	-0.8	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.1	0.0	0.1	-0.1	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.2	-0.1	0.2	-0.1	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	1.5	-0.7	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.2	-0.1	0.1	-0.1	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.2	-0.1	0.3	-0.2	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.7	-0.3	1.1	-0.5	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Рис. 72. Вклад сейсмических нагрузок по направлениям 3 и 4

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 5								
Nº	Px+	Px-	Py+	Py-	Pz+	Pz-		
1	3.5	-3.0	659.8	-0.3	0.3	-0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 1
2	228.1	0.0	226.0	-0.8	0.3	-0.3	<input type="checkbox"/>	Форма 2
3	98.5	-4.9	772.9	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	34.5	-18.9	103.7	-58.1	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	53.7	-16.4	364.1	-130.1	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.1	-0.1	106.1	-39.2	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	11.2	-3.4	10.9	-5.4	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	82.0	-27.3	61.6	-24.6	1.9	-1.8	<input type="checkbox"/>	Форма 8
9	0.9	-0.3	10.1	-4.9	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	10.0	-4.9	205.1	-91.4	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.0	0.0	6.6	-3.3	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.1	-0.1	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	1.6	-1.0	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.0	0.0	0.2	-0.1	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.0	0.0	0.3	-0.1	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	2.1	-1.0	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.0	0.0	0.1	-0.1	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.0	0.0	0.4	-0.3	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.2	-0.1	1.5	-0.7	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 6								
Nº	Px+	Px-	Py+	Py-	Pz+	Pz-		
1	1.0	-1.2	670.5	-0.3	0.3	-0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 1
2	0.0	-77.8	229.7	-0.8	0.3	-0.3	<input type="checkbox"/>	Форма 2
3	1.7	-33.6	785.4	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	6.5	-11.8	105.3	-59.0	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	5.6	-18.3	370.0	-132.2	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.0	0.0	107.8	-39.9	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	1.2	-3.8	11.1	-5.5	749.2	-11.6	<input type="checkbox"/>	Форма 7
8	9.3	-28.0	62.6	-25.0	1.9	-1.8	<input type="checkbox"/>	Форма 8
9	0.1	-0.3	10.2	-4.9	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	1.7	-3.4	208.4	-92.9	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.0	0.0	6.7	-3.4	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.1	-0.1	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	1.7	-1.0	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.0	0.0	0.2	-0.1	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.0	0.0	0.3	-0.1	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	2.1	-1.0	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.0	0.0	0.1	-0.1	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.0	0.0	0.4	-0.3	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.0	0.0	1.5	-0.7	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Рис. 73. Вклад сейсмических нагрузок по направлению 5 и 6

Анализ учета сейсмических нагрузений по направлению: 7								
Nº	Px+	Px-	Py+	Py-	Pz+	Pz-		
1	8.4	-9.8	567.3	-0.3	0.3	-0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 1
2	0.0	-646.4	194.3	-0.7	0.3	-0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 2
3	13.8	-279.0	664.5	0.0	0.6	-0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 3
4	53.6	-97.7	89.1	-49.9	10.1	-4.9	<input type="checkbox"/>	Форма 4
5	46.6	-152.1	313.1	-111.9	222.1	-23.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 5
6	0.3	-0.3	91.2	-33.7	486.3	-105.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 6
7	9.6	-31.8	9.4	-4.6	749.2	-11.6	<input checked="" type="checkbox"/>	Форма 7
8	77.2	-232.3	53.0	-21.2	1.9	-1.8	<input type="checkbox"/>	Форма 8
9	0.7	-2.5	8.7	-4.2	33.6	-29.4	<input type="checkbox"/>	Форма 9
10	13.9	-28.4	176.3	-78.6	50.0	-28.2	<input type="checkbox"/>	Форма 10
11	0.1	-0.1	5.7	-2.9	41.7	-33.5	<input type="checkbox"/>	Форма 11
12	0.0	0.0	0.1	-0.1	34.0	-29.1	<input type="checkbox"/>	Форма 12
13	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	-24.1	<input type="checkbox"/>	Форма 13
14	0.0	0.0	1.4	-0.9	197.2	-107.0	<input type="checkbox"/>	Форма 14
15	0.0	0.0	0.2	-0.1	8.2	-7.8	<input type="checkbox"/>	Форма 15
16	0.1	-0.2	0.2	-0.1	53.0	-33.3	<input type="checkbox"/>	Форма 16
17	0.0	0.0	1.8	-0.8	90.4	-63.3	<input type="checkbox"/>	Форма 17
18	0.1	-0.2	0.1	-0.1	1.1	-1.1	<input type="checkbox"/>	Форма 18
19	0.1	-0.2	0.3	-0.3	21.3	-16.6	<input type="checkbox"/>	Форма 19
20	0.2	-0.5	1.3	-0.6	10.0	-9.4	<input type="checkbox"/>	Форма 20

