

«Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD Office 21»

Москва, 17-18 апреля 2018 года

Выбор расчетной динамической модели многоэтажного здания при расчёте на пульсационную составляющую ветровой нагрузки

А.А. Семенов, И.А. Порываев, П.В. Блохин

Уфимский государственный нефтяной технический
университет

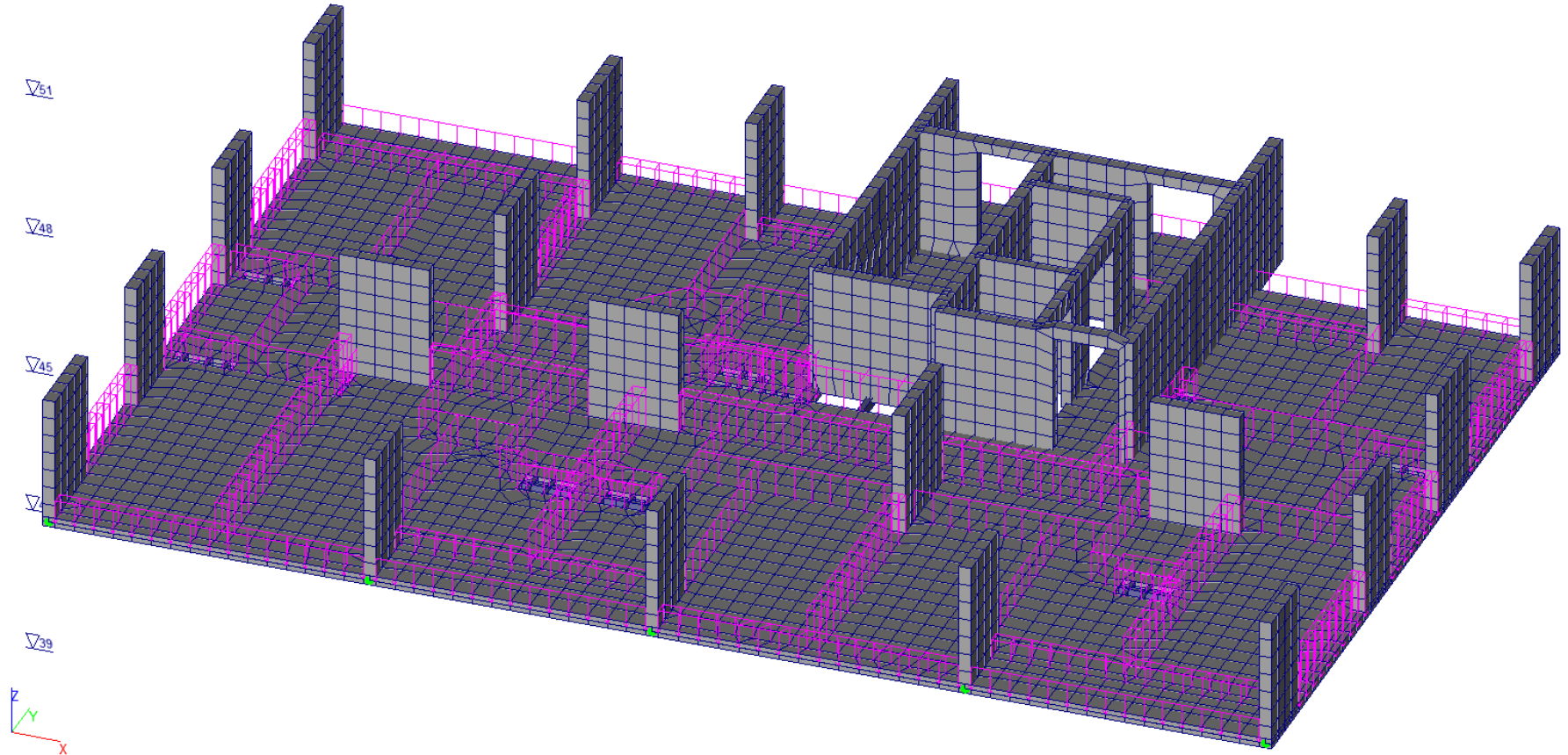
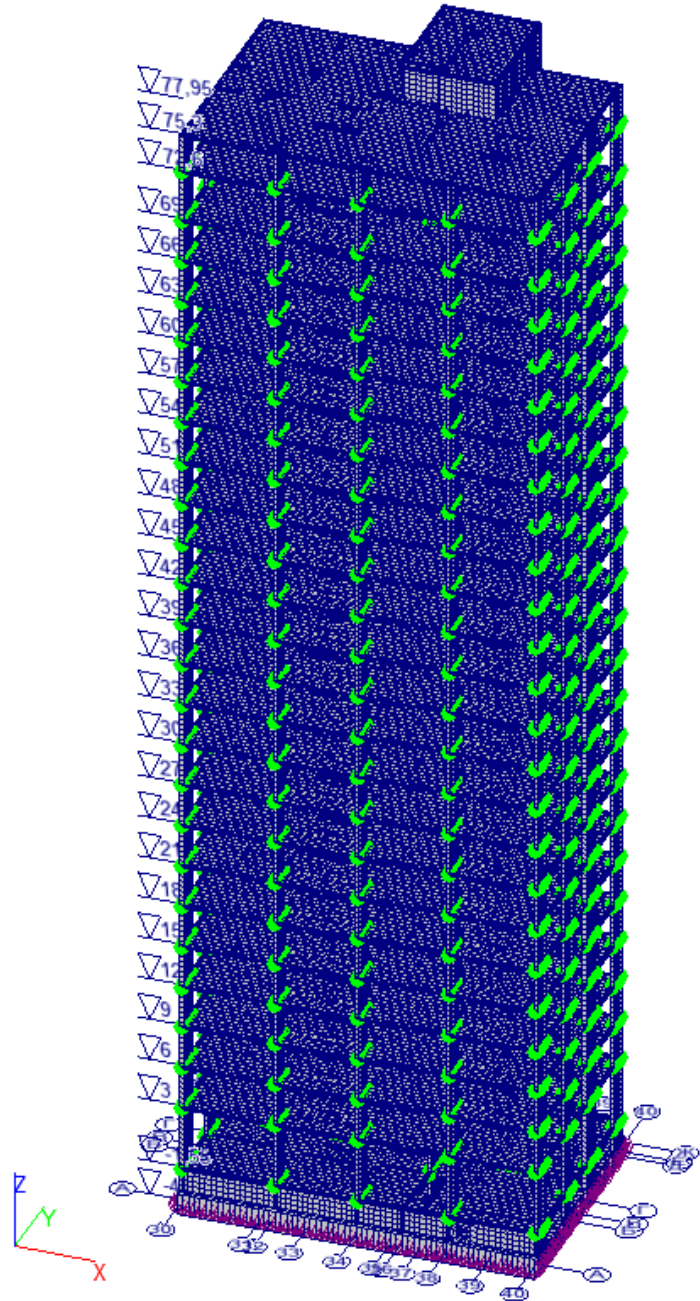
Общие положения

- Выбор расчетной схемы (модели) является наиболее ответственным этапом расчета зданий и сооружений
- Традиционно при составлении расчетной схемы подробно описываются основные несущие элементы объекта и отбрасываются «второстепенные» элементы (ограждающие конструкции, перегородки, технологическое оборудование и т.д.)
- Достаточно часто при расчете на статические и динамические нагрузки используется одна и та же базовая модель, а инерционные характеристики системы получают путем преобразования статических нагрузок в массы, которые приводятся к узлам базовой расчетной схемы (при использовании МКЭ)

Общие положения

- Действующие нормы требуют учитывать пульсационную составляющую ветровой нагрузки для любых зданий
- Тенденция к увеличению высоты городской застройки делает процедуру выбора расчетной динамической модели еще более ответственной
- Учет податливости основания?
- Влияние «второстепенных» элементов на динамическое поведение системы?

Общие положения



Расчетная схема монолитного многоэтажного здания с отображением нагрузок от перегородок и ограждений

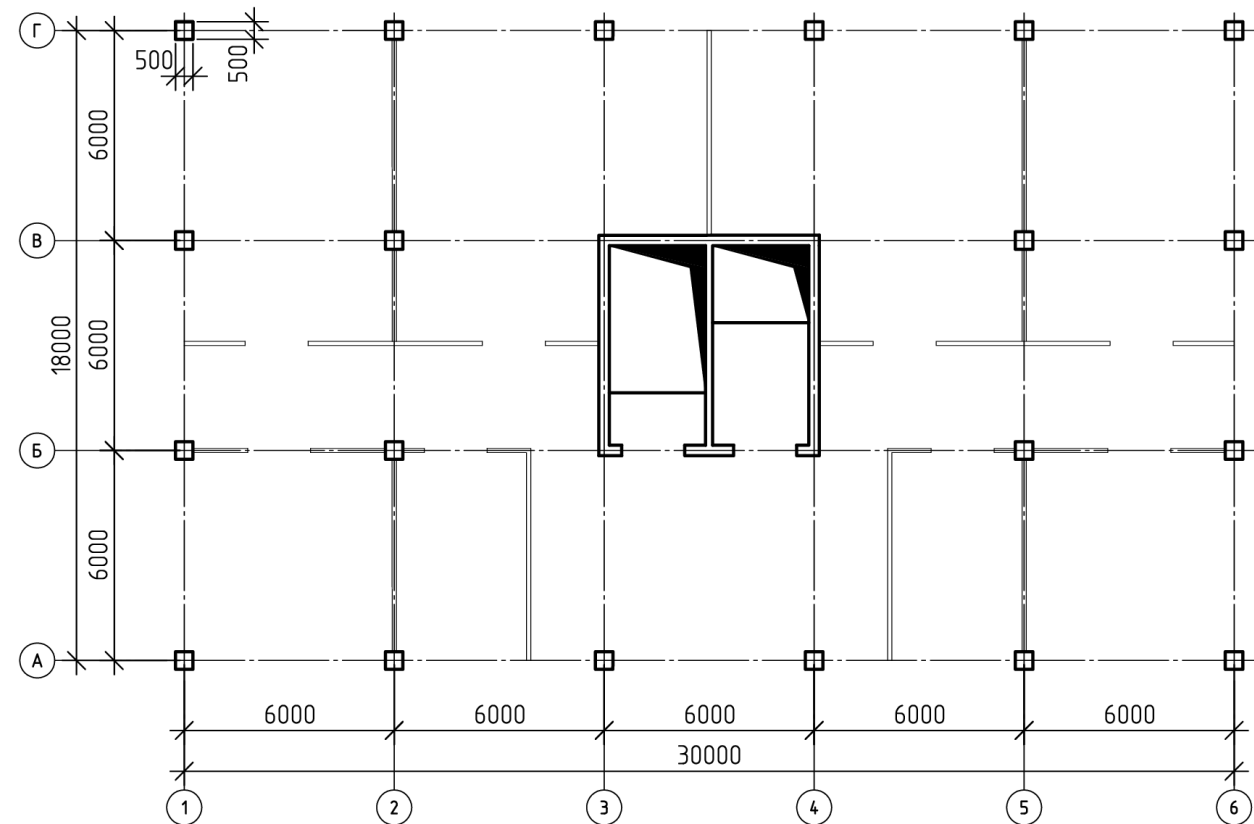
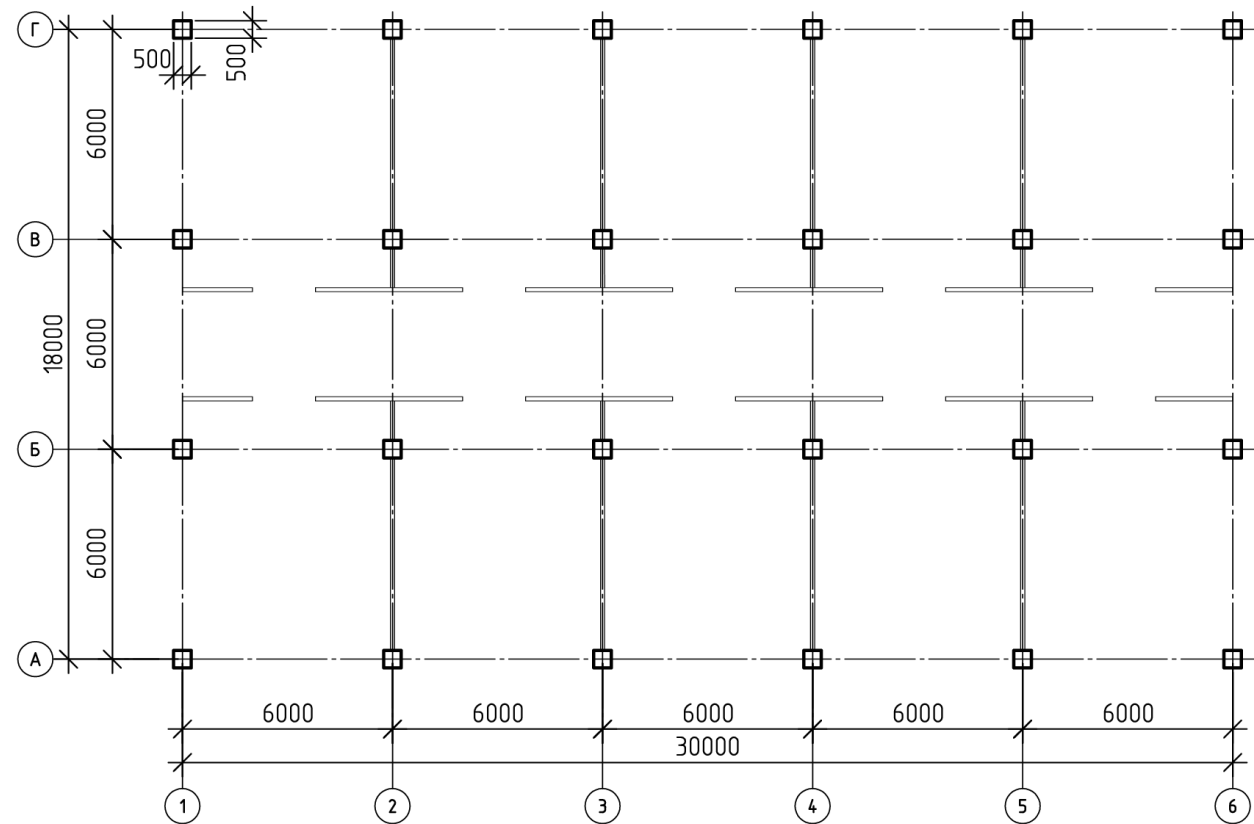
Цель работы

Оценка влияния степени детализации расчетной модели многоэтажного монолитного здания на результаты расчета при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки

- Влияние характерного размера конечных элементов
- Влияние «второстепенных элементов»

Тестовые задачи

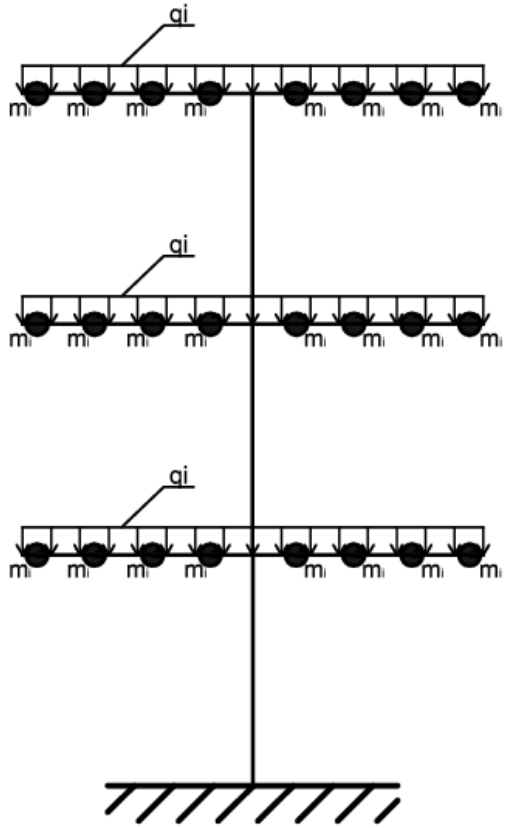
30-ти этажное здание; высота 90 м.; размеры в плане 30х18 м; II ветровой район, тип местности В



