

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Д.М. Нуриева

**РАСЧЕТ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ
НА ДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ
ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям по дисциплине «Динамический расчет
зданий и сооружений» для направления подготовки
08.03.01 «Строительство»

Казань
2022

УДК 624.072.33: 004.4

ББК 38.5

Н90

Нуриева Д.М.

Н90 Расчет рамы многоэтажного каркасного здания на действие ветровой нагрузки с учетом пульсационной составляющей с применением программных комплексов: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «Динамический расчет зданий и сооружений» для направления подготовки 08.03.01 «Строительство» /Д.М. Нуриева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит.ун-та, 2022. – 31 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебно-методическом пособии даны основные положения нормативного метода расчета зданий и сооружений на действие ветра. Приведен обучающий пример формирования расчетной компьютерной модели типовой рамы многоэтажного каркасного здания для расчета на ветровую нагрузку с учетом пульсационной составляющей в ПК ЛИРА-САПР.

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», при изучении дисциплины «Динамический расчет зданий и сооружений», а также может быть использовано студентами всех строительных специальностей и направлений подготовки при выполнении расчетных, курсовых и выпускных квалификационных работ.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры механики КГАСУ

Д.Е. Страхов

Главный инженер проекта ООО «Брио Строй»

А.Г. Покровская

УДК 624.072.33: 004.4

ББК 38.5

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2022

© Нуриева Д.М., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	5
2. РАСЧЕТ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПК ЛИРА-САПР.....	10
ЛИТЕРАТУРА.....	29

ВВЕДЕНИЕ

Ветровая нагрузка относится к ярко выраженным динамическим нагрузкам. Учет ее воздействия является важной задачей при расчете и проектировании любого здания.

В природе ветер вызывается разностью давления в атмосфере. Все перепады давления между различными точками земной поверхности прямо или косвенно связаны с перепадами температуры. Если в каком-то районе температура выше, воздух в нем нагревается и поднимается вверх, образуя зону низкого давления, в которую начинает стекаться холодный воздух соседних районов. Чем больше разность давлений в двух областях, тем быстрее между ними движется воздух. При этом движение характеризуется порывистостью, чрезвычайно нерегулярными и беспорядочными изменениями скорости во времени и в пространстве.

В соответствии с действующими в России нормами проектирования нормативное значение ветровой нагрузки определяют как сумму средней и пульсационной составляющих. Для расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки необходимо выполнение этапов:

- 1) определение средней составляющей ветровой нагрузки;
- 2) расчет конструкции на собственные колебания с целью определения спектра ее собственных частот и форм (модальный анализ);
- 3) расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки в зависимости от положения частот собственных форм колебаний здания в полученном спектре.

Данные вычисления крайне затруднительны без применения современных программных технологий. Поэтому на помощь при проектировании приходят расчетные комплексы, позволяющие автоматизировать определение как пульсационной составляющей ветровой нагрузки, так и реакции несущего остова здания на ее воздействие. Среди них можно отметить такие комплексы, как ЛИРА, STARK, MicroFe, SCAD и др. В основе этих программ заложен метод конечных элементов, позволяющий перейти от простых упрощенных моделей к более сложным, наиболее полно учесть характерные особенности сооружения, и тем самым получить результаты, хорошо согласующиеся с работой конструкции в реальных условиях нагружения.

1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Определение ветровых нагрузок на здания и сооружения производится на основании свода правил СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [1].

Согласно [1], нормативное значение ветровой нагрузки w следует определять как сумму средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$w = w_m + w_p. \quad (1)$$

Средняя составляющая ветровой нагрузки w_m определяется по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (2)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления, принимается по таблице 1;

$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e , определяется по таблице 2; c – аэродинамический коэффициент, принимаемый для зданий простой конфигурации с плоской кровлей равным 0,8 с наветренной стороны и 0,5 – с подветренной.

Таблица 1

Ветровые районы)	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0 , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

Эквивалентная высота z_e определяется следующим образом:

- | | | |
|---|---|--|
| 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 $0 < z \leq d \rightarrow z_e = d$. |
|---|---|--|

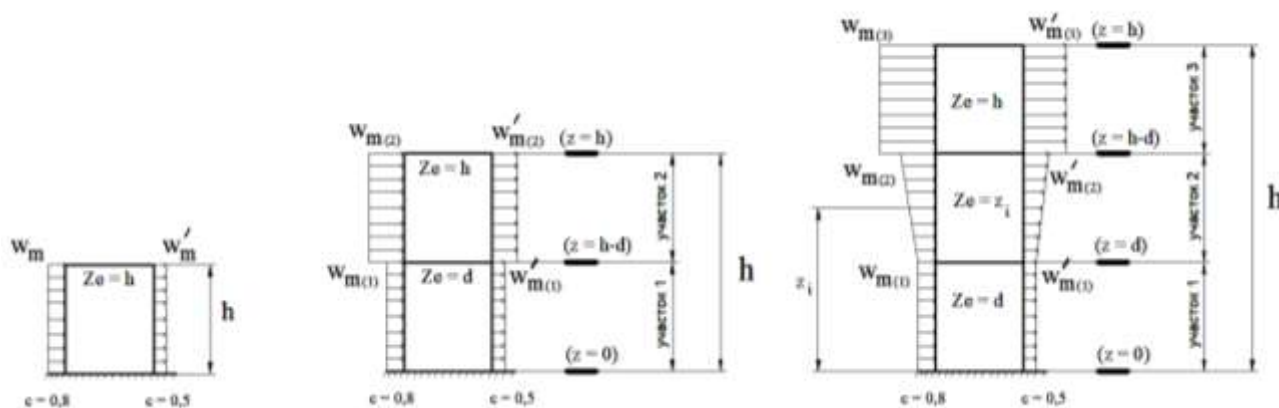


Рис. 1.1. Схемы приложения ветровой нагрузки

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.

Коэффициент $k(z_e)$ определяется по таблице 2, в которой принимаются следующие типы местности: А – открытые побережья морей, озер и

водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра; В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м; С – городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м.

Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ – при высоте сооружения h до 60 м и на расстоянии 2 км – при $h > 60$ м.

Таблица 2

Высота z_e , м	Коэффициент k для типов местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥ 480	2,75	2,75	2,75

Значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p на эквивалентной высоте z_e следует определять следующим образом:

а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний f_1 , Гц, больше предельного значения собственной частоты f_{lim} – по формуле:

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v, \quad (3)$$

где w_m – определяется по формуле (2); $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 3 для эквивалентной высоты z_e ; v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, определяемый по таблице 5.

б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых $f_1 < f_{lim} < f_2$, – по формуле:

$$w_p = w_m \xi \zeta(z_e) v, \quad (4)$$

f_2 – вторая собственная частота;

ξ – коэффициент динамичности, определяемый по рисунку 1.2 в зависимости от суммарного логарифмического декремента колебаний δ и безразмерного периода $T_{g,1}$, который определяется по формуле (5) для первой собственной частоты f_1 :

$$T_{g,1} = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{эк}) \gamma_f}}{940 f_1}. \quad (5)$$

Здесь w_0 (Па) – нормативное значение давления ветра (табл.1); $k(z_{эк})$ – коэффициент, учитывающий изменение давления ветра для высоты $z_{эк}$, принимается по таблице 2; γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, принимается равным 1,4 для ветровой нагрузки; для конструктивных элементов $z_{эк}$ – высота z , на которой они расположены; для зданий и сооружений $z_{эк} = 0,8h$, где h – высота сооружения.

Таблица 3

Высота z_e , м	Коэффициент пульсаций давления ветра ζ для типов местности		
	А	В	С
≤5	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,50
40	0,62	0,80	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,70	1,06
100	0,54	0,67	1,00
150	0,51	0,62	0,90
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,80
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73
≥480	0,46	0,50	0,68

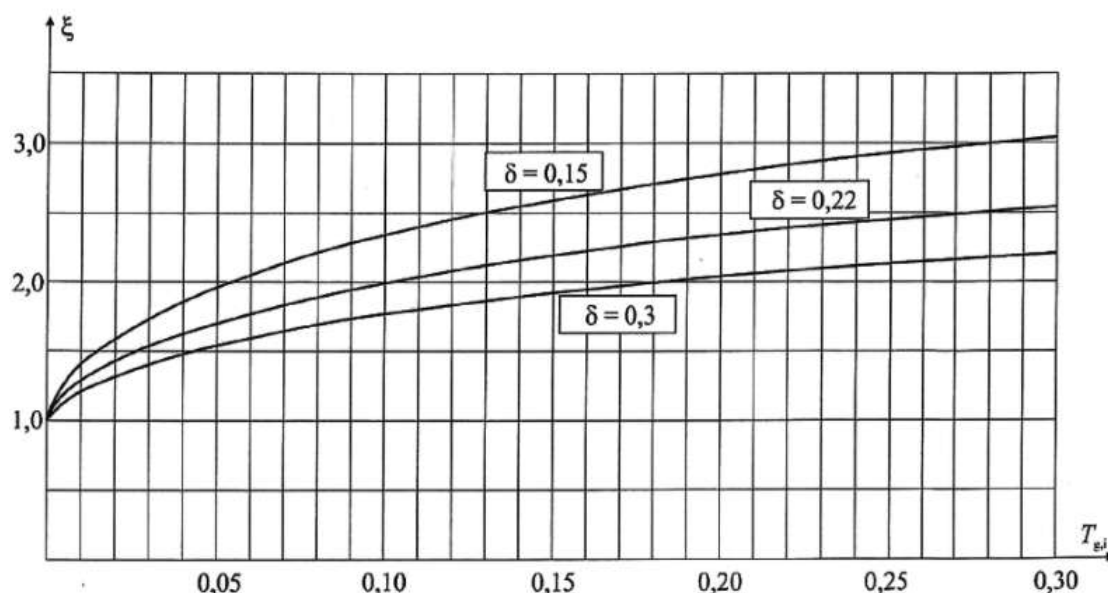


Рис. 1.2. Коэффициенты динамичности

в) для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, производится динамический расчет с учетом s первых форм собственных колебаний. Число s следует определять из условия:

$$f_s < f_{lim} < f_{s+1}.$$

Расчет производится с учетом программных комплексов.

