

## ВЛИЯНИЕ ДИАФРАГМ ЖЕСТКОСТИ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ МОНОЛИТНОГО КАРКАСА

**Гринёв В.В.**, канд. техн. наук, доцент (БНТУ),  
**Гринёв В.Д.**, канд. техн. наук, доцент (ПГУ),  
**Цингель П.А.**, магистр техн. наук. (Белтехнадзор)

**Аннотация.** В статье решается задача снижения материалоёмкости строительства за счет оптимизации количества диафрагм жесткости, и намечаются пути её решения. Сравнительный анализ определения горизонтальных деформаций здания аналитическим методом и методом конечных элементов показал удовлетворительную сходимость результатов. Это дает возможность использовать указанные методики для практических определений деформаций здания с последующим подбором диафрагм жесткости.

### Введение

Для обеспечения общей устойчивости, уменьшения изгибающих моментов в элементах каркасных зданиях используют диафрагмы жесткости (пилоны, стены жесткости). Диафрагмы жесткости воспринимают часть вертикальных и основную часть горизонтальных нагрузок, действующих на здание, и передают их фундаментам.

Основные элементы каркаса: колонны, перекрытия и диафрагмы жесткости размещают на самой ранней стадии проектирования, что неразрывно связано с компоновкой здания в целом. Размещение диафрагм жесткости достаточно сложный процесс, цель которого состоит в максимально возможном сочетании функциональных особенностей здания, его архитектуры, рационального размещения инженерных систем и чистоты конструктивной схемы.

Однако вопросы о размещении диафрагм жесткости в плане, по высоте здания и их влияние на деформативность элементов монолитного каркаса в руководствах и пособиях по проектированию конструкций монолитных зданий освещены не в полной мере. Проектировщик вынужден полагаться на немногочисленные данные и собственный опыт расстановки диафрагм жесткости. Возникают различные мнения о влиянии диафрагм на работу несущих конструкций здания и вообще о необходимости их постановки в зависимости от особенностей конструктивного решения здания.

Перед проектировщиком после согласования планировки (высота этажа, габариты здания в плане и по высоте) стоит задача размещения диафрагм жесткости. При решении этой задачи он должен:

- обосновать расчетом необходимое количество и сечение диафрагм жесткости для удовлетворения требований безопасности и эксплуатационной пригодности;

- данные элементы жесткости должны вписываться в архитектурно-планировочную концепцию здания, по возможности совмещать в себе несколько функций – несущую и ограждающую (требование функциональности).

В данной статье – выполнено сопоставление имеющихся способов расчета деформативности каркасного здания в зависимости от расположения диафрагм жесткости и геометрии здания.

Цель работы авторов – поиск менее затратного метода подбора диафрагм жесткости в зависимости от внешних усилий и геометрии здания.

### Обзор отдельных методов расчета

Изучались методы расчета многоэтажных зданий различных авторов [1, 2, 3, 4 и др.]. Одним из наиболее широко известных авторов, который в 70-х годах прошлого столетия занимался вопросом расчета многоэтажных зданий на горизонтальные нагрузки и вывел четкую последовательность определения горизонтальных прогибов и углов перегиба здания является В. В. Ханджи. Внимания заслуживает его книга «Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом» [1], в ней для определения прогибов и углов наклона принята статическая схема здания в виде консоли высотой  $H$  от уровня условного защемления в основании и высотой  $H_0$  от поверхности земли.