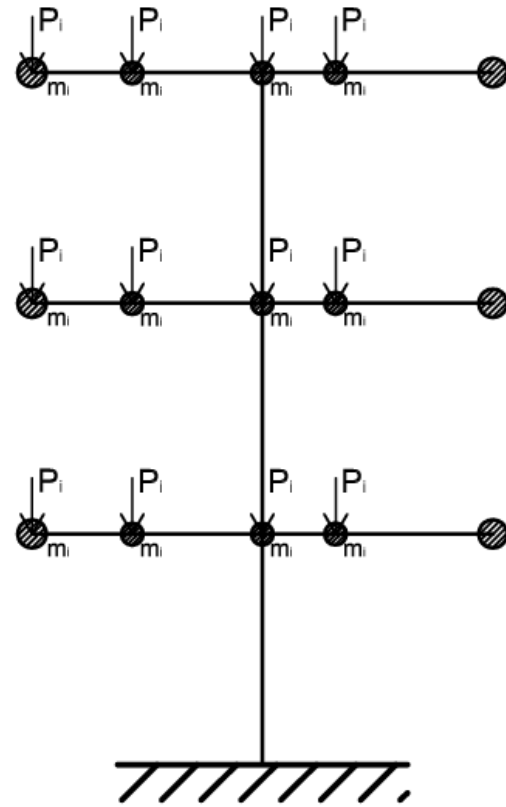
Варианты расчетных моделей

- **Модель 1** – содержит все несущие элементы (плиты, колонны, ядра жесткости); перегородки и ограждающие конструкции заданы в виде равномерно распределенных по площади перекрытия нагрузок
- **Модель 2** - содержит все несущие элементы (плиты, колонны, ядра жесткости); перегородки и ограждающие конструкции заданы в виде равномерно распределенных погонных нагрузок в соответствии со схемой их расположения
- **Модель 3** – несущие и ограждающие конструкции включены в расчетную схему

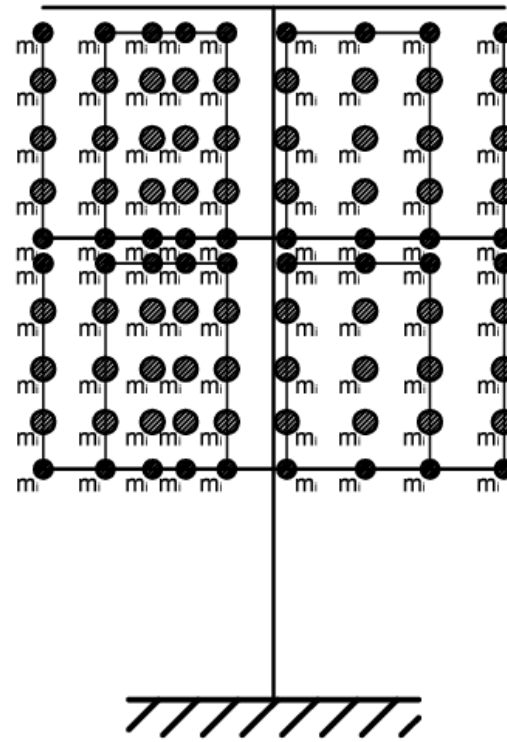
Принципиальные схемы рассматриваемых моделей



Модель 1



Модель 2



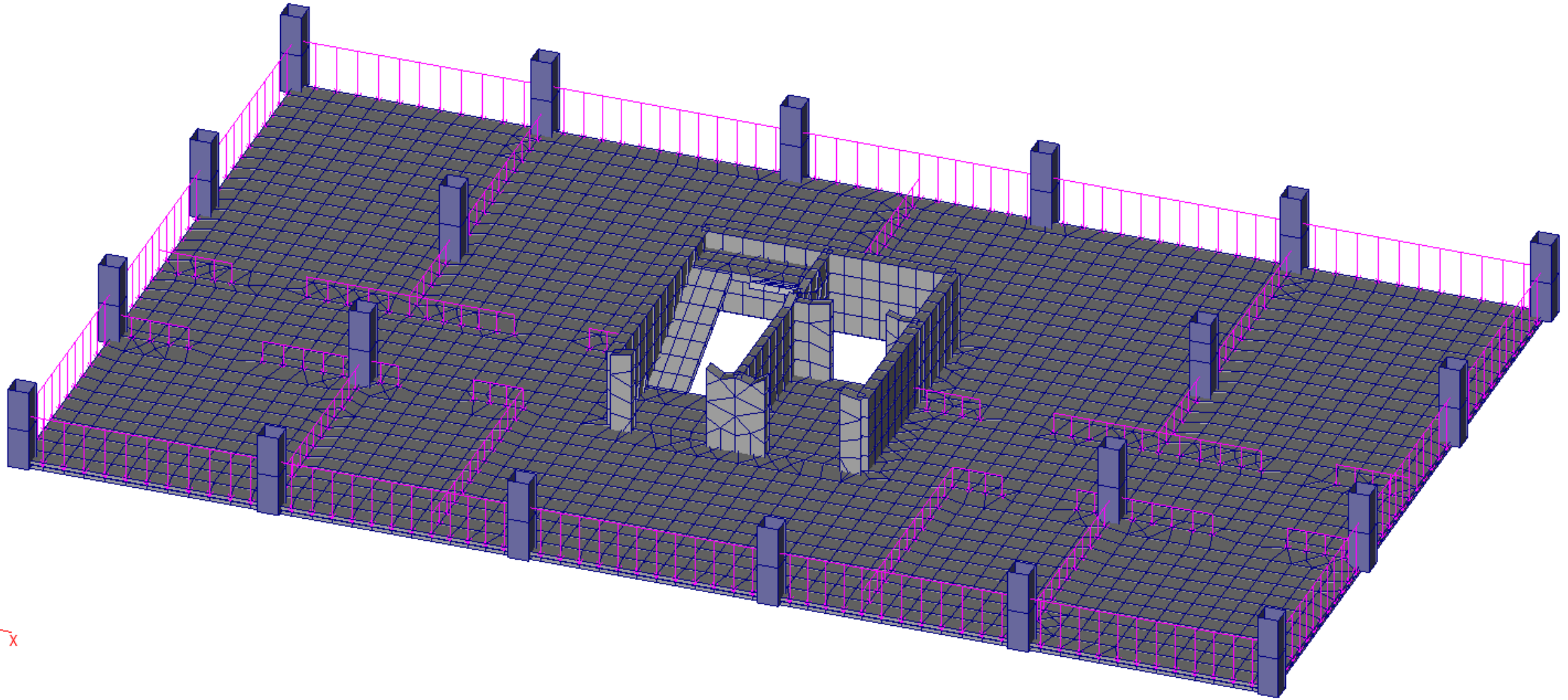
Модель 3

q_i - распределенная нагрузка
от ограждающих конструкций
и перегородок

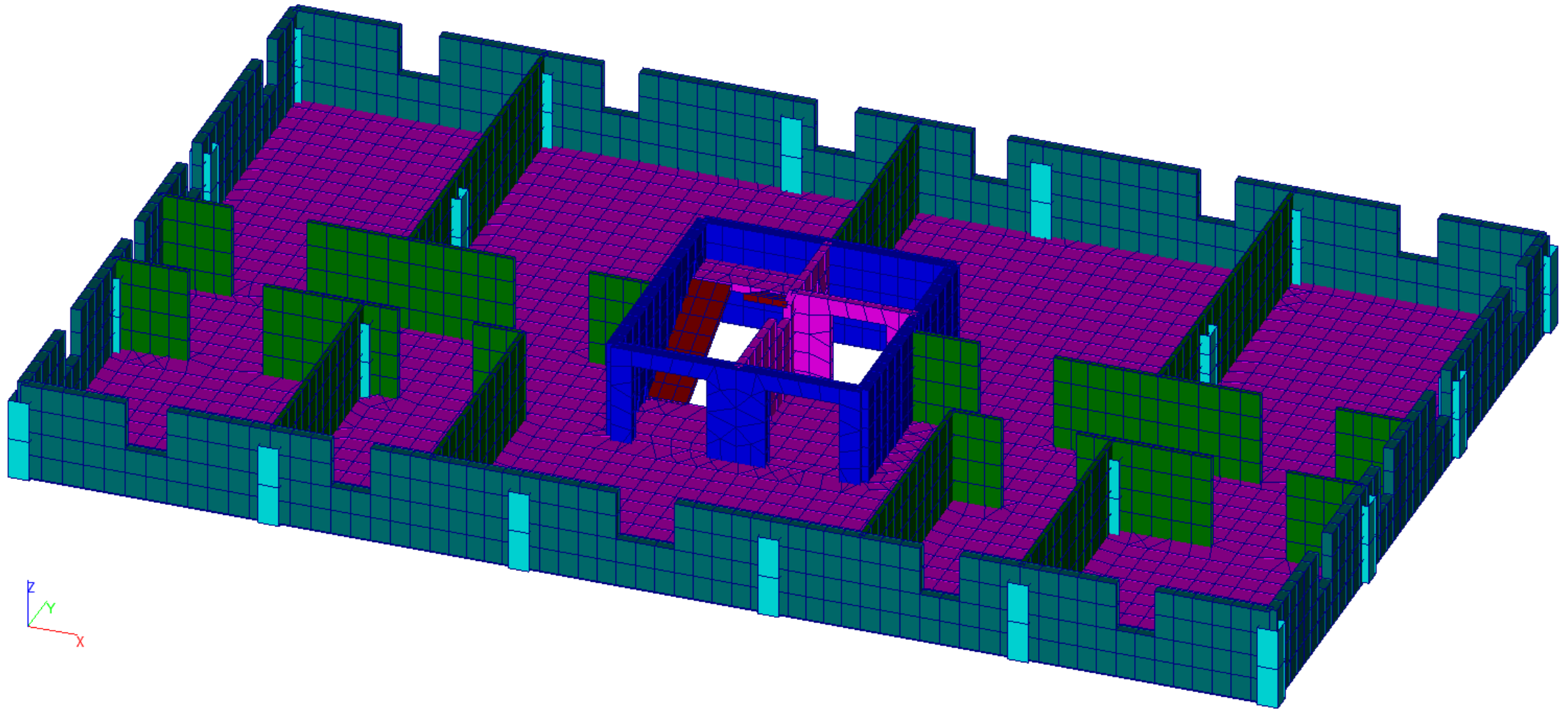
P_i - сосредоточенная нагрузка
от ограждающих конструкций
и перегородок

m_i - масса ограждающих конструкций
и перегородок

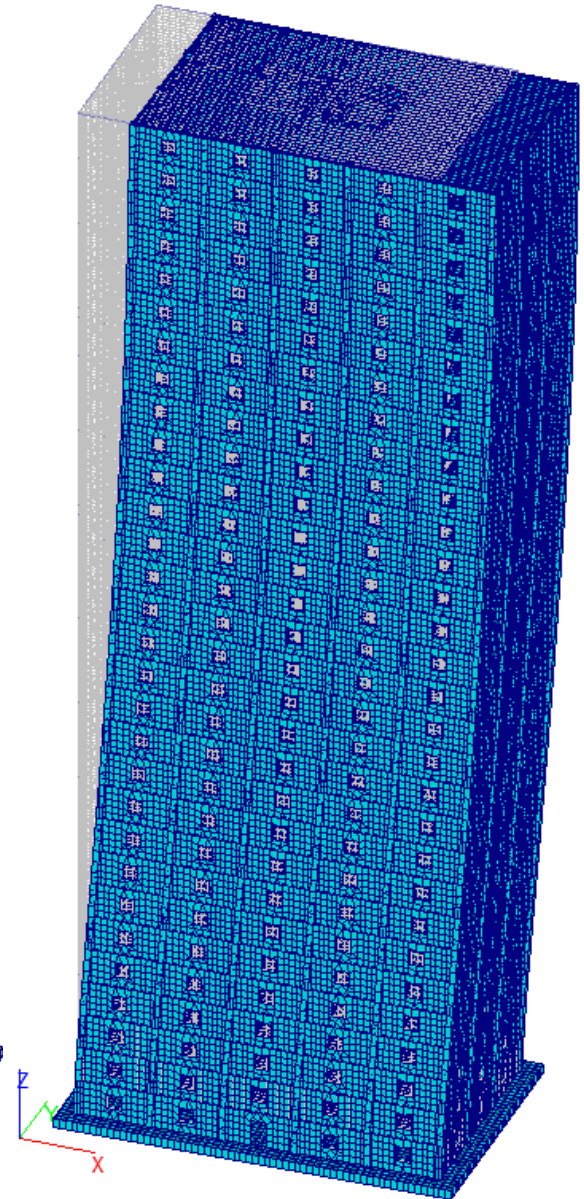
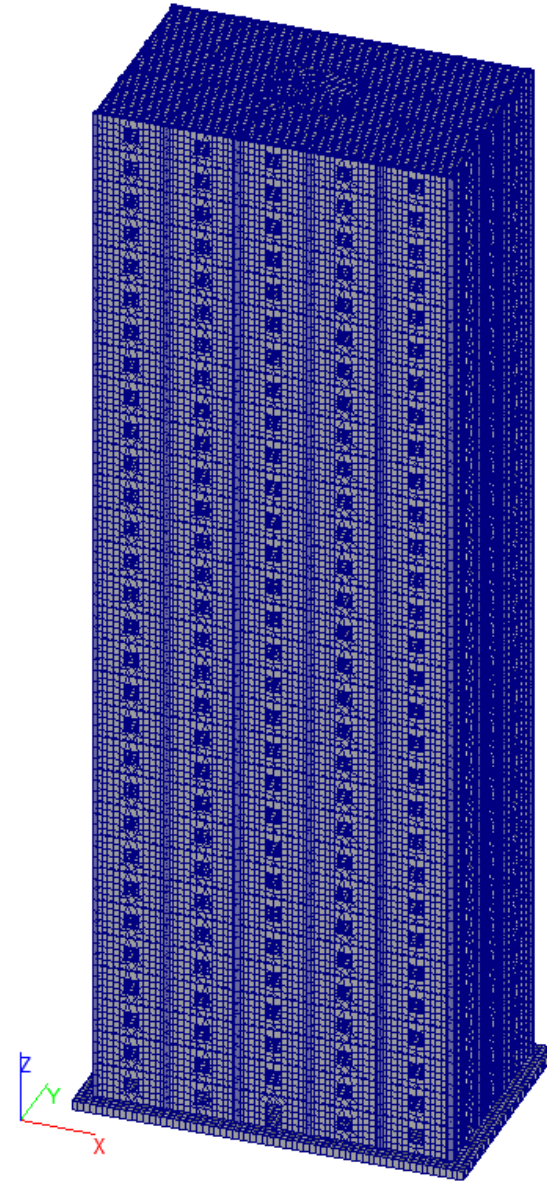
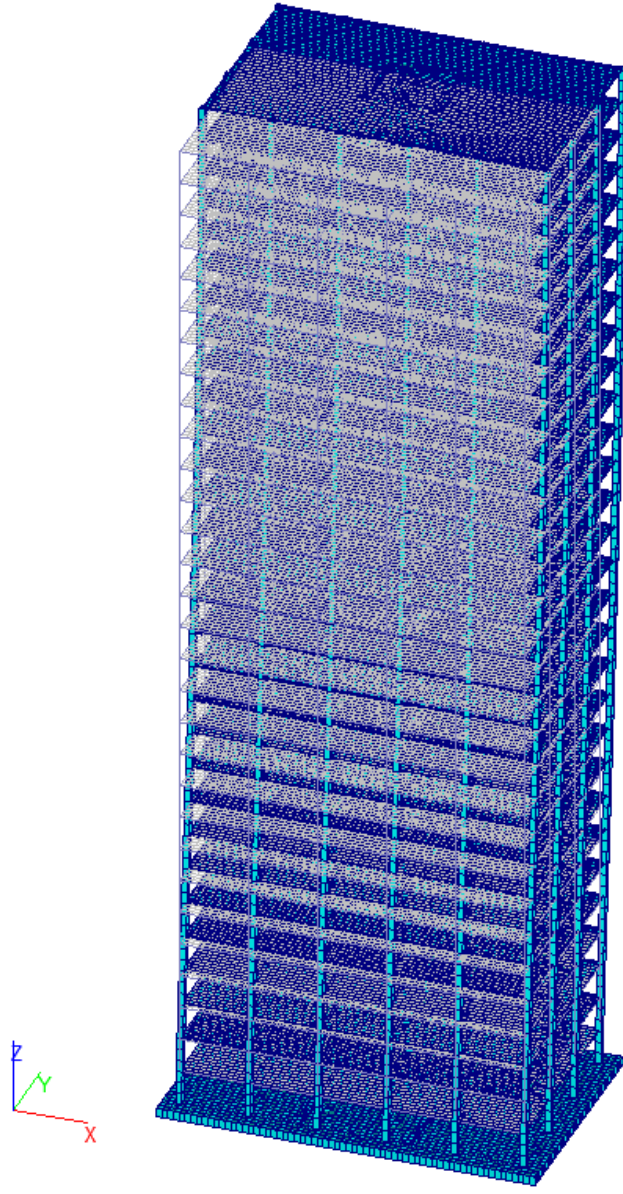
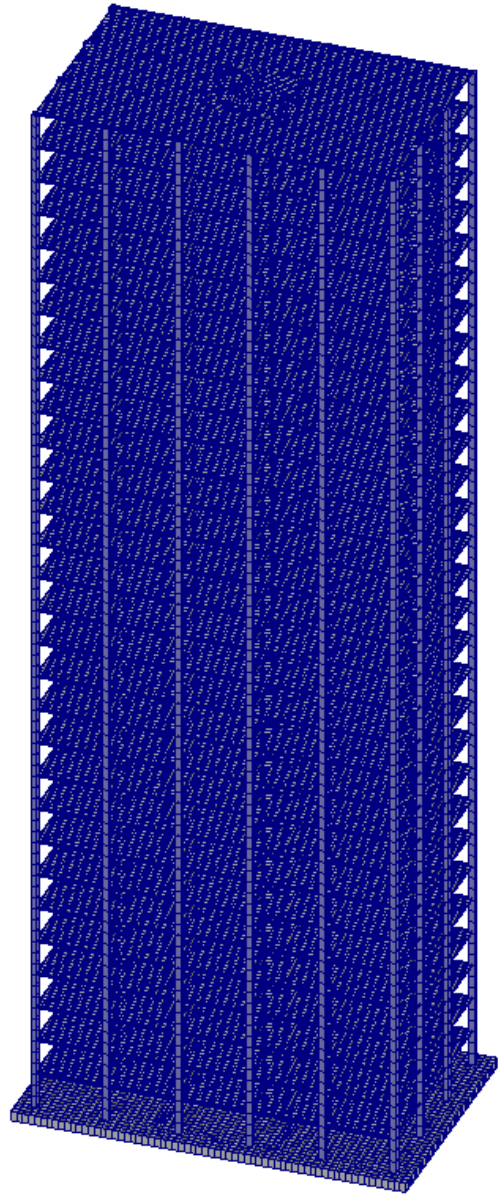
Варианты расчетной модели