Рис. 74. Вклад сейсмических нагрузок по направлению 7

Показан пример распределения узловых сил для автоматически вычисленных сейсмических нагрузок, дающих максимальный вклад.

Как видно, учтены как поступательные варианты воздействий, так и воздействия с разными знаками, определяющие крутильный характер деформаций.

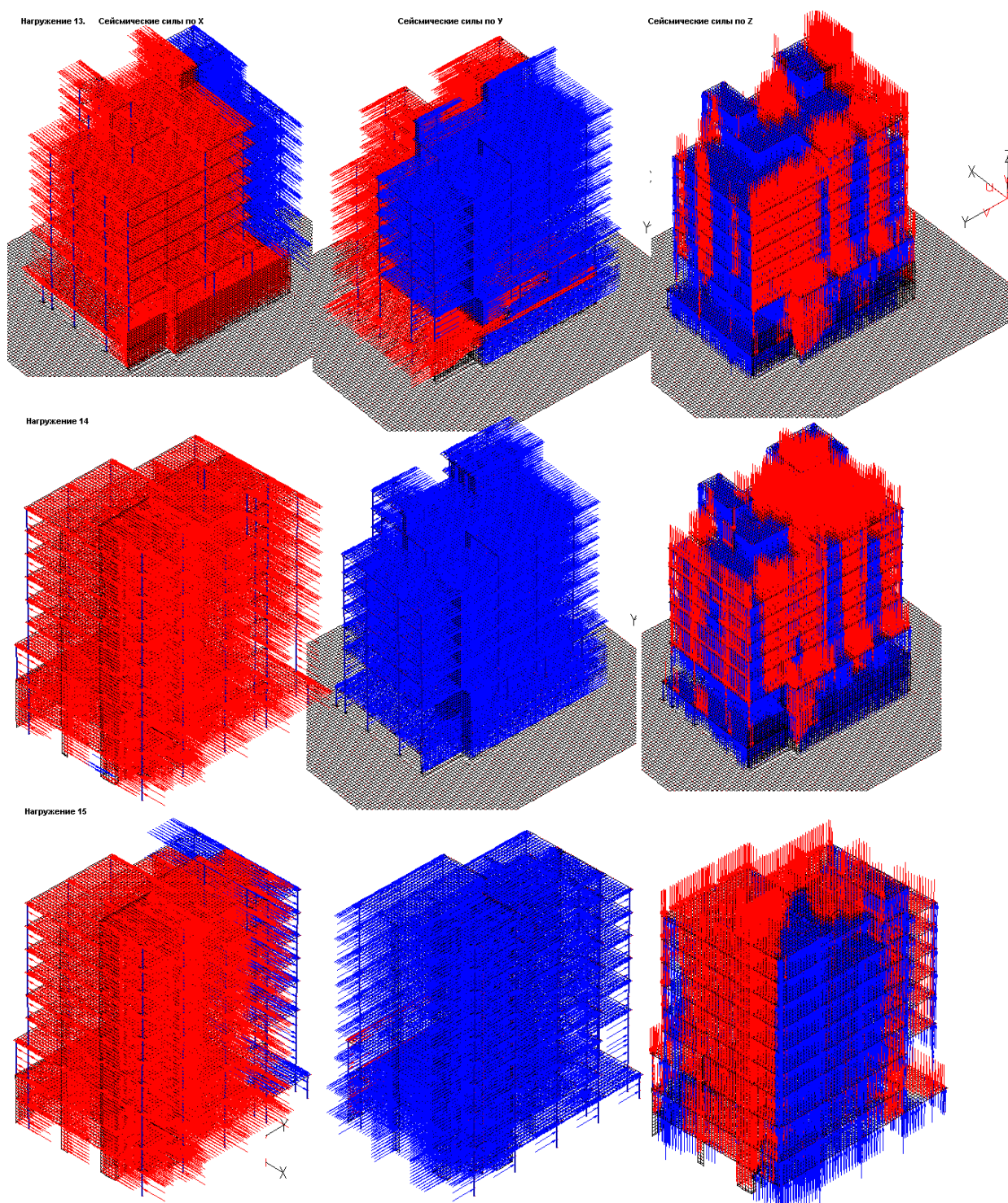


Рис. 75. Сейсмические нагрузки 1-3 (№№ 13-15)

