

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений
и инженерной геологии

Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Динамический расчет зданий и сооружений», «Динамика и устойчивость сооружений» для специальностей и направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Казань
2017 г.

УДК 624.04
ББК 38.112
Н90

Нуриева Д.М.

Н90 Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Динамический расчет зданий и сооружений», «Динамика и устойчивость сооружений» для специальностей и направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»/ Д.М. Нуриева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит.ун-та, 2017. – 30 с.

В учебно-методическом пособии приведены примеры решения характерных задач из курса «Динамика и устойчивость сооружений».

Учебно-методическое пособие рекомендовано для использования студентами специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений (специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений») и направления подготовки 08.03.01 Строительство (направленность (профиль) «Промышленное и гражданское строительство») при выполнении практических занятий и расчетно-графических работ по дисциплинам «Динамика и устойчивость сооружений», «Динамический расчет зданий и сооружений».

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доц. каф. механики, к.т.н.

В.И. Лукашенко

Главный инженер проекта ООО «ТрансИнжКом»

А.Г. Покровская

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2017

© Нуриева Д.М., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЗАДАЧА № 1. Определение параметров собственных колебаний консервативных статически определимых систем с одной степенью свободы.	5
ЗАДАЧА № 2. Определение параметров собственных колебаний консервативных статически определимых систем с конечным числом степеней свободы	8
ЗАДАЧА № 3. Определение периодов собственных колебаний рамы многоэтажного каркасного здания инженерным способом	9
ЗАДАЧА № 4. Расчет балочных систем с одной степенью свободы на действие вибрационной нагрузки	10
ЗАДАЧА № 5. Расчет балочных систем на действие импульса. ...	11
ЗАДАЧА № 6. Расчет балочных систем на действие ударной нагрузки	12
ЗАДАЧА № 7. Определение ветровых нагрузок на здания и сооружения в соответствии с действующими российскими нормами проектирования.	13
ЗАДАЧА № 8. Расчет рамы многоэтажного каркасного здания на действие ветра с применением расчетного комплекса ЛиРА-САПР	17
ЛИТЕРАТУРА.	30

ВВЕДЕНИЕ

Расчет на динамические воздействия относится к специальному курсу строительной механики «Динамика сооружений». Воздействия на конструкции могут быть как силовыми, так и динамическими, то есть вызванными движениями основания. И те, и другие могут создаваться как силами природы, так и в результате деятельности человека. Силовым фактором в природе в первую очередь является давление ветра, особенно опасное для высотных зданий и сооружений. Другим бедствием для человека являются землетрясения, ежегодно уносящие сотни, а порой и тысячи жизней. Колебания создаваемые вследствие деятельности человека весьма разнообразны. Основную часть из них создают неуравновешенные вращающиеся части машин, станков и других механизмов. Большая роль принадлежит транспорту: трамваям, автомашинам, поездам метро и железной дороги, проходящей по территории населенных пунктов. Заметные колебания возникают при забивке свай при строительстве новых зданий.

Целью динамического расчета сооружений и отдельных конструкций является обеспечение их несущей способности при совместном действии статических и динамических нагрузок, ограничение уровня колебаний для исключения вредного влияния колебаний на людей и технологические процессы. В процессе проведения динамического расчета производится проверка допустимости внутренних усилий и перемещений с точки зрения выполнения прочности, жесткости и выносливости, санитарно-гигиенических норм, технологии производства. При невыполнении допустимых норм возникает необходимость в уменьшении уровня колебаний. В целом динамический расчет сооружения состоит из нескольких этапов: определение динамических характеристик материалов; определение параметров динамического воздействия и теоретический расчет на колебания; оценка возможности возведения или эксплуатации сооружения.

ЗАДАЧА 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСЕРВАТИВНЫХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ

Если упругая система в результате взаимодействия с каким-либо физическим телом оказывается выведенным из состояния равновесия, то после прекращения указанного взаимодействия система будет совершать свободные колебания. В реальных условиях свободные колебания затухают. Это связано с уменьшением энергии диссипативной системы за счет внутреннего и внешнего трения. Энергия консервативной системы не убывает, поэтому ее свободные колебания не должны затухать. Такие незатухающие колебания консервативной системы называются *собственными*. Это связано с тем, что формы и частоты собственных колебаний определяются только собственными характеристиками системы (распределением масс, жесткостей, геометрией, типом опор и т.п.). Поскольку консервативных систем в природе не существует, собственные колебания возможны только теоретически. Но их изучение важно, так как параметры собственных колебаний позволяют выявить возможное поведение конструкции при реальных динамических воздействиях.

Параметры собственных колебаний:

- период собственных колебаний T ;
- техническая частота собственных колебаний f ;
- круговая частота собственных колебаний ω .

Для одномассовой системы параметры собственных колебаний, определяются по формулам [2,3]:

$$T = 2\pi\sqrt{m\delta_{11}}, \quad f = 1/T, \quad \omega = 2\pi/T = 1/\sqrt{m\delta_{11}} \quad (1.1)$$

где m – сосредоточенная масса; δ_{11} – перемещение точки с массой m по направлению ее степени свободы от единичной силы, действующей в том же направлении, определяемое по формуле Мора с использованием единичной эпюры \bar{M}_1 (рис. 1.1):

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1}{EI} ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} H \cdot H \cdot \frac{2}{3} H \right) = \frac{H^3}{3EI}, \quad (1.2)$$

где H – высота (длина) консольного стержня;

EI – изгибная жесткость консольного стержня; E – модуль деформации материала стержня; I – момент инерции сечения стержня.

Также учитывая, что $\delta_{11} = \delta = 1/r$ [2,3], период собственных колебаний одномассовой системы может быть определен по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{r}}, \quad (1.3)$$

где r – коэффициент жесткости консольного стержня; определяется по формуле:

$$r = \frac{3EI}{H^3}. \quad (1.4)$$

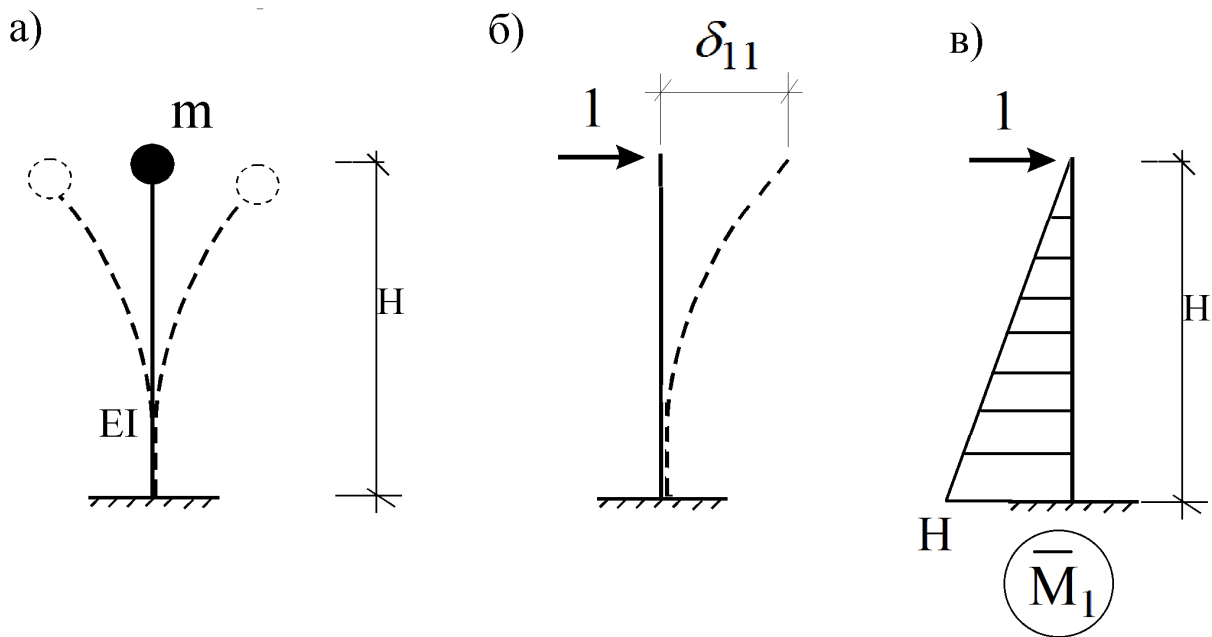


Рис.1.1. Формы колебаний:

- а) расчетная динамическая модель системы (конструкции);
- б) деформированное состояние системы при действии единичной силы;
- в) единичная эпюра моментов.

Пример

Для схемы, показанной на рис. 1.1. необходимо определить параметры собственных колебаний (T, f, ω) при следующих исходных данных:

- точечная масса $m = 1213,5$ т;
- жесткость консольного стержня $EI = 1780680$ кН/м².
- высота консольного стержня $H = 6$ м.

Решение.