Предельное значение частоты собственных колебаний f_{lim} , Гц, следует определять в зависимости от безразмерного предельного периода $T_{g,lim}$:

$$f_{lim} = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{эк}) \gamma_f}}{940 T_{g,lim}}, \quad (6)$$

где значение $T_{g,lim}$ приведено в таблице 4 для трех значений суммарного логарифмического декремента колебаний δ .

Таблица 4

δ	0,15	0,22	0,3
$T_{g,lim}$	0,00707	0,014	0,023

Значение логарифмического декремента колебаний δ следует принимать:

а) для железобетонных и каменных сооружений, а также для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций: $\delta = 0,3$;

б) для стальных сооружений футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаментах: $\delta = 0,15$.

в) для стекла, а также смешанных сооружений, имеющих одновременно стальные и железобетонные несущие конструкции: $\delta = 0,22$.

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления v следует определять для расчетной поверхности коэффициента сооружения или отдельной конструкции, для которой учитывается корреляция пульсаций.

Расчетная поверхность включает в себя те части наветренных и подветренных поверхностей, боковых стен, кровли и подобных конструкций, с которых давление ветра передается на рассчитываемый элемент сооружения.

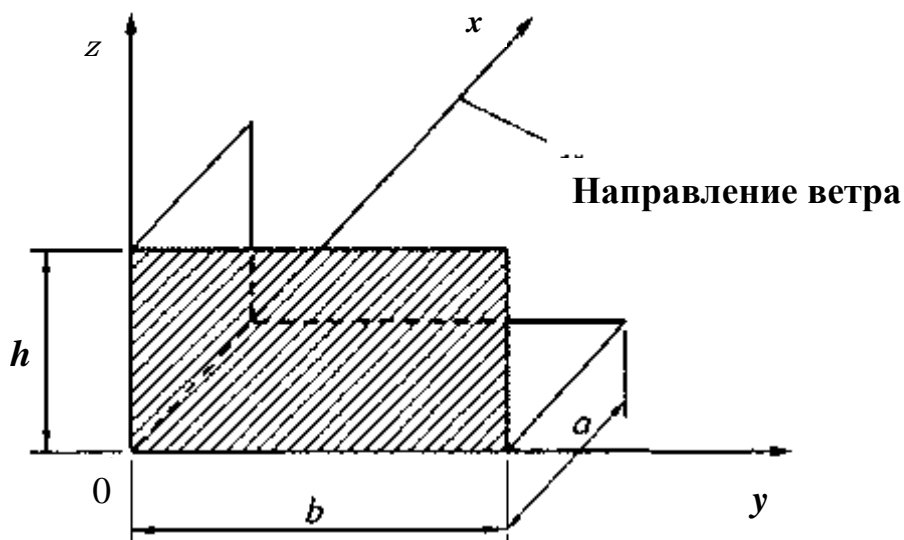


Рис. 1.3. Основная система координат при определении коэффициента корреляции v

Если расчетная поверхность близка к прямоугольнику, ориентированному так, что его стороны параллельны основным осям (рис. 1.3), то коэффициент v следует определять по таблице 5 в зависимости от параметров ρ и χ , принимаемых по таблице 6.

Усилия и перемещения при учете динамической реакции по s собственным формам определяются по формуле:

$$X^2 = \sum X_s^2 \quad (7)$$

где X – суммарные усилия или перемещения; X_s – усилия или перемещения по s -й форме колебаний.

Таблица 5

ρ , м	Коэффициент v при χ , м, равном						
	5	10	20	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84	0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81	0,77	0,71	0,64	0,53
20	0,80	0,78	0,76	0,73	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70	0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59	0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,38

Таблица 6

Основная координатная плоскость, параллельно которой расположена расчетная поверхность	ρ	χ
zoy	b	h
zox	$0,4a$	h
xoy	b	a

2. РАСЧЕТ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПК ЛИРА-САПР

Рассматривается типовая рама многоэтажного каркасного здания.

Необходимо произвести расчет рамы в структуре программы ЛИРА-САПР на действие ветра с учетом пульсационной составляющей.

Исходные данные

- количество пролетов: 4;
- количество этажей: 7;
- ширина пролета: 6 м;
- высота этажа: 3,0 м;
- колонны и ригели выполнены из бетона класса В25;
- в основании колонны жестко защемлены;

Нагрузки:

- постоянная на ригели $q = 20$ кН/м, нагрузка от веса стеновых панелей $N=30$ кН;
- временная на ригели перекрытия $v = 12$ кН/м;
- снеговая $s = 14,4$ кН/м;
- средняя составляющая ветровой нагрузки:
 - с наветренной стороны $w = 3,44$ кН/м;
 - с подветренной стороны $w' = 2,15$ кН/м.

Загружения:

- 1 – постоянная нагрузка;
- 2 – временная на перекрытия;
- 3 – временная на покрытие (снеговая);
- 4 – средняя составляющая ветровой нагрузки;
- 5 – пульсационная составляющая ветровой нагрузки.

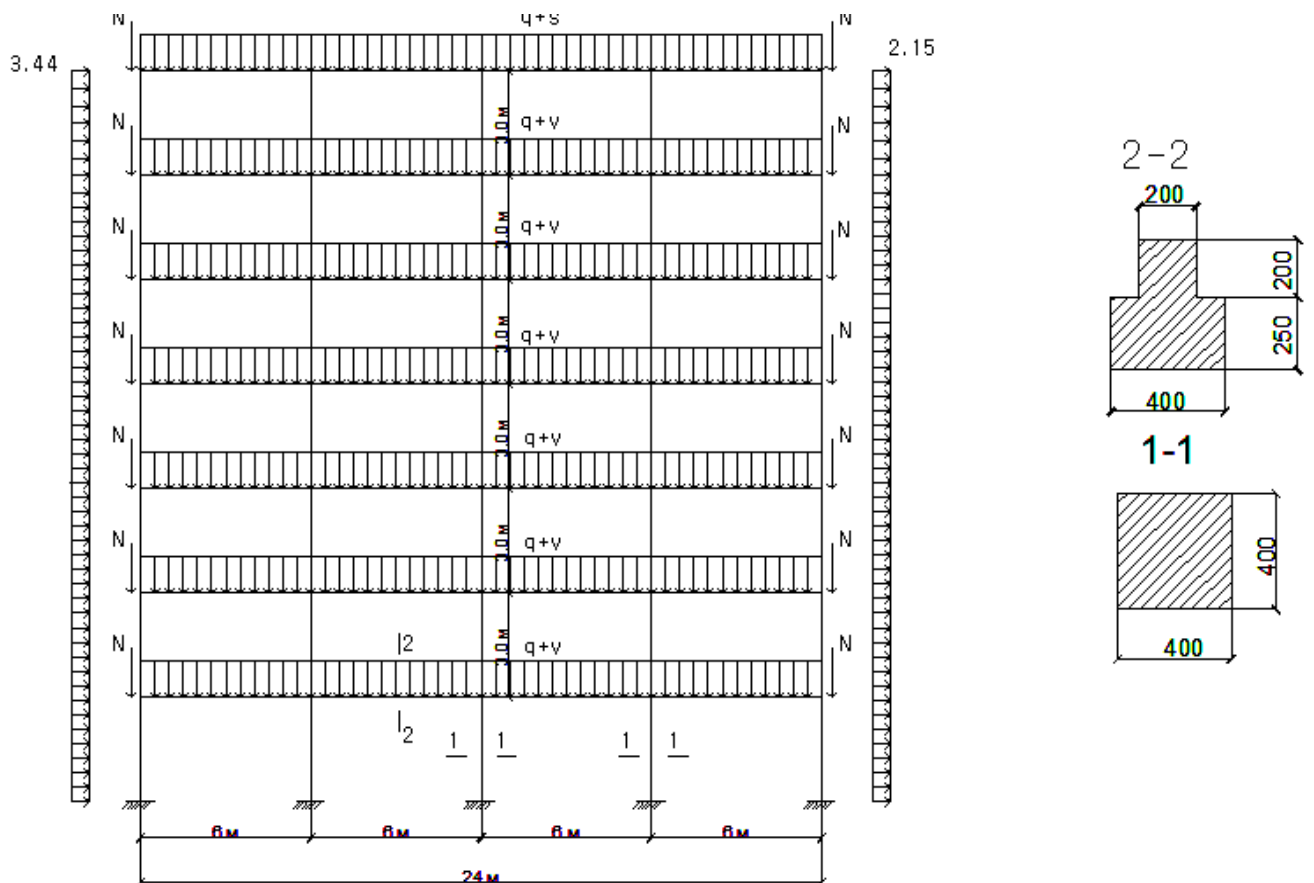



Рис. 2.1. Расчетная схема рамы

Этап 1. Создание новой задачи

- Для создания новой задачи откройте меню **Приложения** (верхний левый угол экрана) и выберите пункт **Новый Создать новый документ**.
- В появившемся диалоговом окне **Описание схемы** (рис. 2.2) задайте следующие параметры:
 - признак схемы – 2 (три степени свободы в узле X,Z,Uy);
 - имя создаваемой задачи – **Иванов_ЗПГ304_123** (при выполнении работы указывается фамилия, номер группы и три последние цифры зачетной книжки (шифр); в остальных случаях может задаваться любое имя, например, **рама**);
 - шифр задачи – **Иванов_ЗПГ304_123** (по умолчанию совпадает с именем задачи);
 - описание задачи – Расчет рамы многоэтажного здания на ветровую нагрузку.
- После щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