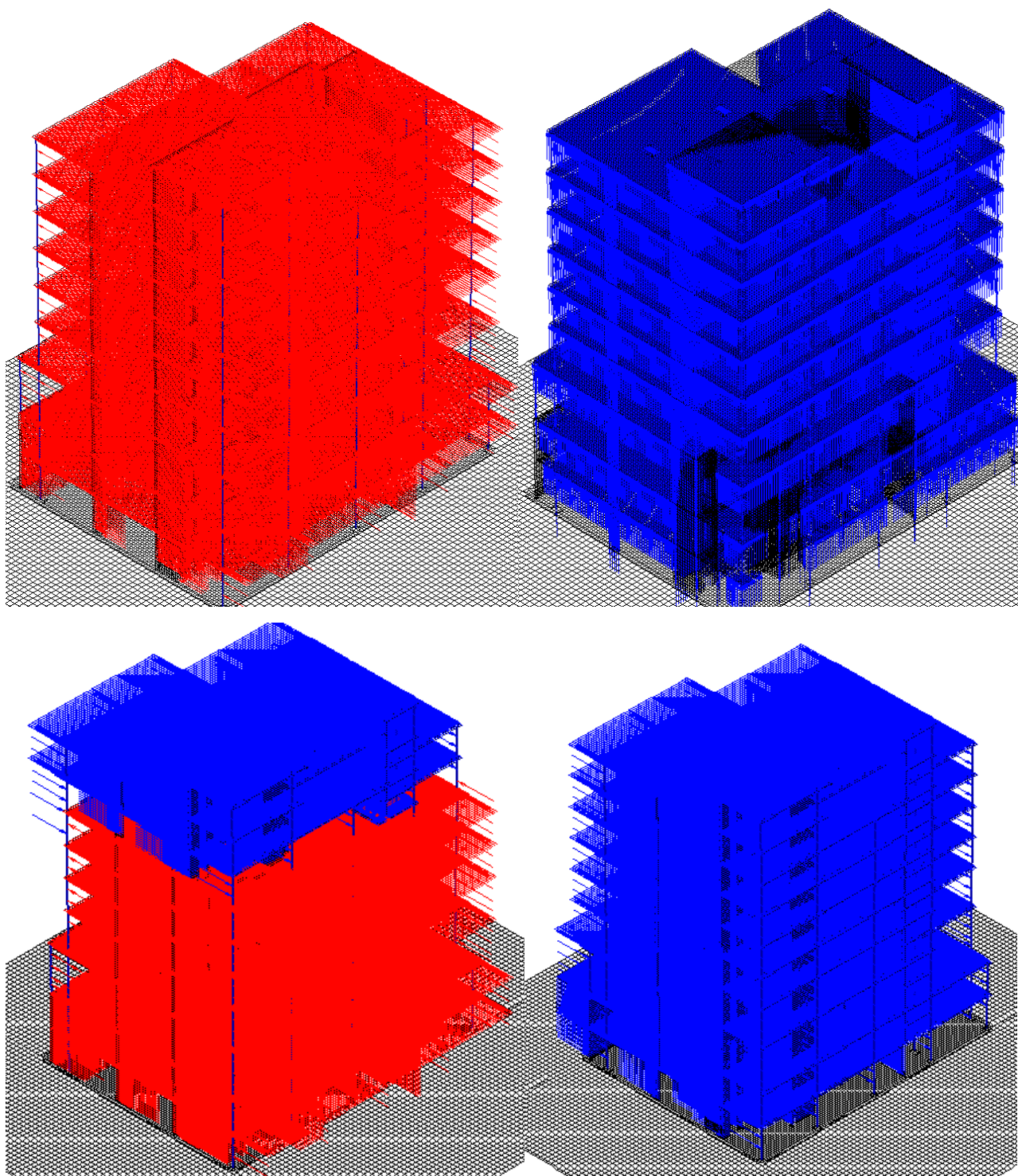


Рис. 76. Варианты сейсмических нагрузений

Список литературы

1. Айзенберг Я.М. Некоторые уроки землетрясения в Армении 7 декабря 1988 г.//Строительство и архитектура. Сер. Сейсмостойкое строительство. Экспресс информация. - М.:, 1992. - Вып. 2. - с.2-7.
2. Амосов А.А., Синицын С.Б. Основы теории сейсмостойкости сооружений, М.: 2001.-95 с.
3. Жарницкий В.И., Алипур М.А. Колебания железобетонной упруго пластической консоли при сейсмических воздействиях. Сборник материалов: Экспериментальная механика и расчет сооружений. М.: 2004 г.-274 с.-с. 144-147.
4. Жарницкий В.И., Голда Ю.Л., Курнавина С.О. Оценка сейсмостойкости здания и повреждений его конструкций на основе динамического расчёта с учётом упругопластических деформаций материалов. Сейсмостойкое строительство. 1998. №3. с. 22-23.
5. Жарницкий В.И., Забегаев А.В. Развитие теории сейсмостойкости железобетонных конструкций. Первая всероссийская конференция по проблемам бетона и железобетона. М.: 2001. том 2. - с. 655-658.
6. Майоров В.И., Почтовик Л.И., Мильштейн Л.И. Прочность при динамическом нагружении. Бетон и железобетон № 4.
7. Назаров Ю.П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия: -М.: Наука, 2010. - 468 с.
8. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений.М.:Стройиздат, 1988. 222 с.
9. Назаров Ю.П. Развитие строительной механики - возрождение традиций // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 2-5.
10. Назаров Ю.П. и др. Рекомендации по определению расчетной сейсмической нагрузки для сооружений с учетом пространственного характера воздействия и работы конструкций. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1989. 142с.