Если пренебречь продольными деформациями стержня, точечная масса будет иметь одну степень свободы (горизонтальное перемещение). Приложим по направлению ее степени свободы единичную инерционную силу, и построим от ее воздействия единичную эпюру изгибающих моментов \bar{M}_1 (рис. 1.1 б, в).

Перемещение точки с массой по направлению ее степени свободы от единичной силы (δ_{11}) определим по формуле Мора:

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1}{EI} ds = \bar{M} \times \bar{M} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} H \cdot H \cdot \frac{2}{3} H \right) = \frac{H^3}{3(EI)} = \frac{6^3}{3 \cdot 1780680} = 4,04 \cdot 10^{-5} \frac{м}{кН}.$$

Тогда период собственных колебаний:

$$T = 2\pi \sqrt{m \delta_{11}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{1213,5 \cdot 4,04 \cdot 10^{-5}} = 1,391 с.$$

Циклическая частота:

$$f = 1/T = 1/1,391 = 0,716 \text{ Гц.}$$

$$\text{Круговая частота: } \omega = 2\pi / T = 2 \cdot 3,14 / 1,396 = 4,5 \text{ с}^{-1}.$$

ЗАДАЧА № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСЕРВАТИВНЫХ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

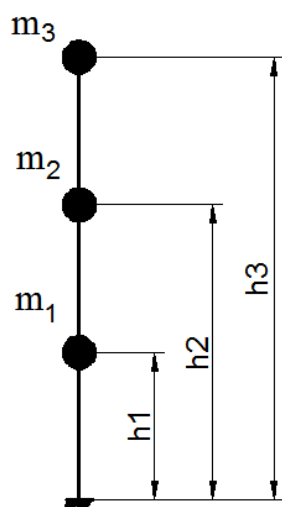


Рис. 2.1. Расчетная динамическая модель

Пример.

В качестве примера рассмотрено трехэтажное здание. Его расчетная схема может быть принята в виде консольного стержня с массами, сосредоточенными в уровнях перекрытий и покрытия (рис. 2.1), то есть в виде 3-х массовой системы.

Массы: $m_1 = m_2 = 802,4$ т, $m_3 = 730,5$ т.

Высота этажа принята равной 8,25 м. Тогда:

$h_1 = 8,25$ м; $h_2 = 16,5$; $h_3 = 24,75$ м.

Изгибная жесткость консольного стержня: $EI = 19,321 \cdot 10^7$ кН·м².

Требуется определить формы, периоды, частоты, амплитуды собственных колебаний системы.

Решение.

Собственные частоты определяем с помощью векового уравнения, получаемого из определителя:

$$D = \begin{vmatrix} (\delta_{11}m_1 - \lambda) & \delta_{12}m_2 & \delta_{13}m_3 \\ \delta_{21}m_1 & (\delta_{22}m_2 - \lambda) & \delta_{23}m_3 \\ \delta_{31}m_1 & \delta_{32}m_2 & (\delta_{33}m_3 - \lambda) \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

Коэффициенты матрицы податливости δ_{ik} получаем известным способом путем перемножения эпюр изгибающих моментов, построенных для консольного стержня от действия единичных сил, приложенных к точкам расположения масс (рис. 2.2):

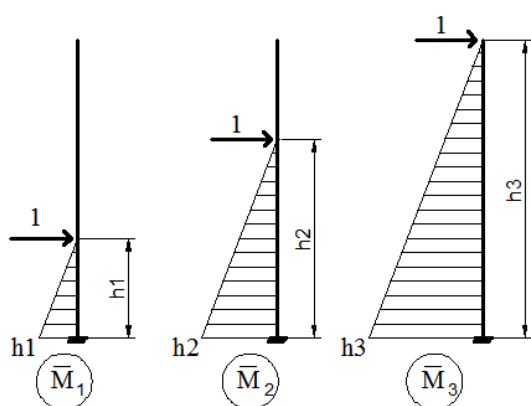


Рис. 2.2. Единичные эпюры моментов

- при $i = j$ $\delta_{ii} = h_i^3 / 3EI$;

- при $i < j$ $\delta_{ij} = \frac{h_i}{6EI} [2h_i h_j + (h_j - h_i)]$;

- при $i > j$ $\delta_{ij} = \frac{h_i}{6EI} [2h_i h_j + (h_i - h_j)]$.

подсчитав эти коэффициенты, получаем матрицу податливости (м/Н).

$$\delta = \begin{vmatrix} 9,687 \cdot 10^{-10} & 2,422 \cdot 10^{-9} & 3,875 \cdot 10^{-9} \\ 2,422 \cdot 10^{-9} & 7,750 \cdot 10^{-9} & 1,356 \cdot 10^{-8} \\ 3,875 \cdot 10^{-9} & 1,356 \cdot 10^{-8} & 2,616 \cdot 10^{-8} \end{vmatrix}. \quad (2.2)$$

Раскрывая определитель (2.2), получаем кубическое уравнение относительно параметра λ :

$$a_3 \lambda^3 - a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 = 0$$

где $a_0 = -1,39 \cdot 10^{-9}$; $a_1 = -1,811 \cdot 10^{-5}$; $a_2 = 0,026$; $a_3 = 1$.

Решая данное уравнение, находим:

$$\lambda_1 = 0,025; \lambda_2 = 6,233 \cdot 10^{-4}; \lambda_3 = 8,781 \cdot 10^{-5}.$$

Тогда собственные частоты, определяемые по формуле $\omega_i = \sqrt{1/\lambda_i}$ оказываются равными (c^{-1}): $\omega_1 = 6,276$; $\omega_2 = 40,056$; $\omega_3 = 106,714$.

Соответствующие периоды собственных колебаний, вычисляемые по формуле: $T_i = 2\pi/\omega_i$, равны:

$$T_1 = 1,0 \text{ с}; T_2 = 0,157 \text{ с}; T_3 = 0,059.$$

Вычисляя собственные векторы матрицы (5), находим

$$V_1^T = \{0,157 \quad 0,533 \quad 1,0\};$$

$$V_2^T = \{-1,172 \quad -1,364 \quad 1,0\};$$

$$V_3^T = \{4,212 \quad -2,951 \quad 1,0\}.$$

Формы собственных колебаний, соответствующие этим векторам, показаны на рис. 2.3.

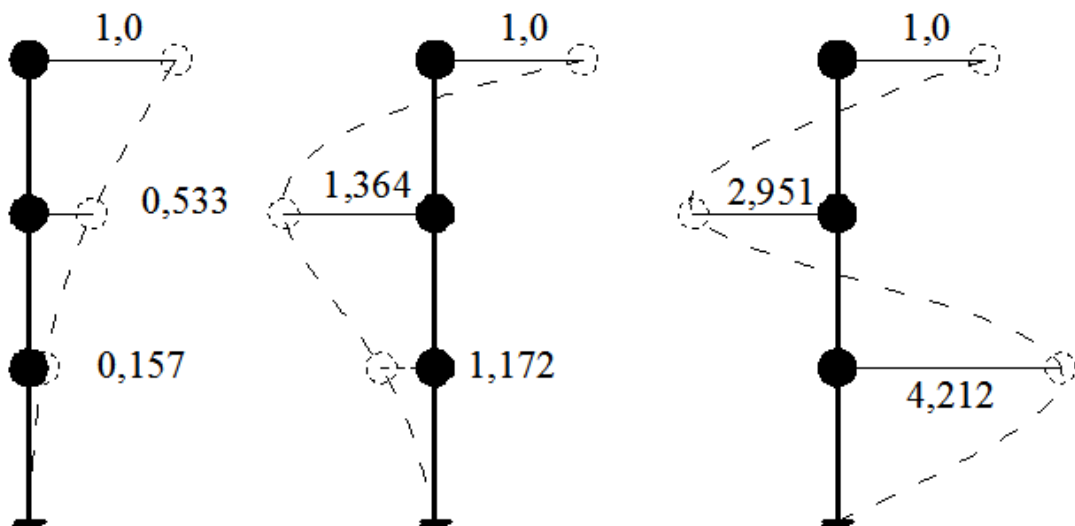


Рис. 2.3. Формы собственных колебаний.

ЗАДАЧА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ МЕТОДОМ

Пример.

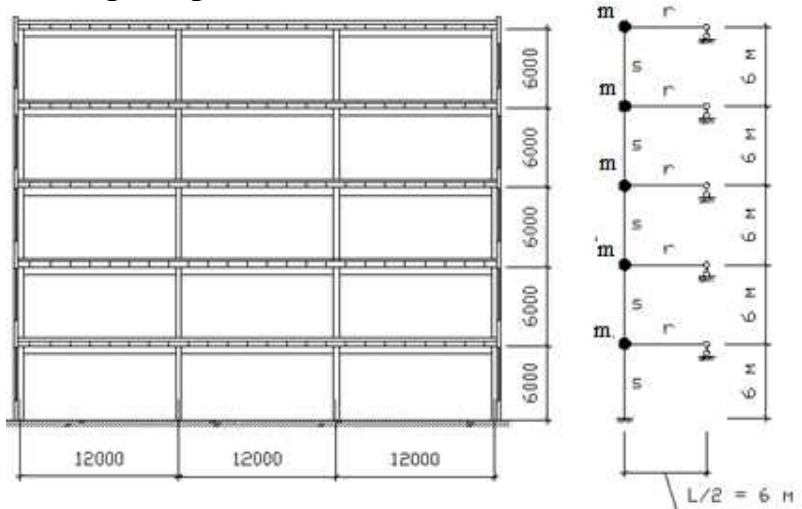


Рис. 3.1. Расчетная схема типовой рамы.