Варианты расчетной модели



Варианты расчетной модели



Средняя составляющая ветровой нагрузки

$$W_m = W_0 k(z_e) c,$$

11.1.5 Эквивалентная высота z_e определяется следующим образом.

1 Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$.

2 Для зданий:

а) при $h \leq d \rightarrow z_e = h$;

б) при $d < h \leq 2d$:

для $z \geq h - d \rightarrow z_e = h$;

для $0 < z < h - d \rightarrow z_e = d$;

в) при $h > 2d$:

для $z \geq h - d \rightarrow z_e = h$;

для $d < z < h - d \rightarrow z_e = z$;

для $0 < z \leq d \rightarrow z_e = d$.

Здесь z – высота от поверхности земли;

d – размер здания (без учета его стилобатной части) в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер);

h – высота здания.

Вес несущих и ненесущих элементов

Тестовая задача 1

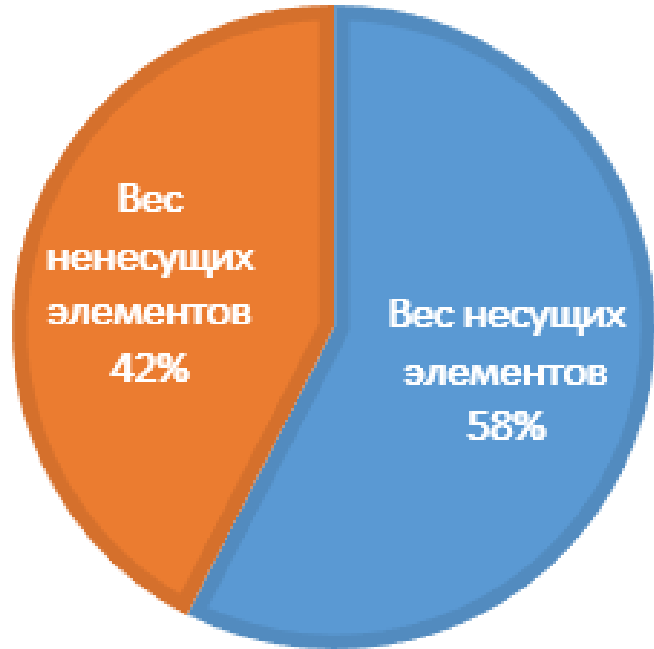
Тестовая задача 2

■ Вес несущих элементов

■ Вес ненесущих элементов

■ Вес несущих элементов

■ Вес ненесущих элементов



Модальный анализ

Тестовая задача 1

Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)		
		рад/сек	Гц		X	Y	Z
1	1,6	0,625	0,099	10,056	0,617	77,9	0
2	1,578	0,634	0,101	9,912	77,788	0,605	0
3	1,545	0,647	0,103	9,705	0,581	0,01	0
4	0,523	1,912	0,304	3,285	0,122	9,826	0
5	0,517	1,934	0,308	3,249	9,354	0,126	0
6	0,504	1,983	0,316	3,169	0,049	0	0
7	0,3	3,333	0,531	1,885	0,923	2,562	0
8	0,299	3,342	0,532	1,88	2,531	0,931	0
9	0,29	3,443	0,548	1,825	0,012	0	0
10	0,206	4,845	0,771	1,297	0,742	1,144	0

Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)		
		рад/сек	Гц		X	Y	Z
1	1,348	0,742	0,118	8,468	78,266	0,286	0
2	1,318	0,759	0,121	8,28	0,283	77,505	0
3	1,228	0,814	0,13	7,717	0,085	0,036	0
4	0,443	2,256	0,359	2,785	9,475	0,021	0
5	0,43	2,324	0,37	2,704	0,019	10,266	0
6	0,405	2,467	0,393	2,547	0,011	0	0
7	0,258	3,877	0,617	1,621	3,388	0	0
8	0,246	4,059	0,646	1,548	0	3,453	0
9	0,238	4,207	0,67	1,493	0	0	0
10	0,179	5,579	0,888	1,126	1,812	0	0

Частоты в модели № 3 на **15 – 20 %** выше

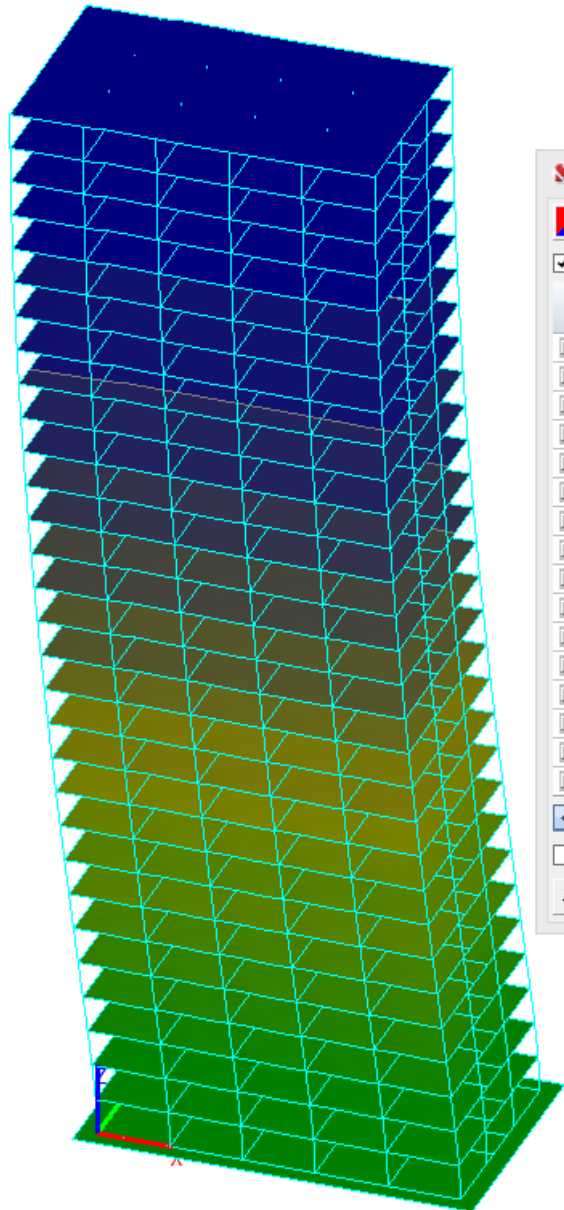
Тестовая задача 2

Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)			
		рад/сек	Гц		X	Y	Z	
1	0,775	1,29	0,205	4,87	0,031	65,058	0	
2	0,755	1,325	0,211	4,741	64,105	0,03	0	
3	0,501	1,995	0,318	3,149	1,964	0	0	
4	0,193	5,18	0,824	1,213	10,148	0	0	
5	0,167	5,984	0,952	1,05	0	17,393	0	
6	0,149	6,721	1,07	0,935	6,754	0	0	
7	0,107	9,318	1,483	0,674	2,258	0	0	
8	0,077	13,065	2,079	0,481	0,013	0	0	
9	0,068	14,809	2,357	0,424	0,086	6,399	0,031	
10	0,067	15,012	2,389	0,419	5,305	0,103	0	
Сумма модальных масс					90,663	88,983	0,031	

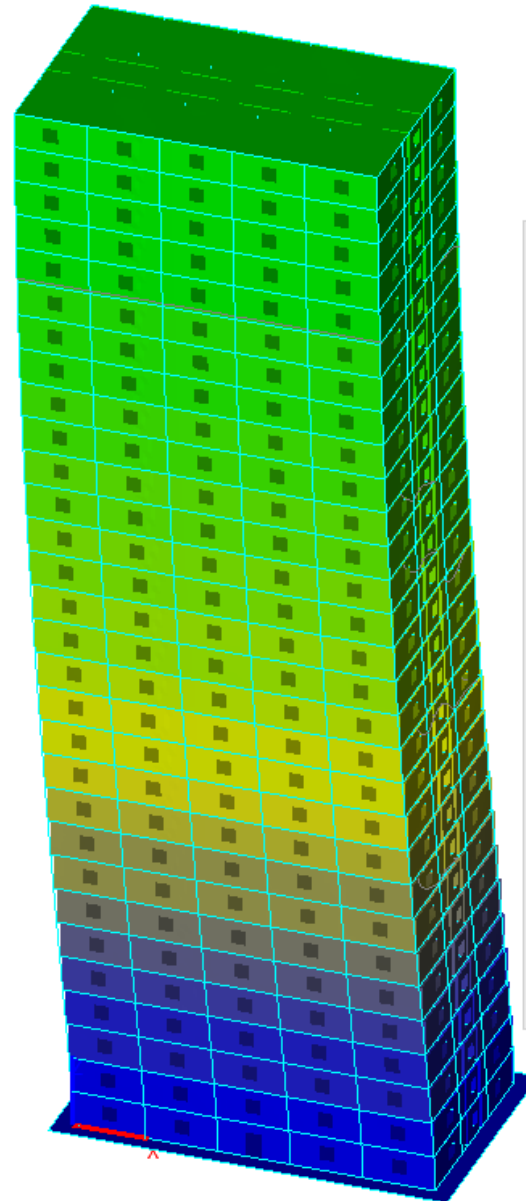
Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)			
		рад/сек	Гц		X	Y	Z	
1	0,716	1,397	0,222	4,496	0,123	65,07	0	
2	0,704	1,42	0,226	4,426	64,035	0,123	0	
3	0,477	2,095	0,333	2,999	2,065	0	0	
4	0,184	5,428	0,864	1,158	10,232	0	0	
5	0,161	6,226	0,991	1,009	0	16,801	0	
6	0,144	6,968	1,109	0,902	6,163	0	0	
7	0,102	9,763	1,554	0,644	2,188	0	0	
8	0,073	13,642	2,171	0,461	0,059	0	0	
9	0,066	15,096	2,403	0,416	0,086	6,213	0,015	
10	0,065	15,298	2,435	0,411	5,16	0,105	0	
Сумма модальных масс					90,111	88,313	0,015	

Частоты в модели № 3 на **4 – 8 %** выше

Перемещения моделей (тестовая задача 1)



Перемещения		
Суммарное перемеще		
	ММ	ММ
<input checked="" type="checkbox"/>	0	30,137
<input checked="" type="checkbox"/>	30,137	60,274
<input checked="" type="checkbox"/>	60,274	90,411
<input checked="" type="checkbox"/>	90,411	120,547
<input checked="" type="checkbox"/>	120,547	150,684
<input checked="" type="checkbox"/>	150,684	180,821
<input checked="" type="checkbox"/>	180,821	210,958
<input checked="" type="checkbox"/>	210,958	241,095
<input checked="" type="checkbox"/>	241,095	271,232
<input checked="" type="checkbox"/>	271,232	301,369
<input checked="" type="checkbox"/>	301,369	331,506
<input checked="" type="checkbox"/>	331,506	361,642
<input checked="" type="checkbox"/>	361,642	391,779
<input checked="" type="checkbox"/>	391,779	421,916
<input checked="" type="checkbox"/>	421,916	452,053
<input checked="" type="checkbox"/>	452,053	482,19



Перемещения			
X			
	ММ	ММ	
<input checked="" type="checkbox"/>	-357,286	-334,955	257
<input checked="" type="checkbox"/>	-334,955	-312,625	140
<input checked="" type="checkbox"/>	-312,625	-290,295	115
<input checked="" type="checkbox"/>	-290,295	-267,964	972
<input checked="" type="checkbox"/>	-267,964	-245,634	711
<input checked="" type="checkbox"/>	-245,634	-223,304	927
<input checked="" type="checkbox"/>	-223,304	-200,973	575
<input checked="" type="checkbox"/>	-200,973	-178,643	840
<input checked="" type="checkbox"/>	-178,643	-156,312	464
<input checked="" type="checkbox"/>	-156,312	-133,982	740
<input checked="" type="checkbox"/>	-133,982	-111,652	675
<input checked="" type="checkbox"/>	-111,652	-89,321	464
<input checked="" type="checkbox"/>	-89,321	-66,991	464
<input checked="" type="checkbox"/>	-66,991	-44,661	464
<input checked="" type="checkbox"/>	-44,661	-22,33	925
<input checked="" type="checkbox"/>	-22,33	0	962

