

**СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА**

*Кондрашов А.В.*

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС И ЦЕНТРА ЖЕСТКОСТЕЙ**

*Kondrashov A.V.*

**FEATURES OF DEFINITION OF POSITION THE CENTRE OF WEIGHTS AND CENTER STIFFNESS**

УДК: 624.042.7 : 699.841

*В статье описываются принципы определения центра масс и центра жесткостей с привлечением соответствующих программных комплексов.*

*In article principles of definition of the centre of weights and the centre stiffness with attraction of corresponding program complexes are described.*

Как известно, одним из принципов обеспечения сейсмостойкости зданий является выбор их рациональных объёмно-планировочных и конструктивных решений. Кроме того, выбранное решение должно подтверждаться соответствующим расчётом несущих конструкций здания на сейсмические воздействия [1].

При расчёте зданий на динамические нагрузки, в частности на сейсмические воздействия или пульсацию ветра, приходится определять, а затем прикладывать в виде квазистатических нагрузок, результаты первых форм собственных колебаний (ФСК), которые являются результатом решения классической обобщённой задачи на собственные значения [2]

$$([M]-\omega^2[K])\{\delta\}=\{0\} \quad (1)$$

где [K] – симметричная матрица жёсткости системы конечных элементов (КЭ);

[M] – матрица приведённых масс такой же структуры, что и [K];

$\omega$  – собственные круговые частоты колебаний;

$\{\delta\}$  – векторы, представляющие формы собственных колебаний.

В идеальном варианте формы колебаний  $\{\delta\}$ , полученные в результате решения системы (1), должны быть «чистыми», т.е. первые две формы должны быть строго поступательными, а третья – вращательной. В этом случае можно говорить о правильной расстановке жесткостей и распределении масс в рассматриваемой схеме.

В практических расчётах добиться идеальной «чистоты» форм колебаний достаточно сложно, поскольку на конечный результат оказывает влияние достаточно большое количество факторов (неравномерное распределение нагрузок, разная жёсткость отдельных частей здания, т.е. наличие лестничных клеток, лифтовых шахт и многое другое). Основное влияние на формы колебаний оказывает положение Центра жест-

костей (ЦЖ), которое зависит от распределения жесткостей вертикальных несущих элементов в плане.

Проведенные нами предварительные численные исследования показали, что формы колебаний зависят не столько от положения самого центра жесткостей, но в большей степени от расстояния (эксцентриситета) между рассматриваемыми координатами Центра масс (ЦМ) и ЦЖ. Поэтому основной задачей настоящей работы является анализ возможностей использования существующих программных продуктов для определения (и последующего варьирования) указанными выше координатами (параметрами).

При приближении ЦМ к ЦЖ необходимо манипулировать жесткостным параметром [K], т.к. положение масс [M] в здании, остаётся практически неизменным (рис. 1).

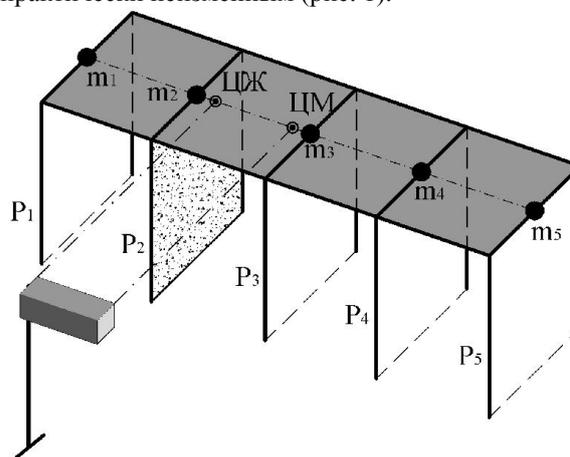


Рис. 1. Схематическое взаиморасположение ЦМ и ЦЖ

В соответствии с п. 2.15 СНиП II-7-81\*, а так же пп. 5.2.8, 5.3.8 [1], при расчете зданий и сооружений длиной или шириной более 30 м необходимо учитывать крутящий момент относительно вертикальной оси здания, проходящей через его центр жесткости.

Но для зданий и сооружений со сложными объёмно-планировочными решениями понятия центра жесткостей и центра масс размываются. В нормах не дано строгое определение понятия центра жесткостей и центра масс, которое можно

дать только для конструктивных схем, имеющих регулярную структуру.