Дано 5-этажное каркасное здание.
 Количество пролетов – 3; ширина пролета 12 м; высота этажа – 6 м.
 Жесткость: колонн $(EI)_k = 64365 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$; ригелей $(EI)_p = 198400 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$.
 Масса типового яруса $m = 222 \text{ т}$. Требуется определить периоды собственных колебаний типовой поперечной рамы здания.

Решение.

Для зданий рамной системы можно приближенно определить периоды горизонтальных колебаний рамной системы, используя формулу:

$$T_i = \frac{4H}{2i-1} \sqrt{\frac{m}{Kl}}, \quad (3.1)$$

здесь i – номер формы колебаний, $i=1,2,3$; $m = 222 \text{ т}$ – масса одного типового яруса; $l = 6 \text{ м}$ – высота этажа; $H = H_0/n/(n-0.5) = 30.5/(5-0.5) = 33.3 \text{ м}$ – расчетная высота здания; n – количество этажей; $H_0 = 30 \text{ м}$ – расстояние от обреза фундамента до ригеля верхнего яруса; K – сдвиговая жесткость многоэтажной рамы, определяется по формуле:

$$K = \frac{12}{l(1/r + 1/s)} = \frac{12}{6(1/49600 + 1/43090)} = 46116.38 \text{ кН},$$

здесь r – сумма погонных жесткостей ригелей одного этажа; s – сумма погонных жесткостей стоек одного этажа (рис. 2.7.г).

Погонная жесткость одной стойки: $s_1 = (EI)_k / l_k = 64635/6 = 10772.5 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $(EI)_k$ – жесткость одной колонны, l_k – длина колонны в пределах этажа.

Сумма погонных жесткостей 4-х стоек этажа: $s = 4 \cdot s_1 = 4 \cdot 10772.5 = 43090 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Погонная жесткость одного ригеля: $r_1 = (EI)_p / l_p = 198400/12 = 16533.3 \text{ кН}\cdot\text{м}$, где $(EI)_p$ – жесткость ригеля, l_p – длина ригеля.

Сумма погонных жесткостей 3-х ригелей этажа:

$$r = 3 \cdot r_1 = 3 \cdot 16533.3 = 49600 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Периоды первых 3-х тона колебаний: $T_1 = \frac{4 \cdot 33.3}{2 \cdot 1 - 1} \sqrt{\frac{222}{46446.38 \cdot 6}} = 3.77 \text{ с},$

$$T_2 = \frac{4 \cdot 33.3}{2 \cdot 2 - 1} \sqrt{\frac{222}{46446.38 \cdot 6}} = 1.25 \text{ с}; \quad T_3 = \frac{4 \cdot 33.3}{2 \cdot 3 - 1} \sqrt{\frac{222}{46446.38 \cdot 6}} = 0.754 \text{ с}.$$

ЗАДАЧА № 4. РАСЧЕТ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ НА ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

В практике проектирования часто встречается вынуждающее воздействие в виде вибрационной нагрузки. Чаще всего она сопутствует работе механизмов и машин с неуравновешенными вращающимися частями. Закон изменения такой нагрузки обычно записывается в виде гармоники: $P(t) = P_0 \sin \theta t$, P_0 - максимальная амплитуда нагрузки; θ - частота вынуждающей нагрузки. Сила $P(t)$, передаваясь на перекрытия или фундамент, вызывает вынужденные колебания последних.

В практических расчетах решение данной задачи сводится к упрощенному подходу, когда изменяющаяся во времени нагрузка $P(t)$ заменяется эквивалентной статической силой $P_{эkv} = P_0 \mu$, где μ - коэффициента динамичности, учитывающий динамический эффект нагрузки и определяемый по формуле:

а) $\mu = \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2}$ (4.1)

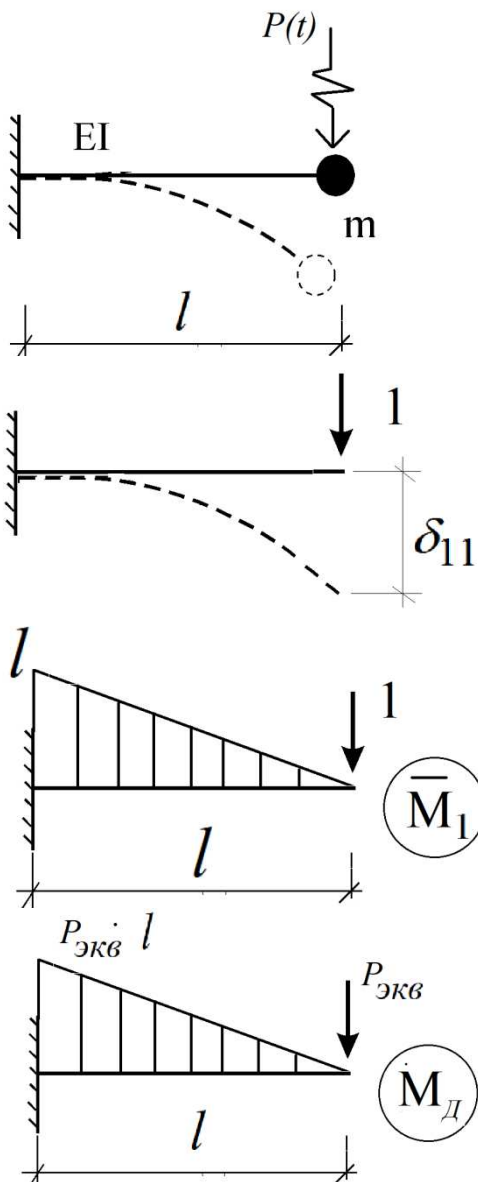


Рис. 4.1.

Пример. Дана упругая консольная балка длиной 6 м, жесткостью $EI = 103800 \text{ кН/м}^2$ с точечной массой $m = 1 \text{ т}$ ($\text{кН} \cdot \text{с}^2/\text{м}$), сосредоточенной на конце консоли. На массу действует сила $P(t) = P_0 \sin \theta t$ (рис. 4.1а). Амплитуда вынуждающей нагрузки $P_0 = 2 \text{ кН}$, частота вынуждающей нагрузки $\theta = 12,56 \text{ с}^{-1}$. Требуется определить максимальный изгибающий момент и перемещение балки в точке расположения массы.

Решение. Масса имеет одну динамическую степень свободы (перемещение по вертикали). По направлению степени свободы приложим единичную силу и построим единичную эпюру изгибающих моментов \bar{M}_1 (рис. 4.1 б, в).

Перемещение точки с массой по направлению ее степени свободы от единичной силы (δ_{11}) определим по формуле Мора:

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_1}{EI} ds = \bar{M}_1 \times \bar{M}_1 = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} l \cdot l \cdot \frac{2}{3} l \right) = \frac{l^3}{3(EI)} = \frac{6^3}{3 \cdot 103800} = 6,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{кН}}$$

Круговую частоту собственных колебаний балки определим по формуле (1.1):

$$\omega = 1/\sqrt{m\delta_{11}} = 1/\sqrt{16,9 \cdot 10^{-4}} = 37,96 \text{ с}^{-1}.$$

Вычислим коэффициент динамичности:

$$\mu = \frac{1}{1 - \left(\frac{\theta}{\omega}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{12,56}{37,96}\right)^2} = 1,197.$$

Определим величину эквивалентной силы:

$$P_{\text{экв}} = P_0 \mu = 2 \cdot 1,197 = 2,394 \text{ кН}.$$

Эпюра изгибающих моментов от действия эквивалентной силы показана на рис. 4.1г. Максимальный изгибающий момент расположен в опорном сечении и составляет $M_{\text{дин}}^{\text{max}} = P_{\text{экв}} \cdot l = 2,394 \cdot 6 = 14,364 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Перемещение в точке расположения массы от действия эквивалентной силы:

$$y_{\text{дин}} = \delta_{11} \cdot P_{\text{экв}} = 6,9 \cdot 10^{-4} \cdot 2,394 = 16,52 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 1,652 \text{ мм}.$$

ЗАДАЧА № 5. РАСЧЕТ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ НА ДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСА

Импульсом S называется произведение силы P_0 на время ее действия τ . ($S = P_0 \cdot \tau$) Решение задачи на действие импульса при малом τ ($\tau < 1/10\omega$) часто сводится к вычислению эквивалентной силы и определению реакции конструкции на ее действие. Эквивалентная сила вычисляется по формуле:

$$P_{\text{экв}} = \mu P_0. \text{ Коэффициент динамичности } \mu = \frac{S}{P_0} \omega, \omega - \text{ частота собственных}$$

колебаний системы.