Количество учитываемых форм колебаний снизилось с 15 до 12
Снижение максимальных перемещений до 30 %

Усилия в колоннах (тестовая задача 1)

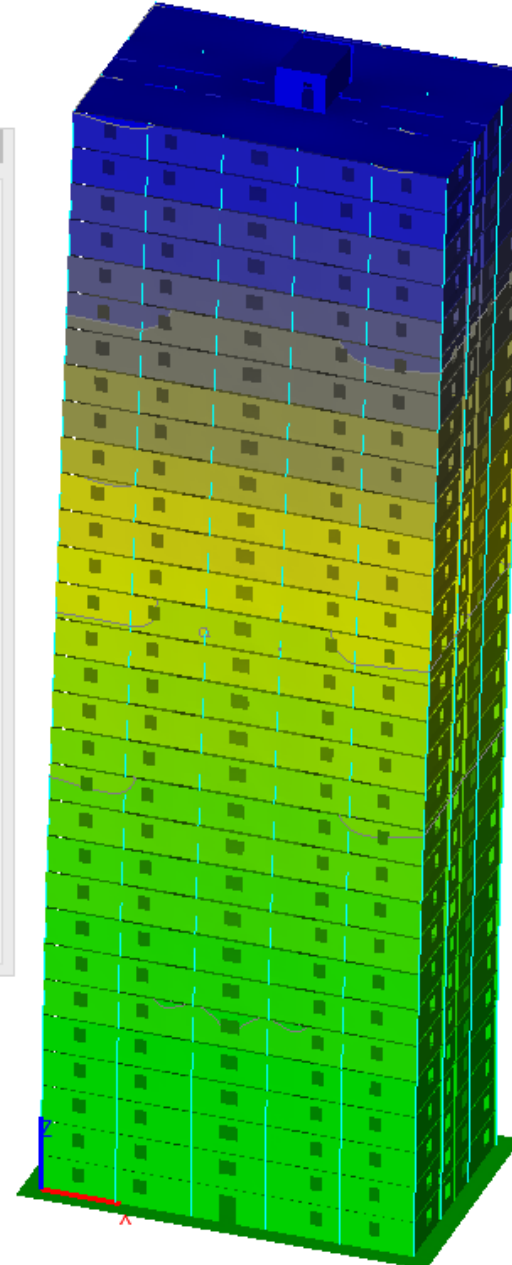
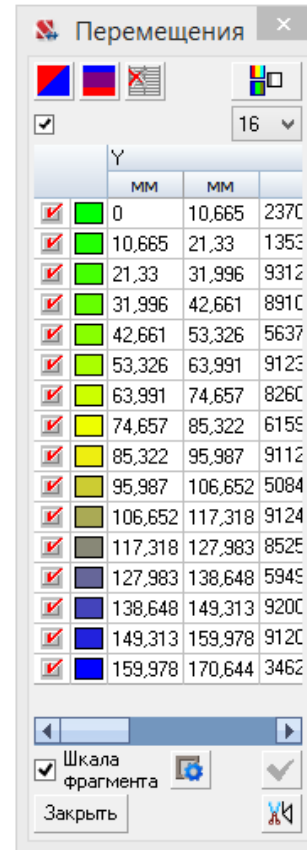
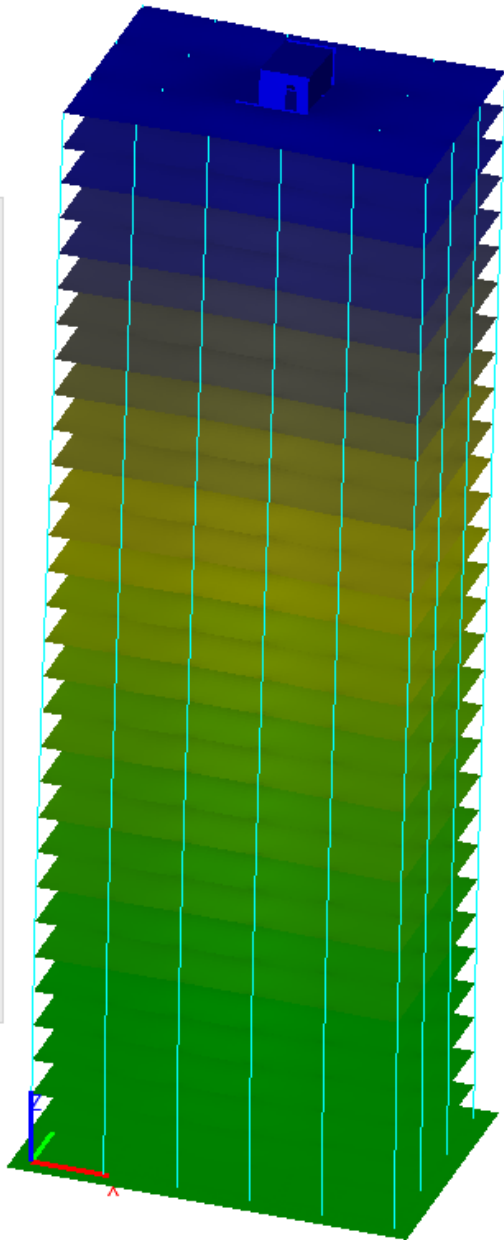
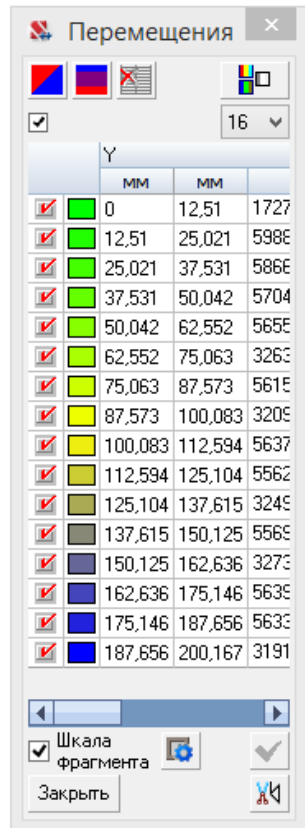
Модель 2

Модель 3

Загружение	Продольное усилие, кН
Собств. вес несущих и ограждающих конструкций	6641
Полезная нагрузка на перекрытия	1130
Ветровая	2361

Загружение	Продольное усилие, кН
Собств. вес несущих и ограждающих конструкций	6720
Полезная нагрузка на перекрытия	1147
Ветровая	2350

Перемещения моделей (тестовая задача 2)



Количество
учитываемых форм
колебаний снизилось
с 6 до 5
Снижение
максимальных
перемещений до 15 %

Усилия в колоннах (тестовая задача 2)

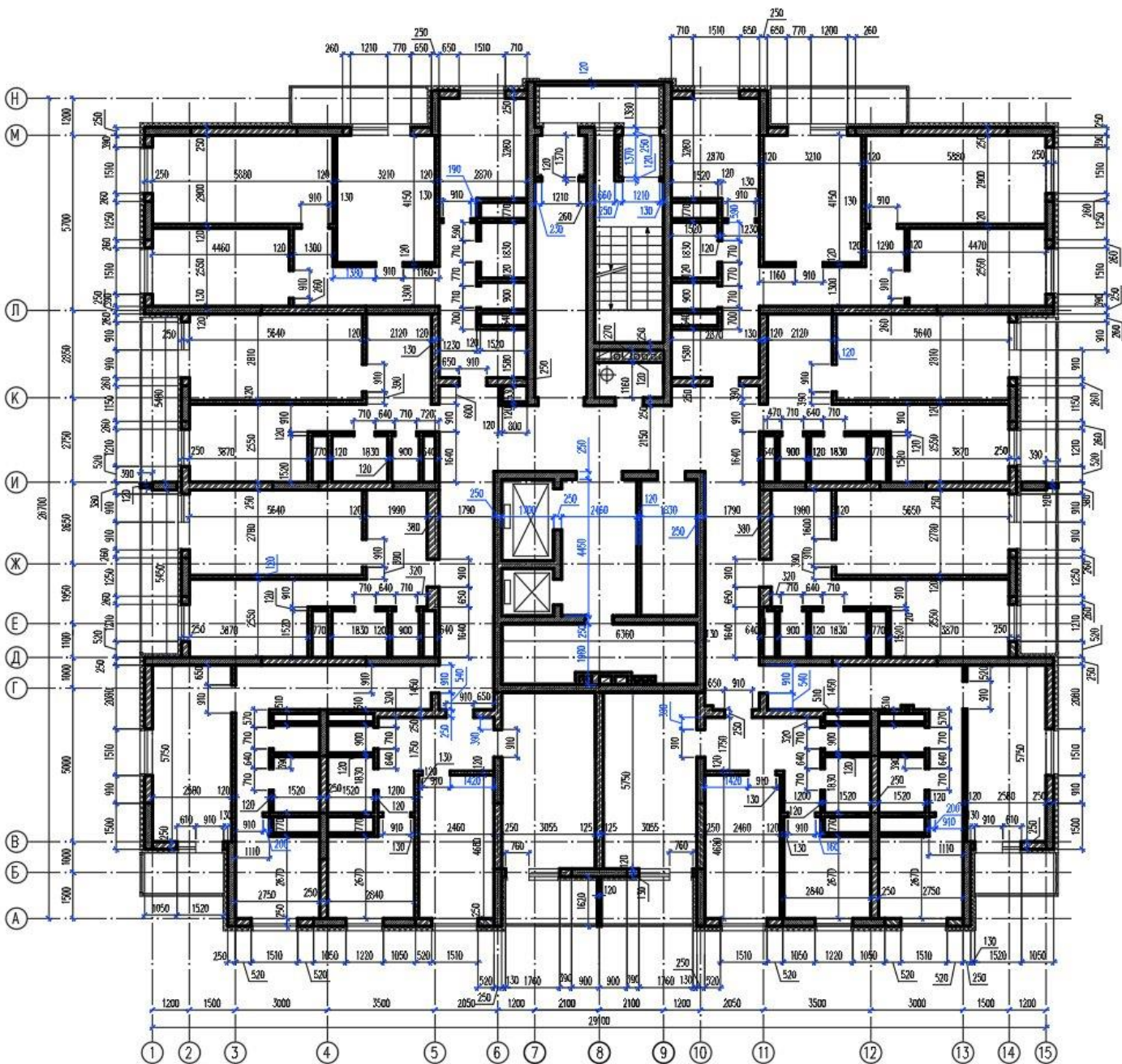
Модель 2

Модель 3

Загружение	Продольное усилие, кН
Собств. вес несущих и ограждающих конструкций	5347
Полезная нагрузка на перекрытия	805
Ветровая	1154

Загружение	Продольное усилие, кН
Собств. вес несущих и ограждающих конструкций	5226
Полезная нагрузка на перекрытия	834
Ветровая	1020