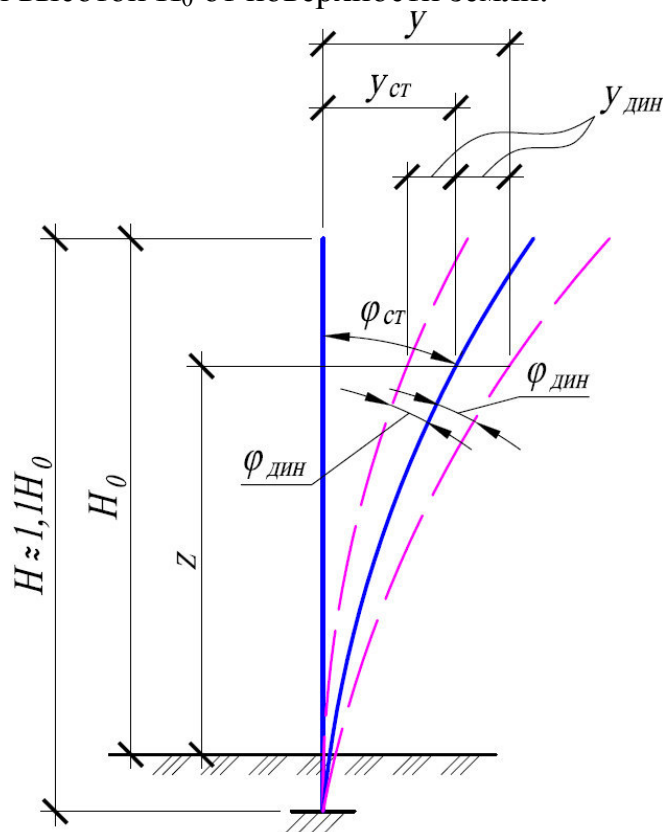


Рисунок 1 – Отклонение здания при ветровой нагрузке

Под действием статической ветровой нагрузки произвольное по высоте сечение здания отклоняется от вертикали на значение  $u_{ст}$  (рис. 1). Пульсация

ветра вызывает колебания здания вокруг отклоненного от вертикали положения с амплитудой  $y_{дин}$ . Максимальное горизонтальное перемещение рассматриваемого произвольного сечения:

$$y = y_{ст} + y_{дин} \quad (1)$$

Аналогично суммируют и углы наклона вертикальных несущих конструкций:

$$\varphi = \varphi_{ст} + \varphi_{дин} \quad (2)$$

Это позволяет использовать формулы сопротивления материалов для записи выражения прогибов и углов наклона на любой высоте с координатой  $z$  от поверхности земли:

$$y_{ст} = \frac{H_0^4 \cdot \eta_j}{B_j} \cdot (q_1^n \cdot k_5 + q_2^n \cdot k_6) \quad (3)$$

$$y_{дин} = \frac{H_0^4 \cdot \eta_j}{B_j} \cdot q_3^n \cdot k_6 \quad (4)$$

$$\varphi_{ст} = \frac{H_0^3 \cdot \eta_j}{B_j} \cdot (q_1^n \cdot k_7 + q_2^n \cdot k_8) \quad (5)$$

$$\varphi_{дин} = \frac{H_0^3 \cdot \eta_j}{B_j} \cdot q_3^n \cdot k_8 \quad (6)$$

где  $B_j$  – жесткость здания ( $B_x$  или  $B_y$ ) относительно оси, перпендикулярной к направлению ветровой нагрузки;

$\eta_j$  – повышающие коэффициенты ( $\eta_x$  или  $\eta_y$ ), вычисляемые по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_x = \frac{1}{1 - \frac{G^n}{1,85 \cdot G_x}} \\ \eta_y = \frac{1}{1 - \frac{G^n}{1,85 \cdot G_y}} \\ \eta_\omega = \frac{1}{1 - \frac{G^n}{1,85 \cdot G_\omega}} \end{array} \right. \quad (7)$$

где  $G^n$ ,  $G_x$ ,  $G_y$ , – критические веса здания;

$k_5 \dots k_8$  – функции координаты  $z$ , определяемая по формулам:

$$\begin{cases} k_5 = \frac{1}{12} \cdot (0,012 + 0,23 \cdot u + u^2 - u^3 + 0,5 \cdot u^4 - 0,1 \cdot u^5) \\ k_6 = \frac{1}{12} \cdot (0,022 + 0,43 \cdot u + 2 \cdot u^2 - u^3 + 0,1 \cdot u^5) \\ k_7 = \frac{1}{12} \cdot (0,23 + 2 \cdot u - 3 \cdot u^2 + 2 \cdot u^3 + 0,5 \cdot u^4) \\ k_8 = \frac{1}{12} \cdot (0,43 + 4 \cdot u - 2 \cdot u^2 + 0,5 \cdot u^4) \end{cases} \quad (8)$$

В этих формулах  $u=z/H_0$ .

Рассмотренный метод расчета [1] ориентирован на многоэтажные здания со связевым каркасом. Однако он может быть использован и при расчете рамно-связевых систем, для этого следует либо в запас прочности не учитывать работу рам и все горизонтальные нагрузки воспринимать пилонами, либо имитировать рамы пилонами эквивалентной жесткости.