Пример.

На массу, расположенную на балке (рис.4.1, пример 4), по направлению колебания массы $m = 1 \text{ т}$ действует сила интенсивностью $P_0 = 10 \text{ кН}$ продолжительностью $\tau = 0,02 \text{ с}$. Длина балки 6 м , изгибная жесткость балки $EI = 103800 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$. Требуется определить максимальный момент от действия импульсной нагрузки и прогиб (перемещение) балки в точке действия импульса.

Решение. Круговая частота собственных колебаний системы определена в Примере 2: $\omega = 37,96 \text{ с}^{-1}$.

Определим коэффициент динамичности:

$$\mu = \frac{S}{P_0} \omega = \frac{P_0 \tau}{P_0} \omega = \tau \omega = 0,02 \cdot 37,96 = 0,7592.$$

Величина эквивалентной силы: $P_{\text{экв}} = P_0 \mu = 10 \cdot 0,7592 = 7,592 \text{ кН}$.

Максимальный изгибающий момент: $M_{\text{дин}}^{\text{max}} = P_{\text{экв}} \cdot l = 7,592 \cdot 6 = 45,552 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Прогиб в точке приложения силы: $y_{\text{дин}} = \delta_{11} \cdot P_{\text{экв}} = 6,9 \cdot 10^{-4} \cdot 7,592 = 0,0052,38 \text{ м}$.

ЗАДАЧА № 6. РАСЧЕТ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ НА ДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ

В строительной практике часто встречаются случаи удара или падения тела на конструкцию, особенно в период возведения зданий и сооружений. Нередко такие явления приводят к аварийным ситуациям. В практических расчетах ударное воздействие падающего тела заменяется эквивалентной статической силой $P_{э\text{кв}} = Q \mu$, где Q – вес падающего груза, μ – коэффициент динамичности, определяемый по формуле:

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{y_{ст}(1 + m/M)}}, \quad (6.1)$$

где h – высота падения груза; $y_{ст}$ – перемещение в месте удара от действия статически приложенной нагрузки Q ; $M = Q/g$ – масса падающего тела; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; m – масса балки, приведенная к точке удара.

Пример.

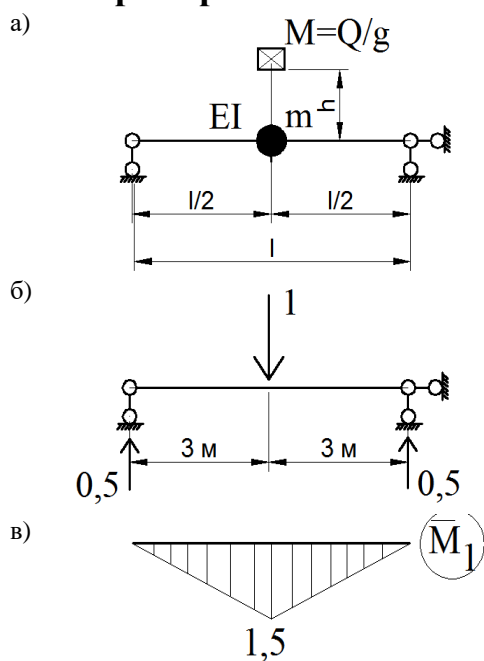


Рис. 6.1.

Дана консольная балка пролетом $l = 6 \text{ м}$, жесткостью $EI = 122400 \text{ кН/м}^2$. Собственный вес балки $Q_6 = 20 \text{ кН}$. На балку падает груз весом $Q = 2 \text{ кН}$ с высоты $h = 0,2 \text{ м}$. Требуется определить силу удара, момент в балке от ударной нагрузки и перемещение в месте удара.

Решение.

Массу падающего груза: $M = Q/g = 0,2 \text{ т}$.
 Масса консольной балки, приведенной к точке удара: $m = 0,5Q_6/g = 0,5 \cdot 20/10 = 1 \text{ т}$.
 Для определения статического прогиба балки приложим в точке падения груза единичную силу и построим единичную эпюру моментов (рис. 6.1 б, в) \bar{M}_1

Перемещение от действия единичной силы:

$$\delta_{11} = \bar{M}_1 \times \bar{M}_1 = \frac{1}{122400} \left(\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,5 \cdot 2 \right) = 3,676 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{кН}}.$$

Перемещение от действия статически приложенной нагрузки Q :

$$y_{ст} = \delta_{11} \times Q = 3,676 \cdot 10^{-5} \cdot 2 = 7,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Коэффициент динамичности:

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{y_{ст}(1 + m/M)}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,2}{7,35 \cdot 10^{-5} (1 + 1/0,2)}} = 31,11.$$

Сила удара: $P_{э\text{кв}} = Q \mu = 2 \cdot 31,11 = 62,22 \text{ кН}$. Максимальный изгибающий момент от падения груза: $M_{дин}^{\text{max}} = P_{э\text{кв}} \cdot \bar{M}_1^{\text{max}} = 62,22 \cdot 3 = 186,66 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Прогиб в точке падения груза: $y_{дин} = y_{ст} \cdot \mu = 7,35 \cdot 10^{-5} \cdot 31,11 = 0,00228 \text{ м}$.

ЗАДАЧА № 7.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЯ И
СООРУЖЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ
РОССИЙСКИМИ НОРМАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

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

$$w = w_m + w_p. \quad (7.1)$$

Средняя составляющая ветровой нагрузки w_m определяется по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (7.2)$$

где w_0 - нормативное, значение ветрового давления, принимается по таблице 7.1; $k(z_e)$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e , определяется по таблице 7.2; c - аэродинамический, принимается для зданий простой конфигурации с плоской кровлей равным 0,8 с наветренной стороны и 0,5 – с подветренной).

Таблица 7.1

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.

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

2. Для зданий:

а) при $h \leq d \rightarrow z_e = h$;	б) при $h \leq 2d$: 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.

Таблица 7.2

Высота z_e , м	Коэффициент k для типов местности		
	A	B	C
≤ 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

Коэффициент $k(z_e)$ определяется по таблице 7.2, 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.

Нормативное 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_1 - по формуле:

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v, \quad (7.3)$$

где w_m - определяется в по формуле (11); $\zeta(z_e)$ - коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 или формуле (11.6) для эквивалентной высоты z_e ; v - коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, определяемый по таблице 11.5.

Таблица 7.4

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

б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых $f_1 < f_i < f_2$, - по формуле:

$$w_p = w_m \xi \zeta(z_e) v, \quad (7.4)$$

где f_2 - вторая собственная частота;

ξ - коэффициент динамичности, определяемый по рисунку 7.1 в зависимости от параметра логарифмического декремента колебаний δ и параметра ε_1 , который определяется по формуле (14) для первой собственной частоты f_1 ;

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{\text{ЭК}}) \gamma_f}}{940 f_1}. \quad (7.5)$$

Здесь w_0 (Па) - нормативное значение давления ветра (таблица 7.1); $k(z_{\text{ЭК}})$ - коэффициент, учитывающий изменение давления ветра для высоты $z_{\text{ЭК}}$ принимается по таблице 7.2; γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, принимается равным 1,4 для ветровой нагрузки; Для конструктивных элементов $z_{\text{ЭК}}$ - высота z , на которой они расположены; для зданий и сооружений $z_{\text{ЭК}} = 0,7h$, где h - высота сооружений.

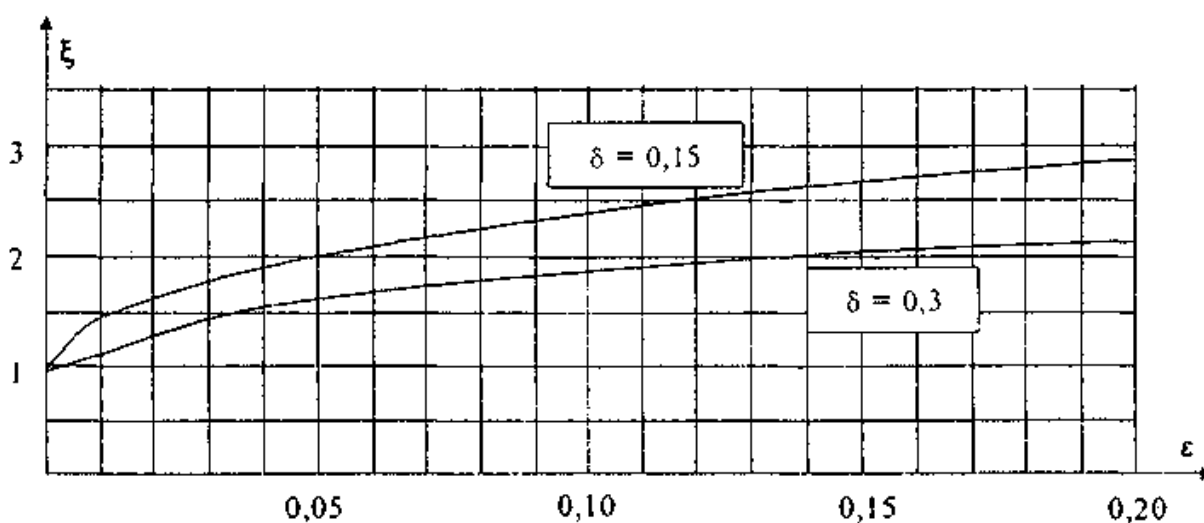


Рис. 7.1. Коэффициенты динамичности.