Кладочный план типового этажа

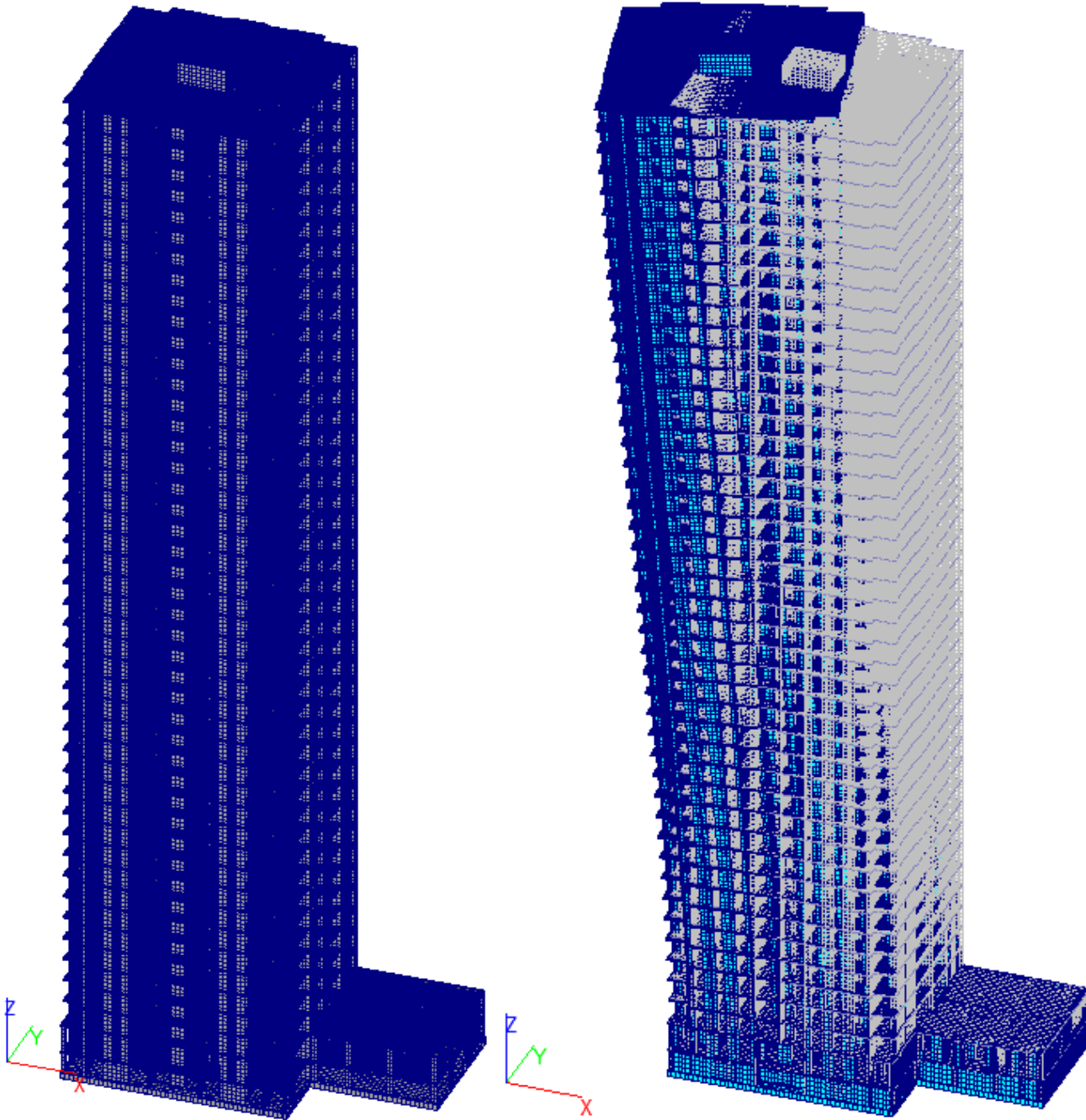


Высотное здание

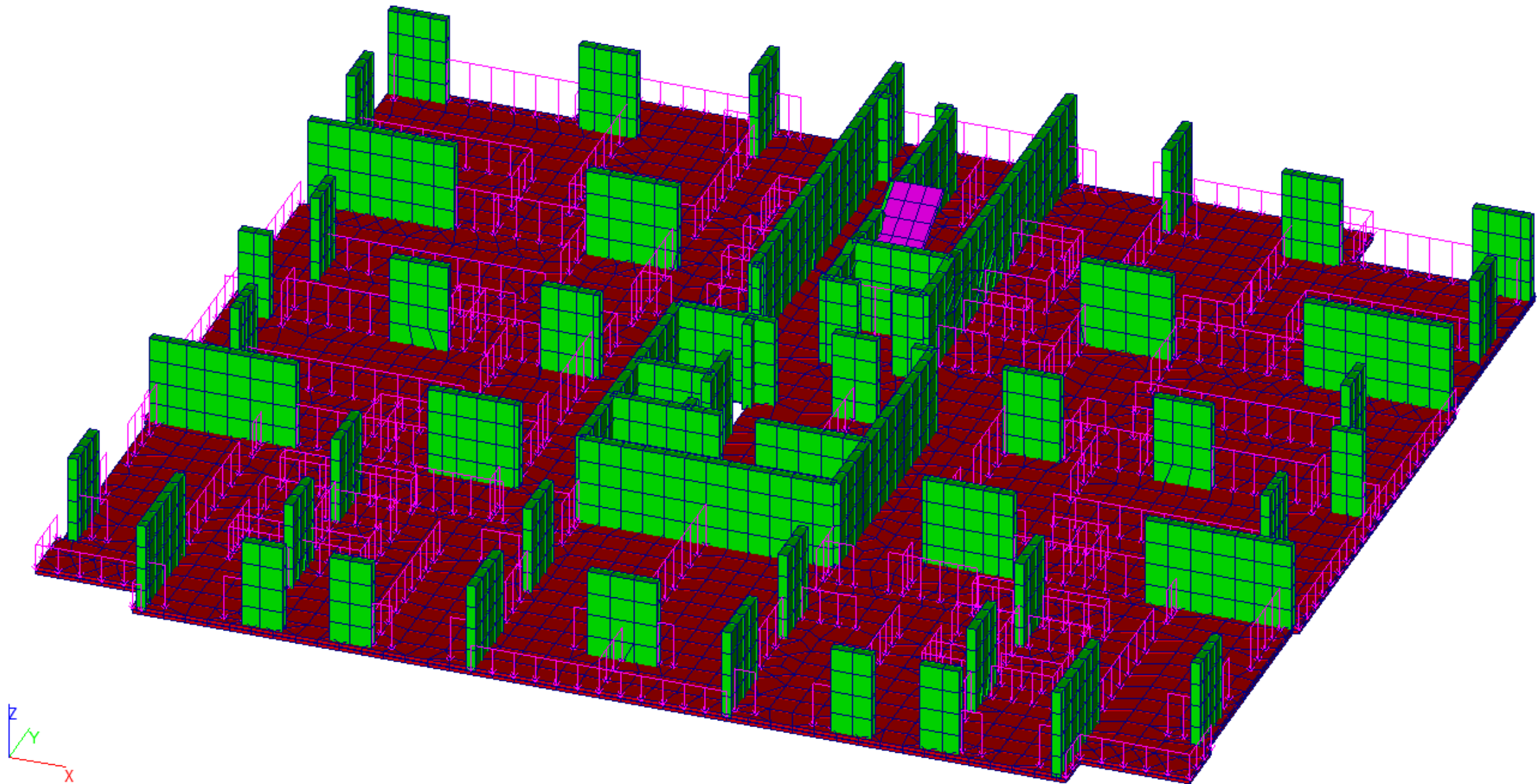
45-ти этажное здание;
высота 145 м.; высота
этажей – 3,9 и 3 м
размеры в плане 29х27
м; II ветровой район,
тип местности В

Высотное здание

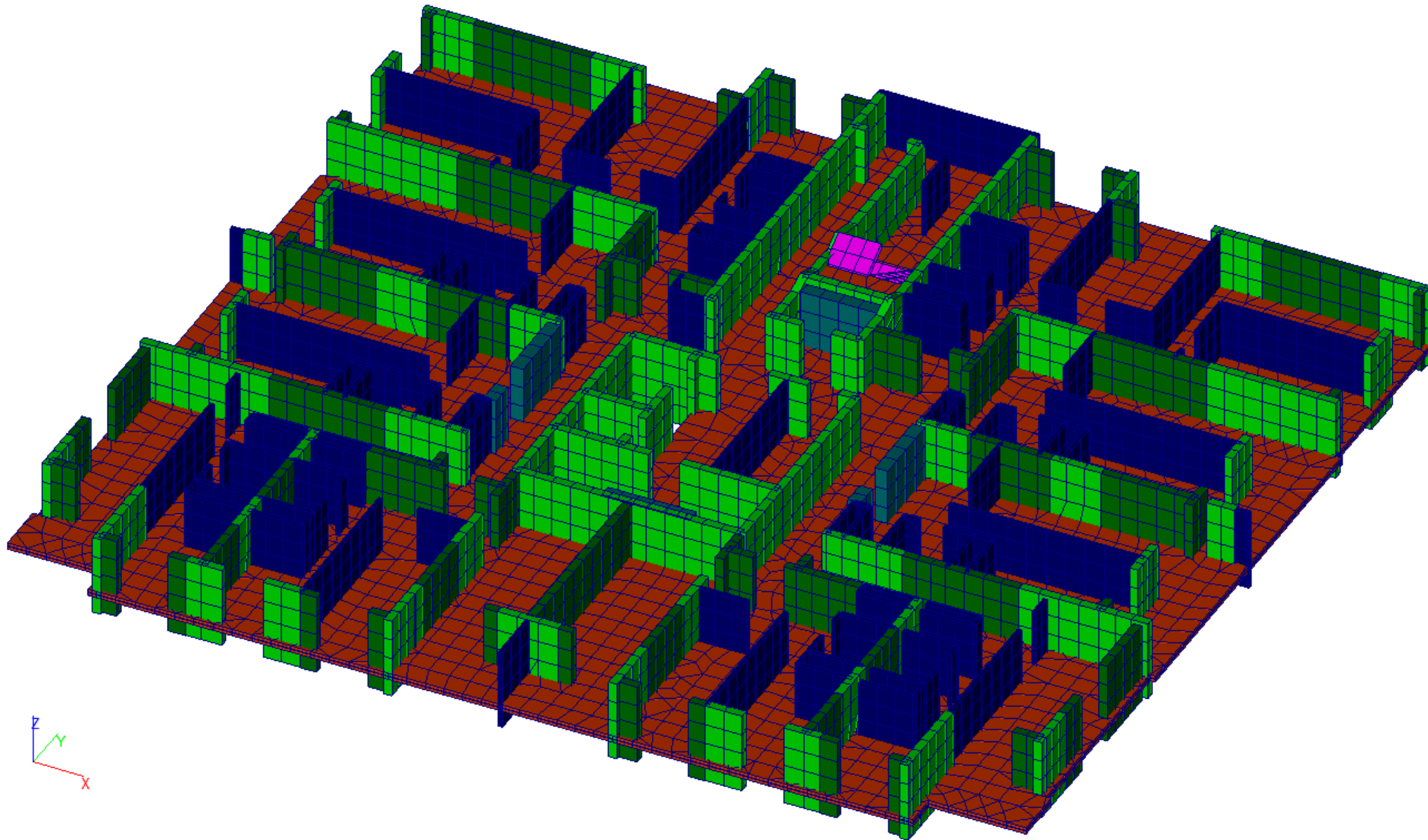
Монолитный
железобетонный каркас с
несущими стенами ядер
жесткости и пилонами
Ограждающие конструкции
– керамический кирпич
толщиной 250 мм и
витражное остекление
Перегородки – керамический
кирпич (120; 250; 380 мм)



Расчетные модели



Расчетные модели



Доля отдельных загрузжений

■ Собств вес ■ Перегор. и огражд ■ Полезная ■ Полы



Модальный анализ

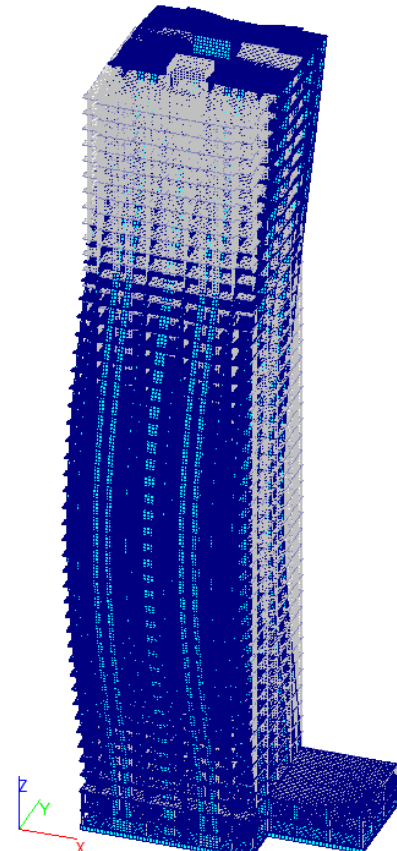
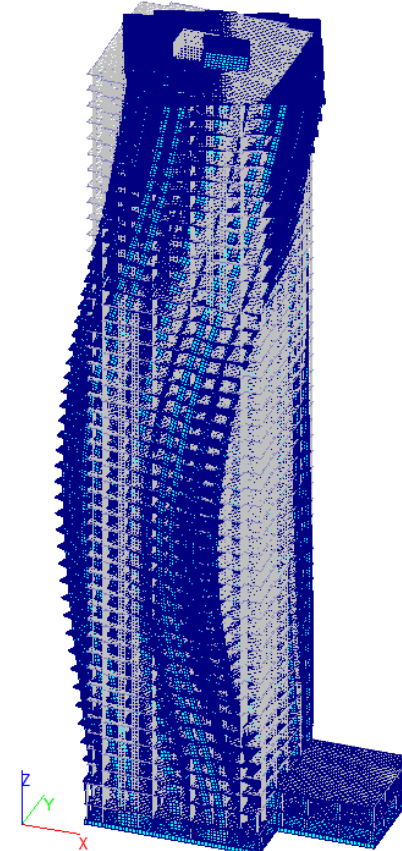
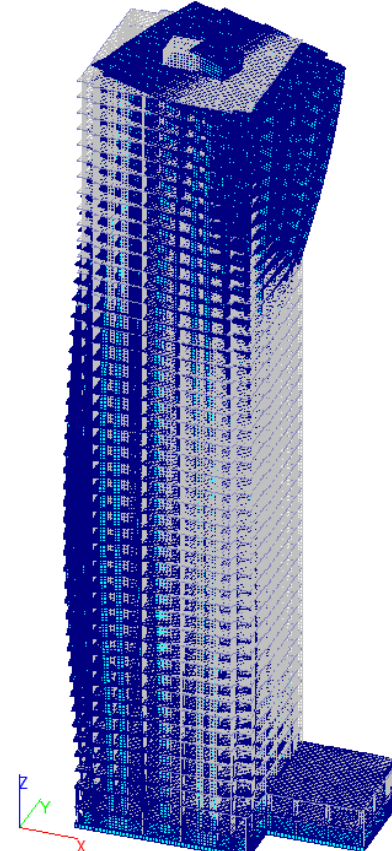
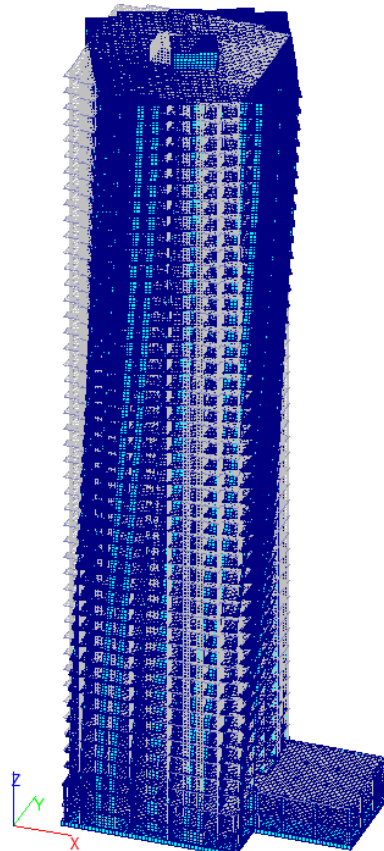
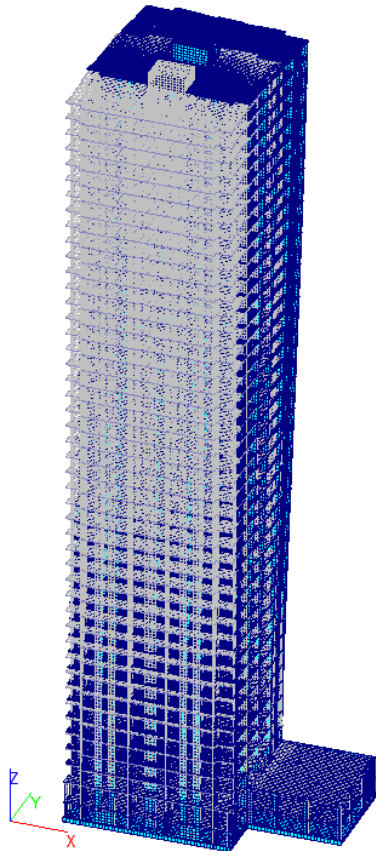
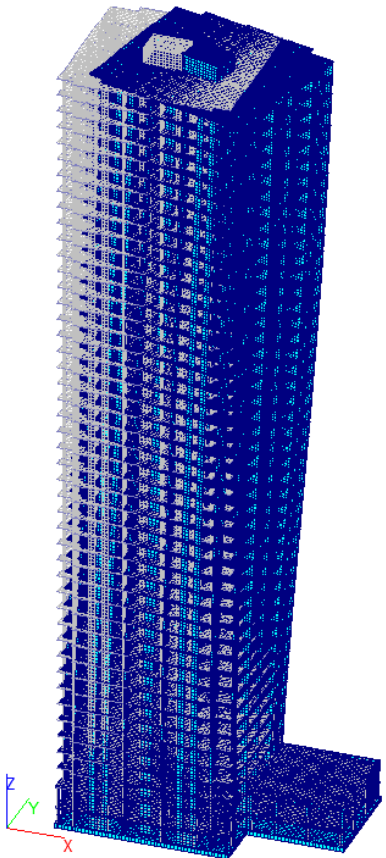
Модель 2

Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)		
		рад/сек	Гц		X	Y	Z
1	0,812	1,231	0,196	5,103	60,784	0,423	0
2	0,7	1,428	0,227	4,401	0,204	67,17	0
3	0,645	1,55	0,247	4,054	9,044	0,17	0
4	0,245	4,085	0,65	1,538	8,968	0,029	0
5	0,195	5,132	0,817	1,224	5,081	0,052	0
6	0,186	5,372	0,855	1,17	0,077	14,924	0

Модель 3

Номер формы	Собственное значение	Частоты		Период сек	Модальные массы (%)		
		рад/сек	Гц		X	Y	Z
1	0,812	1,389	0,221	4,523	60,153	0,334	0
2	0,7	1,511	0,241	4,157	0,613	66,43	0
3	0,645	1,695	0,27	3,706	8,493	0,466	0
4	0,245	4,632	0,737	1,356	8,822	0,037	0
5	0,195	5,561	0,885	1,13	5,574	1,849	0
6	0,175	5,709	0,909	1,1	0,534	13,404	0