### Расчет с использованием МКЭ

В настоящее время широко используется метод конечно-элементного расчета здания в программных комплексах типа «SCAD», «Lira» и других.

В предыдущем разделе были представлены аналитические формулы, позволяющие определять деформации здания и в качестве примера приведен расчет определения деформаций [1]. Для верификации результатов создана и посчитана модель здания рисунки 2, 3.

В расчетной схеме сечение колонн принято 400x400 мм, толщина диафрагм жесткости 200 мм, плит перекрытия 220 мм. Коэффициент Пуассона для железобетона равен 0,2. Модуль упругости колонн и диафрагм жесткости принят  $1,923 \times 10^7$  кН/м<sup>2</sup>, плит перекрытия  $7,112 \times 10^6$  кН/м<sup>2</sup>. Высота надземной части здания  $H_0=45$  м, её нормативный вес  $G^H=200$  МН.

В расчетной программе «SCAD» были вычислены максимальные величины перемещений оголовка колонны на отметке +45,000, на пересечении осей «Г» и «11». Полученные результаты определения горизонтальных деформаций методом конечных элементов и аналитическим расчетом по формулам сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Значения	Определено аналитическим способом [1]	Определено расчетом методом конечных элементов	Разница результатов
Перемещения по буквенным осям, мм	-30,6	-30,3	0,98%
Перемещения по цифровым осям, мм	80,4	85,1	5,52%