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:

$$f_s < f_l < f_{s+1};$$

Расчет производится с учетом программных комплексов (см. пример 8).

Предельное значение частоты собственных колебаний f_l , Гц, следует определять по таблице 7.5.

Таблица 7.5

Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Ж)	f_l , Гц	
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,15$
Ia	0,85	2,6
I	0,95	2,9
II	1,1	3,4
III	1,2	3,8
IV	1,4	4,3
V	1,6	5,0
VI	1,7	5,6
VII	1,9	5,9

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 постаментов $\delta = 0,15$.

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.

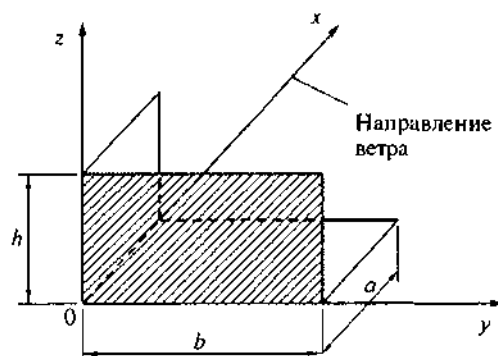


Рис. 7.3. Основная система координат при определении корреляции v .

Если расчетная поверхность близка к прямоугольнику, ориентированному так, что его стороны параллельны основным осям (рисунок 11.2), то коэффициент v следует определять по таблице 11.6 в зависимости от параметров ρ и χ , принимаемых по таблице 11.7.

Таблица 7.6

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 7.7

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

Коэффициент надежности по ветровой нагрузке принимается равным 1,4.

ЗАДАЧА № 8. РАСЧЕТ РАМЫ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕТРА

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: 6м;
- 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.

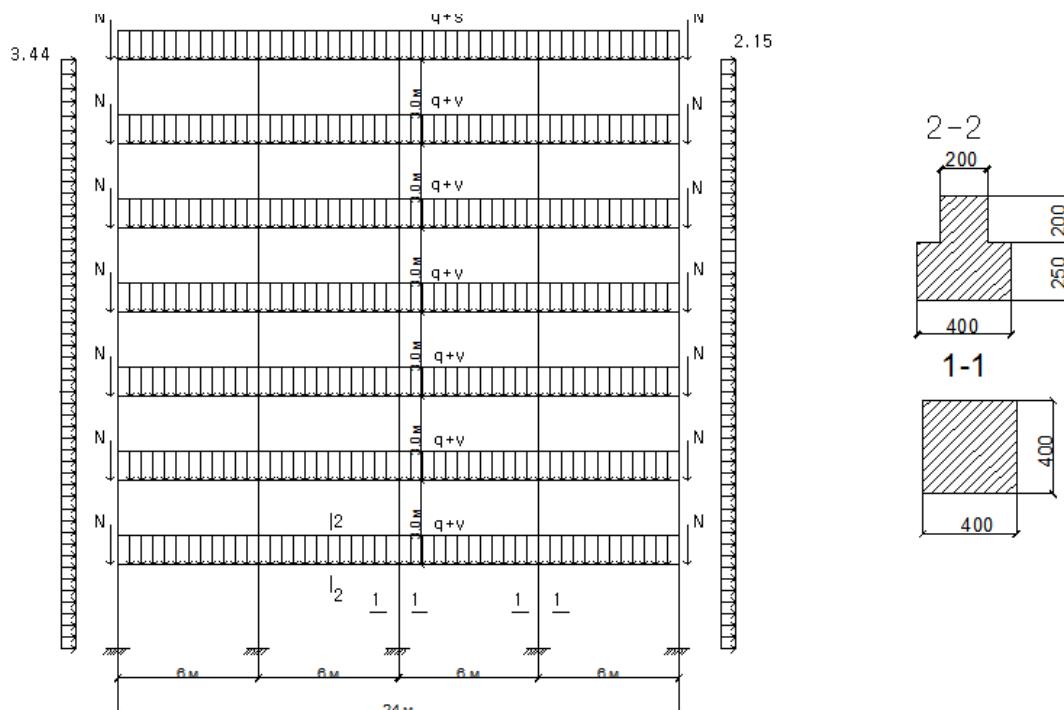



Рис. 8.1. Расчетная схема рамы.

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. 8.1) задайте следующие параметры:
 - признак схемы – 2 (три степени свободы в узле X,Z,Uy);
 - имя создаваемой задачи – **Иванов_ЗПГ304_123** (при выполнении расчетной 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**.

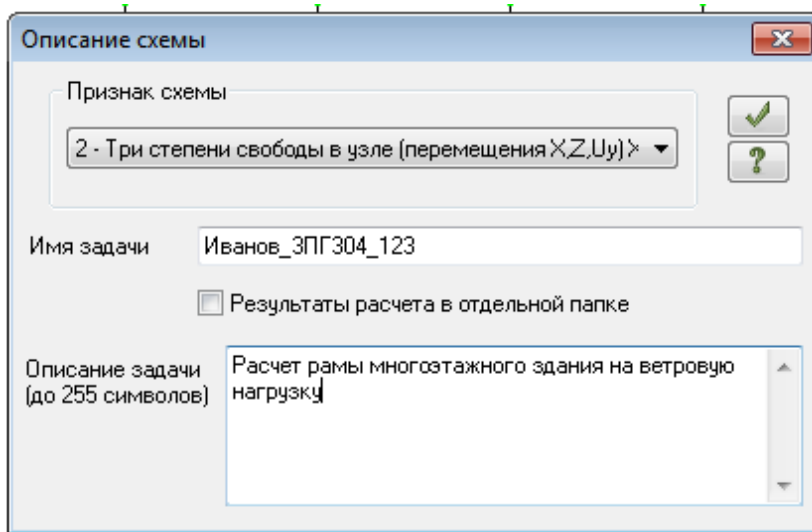


Рис.8.1. Диалоговое окно **Описание схемы**

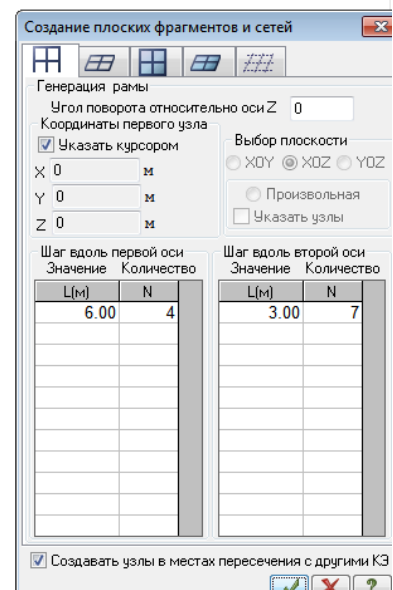



Рис.8.2. Диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**


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 задайте (рис. 8.2):

- 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**.