Повышение частот на 6-11 %

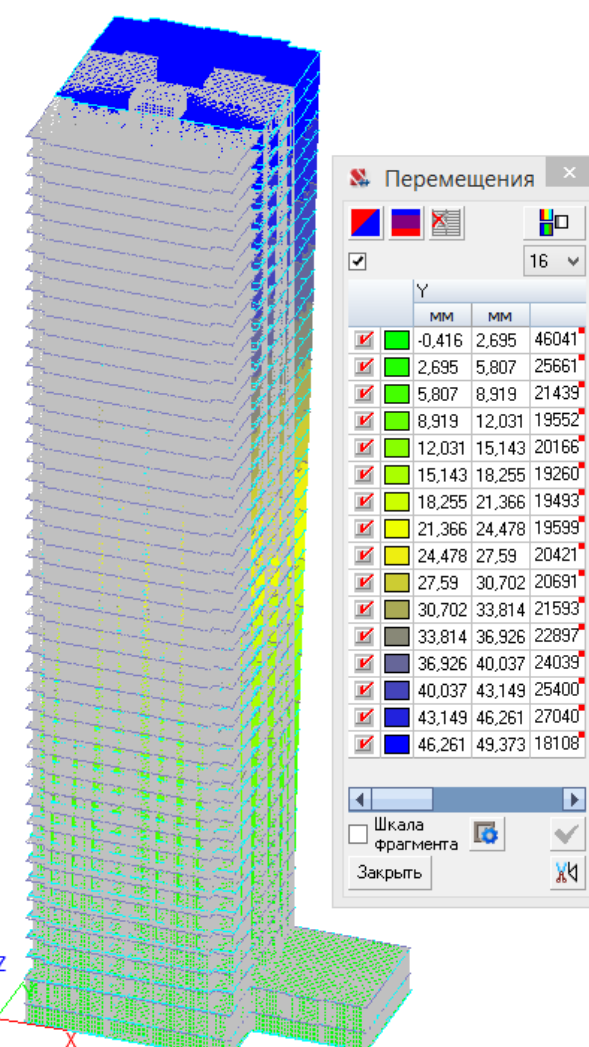
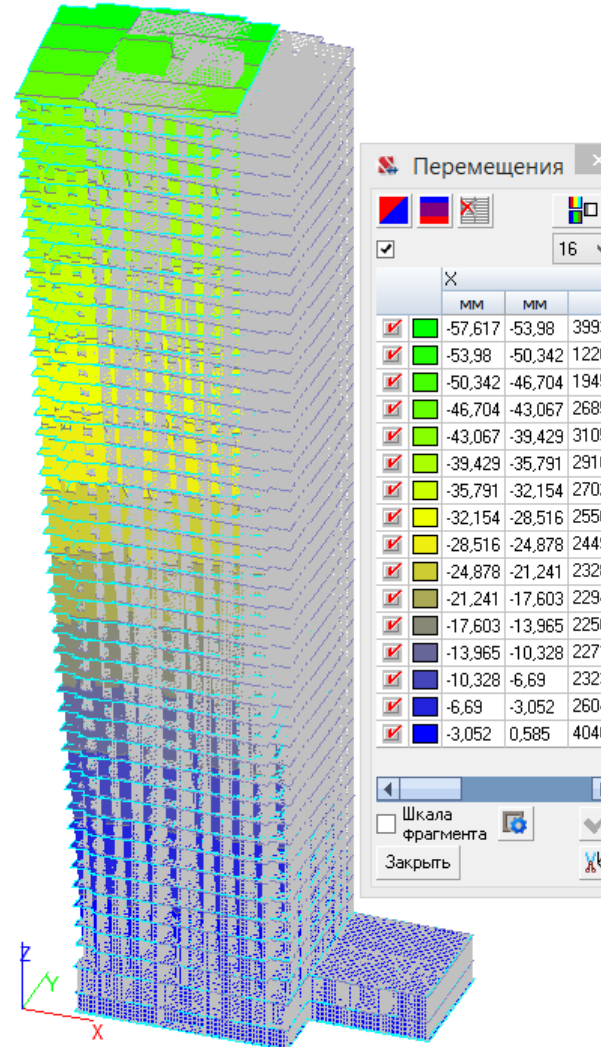
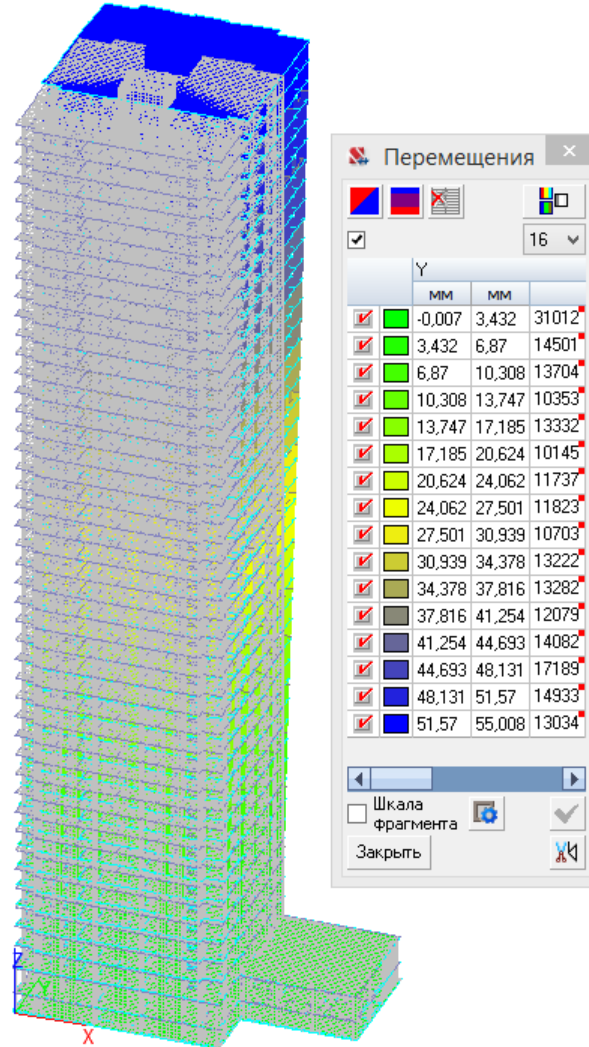
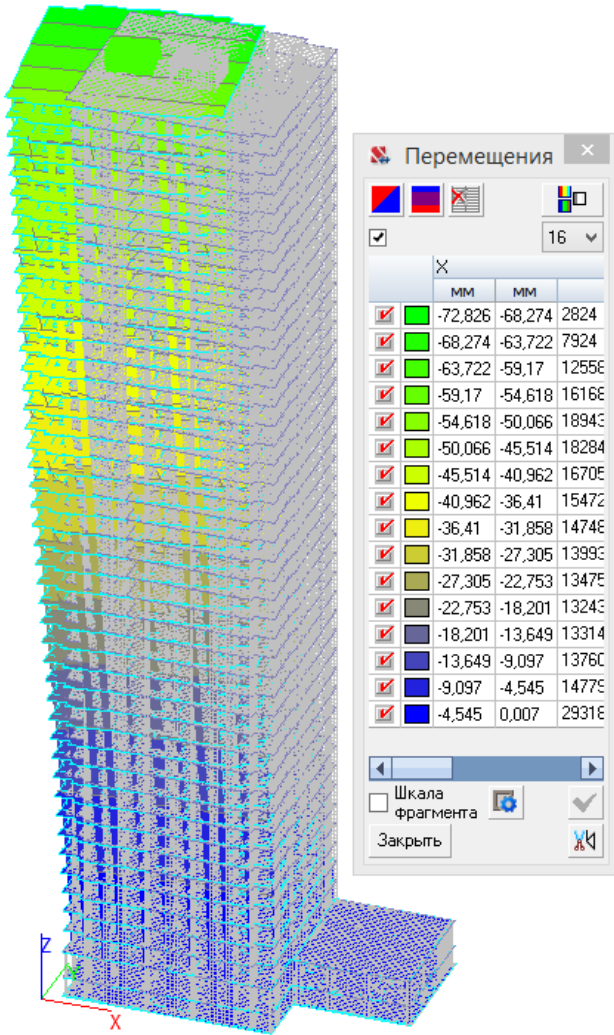


Перемещения моделей

Модель 2

Средняя составляющая

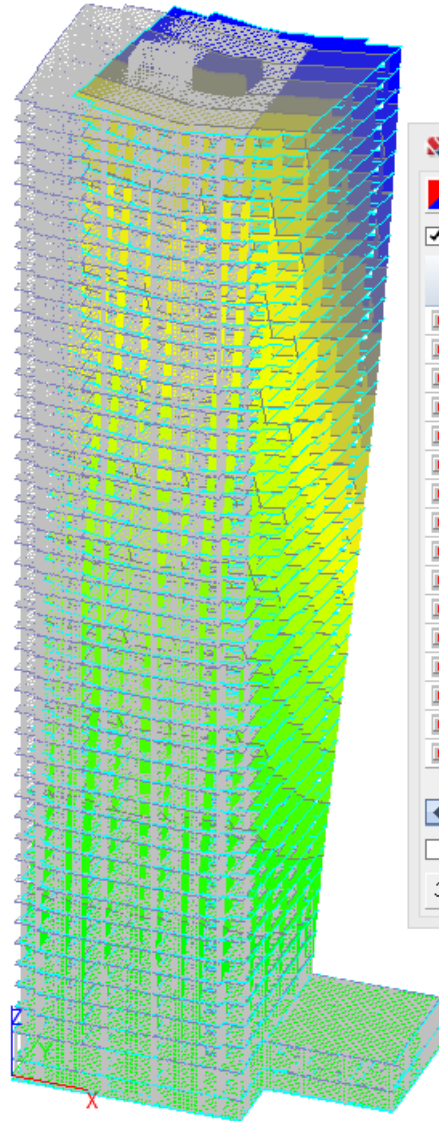
Модель 3



Снижение перемещений на 20 % (ветер по X) и на 11 % (ветер по Y)

Перемещения моделей

Модель 2



Перемещения

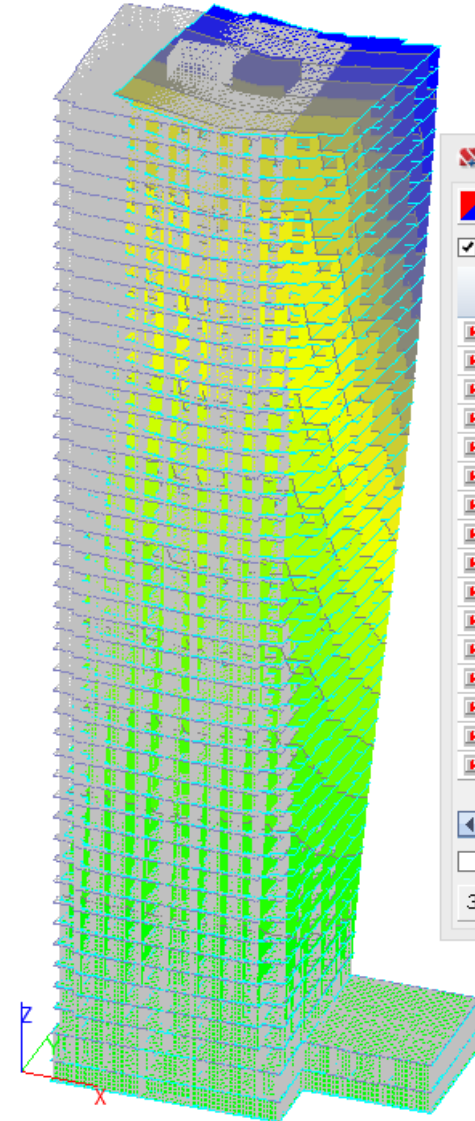
	X		
	MM	MM	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	4,238	34543
<input checked="" type="checkbox"/>	4,238	8,476	17569
<input checked="" type="checkbox"/>	8,476	12,715	15834
<input checked="" type="checkbox"/>	12,715	16,953	15213
<input checked="" type="checkbox"/>	16,953	21,191	14923
<input checked="" type="checkbox"/>	21,191	25,429	15406
<input checked="" type="checkbox"/>	25,429	29,668	15672
<input checked="" type="checkbox"/>	29,668	33,906	16481
<input checked="" type="checkbox"/>	33,906	38,144	17469
<input checked="" type="checkbox"/>	38,144	42,382	18241
<input checked="" type="checkbox"/>	42,382	46,621	16386
<input checked="" type="checkbox"/>	46,621	50,859	13699
<input checked="" type="checkbox"/>	50,859	55,097	11156
<input checked="" type="checkbox"/>	55,097	59,335	8650
<input checked="" type="checkbox"/>	59,335	63,574	5164
<input checked="" type="checkbox"/>	63,574	67,812	1880

Шкала фрагмента
Закрывать

Пульсационная составляющая
Вдоль оси X

Учитывается 6 форм
собственных колебаний
Снижение максимальных
перемещений на 20 %

Модель 3



Перемещения

	X		
	MM	MM	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	3,263	53952
<input checked="" type="checkbox"/>	3,263	6,525	30040
<input checked="" type="checkbox"/>	6,525	9,788	26848
<input checked="" type="checkbox"/>	9,788	13,05	25521
<input checked="" type="checkbox"/>	13,05	16,313	25300
<input checked="" type="checkbox"/>	16,313	19,576	25452
<input checked="" type="checkbox"/>	19,576	22,838	25793
<input checked="" type="checkbox"/>	22,838	26,101	26825
<input checked="" type="checkbox"/>	26,101	29,363	27871
<input checked="" type="checkbox"/>	29,363	32,626	29778
<input checked="" type="checkbox"/>	32,626	35,888	26769
<input checked="" type="checkbox"/>	35,888	39,151	21303
<input checked="" type="checkbox"/>	39,151	42,414	16988
<input checked="" type="checkbox"/>	42,414	45,676	12682
<input checked="" type="checkbox"/>	45,676	48,939	7512
<input checked="" type="checkbox"/>	48,939	52,201	2428