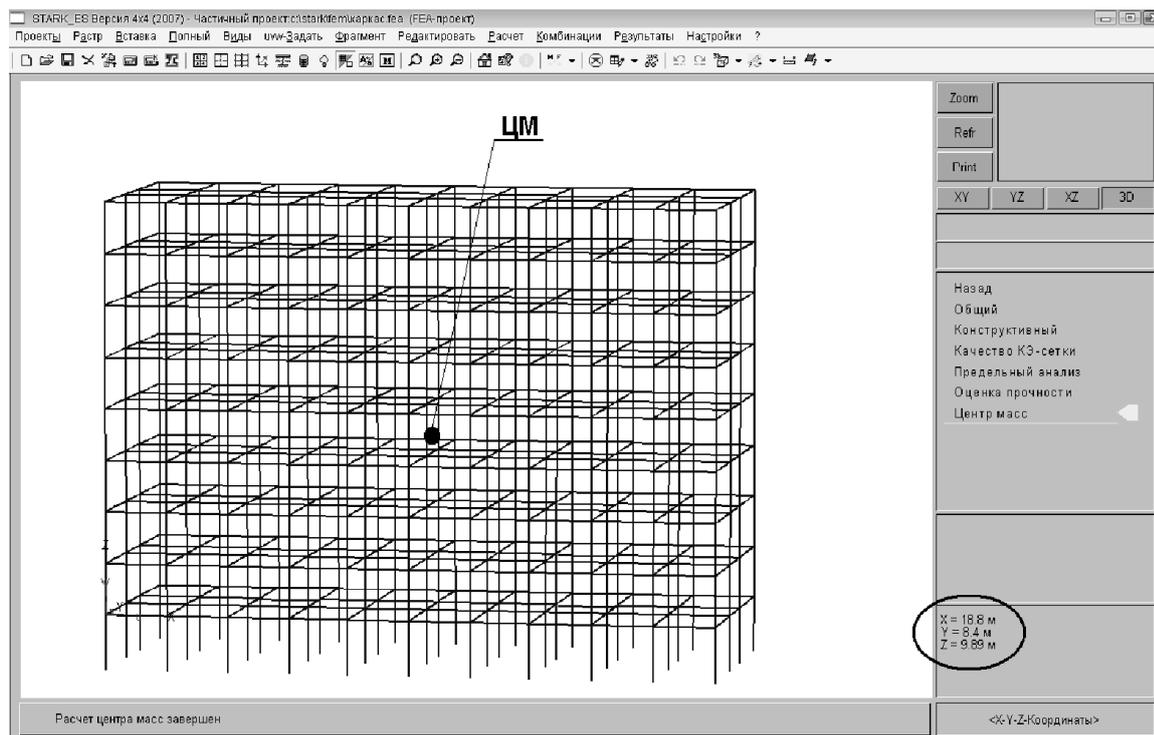
**Методика исследований.**

На современном уровне проектирования расчёты на сейсмические нагрузки выполняются с привлечением проектирующих и вычислительных программных комплексов (ПК), таких как Stark\_ES, Лира, Мономах, SCAD и т.д. [3, 4, 5]. Практически, все эти комплексы реализуют

результатов сформировать данное нагружение, задав коэффициенты сочетаний и характеристики рассматриваемой динамической нагрузки.

Анализ многочисленных расчётов показывает, что на поведение зданий при сейсмических нагрузках влияет взаиморасположение ЦМ и ЦЖ.

К сожалению, вышеперечисленные программные комплексы не позволяют в явном виде одновременно определить положение ЦМ и ЦЖ и оценить степень их влияния на динамические характеристики здания. Такой анализ можно



**Рис. 2.** Положение центра масс здания в пространстве

метод КЭ. с помощью которого достаточно просто моделируются колонны, ригели, фермы, балки, рёбра жёсткости (стержневой КЭ произвольного сечения), плиты, балки-стенки, оболочки (плоские треугольные, четырёхугольные и т. д. КЭ), а также массивные тела. Комбинируя различные типы КЭ, можно создать расчётную модель здания или сооружения, практически любой архитектуры.

На начальном этапе формируется расчётная схема рассматриваемой конструкции, которая включает в себя: создание общей геометрии, а именно моделирование основных несущих элементов (расположение, жёсткость, опирание), нагружение полученной схемы действующими на неё нагрузками (статическими). Затем, если необходимо, следует учесть динамические нагрузки (сейсмика, пульсационный ветер) и выполнить расчёт всей конструкции на собственные значения и на основании полученных

сделать только после получения расчёта конструкции на собственные значения.

Однако, в ПК «Stark\_ES» оказывается возможным определение положения центра масс, а используя пакет прикладных программ ПК «ЛИРА» можно определить положение центра жесткостей плана рассматриваемого здания, ПК «ППП» [6].

Использование предлагаемого нами метода покажем на примере расчета девятиэтажного здания (рис. 2).

*Определение положения центра масс.*

**Центр масс (центр инерции)** – геометрическое положение точки, характеризующей распределение масс в здании.

Определить ЦМ возможно в ПК «Stark\_ES» [4]. Для этого необходимо описать инерционные свойства системы (задать динамические массы) и выполнить расчет на собственные или деформированные колебания.