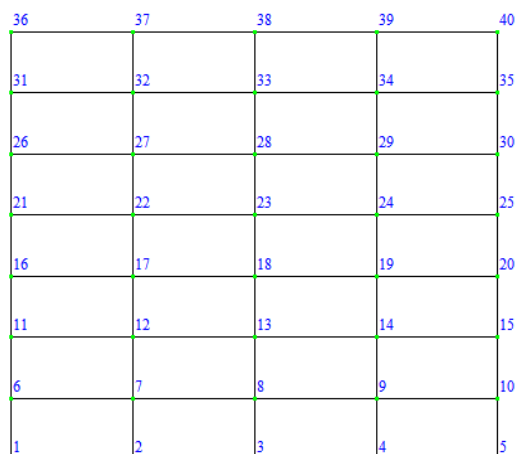



Рис. 8.3. Расчетная схема с отображением номеров узлов

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

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.8.4).
 - 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.8.5);
 - в появившемся окне **Задание стандартного сечения** задайте размеры сечения и параметры материала колонны (рис. 8.6):
 - модуль упругости – $E = 3e7$ кН/м²;

- 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.8.5);

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);

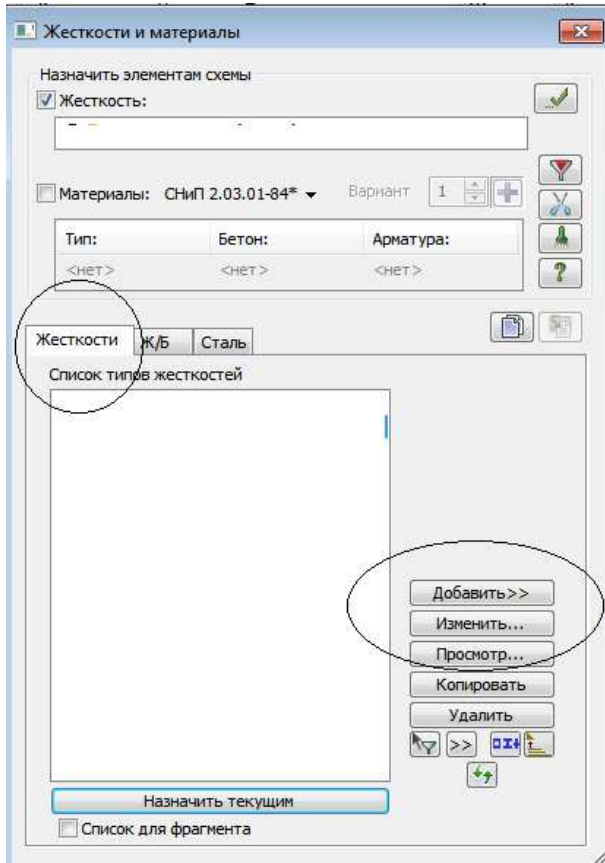


Рис.8.4. Окно
Жесткости и материалы



Рис.8.5. Окно
Добавить жесткость

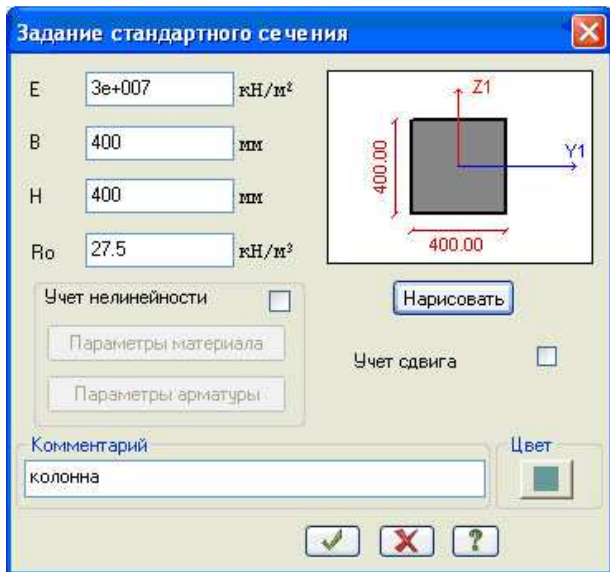


Рис.8.6.

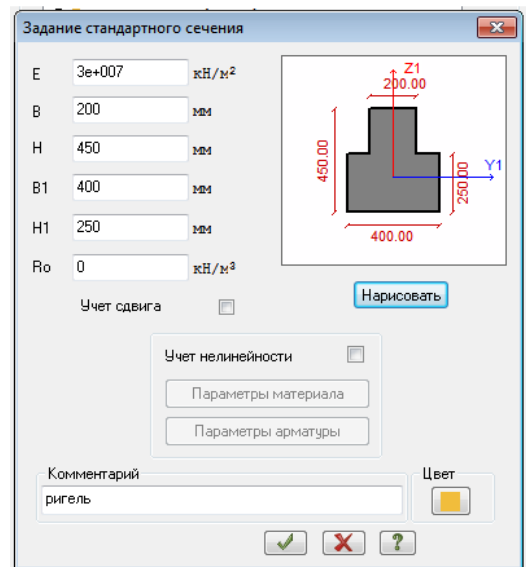






Рис.8.7.

- 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. 8.8). Для этого при активной кнопке  – **Отметка узлов (Панель выбора)** укажите курсором на эти узлы. Они должны окраситься в красный цвет.

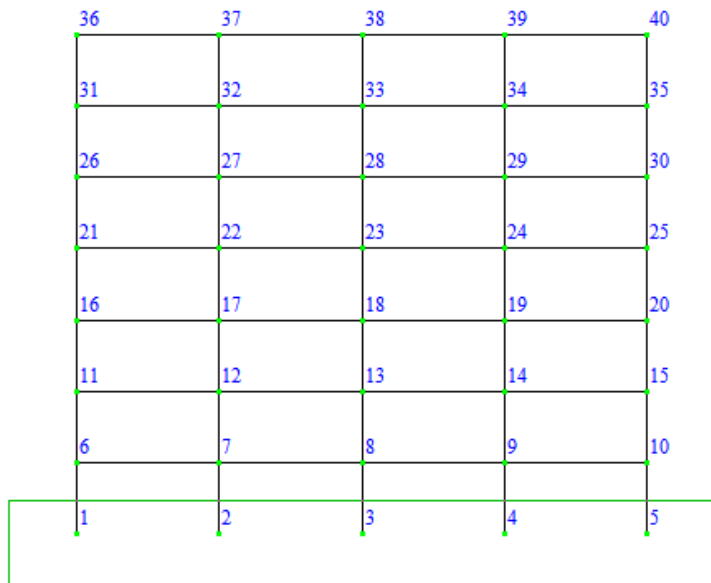


Рис.8.8. Закрепляемые узлы

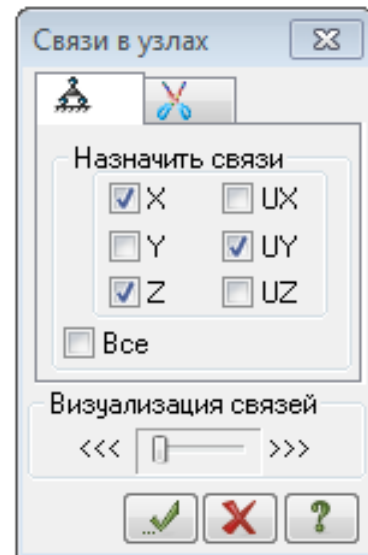











Рис.8.9. Диалоговое окно Связи в узлах

- Щелчком по кнопке  – **Связи** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис. 8.9).
- 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

Задание информации о загрузениях

- Вызовите диалоговое окно **Редактор нагрузений** щелчком по кнопке **Редактор нагрузений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- Для Загружения **1** в поле **Имя** введите: *постоянная*.
- В раскрывающемся списке **Вид** выберите строку: **Постоянное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке нагрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 1 (рис.8.10).
- Чтобы добавить второе загрузение, в поле **Список нагрузений** 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 нагрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 2.

- Для добавления третьего загрузки, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке .
- Для Загрузки 3 в поле **Имя** введите: *снеговая нагрузка*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Кратковременное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 3.
- Для Загрузки 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 загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 4.

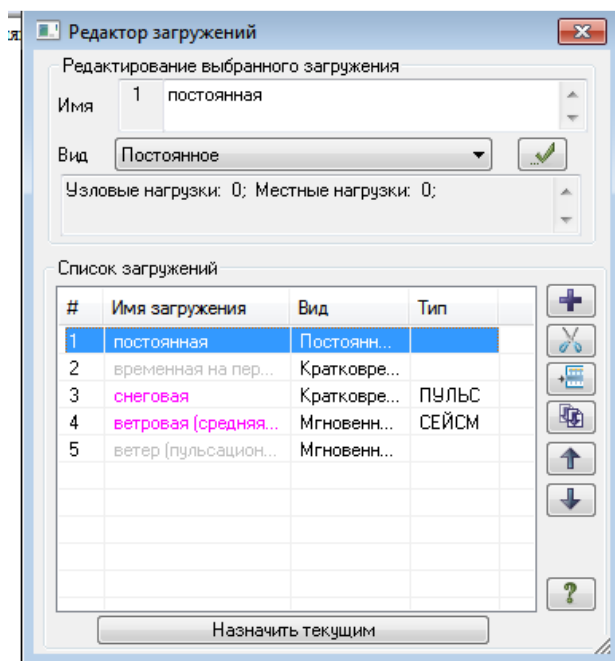


Рис.8.10. Диалоговое окно Редактор загрузений

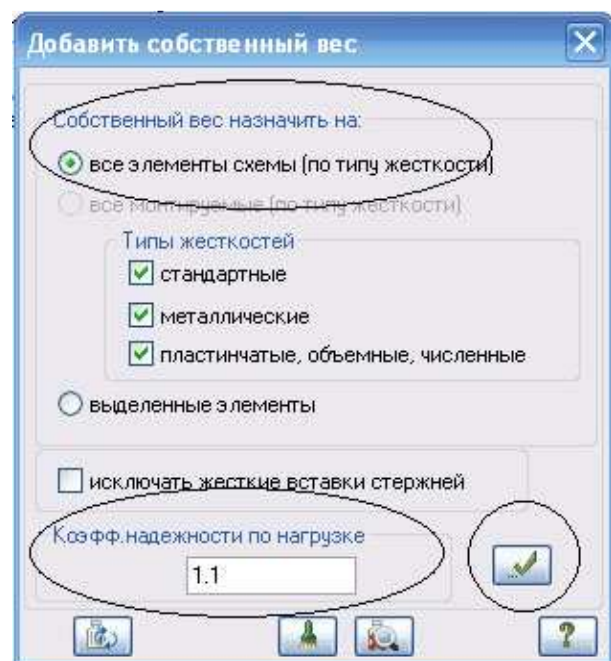







Рис.8.11. Диалоговое окно Добавить собственный вес

- Для Загрузки 5 в поле **Имя** введите: *ветровая (пульсационная составляющая)*.
- В списке **Вид** выберите строку: **Мгновенное** и щелкните по кнопке  – **Применить**. В списке загрузений должна появиться строка, соответствующая загрузению 5.
- Чтобы перейти к непосредственному формированию загрузки 1, в поле **Список загрузений** выделите строку 1. *постоянная* и щелкните по кнопке **Назначить текущим** (можно назначить текущее загрузение двойным щелчком по строке списка).
- Закройте окно **Редактор загрузений** 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.8.1).
- 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.