Шкала фрагмента
Закрывать

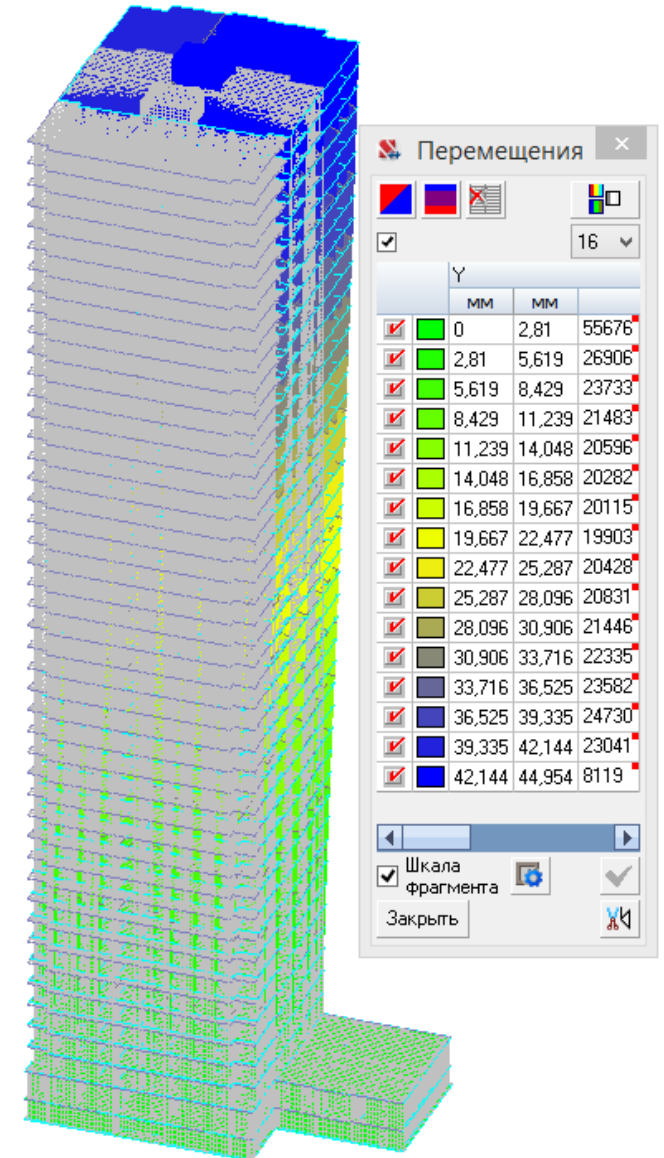
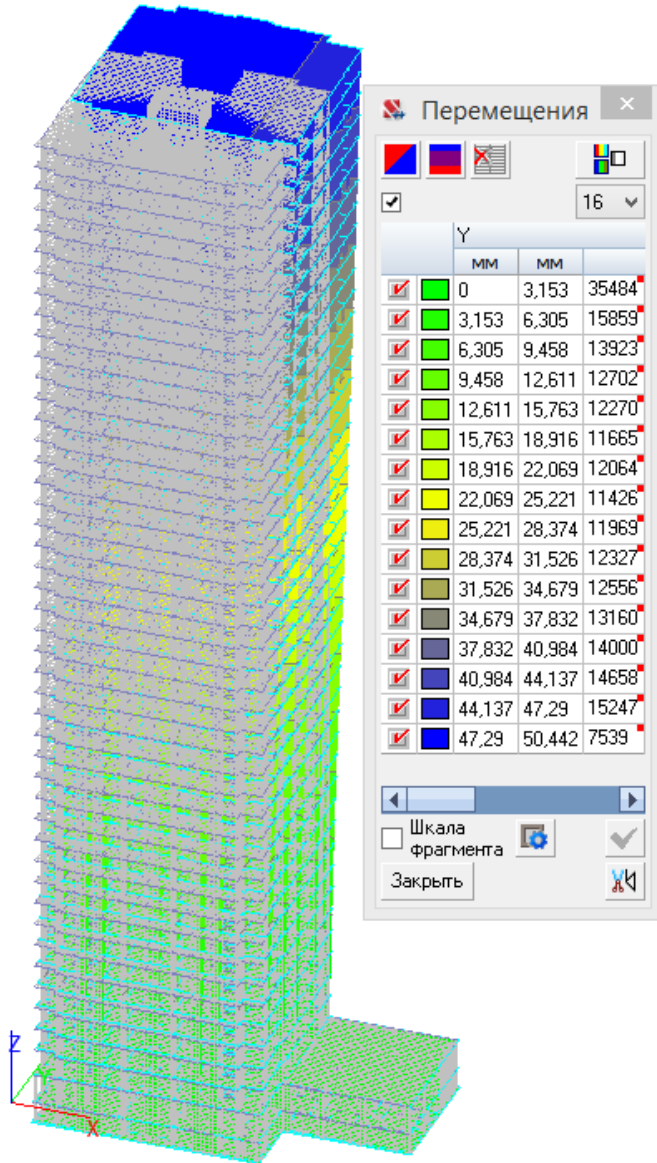
Перемещения моделей

Модель 2

Пульсационная составляющая
Вдоль оси Y

Модель 3

Учитывается 6 форм
собственных колебаний
Снижение максимальных
перемещений на 10 %



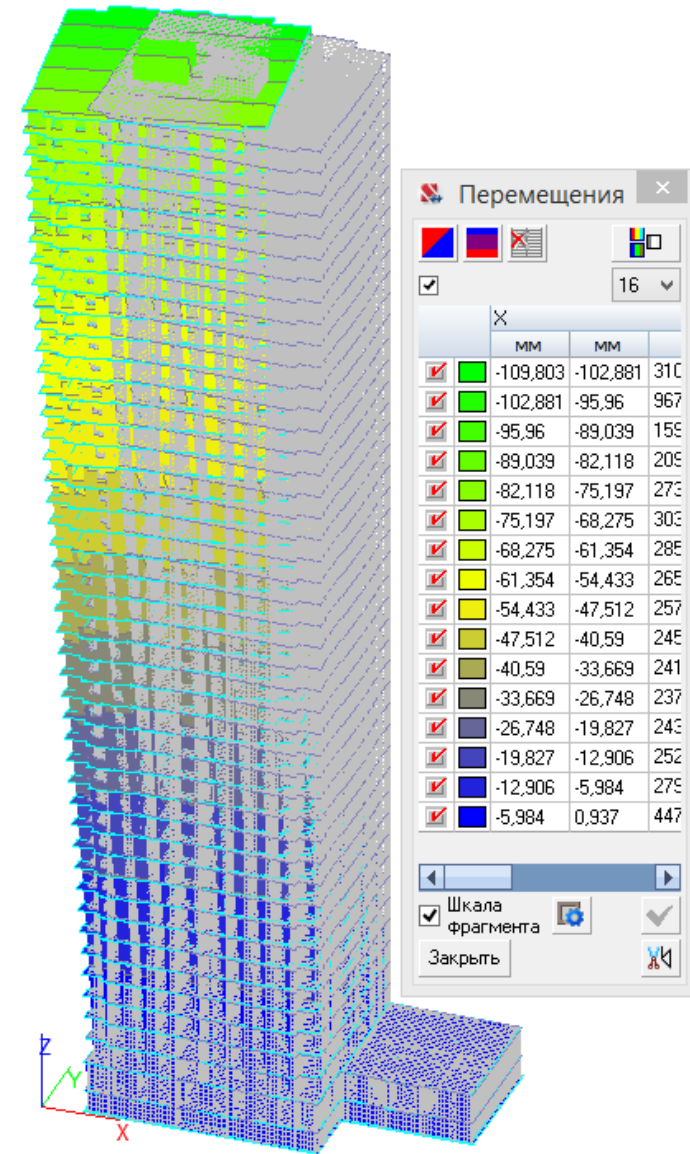
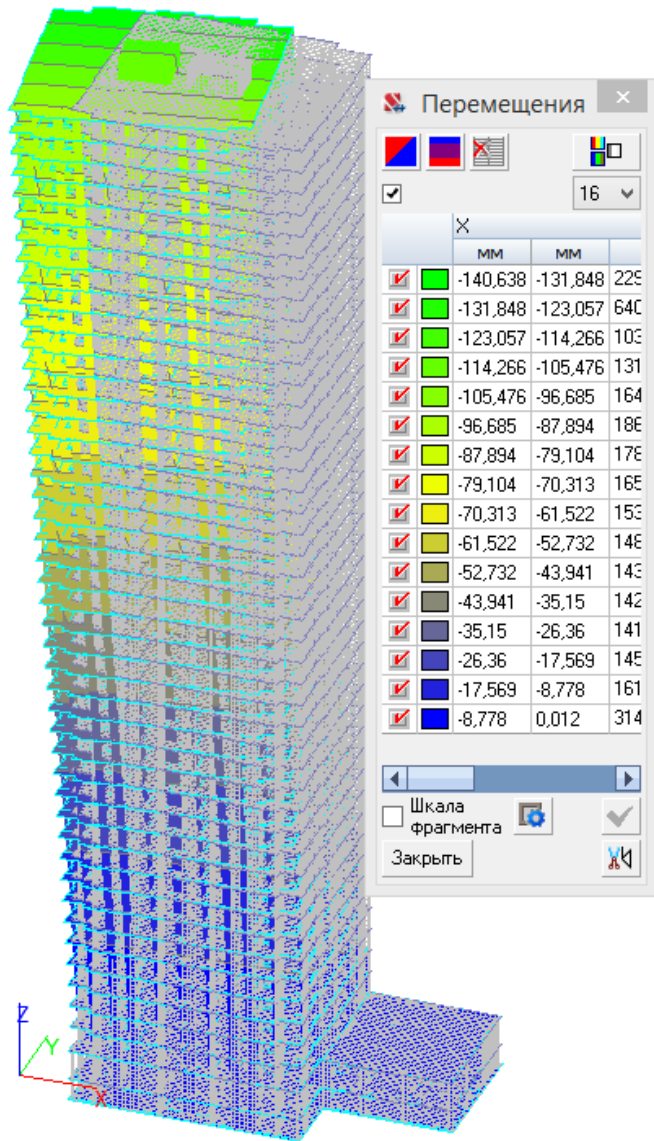
Перемещения моделей

Суммарная нагрузка
Вдоль оси X

Модель 2

Модель 3

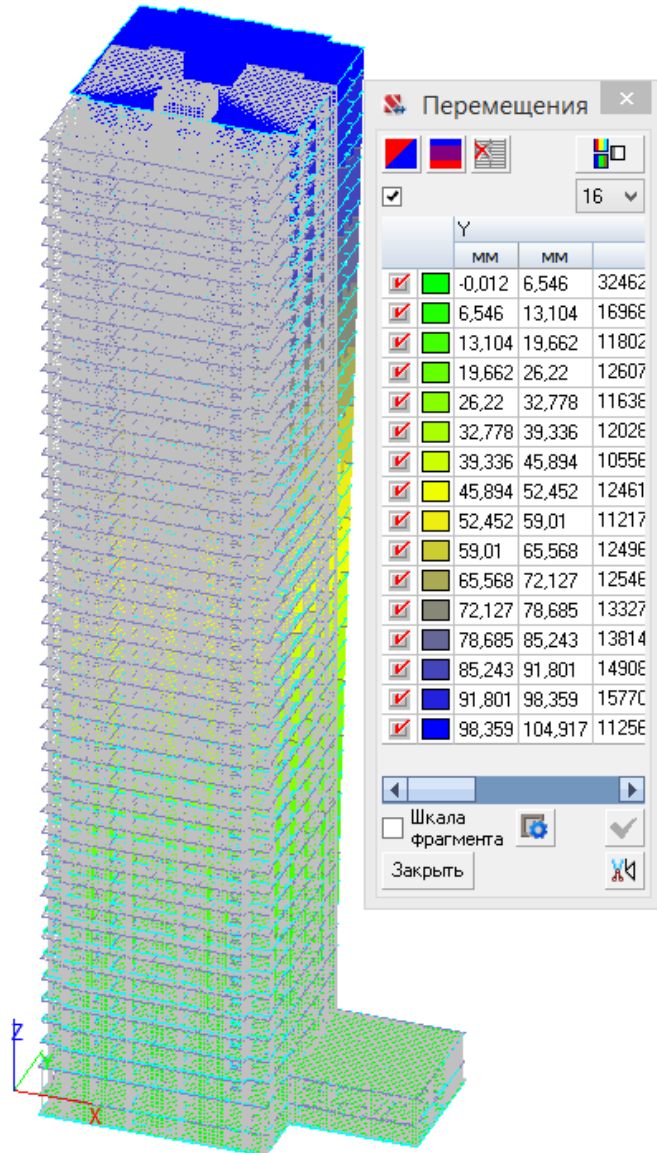
Снижение максимальных
перемещений на 20 %