11. Назаров Ю.П. и др. Рекомендации по расчету сооружений с подвешенными массами на сейсмические воздействия. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1989. 164 с.

12. Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Егоров М.И. Басманный рынок: анализ конструктивных решений и возможных механизмов разрушения здания// Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – №2. – С. 49-55.

13. Назаров Ю.П., Симбиркин В.Н. Анализ и ограничение колебаний конструкций при воздействии людей// Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Исследования по теории сооружений. – 2009. – № 1 (XXVI). – С. 10-18.

14. Назаров Ю.П., Симбиркин В.Н., Городецкий А.С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла конструкций// Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: Сборник научных статей в двух частях/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Ч. 2. – М.: ЦПП, 2009. – С. 204-216.

15. Попов Н.Н., Кумпяк О.Г., Плевков В.С. Вопросы динамического расчета железобетонных конструкций. Томск: Издательство Томского Университета, 1990 г.

16. Строительная механика и расчет сооружений № 1, 1992 г.

17. Сейсмостойкие сооружения и теория сейсмостойкости: По материалам V Международной конференции по сейсмостойкому строительству. /Под. Ред. С. В. Полякова и А. В. Черкашина.

18. СНиП 2.03.01.84. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Стройиздат и НИИЖБ, 1985.- с. 79.

19. СНиП II -7-81* Строительство в сейсмических районах. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования М.: Минстрой РФ. 2004. - 44 с.