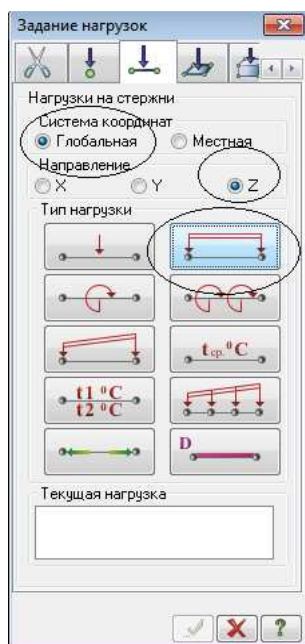


Рис.8.12. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

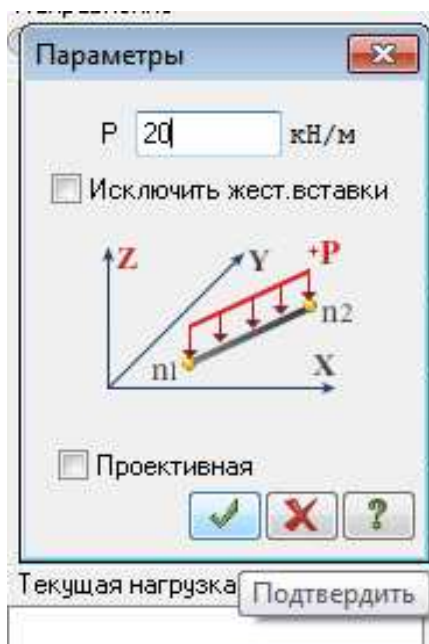





Рис.8.13. Диалоговое окно **Параметры**

- *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.8.12) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 8.13);
 - 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. 8.14). Для этого при активной кнопке  – **Отметка узлов (Панель выбора)** укажите курсором на эти узлы (или используйте «резиновое окно»).
- в окне **Нагрузки на узлы** щелчком по кнопке **Узловая нагрузка** (рис.8.15) вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки** (рис. 8.16);
- в этом окне задайте значение: $N = 30$ кН;
- щелкните по кнопке  – **Подтвердить**;
- отожмите кнопку **Отметка узлов** на **Панели выбора**.

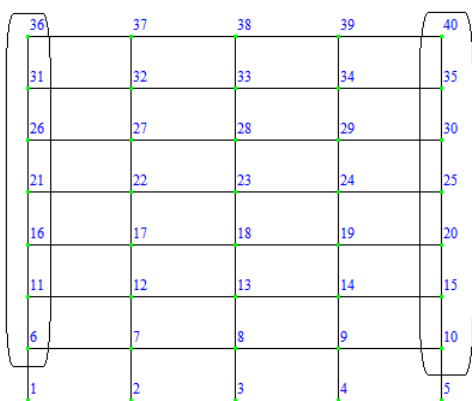


Рис.8.14. Узлы передачи нагрузок от веса стеновых панелей

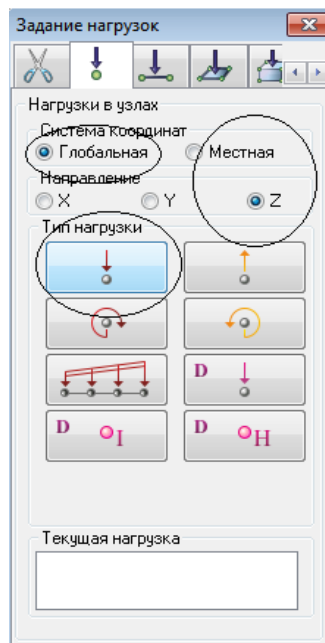


Рис.8.15. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

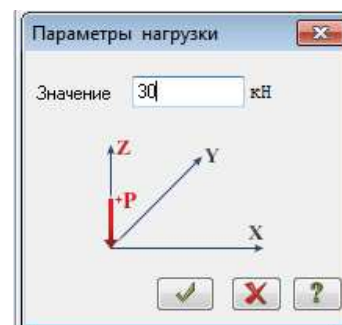






Рис.8.16. Диалоговое окно **Параметры нагрузки**





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.8.12) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 8.13);
 - в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = 12$ кН/м;
 - щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

Формирование загрузки № 3

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – **Следующее загрузие** 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.8.12) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис.8.13);
 - 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 загрузие** 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-ую 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-ой).
 - в окне **Нагрузки на стержни** выберите направление по **X**
 - щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис.8.17) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 8.18а);
 - в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = -3.44$ кН/м;
 - щелкните по кнопке  – Подтвердить.
- *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-ый).
 - в окне **Нагрузки на стержни** выберите направление по **X**
 - щелчком по кнопке **равномерно распределенной нагрузки** (рис.8.17) вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис. 8.18б);

- в этом окне задайте интенсивность нагрузки $p = -2.15$ кН/м;
- щелкните по кнопке  – Подтвердить.

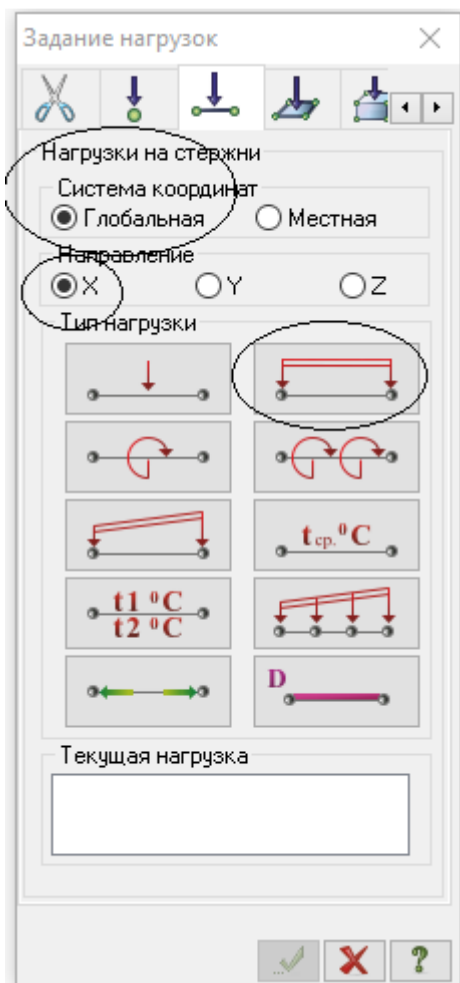


Рис.8.17. Диалоговое окно Задание нагрузок



Рис.8.18. Диалоговое окно Параметры а) с наветренной стороны; б) с подветренной стороны

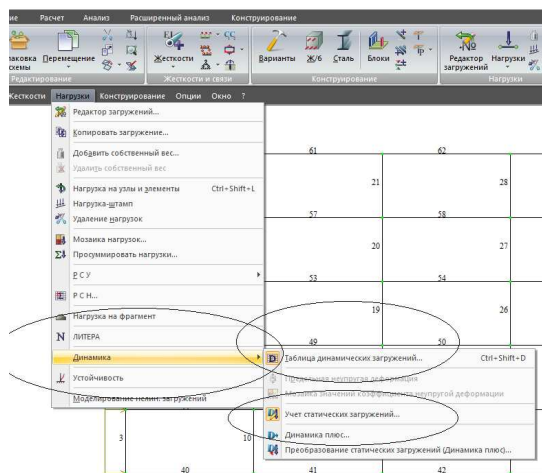




Рис.8.19. Строка Меню Нагрузки, Динамика.