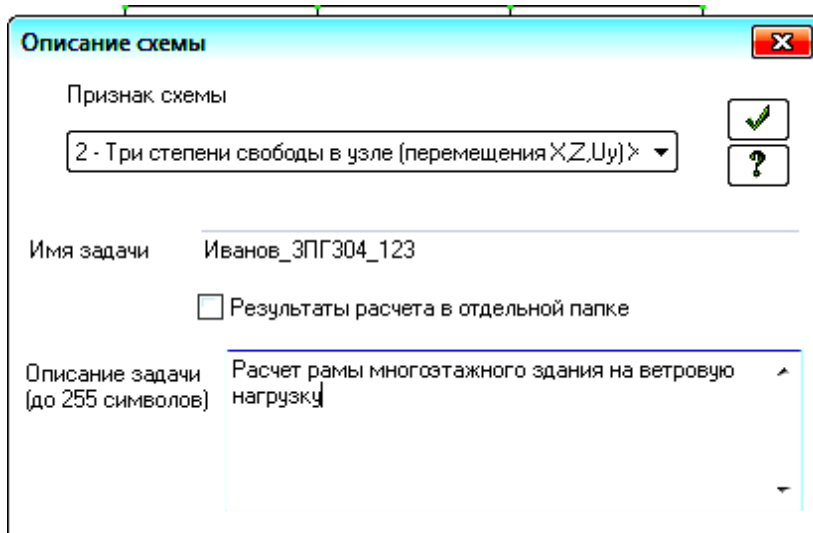


Рис. 2.2. Диалоговое окно **Описание схемы**



Рис. 2.3. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**

Этап 2. Создание геометрической схемы

Создание геометрии рамы

- Вызовите диалоговое окно **Создание регулярных фрагментов и сетей** щелчком по кнопке – **Генерация регулярных фрагментов и сетей** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**). Закладка **Генерация рамы**

В этом диалоговом окне (рис. 2.3) задайте:

- Шаг вдоль первой оси: Шаг вдоль второй оси:

L(м)	N	L(м)	N
6	4	3	7
- Остальные параметры принимаются по умолчанию;
- щелкните по кнопке – **Применить**.

Вывод на экран номеров узлов

- Щелкните по кнопке – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- После этого щелкните по кнопке – **Перерисовать**.

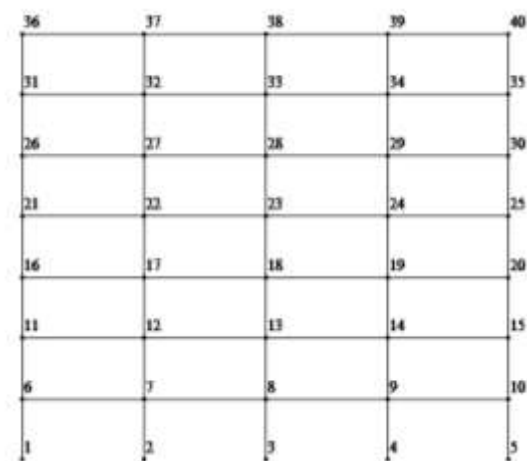


Рис. 2.4. Расчетная схема с отображением номеров узлов

Сохранение информации о расчетной схеме:

- Для сохранения информации о расчетной схеме откройте меню **Приложения** и выберите пункт **Сохранить** (кнопка на панели быстрого доступа).
- По умолчанию задача сохраняется в папку **Data**.

Этап 3. Задание жесткостных параметров элементов схемы



Для расчета необходимо задать жесткостные параметры элементов. Их количество зависит от типа конечных элементов. К этим параметрам относятся: площади поперечных сечений, моменты инерции сечений, модули упругости и сдвига.




Общая схема задания жесткостных характеристик такова:

- вводятся числовые данные жесткостных характеристик. Каждый набор характеристик называется **типом жесткости** или просто **жесткостью**.
- Каждому типу жесткости присваивается порядковый номер;
- один из типов жесткости назначается текущим;
- на расчетной схеме отмечаются элементы, которым будет присвоена текущая жесткость;
- кнопкой **Назначить** всем выделенным элементам присваиваются жесткостные характеристики, содержащиеся в текущем типе жесткости.

Формирование типов жесткости

➤ *Сформируйте жесткость колонн:*

- щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис. 2.5).
- в этом окне щелкните по кнопке **Добавить** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений;
- в библиотеке закладки **Стандартные типы сечений** появившегося окна выберите двойным щелчком мыши **Брус** (рис. 2.6);
- в появившемся окне **Задание стандартного сечения** задайте размеры сечения и параметры материала колонны (рис. 2.7):

- модуль упругости – $E = 3e7$ кН/м²;




Запись $3e7$ эквивалентна записи $3 \cdot 10^7$. Вводится при английской раскладке клавиатуры!

- ширина сечения – $B = 400$ мм;

- высота сечения – $H = 400$ мм;

- удельный вес материала – $R_0 = 25$ кН/м³;

- в поле **Комментарий** введите: *колонны*;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- в списке типов жесткостей окна **Жесткости и материалы** должна появиться строка: 1. Брус 40×40 (колонны).

➤ *Сформируйте жесткость ригелей:*

- в этом окне щелкните по кнопке **Добавить** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений;
- в библиотеке закладки **Стандартные типы сечений** появившегося окна выберите двойным щелчком мыши **Тавр_L** (рис. 2.8).

Назначение жесткостей элементам схемы

➤ *Назначьте жесткость колоннам:*

- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 1. Брус 40×40 (колонны);
- щелкните по кнопке **Назначить текущим**, при этом выбранный тип сечения записывается в верхней строке редактирования (текущим тип жесткости можно назначить двойным щелчком по строке списка);