Три координаты X, Y и Z центра масс, в глобальной системе координат, рассчитываются по формуле (2) и выводятся в окне редактора сразу после обращения к пунктам меню → Расчет → Центр масс. Искомая точка показывается в графическом окне зеленым кружком (рис. 2).

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N x_i m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}, \quad Z = \frac{\sum_{i=1}^N z_i m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}, \quad (2)$$

*Определение положения центра жесткости.*

**Центр жесткостей** – геометрическое положение точки (оси), зависящее от характера распределения вертикальных несущих элементов и их жесткостных параметров.

Этот параметр можно определить с помощью ПК «ППП» [6]. Данное программное обеспечение предназначено для определения центра жесткости составного сечения, а также центра жесткости плана здания как единого составного сечения. План здания состоит из элементов, которыми являются сечения колонн (прямоугольные, кольцевые и коробчатые) и стен (прямоугольные).

Координаты центра жесткости определяются в предположении, что все элементы плана обладают единым перемещением в горизонтальной плоскости и единым поворотом вокруг вертикальной оси.

Необходимо задать только схему расположения и жесткости вертикальных несущих элементов. По окончании расчёта программа выдаёт все необходимые данные и формирует соответствующий отчёт.

Красной точкой на плане отображается положение центра жесткости (рис. 3).

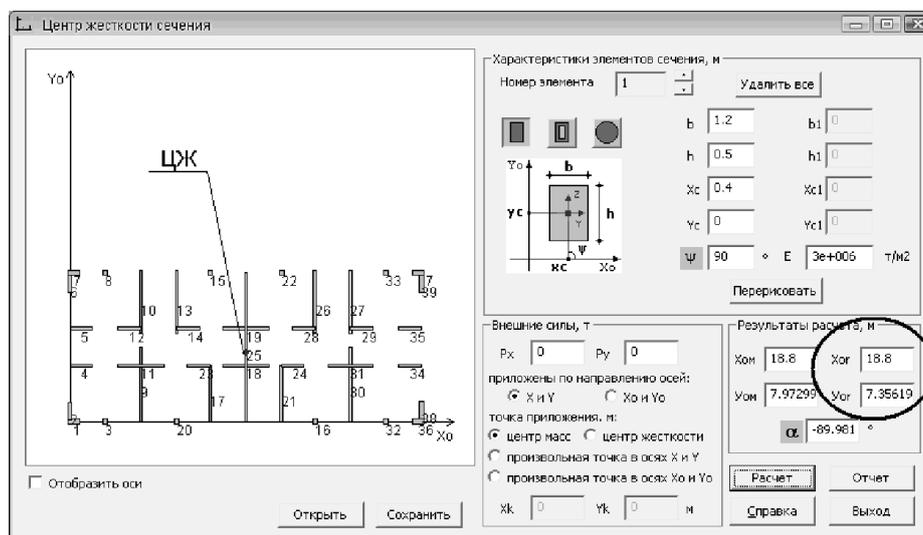


Рис. 3. Положение центра жёсткости здания в плане.

В результате расчета в соответствующих полях выдаются:

- координаты Xом, Уом центра масс (центра тяжести) плана в исходных осях Xо, Уо;
- координаты Xог, Уог (3, 4) центра жесткости в системе осей Xо, Уо;
- угол поворота а главных центральных осей плана X, У.

$$X_{ог} = X_{ом} + X_r * \cos(a) - Y_r * \sin(a); \quad (3)$$

$$Y_{ог} = Y_{ом} + X_r * \sin(a) + Y_r * \cos(a) \quad (4)$$

где, Xом, Уом - координаты центра масс (тяжести);  
Xr, Yr - координаты центра жесткости в главных осях;  
а - угол положения главных осей.

Описанная методика позволяет выполнить анализ принятой конструктивной схемы и предложить пути направления её улучшения.

**Литература:**

1. СНиП КР 20-02:2004 Бишкек, 2004г. – 82с.
2. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных средств. М., «Недра» 1974г. – 240с.
3. Джансериков Т.Д., Семёнов В.С. Программные вычислительные комплексы для анализа и расчёта сложных конструктивных систем // Вестник КГУСТА. - Бишкек. – 2004. Вып.2(5). - С. 36-41

4. STARK\_ES Руководство пользователя М., Еврософт, 2006г. – 398с.
  5. Лира 9.0 Руководство пользователя К., "Факт", 2002г. – 147с.
  6. Барабаш М.С., Гераймович Ю.Д., Кекух А.Н., Лазнюк М.В., Стрелецкий Е.Б. Под ред. Академика РААСН Городецкого А.С. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций К., "Факт", 2006г. - 112 с.
-