Формирование загрузки № 5

- Смените номер загрузки щелчком по кнопке  – Следующее загрузке в Строке состояния.
 - *Задайте пульсационную составляющую нагрузки вдоль оси X.*
 - В строке Меню найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика** (рис.8.19);
 - В открывшемся меню активируйте функцию **Учет статических нагрузок**. В данной функции производится формирование массовой модели конструкции; в открывшемся окне задайте (рис. 8.20):
 - № динамического нагружения 5;
 - № соответствующего статического нагружения – 1;
 - коэф. Преобразования – 1.0.
- И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).
- № динамического нагружения 5;

- № соответствующего статического нагружения – 2;
- коэф. Преобразования – 1.0.

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- № динамического нагружения 5;
- № соответствующего статического нагружения – 3;
- Коэф. Преобразования – 1.0.

И нажмите кнопку  (появится строка в сводной таблице).

- № динамического В строке **Меню** снова найдите вкладку **Нагрузки**, и активируйте функцию **Динамика**;

В открывшемся меню активируйте функцию **Таблица динамических нагружений** (рис. 8.19).

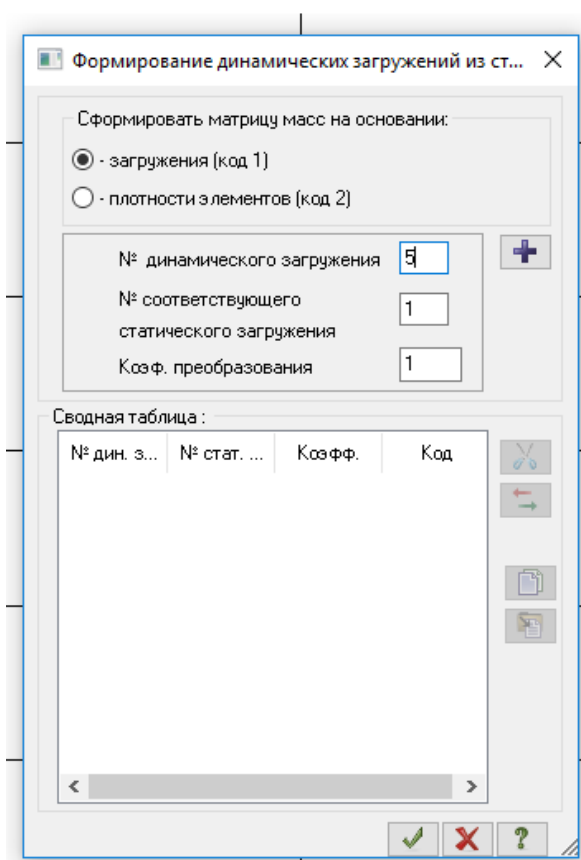


Рис. 8.19.

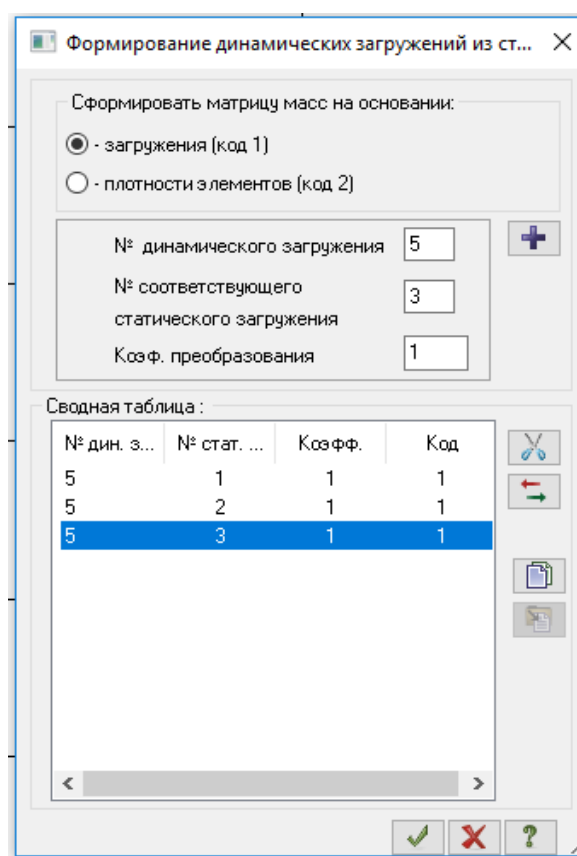


Рис.8.20.

В открывшемся окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** задайте (рис. 8.19):

- № строки характеристик -1;
- № загрузки – 5;
- Наименование воздействия – в выпадающем списке выберите: Пульсационное (12);
- Количество учитываемых форм – 10 .
- № соответствующего статического нагружения – 3. Здесь задаем номер нагружения, в котором задана соответствующая средняя составляющая ветровой нагрузки.

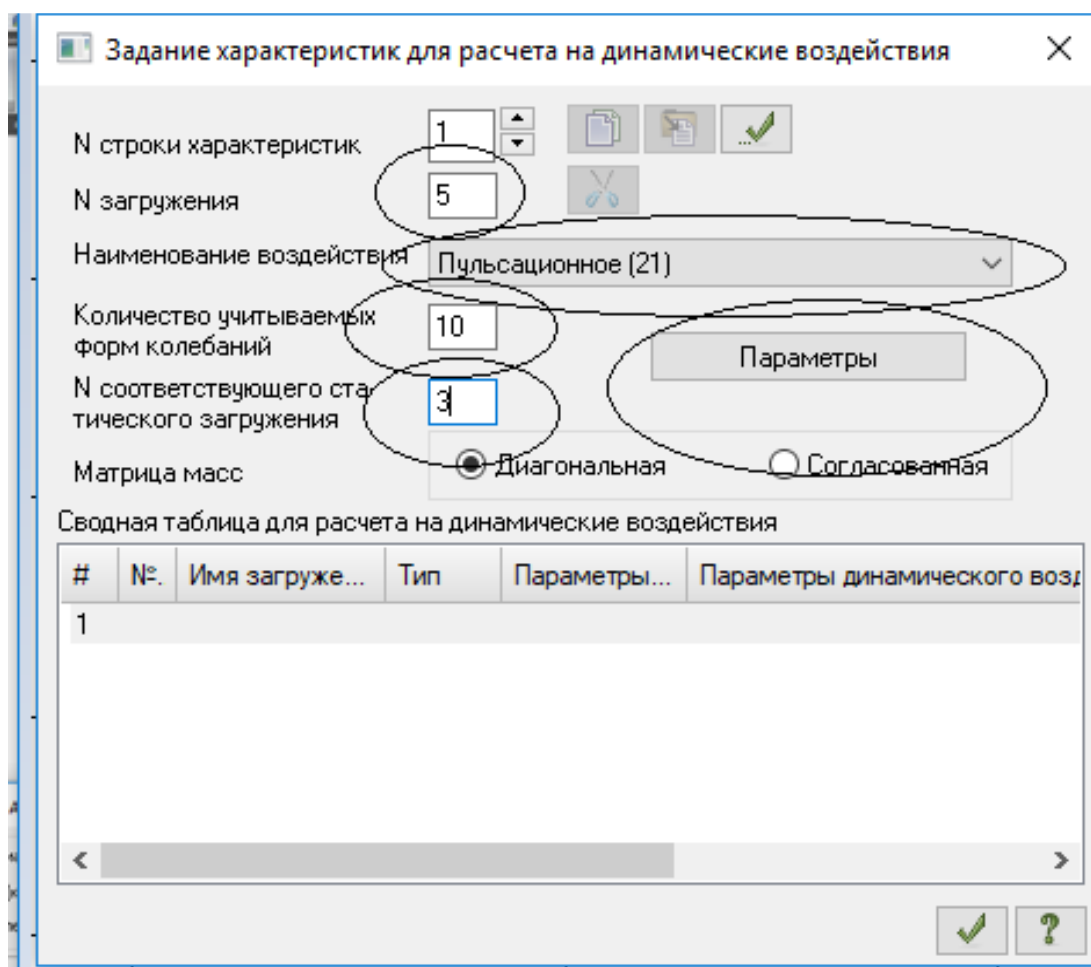


Рис. 8.22.

Окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия**.

Активируйте кнопку **Параметры**. В открывшемся окне **Параметры расчета на ветровые воздействия с учетом пульсаци** задайте необходимые параметры в соответствии с [1] (Рис. 8.23):

- 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 аппликатор 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. 8.23. 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**).

Для отображения результатов расчет необходимо перейти во вкладку **Анализ**.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
2. Шакирзянов Р.А. Основы динамического расчета сооружений. Учебное пособие. – Казань, КИСИ, 1994 – 84 с.
3. Шакирзянов Р.А. Динамика и устойчивость сооружений [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 120 с.
4. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 264 с.

Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Динамический расчет зданий и сооружений», «Динамика и устойчивость сооружений» для специальностей и направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Составитель: Нуриева Дания Мансуровна

Редактор: Л.З. Ханафеева

Издательство
Казанского государственного архитектурно-строительного университета