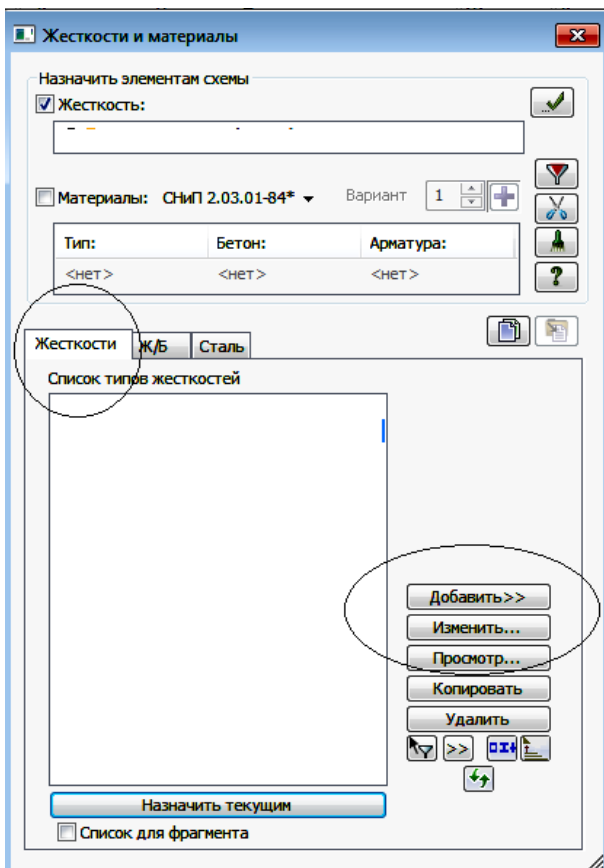


Рис. 2.5. Окно Жесткости и материалы



Рис. 2.6. Окно Добавить жесткость

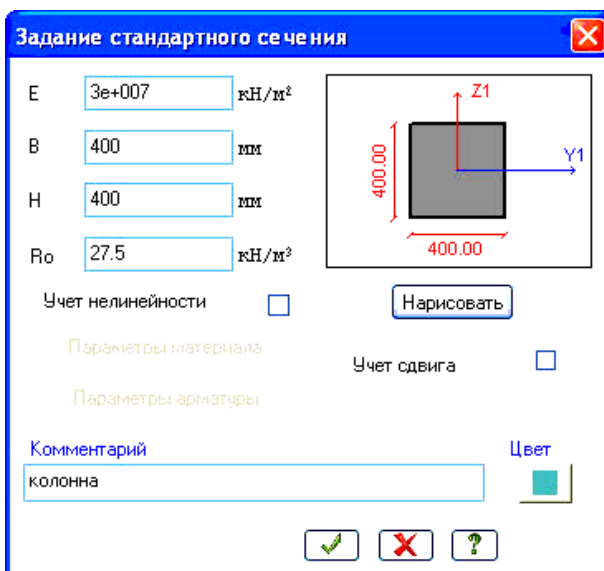


Рис. 2.7

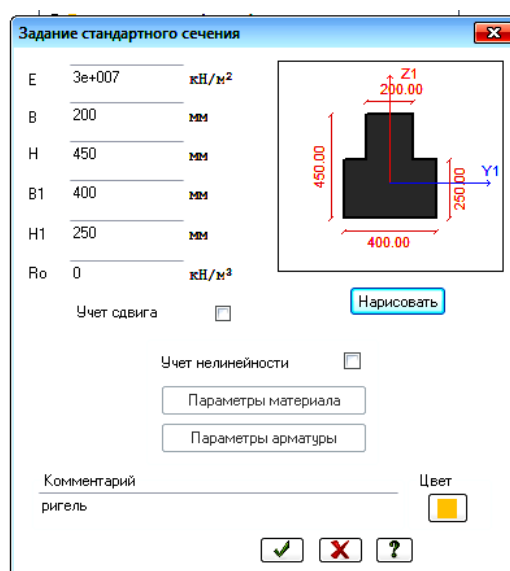






Рис. 2.8

- щелкните по кнопке  – **Отметка вертикальных стержней** на **Панели выбора**;
- с помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме все колонны (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет);

- в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).
- *Назначьте жесткость ригелям:*
- в списке типов сечений окна **Жесткости и материалы** курсором выделите строку: 1. Тавр_L 20×45 (ригели);
 - щелкните по кнопке **Назначить текущим**, при этом выбранный тип сечения записывается в верхней строке редактирования (текущим тип жесткости можно назначить двойным щелчком по строке списка);
 - щелкните по кнопке **Отметка горизонтальных стержней на Панели выбора**;
 - с помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме все ригели (выделенные элементы окрашиваются в красный цвет);
 - в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).

Этап 4. Задание граничных условий

- Выделите опорные узлы № 1–5 (рис. 2.9). Для этого при активной кнопке  – **Отметка узлов (Панель выбора)** укажите курсором на эти узлы. Они должны окраситься в красный цвет.

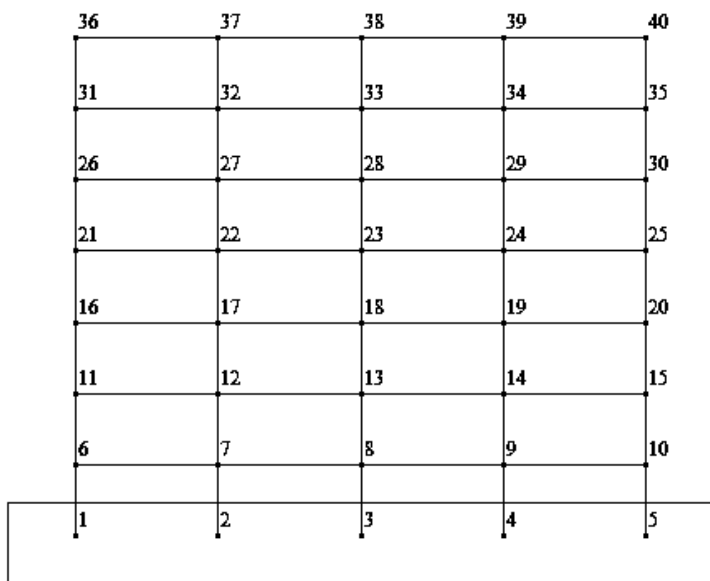


Рис. 2.9. Закрепляемые узлы

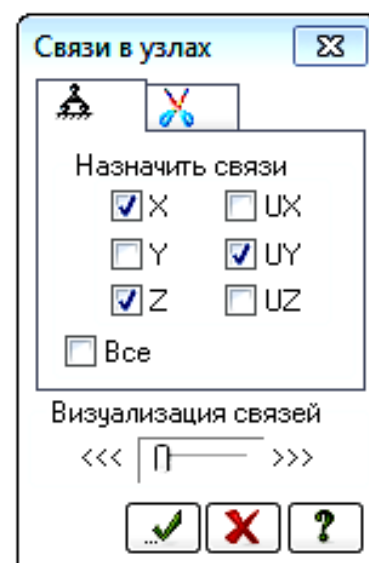







Рис. 2.10. Диалоговое окно
Связи в узлах



- Щелчком по кнопке  – **Связи** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис. 2.10).
- В этом окне с помощью установки флажков отметьте направления, по которым запрещены перемещения выделенного узла: X, Y, Z, UX, UY, UZ.
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить** (узел должен окраситься в синий цвет).
- Снова щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**, чтобы снять активность с операции выделения узлов.





Этап 5. Задание нагрузок

 На здание действуют постоянные и временные нагрузки, имеющие различную долю длительности и коэффициенты надежности по нагрузке [1]. Поэтому рационально задавать их в разных загрузениях. В нашей задаче сформируем 5 загрузений. В первом загрузении зададим собственный вес конструкций; во втором – временные нагрузки на ригели перекрытий; в третьем – временные нагрузки на ригели покрытия (снег); в четвертом – среднюю составляющую ветровой нагрузки; в пятом – пульсационную составляющую ветровой нагрузки.

 В программе ЛИРА-САПР допускается задание до 300 загрузений. Каждому загрузению присваивается номер, произвольное имя и вид. Загрузение может содержать любое количество нагрузок. Номер, имя и вид загрузения присваиваются с помощью диалогового окна **Редактор загрузений**.

Задание информации о загрузениях

- Вызовите диалоговое окно **Редактор загрузений** щелчком по кнопке **Редактор загрузений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- Для Загрузения **1** в поле **Имя** введите: *постоянная*.
- В раскрывающемся списке **Вид** выберите строку: **Постоянное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 1 (рис. 2.11).
- Чтобы добавить второе загрузение, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузение (в конец)**.

- Для Загружения 2 в поле **Имя** введите: *временная на перекрытие*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Кратковременное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загружений должна появиться строка, соответствующая загружению 2.
- Для добавления третьего загружения в поле **Список загружений** щелкните по кнопке .
- Для Загружения 3 в поле **Имя** введите: *снеговая нагрузка*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Кратковременное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загружений должна появиться строка, соответствующая загружению 3.
- Для Загружения 4 в поле **Имя** введите: *ветровая (средняя составляющая)*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Неактивное (стат .ветр. для пульсации)** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загружений должна появиться строка, соответствующая загружению 4.

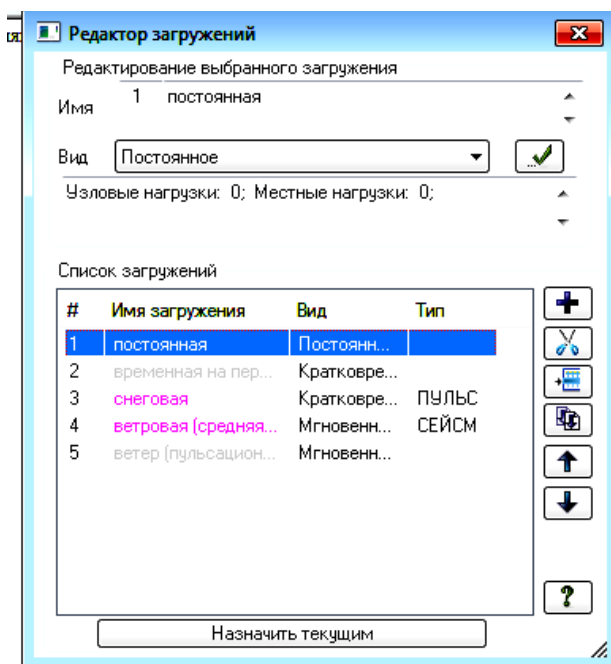


Рис. 2.11. Диалоговое окно
Редактор загружений

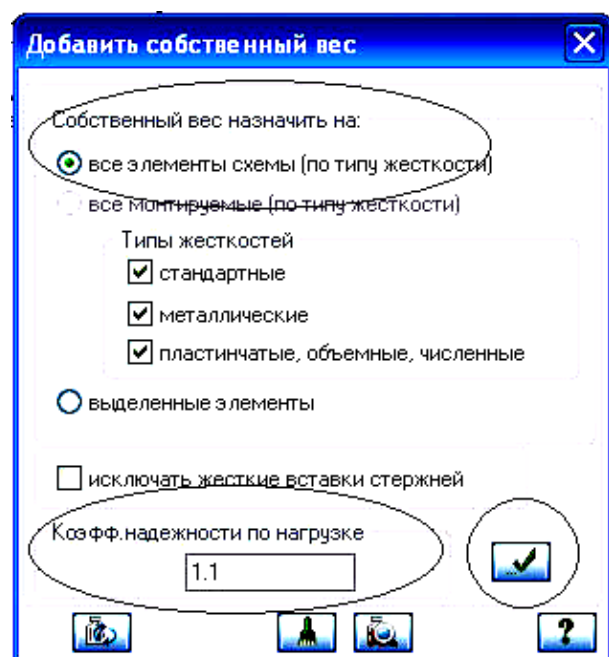







Рис. 2.12. Диалоговое окно
Добавить собственный вес

- Для Загружения 5 в поле **Имя** введите: *ветровая (пульсационная составляющая)*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Мгновенное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загружений должна появиться строка, соответствующая загружению 5.