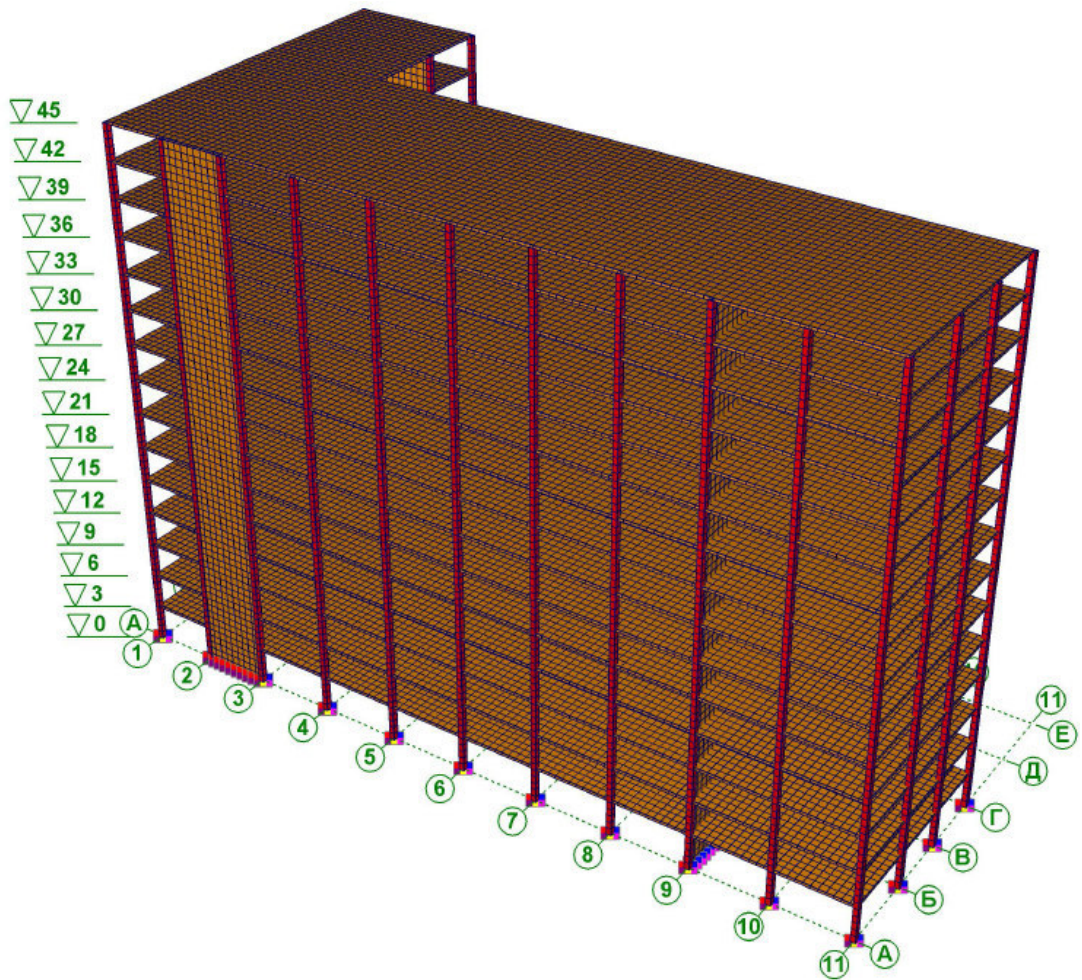


Рисунок 2 – Общий вид расчетной схемы

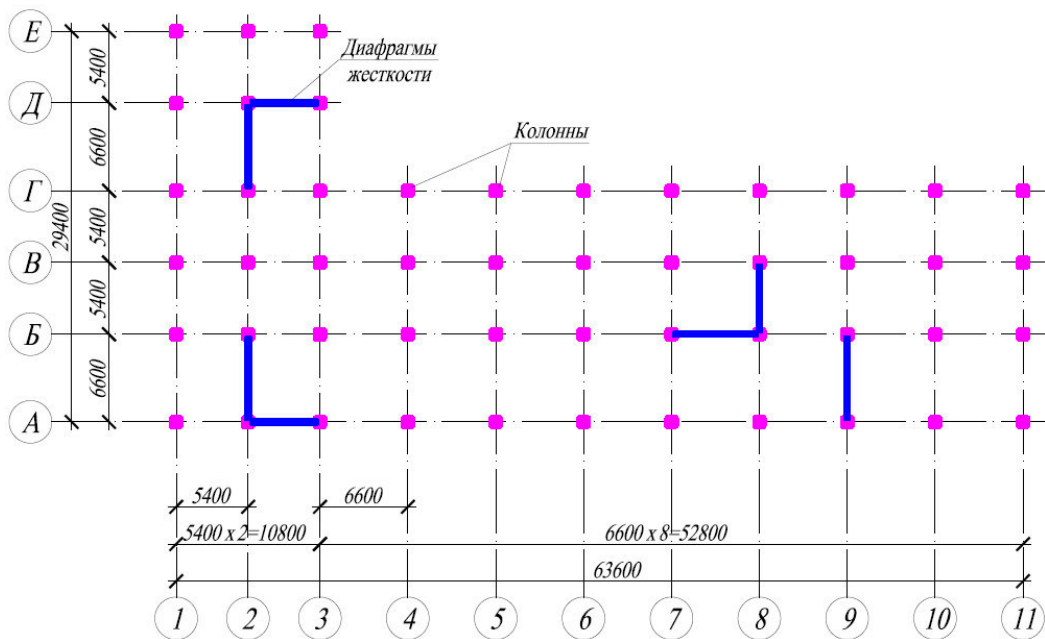


Рисунок 3 – Маркировочная схема типового этажа

**Выводы.** 1. Анализ величин горизонтальных перемещений здания, по результатам аналитического и численного расчета методом конечных элементов близки. Это подтверждает возможность их использование по определению деформаций здания, как на стадии проработки проекта, так и при обследовании существующих зданий. 2. На деформативность здание влияет как жесткость диафрагм, так и их расположение в плане. 3. Авторы считают, что перспективным направлением является изучение:

- изменение количества и жесткости диафрагм по высоте здания;
- определение оптимального расположения диафрагм в плане;
- использование в качестве материала диафрагм каменных мелкоштучных изделий.

**Литература.** 1. Ханджи В.В. Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом: монография. Москва: Изд-во Стройиздат, 1977. 187 с. 2. Дроздов П.Ф. Совместная работа ядер и диафрагм в несущей системе многоэтажного здания // Бетон и железобетон, 1974. №12. С. 32-34. 3. Дыховичный Ю. А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности: монография. Москва: Изд-во Стройиздат, 1970. 248 с. 4. Ржаницын А. Р., Сухов Ю. Д. Учет совместного действия нагрузок на сооружения // Строительная механика и расчет сооружений, 1974. №4. 5. ТКП EN 1991-1-4-2009 с изменением №1. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия. Введен в действие 01.01.2010. 6. ТКП EN 1990-2011\* с изменением №1. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. Введен в действие 01.07.2012. 7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия (Дополнения. Разд. 10. Прогобы и перемещения). Введен в действие 01.01.1989.