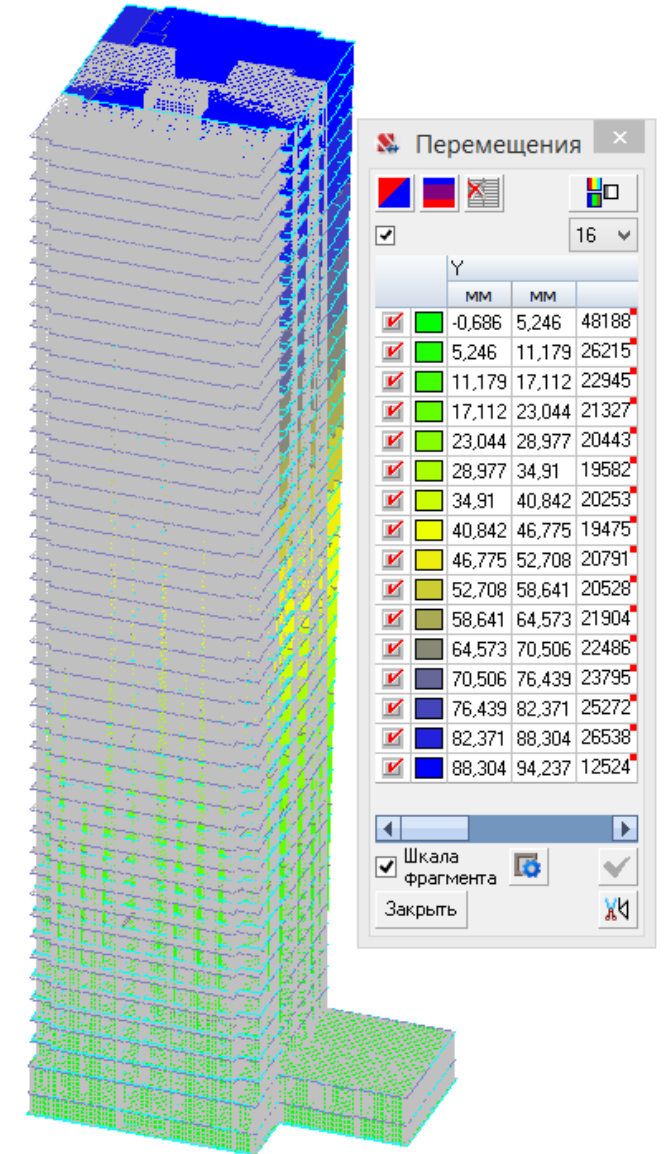
Перемещения моделей

Суммарная нагрузка
Вдоль оси Y

Модель 2



Модель 3

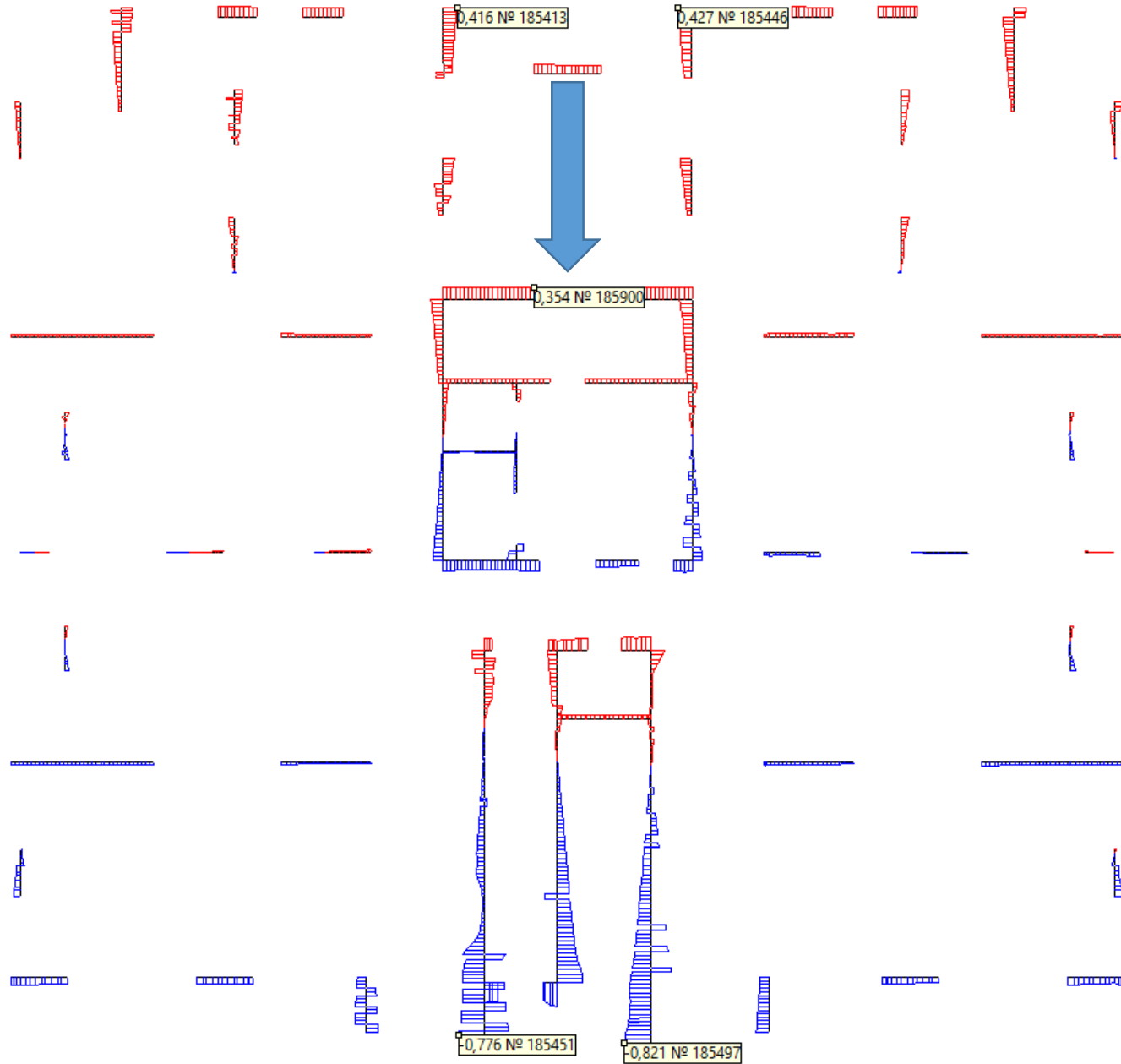


Снижение максимальных
перемещений на 10 %

Напряжения в вертикальных элементах

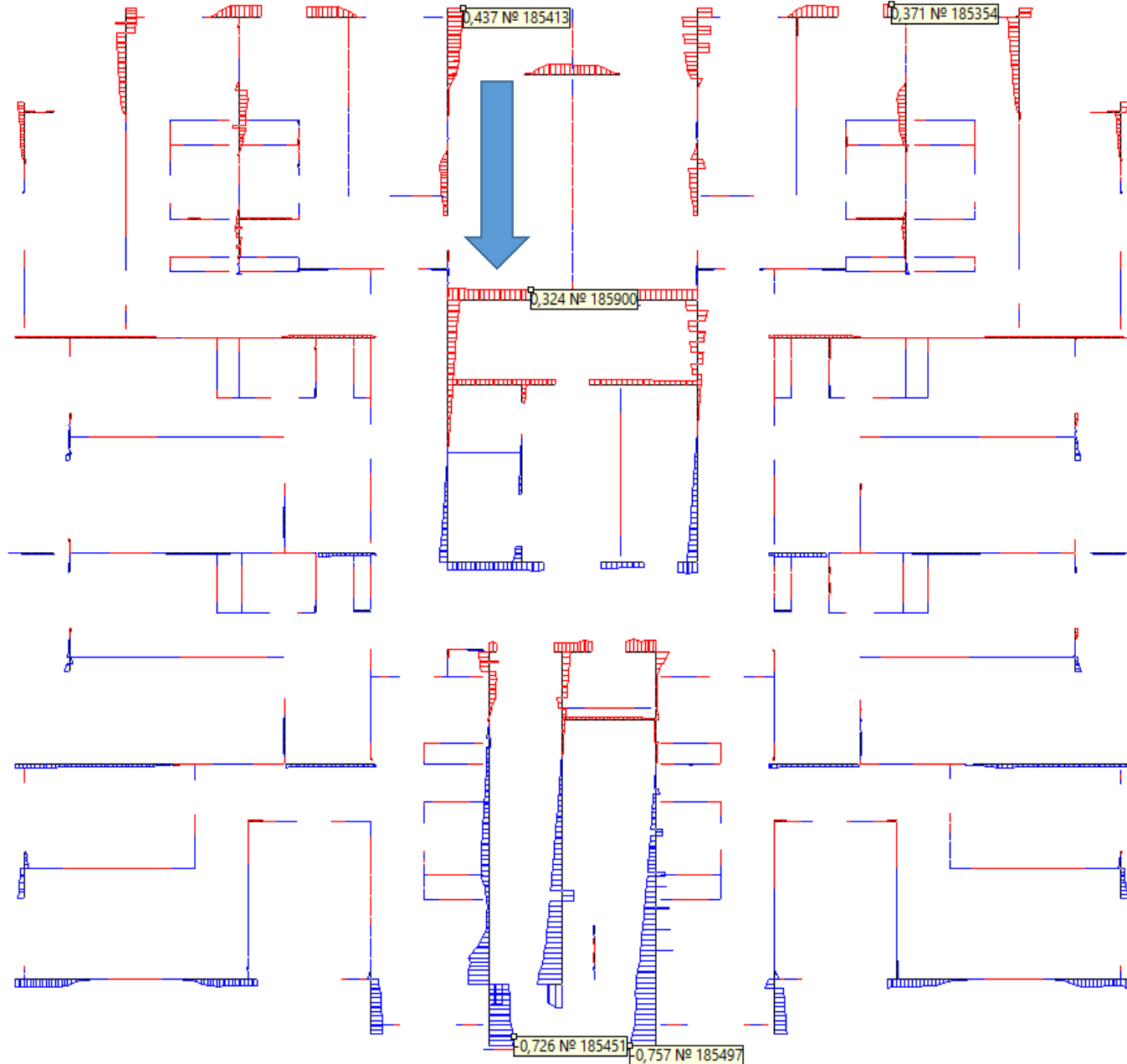
Модель 2

Напряжения от веса несущих и ограждающих конструкций – **2,4 кН/см²**
Напряжения от ветровой нагрузки – **0,89 кН/см²**



Напряжения в вертикальных элементах

Модель 3



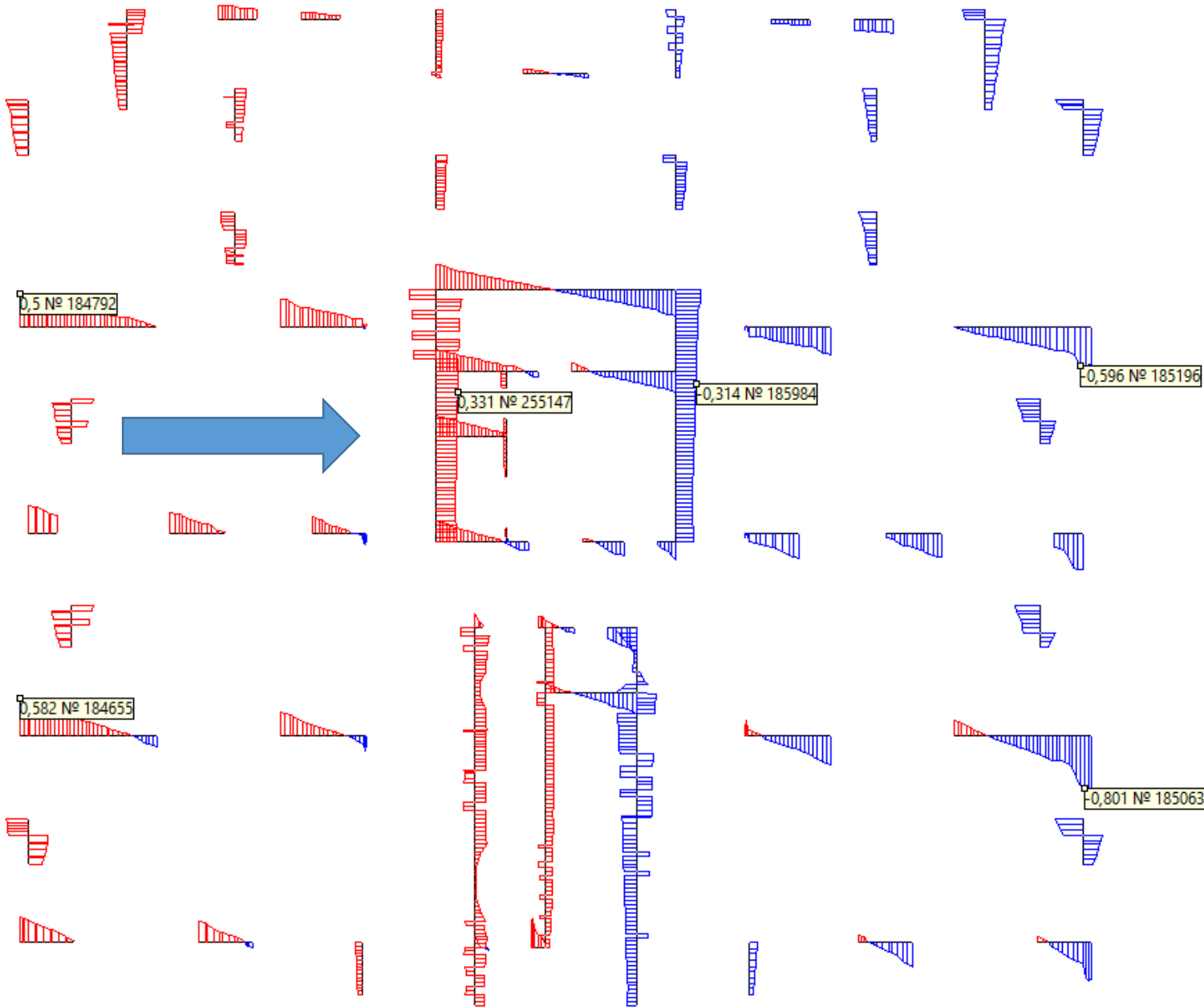
Напряжения от веса несущих и ограждающих конструкций – **2,33 кН/см²**
Напряжения от ветровой нагрузки – **0,812 кН/см²**

Напряжения в вертикальных элементах

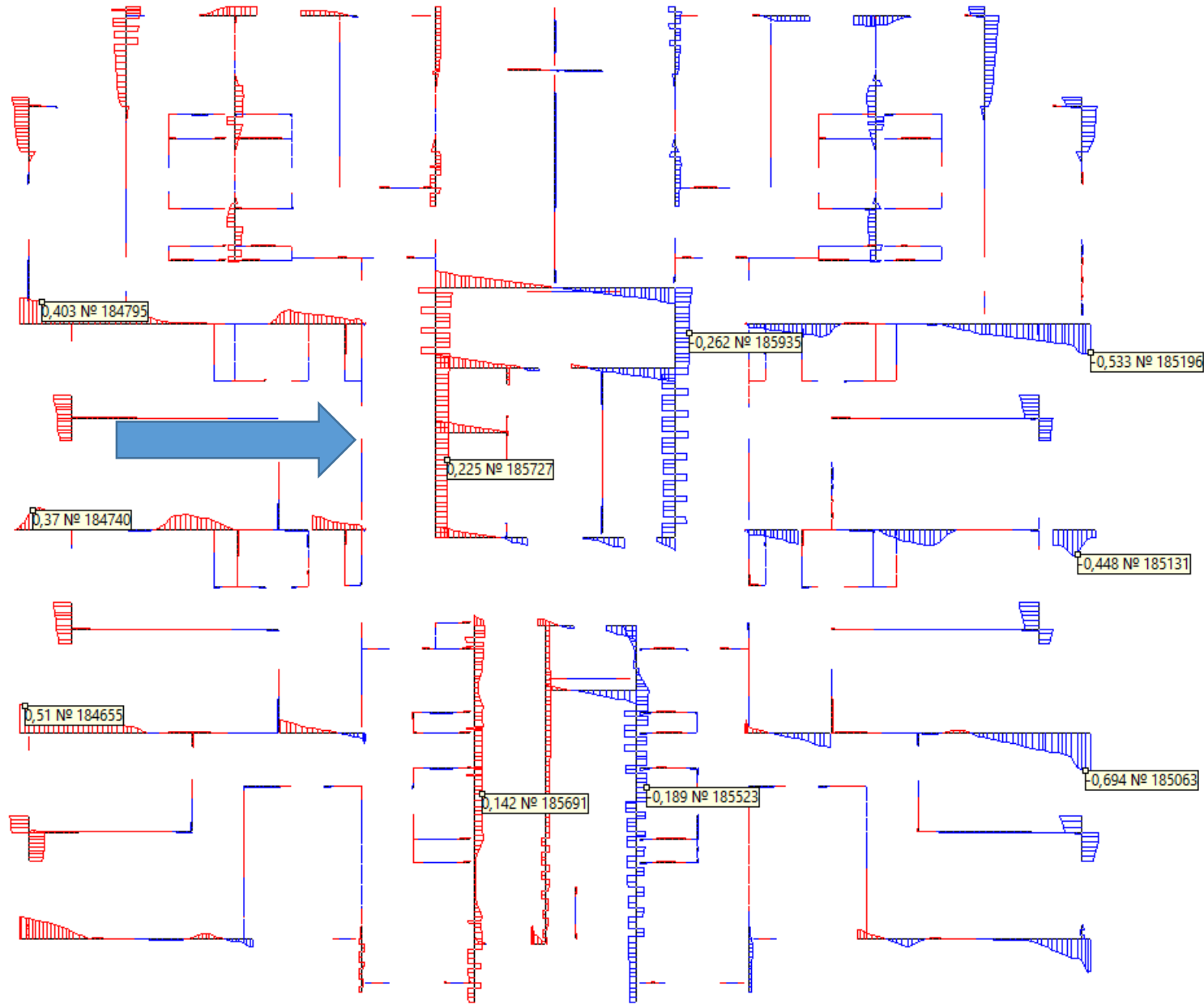
Модель 2

Напряжения от веса несущих и ограждающих конструкций – **2,4 кН/см²**

Напряжения от ветровой нагрузки – **1,09 кН/см²**



Напряжения в вертикальных элементах



Модель 3

Напряжения от веса несущих и ограждающих конструкций –

2,33 кН/см²

Напряжения от ветровой нагрузки –

0,945 кН/см²

Некоторые выводы

- Решение тестовых задач с различным характерным размером конечных элементов (от 0,8 до 0,2 м) не показало значимых отличий в результатах модального анализа (при частотах и формах, учитываемых при действии ветровых пульсаций)
- Результаты расчета моделей (частоты и формы колебаний; перемещения/усилия при действии ветровой нагрузки) с различным характером приложения нагрузок от веса ограждающих конструкций и перегородок (распределенная по всей площади перекрытий; в соответствии со схемой расположения) отличаются не более чем на **2 %**
- Включение ограждающих конструкций и перегородок в расчетную модель приводит к повышению собственных частот колебаний системы (в рассмотренных задачах на **5 – 20 %**)
- Перемещения и усилия от действия ветровой нагрузки (как средней так и пульсационной составляющих) в элементах расчетной схемы с ограждающими конструкциями и перегородками ниже (для рассмотренных моделей на **5 – 20 %**) чем в элементах стандартной расчетной схемы. Величина снижения перемещений и усилий индивидуальна для каждого объекта и зависит от конструктивного решения ненесущих элементов (материал, схема расположения, доля массы перегородок в суммарной массе объекта)
- Трудоемкость создания детальной расчетной модели, а также время расчета, **существенно возрастают по сравнению** с традиционной схемой
- Остается открытым вопрос моделирования взаимодействия несущих элементов многоэтажного здания с ненесущими

«Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD Office 21»

Москва, 17-18 апреля 2018 года

Спасибо за внимание!

А.А. Семенов asfugntu@yandex.ru

И.А. Порываев iporivaev@gmail.com

Уфимский государственный нефтяной технический
университет

«Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD Office 21»

Москва, 17-18 апреля 2018 года

Спасибо за внимание!

А.А. Семенов asfugntu@yandex.ru

И.А. Порываев iporivaev@gmail.com

Уфимский государственный нефтяной технический
университет