- Чтобы перейти к непосредственному формированию загрузки 1, в поле **Список загрузок** выделите строку 1 *постоянная* и щелкните по кнопке **Назначить текущим** (можно назначить текущее загрузку двойным щелчком по строке списка).
- Закройте окно **Редактор загрузок** с помощью кнопки .

Формирование загрузки № 1

- *Задайте нагрузку от собственного веса колонн и ригелей.*
 - Щелчком по кнопке  – Добавить собственный вес (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис. 2.12).
 - В этом окне выберите:
 - собственный вес назначить **на все элементы**;
 - коэффициент надежности по нагрузке: **1.1**.
 - Щелкните по кнопке  – **Применить** (все несущие элементы автоматически загрузятся нагрузкой от собственного веса).

 Коэффициент надежности по нагрузке принимается на основании таблицы 7.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Для железобетонных конструкций он равен 1.1.

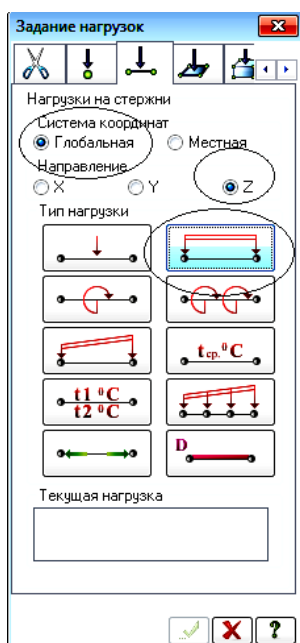





Рис. 2.13. Диалоговое окно
Задание нагрузок



Рис. 2.14. Диалоговое окно
Параметры

- *Задайте дополнительную постоянную нагрузку на ригели $q = 20$ кН/м.*
 - Щелкните по кнопке **Отметка горизонтальных стержней** на **Панели выбора**, и с помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме все ригели.
 - В окне **Нагрузки на стержни** щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 2.13) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 2.14).
 - В этом окне задайте интенсивность нагрузки: $p = 20$ кН/м.
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
 - Отожмите кнопку **Отметка горизонтальных элементов** на **Панели Выбора**.
- *Задайте постоянную нагрузку от веса стеновых панелей: $N = 30$ кН.*
 - Выделите узлы № 6,11,16,21,26,31,36/10,15,20,25,30,35,40 (рис. 2.15). Для этого при активной кнопке  – **Отметка узлов (Панель выбора)** укажите курсором на эти узлы (или используйте «резинового окна»).
 - в окне **Нагрузки на узлы** щелчком по кнопке **Узловая нагрузка** (рис. 2.16) вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки** (рис. 2.17).
 - В этом окне задайте значение: $N = 30$ кН.
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
 - отожмите кнопку **Отметка узлов** на **Панели выбора**.

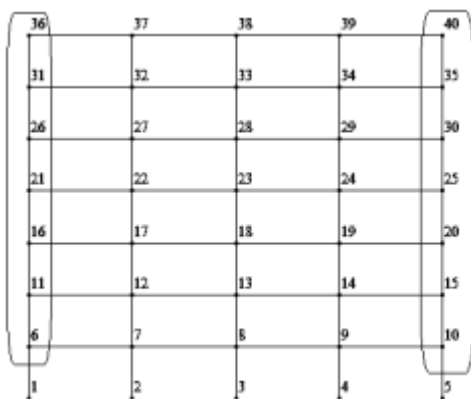


Рис. 2.15. Узлы передачи нагрузок от веса стеновых панелей

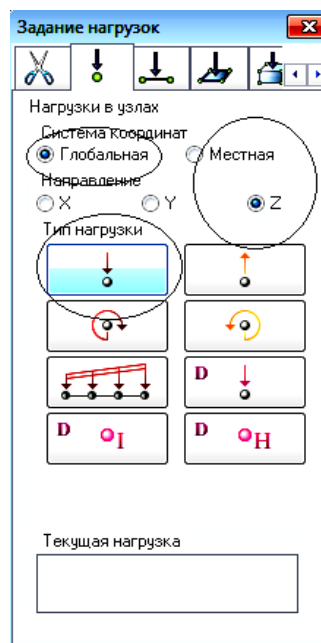


Рис. 2.16
Диалоговое окно
Задание нагрузок

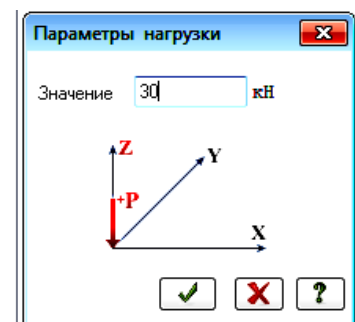






Рис. 2.17
Диалоговое окно
Параметры нагрузки



Формирование загрузки № 2



- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в **Строке состояния** (находится в нижней области рабочего окна).
- *Задайте временную нагрузку на ригели перекрытий: $v = 12$ кН/м.*
 - Щелкните по кнопке **Отметка горизонтальных стержней** на **Панели выбора**, и с помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме все ригели.
 - В окне **Нагрузки** на стержни щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 2.18) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 2.19).
 - В этом окне задайте интенсивность нагрузки: $p = 12$ кН/м;
 - щелкните по кнопке  – Подтвердить.


Формирование загрузки № 3

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в **Строке состояния** (находится в нижней области рабочего окна).
- *Задайте снеговую нагрузку на ригели покрытия: $s = 14,4$ кН/м.*
 - С помощью «резинового окна» отметьте на расчетной схеме ригели покрытия (верхние горизонтальные элементы).
 - В окне **Нагрузки** на стержни щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 2.18) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 2.19).
 - В этом окне задайте интенсивность нагрузки: $p = 14,4$ кН/м;
 - щелкните по кнопке  – Подтвердить.

Формирование загрузки № 4

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в **Строке состояния** (находится в нижней области рабочего окна).
- Щелкните по кнопке  – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора**.
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и отключите флажок **Номера узлов**.
- Перейдите в 1-ю закладку **Элементы**, установите флажок **Номера элементов**.

- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**. На схеме отобразится нумерация конечных элементов.
- *Задайте среднюю составляющую ветровой нагрузки, действующую слева направо вдоль глобальной оси X (с наветренной стороны).*
 - С помощью «резинового окна» выделите на схеме левые крайние колонны (элементы с 1-го по 7-й).
 - В окне **Нагрузки на стержни** выберите направление по **X**;
 - щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 2.18) вызовите диалоговое окно Параметры (рис. 2.19 а);
 - в этом окне задайте интенсивность нагрузки: $p = -3.44$ кН/м;
 - щелкните по кнопке  – Подтвердить.

 В программе ЛИРА-САПР положительное направление нагрузки соответствует действию против оси. То есть если глобальная ось X направлена слева направо, то положительное направление нагрузки будет в обратную сторону (справа налево). В нашем примере нагрузка действует в направлении глобальной оси X, и она задается со знаком «-».

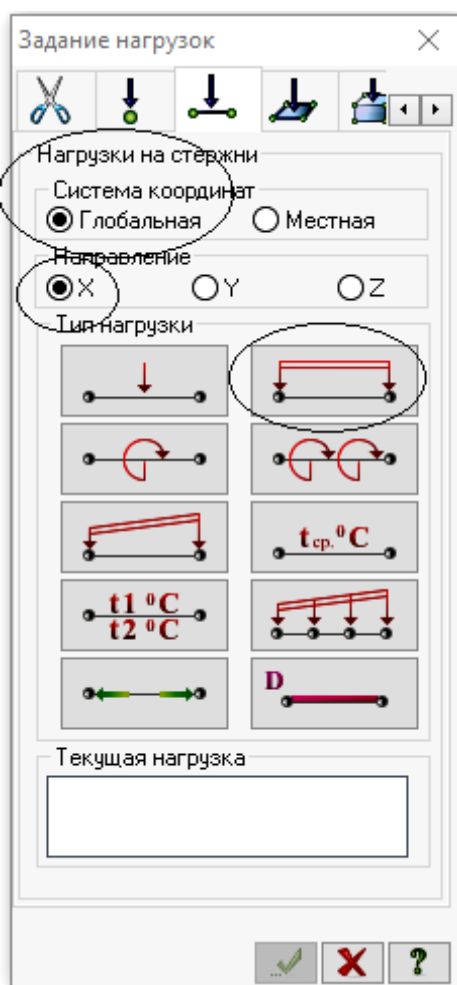


Рис. 2.18. Диалоговое окно
Задание нагрузок

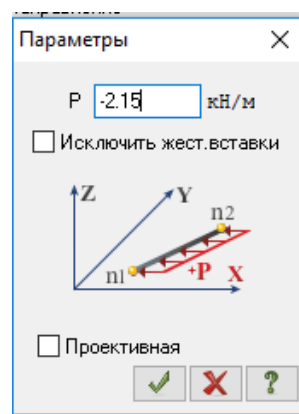
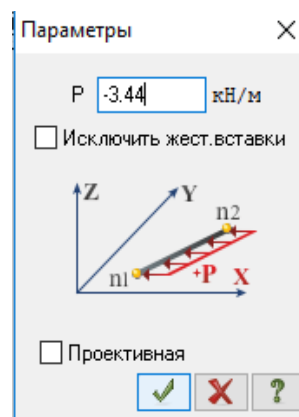




Рис. 2.19. Диалоговое окно
Параметры
а) с наветренной стороны
б) с подветренной стороны

- *Задайте среднюю составляющую ветровой нагрузки, действующую слева направо вдоль глобальной оси X (с наветренной стороны).*
 - С помощью «резинового окна» выделите на схеме правые крайние колонны (элементы с 29-го по 35-й).
 - в окне **Нагрузки на стержни** выберите направление по **X**.
 - Щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис. 2.18) вызовите диалоговое окно Параметры (рис. 2.19 б).
 - В этом окне задайте интенсивность нагрузки: $p = -2.15$ кН/м.
 - Щелкните по кнопке  – Подтвердить.

Формирование загрузки № 5

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузка** в **Строке состояния**.

- *Задайте пульсационную составляющую нагрузки вдоль оси X.*

- В строке **Меню** найдите вкладку **Нагрузки** и активируйте функцию **Динамика** (рис 2.20).
- В открывшемся меню активируйте функцию **Учет статических загрузений**. В данной функции производится формирование массовой модели конструкции. В открывшемся окне (рис. 2.21) задайте:
 - № динамического загрузения – 5;
 - № соответствующего статического загрузения – 1;
 - коэф. преобразования – 1.0.


Нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- № динамического загрузения – 5;
- № соответствующего статического загрузения – 2;
- коэф. преобразования – 1.0.

Нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- № динамического загрузения – 5;
- № соответствующего статического загрузения – 3;
- Коэф. преобразования – 1.0.

Нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

 В примере коэффициенты сочетания нагрузок приняты равными 1,0. Поэтому при формировании массовой модели коэффициенты преобразования заданы равными 1,0.

- № динамического загрузения. В строке **Меню** снова найдите вкладку **Нагрузки** и активируйте функцию **Динамика** (рис. 2.20).

В открывшемся меню активируйте функцию **Таблица динамических загрузжений** (рис. 2.21).

В открывшемся окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** (рис. 2.23) задайте:

- № строки характеристик – 1;
- № загрузки – 5 (рис. 2.22).
- Наименование воздействия – в выпадающем списке выберите: Пульсационное (12).
- Количество учитываемых форм – 10 .

Количество учитываемых форм колебаний определяется в программе автоматически в зависимости от спектра собственных частот рамы и ограничительной частоты, определяемой номером ветрового района согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». В данном примере задаем «10» – с запасом. Программа после проведения модального анализа сама определит необходимое количество частот.

- № соответствующего статического загрузжения – 3. Здесь задаем номер загрузжения, в котором задана соответствующая средняя составляющая ветровой нагрузки.

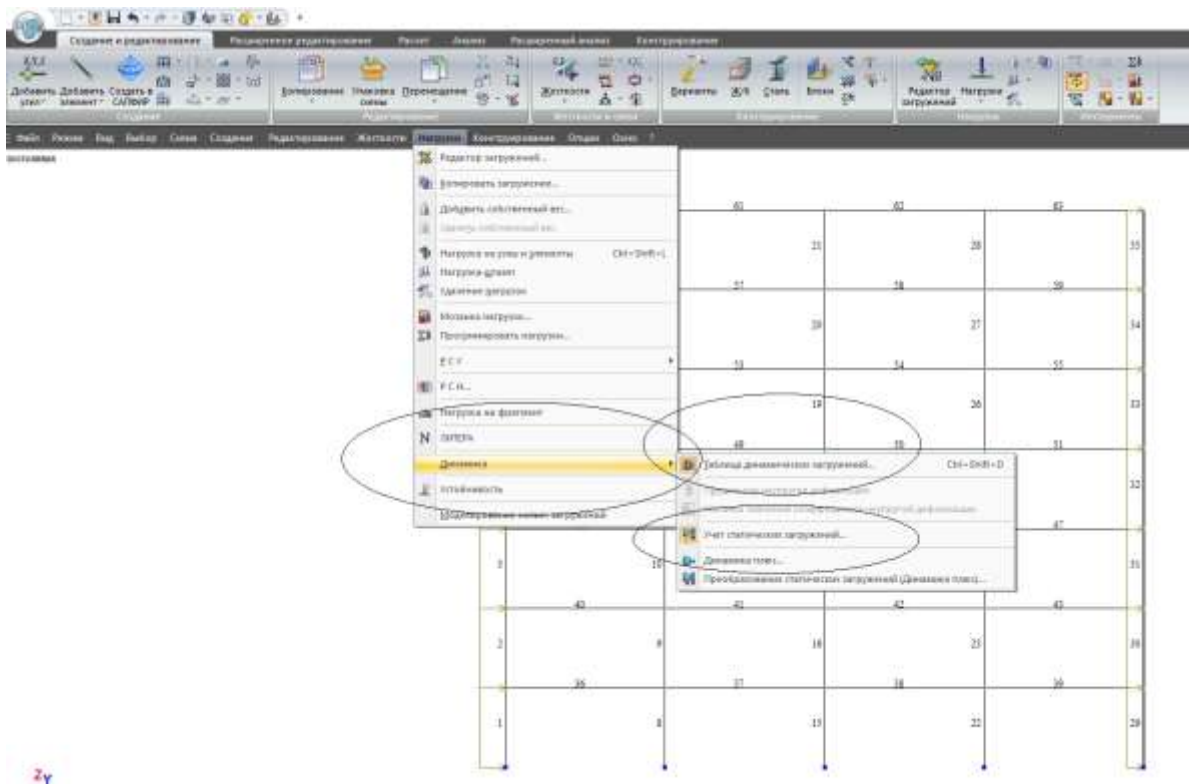


Рис. 2.20. Строка Меню Нагрузки, Динамика

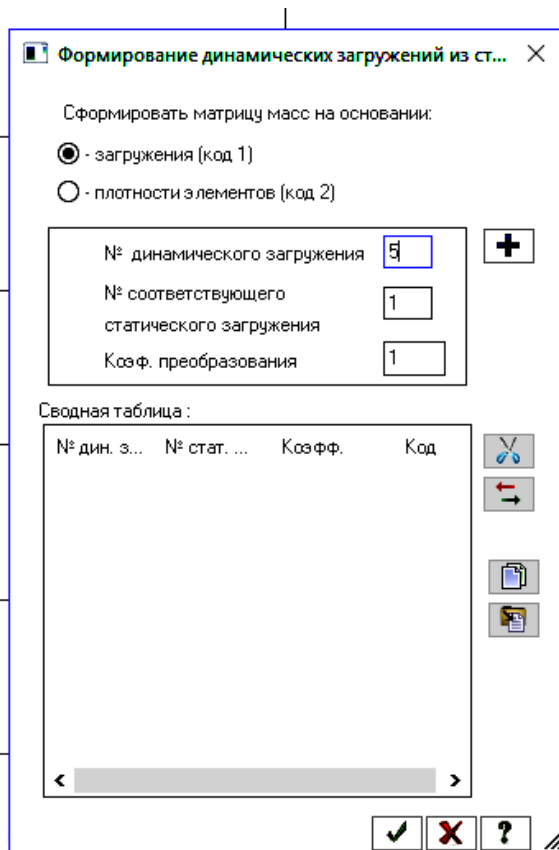


Рис. 2.21

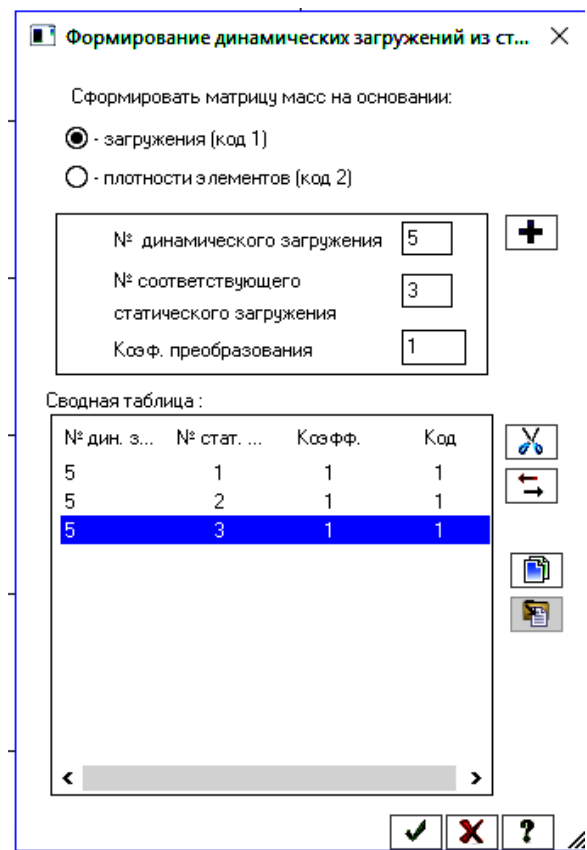


Рис. 2.22

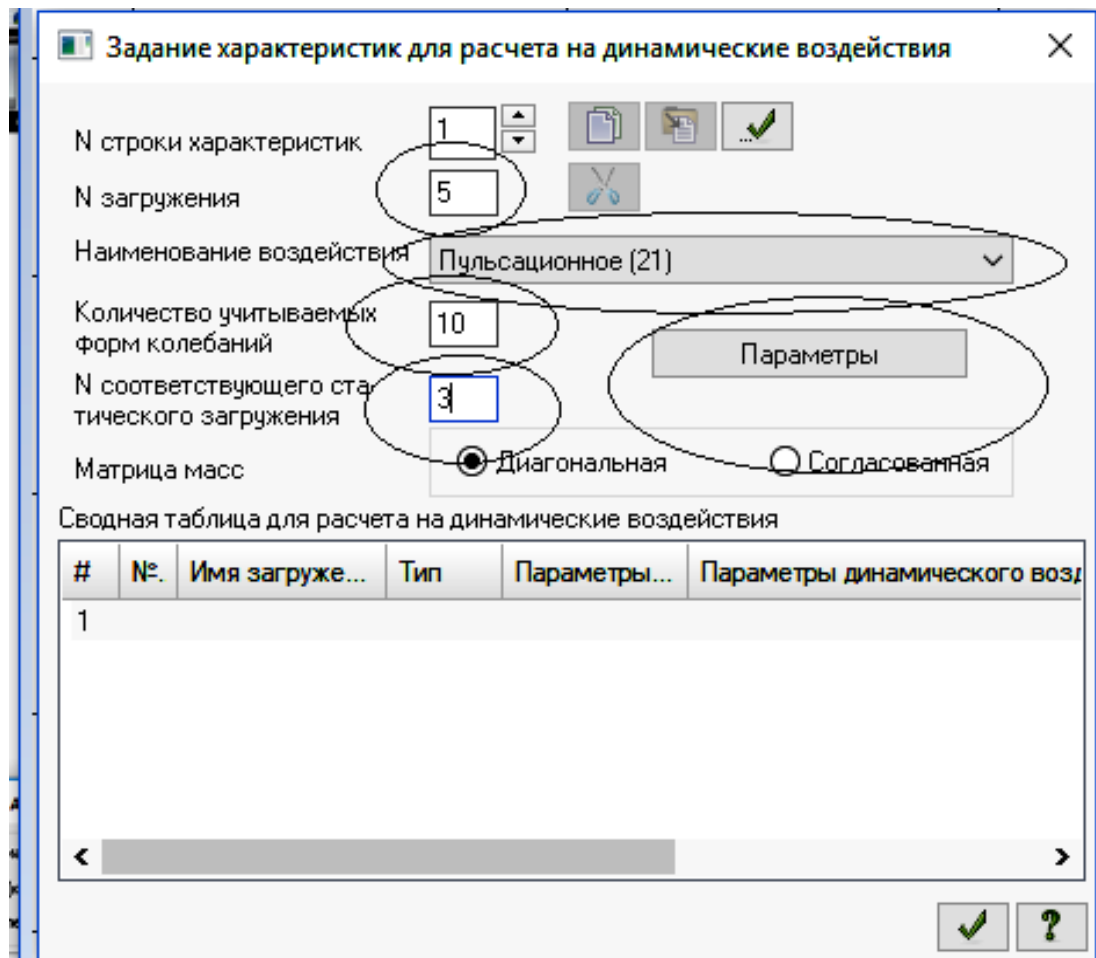
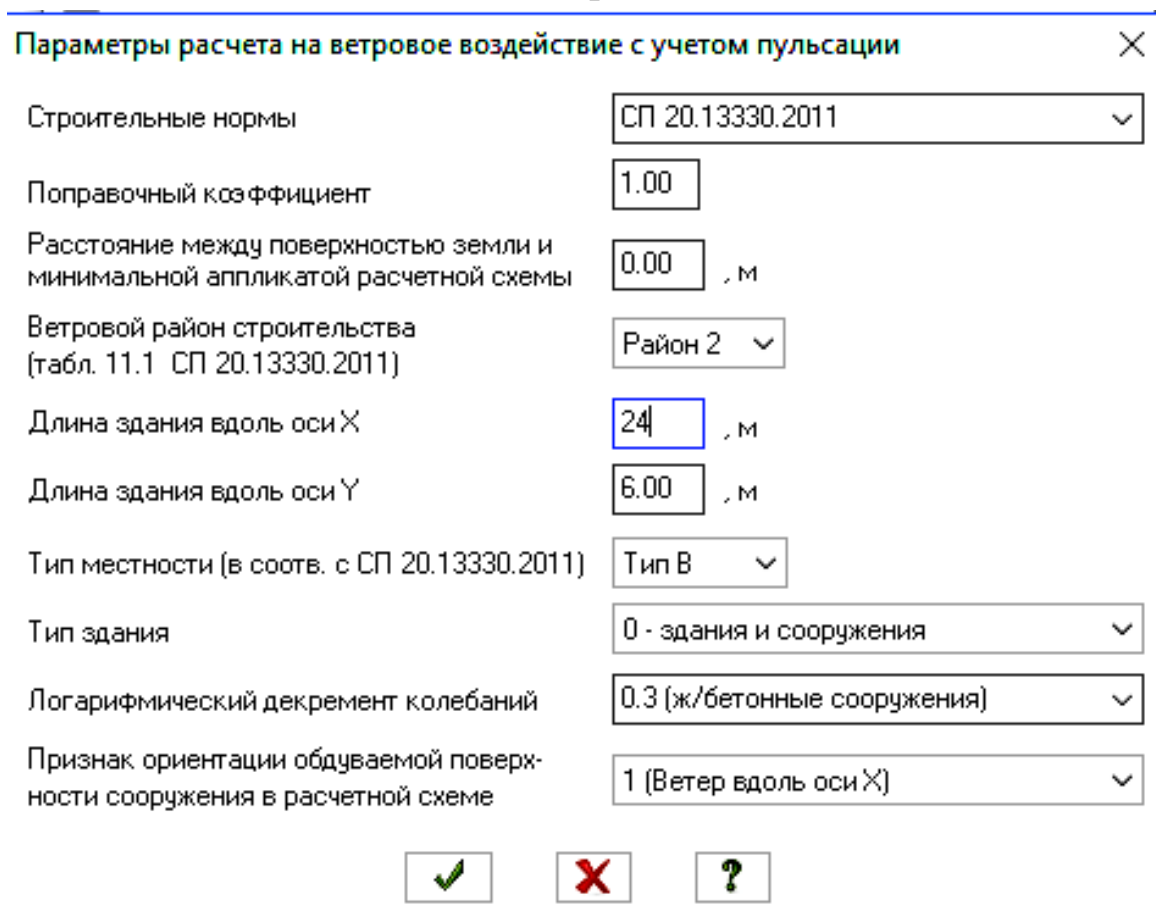


Рис. 2.23. Окно Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

Активируйте кнопку **Параметры**. В открывшемся окне **Параметры расчета на ветровые воздействия с учетом пульсации** задайте необходимые параметры в соответствии с [1] (рис. 2.24):

- Строительные нормы – СП 20.13330.2011
- Поправочный коэффициент 1,0
- Ветровой район строительства II
- Длина здания вдоль оси X – 24 м.
- Длина здания вдоль оси Y – 6 м.
- Тип местности – Тип В
- Тип здания – 0 – здания и сооружения
- Логарифмический декремент – 0.3
- Признак ориентации обдуваемой поверхности сооружения в расчетной схеме – 1 (Ветер вдоль оси X).

Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.



Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации	
Строительные нормы	СП 20.13330.2011
Поправочный коэффициент	1.00
Расстояние между поверхностью земли и минимальной аппликатой расчетной схемы	0.00 м
Ветровой район строительства (табл. 11.1 СП 20.13330.2011)	Район 2
Длина здания вдоль оси X	24 м
Длина здания вдоль оси Y	6.00 м
Тип местности (в соотв. с СП 20.13330.2011)	Тип В
Тип здания	0 - здания и сооружения
Логарифмический декремент колебаний	0.3 (ж/бетонные сооружения)
Признак ориентации обдуваемой поверхности сооружения в расчетной схеме	1 (Ветер вдоль оси X)






  

Рис. 2.24. Окно **Параметры расчета на ветровые воздействия с учетом пульсации**

Этап 7. Полный расчет схемы





- Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – **Выполнить расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

Этап 8. Отображение результатов расчета, анализ

- Чтобы отобразить параметры собственных колебаний конструкции в табличном виде:
 - Находясь во вкладке **Анализ**, найдите в строчном **Меню** функцию **Окно**, и в выпадающем окне выберите **Интерактивные таблицы**.
 - Щелчком по строке **Интерактивные таблицы** откройте окно **Редактор форм**, выберите строку **Частоты** и нажмите на кнопку  **Применить**.
- На экране отобразится таблица **Частоты собственных колебаний** (рис. 2.25).

№ загруз	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период (с)	Коэф. распред.	Мод. масса (%)	Сумма мод. масс (%)
			Круг. частота (рад/с)	Частота (Гц)				
5	1	0.160	6.242	0.993	1.007	0.000	0.000	0.000
5	2	0.054	18.686	2.974	0.336	0.000	0.000	0.000
5	3	0.032	31.143	4.957	0.202	0.000	0.000	0.000
5	4	0.023	42.828	6.816	0.147	0.000	0.000	0.000
5	5	0.019	52.642	8.378	0.119	0.000	0.000	0.000
5	6	0.019	53.311	8.485	0.118	0.000	0.000	0.000
5	7	0.017	57.604	9.168	0.109	0.000	0.000	0.000
5	8	0.016	61.718	9.823	0.102	0.000	0.000	0.000
5	9	0.015	65.193	10.376	0.096	0.000	0.000	0.000
5	10	0.015	67.240	10.702	0.093	0.000	0.000	0.000
5	11	0.014	71.352	11.356	0.088	0.000	0.000	0.000
5	12	0.013	77.383	12.316	0.081	0.000	0.000	0.000

Рис. 2.25. Таблица **Частоты собственных колебаний**

- Чтобы отобразить формы собственных колебаний:
 - в строке состояния  (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер загрузки** выберите строку, соответствующую **пятому загрузению**, нажмите на кнопку  – **Применить**;
 - нажмите на кнопку  – **Формы колебаний**;
 - в раскрывающемся списке выберите, например, форму 6 (или другую) и нажмите на  – **Применить**;
 - на экране отобразится выбранная форма колебаний;

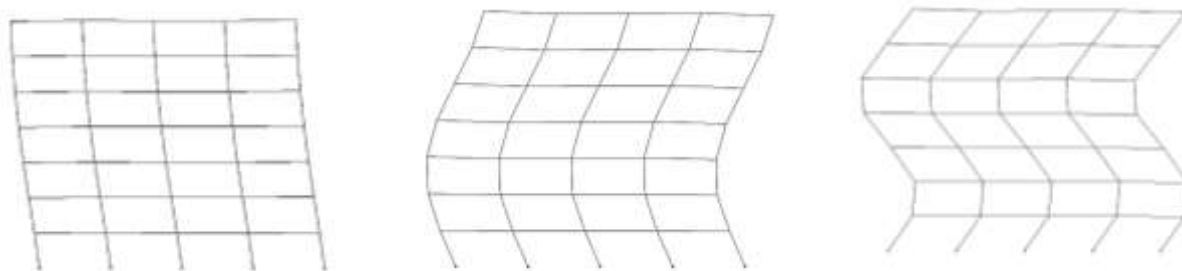




Рис. 2.26. Отображение форм колебаний

- Для каждой формы колебаний могут быть отражены пульсационные ветровые нагрузки (инерционные силы):
 - в строке Меню **Усилия** найдите строку **Инерционные силы** и выберите **Показать силу по X**.
 - Для отображения численных значений сил активируйте кнопку  - **Флаги рисования**, зайдите в закладку **Общие** и поставьте галку на функции **Величины нагрузок** и нажмите на кнопку  – **Применить**.
Например, для 1-й формы собственных колебаний получим:

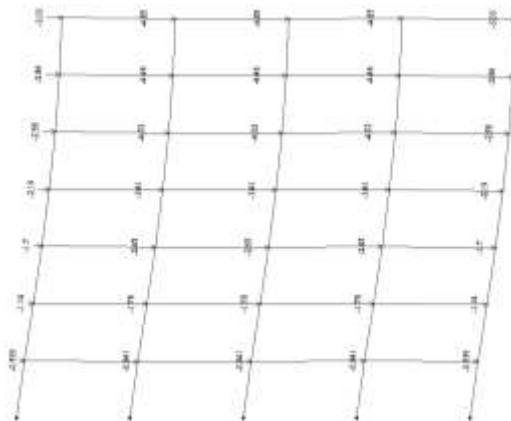

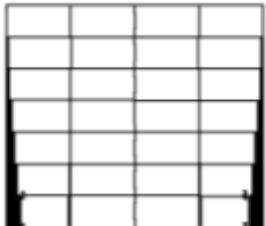
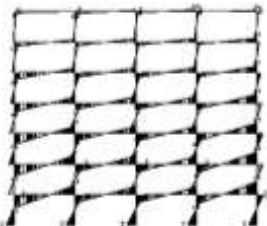
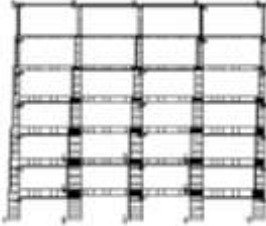


Рис. 2. 27. Схема приложения пульсационной составляющей ветровой нагрузки для 1-й формы собственных колебаний

- Для отображения усилий от пульсационной ветровой нагрузки для каждой учитываемой формы колебаний:
 - выведите на экран эпюру N щелчком по кнопке  – Эпюры продольных сил N (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**);
 - аналогично можно вывести эпюры изгибающих моментов M_y , Q_z .
 Например, для первой формы колебаний получим:

Форма колебаний	Эпюра N	Эпюра M_y	Эпюра Q_z
1-я форма			

- Аналогично могут быть отображены усилия от средней составляющей ветровой нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»
2. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие. Москва, 2013. – 376 с.
3. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. Москва: АСВ, 2009.– 360 с.
4. Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. Под редакцией академика РААСН А.С. Городецкого Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015. Руководство пользователя. Обучающие примеры. – Москва: Электронное издание, 2015. – 460 с.

Исходные данные к расчету рамы многоэтажного здания на действие ветровой нагрузки

№ вар.	Номер ветрового района	Тип местности	Пролет L, м	Кол-во пролетов	Шаг колонн м	Высота этажа h, м	Кол-во этажей	Нагрузки на покрытие		Нагрузки на перекрытия		Размеры сечения	
								пост., кН/м ²	врем., кН/м ²	пост., кН/м	врем., кН/м	колонна	ригель
1	Ia	A	6	3	6	3.0	5	5,0	5,6	10,1	2,4	400x400	400x600
2	I	B	9	2	6	3.3	6	5,5	4,8	12,2	1,95	500x500	500x700
3	II	C	12	1	6	3.6	7	6,0	4,0	13,3	1,95	400x600	400x800
4	III	A	9	2	9	3.9	8	4,9	3,2	14,4	4,8	400x500	400x600
5	IV	B	12	3	6	4.2	9	5,9	2,4	15,5	3,6	300x600	300x700
6	V	C	6	2	6	4.6	5	6,3	1,8	16,6	2,4	400x400	400x600
7	VI	A	6	3	6	3.0	6	4,6	1,2	10,5	1,95	500x500	500x700
8	VII	B	6	2	9	3.3	7	5,4	0,8	12,8	1,95	400x600	400x700
9	Ia	C	6	2	6	3.6	8	5,3	2,4	13,8	4,8	400x500	400x800
10	I	A	9	3	6	3.9	9	5,0	4,8	14,8	3,6	300x600	300x800
11	II	B	9	2	6	4.2	5	5,7	4,0	15,9	2,4	400x400	400x800
12	III	C	9	2	6	4.6	5	5,0	3,2	16,9	1,95	500x500	500x800
13	IV	A	9	2	6	4.8	6	5,5	2,4	11,1	1,95	400x600	400x800
14	V	B	9	3	6	3.0	7	6,0	1,8	13,2	4,8	400x500	400x800
15	VI	C	12	1	6	3.3	8	4,9	1,2	16,3	3,6	600x600	600x800
16	Ia	A	6	1	6	3.6	9	5,9	0,8	14,4	2,4	400x400	400x800
17	I	B	6	2	6	3.9	5	6,3	2,4	17,5	1,95	500x500	500x800
18	II	C	6	2	9	4.2	5	4,6	4,8	19,6	1,95	400x600	400x800
19	III	A	6	2	6	3.0	6	5,4	4,0	10,9	4,8	400x500	400x800
20	IV	B	9	1	6	3.3	7	5,3	3,2	12,2	3,6	600x600	600x800
21	V	C	12	3	6	3.6	8	5,0	2,4	13,9	2,4	400x400	400x800

22	VI	A	6	3	6	3.9	9	5,7	4,8	14,9	1,95	500x500	500x800
23	Ia	B	9	3	9	4.2	5	5,0	4,0	15,8	1,95	400x600	400x800
24	I	C	6	2	6	4.6	5	5,0	3,2	12,6	4,8	400x500	400x800
25	II	A	6	2	6	3.0	6	5,5	2,4	10,1	3,6	600x600	600x800
26	III	B	6	3	6	3.3	7	6,0	1,8	12,2	2,4	400x400	400x800
27	IV	C	6	2	6	3.6	8	4,9	1,2	13,3	1,95	500x500	500x700
28	V	A	6	3	9	3.9	9	5,9	0,8	14,4	1,95	400x600	400x700
29	VI	B	9	1	6	4.2	5	6,3	5,6	15,5	4,8	400x500	400x700
30	II	C	12	2	6	4.6	6	4,6	4,8	16,6	3,6	600x600	600x700

Для колонн и ригелей принимать бетон класса В 25. Начальный модуль упругости бетона $E = 3 \cdot 10^7$ кН/м²

Требуется произвести расчет рамы на действие ветровой нагрузки с учетом пульсационной составляющей в Программном комплексе Лира-САПР.

Нуриева Дания Мансуровна

**РАСЧЕТ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ
НА ДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ПУЛЬСАЦИОННОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям по дисциплине «Динамический расчет зданий
и сооружений» для направления подготовки 08.03.01 «Строительство»