

РАЗДЕЛ II. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ КАРКАСА ЗДАНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ГАРМОНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

БОРИСЕВИЧ А. А., ЗВЕРЕВ В. Ф., ЩЕРБАК С. Б.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Для исследования напряженно-деформированного состояния каркаса (рис. 1.) использована программа конечно-элементного анализа Siemens FEMAP with NX Nastran [1, 2].

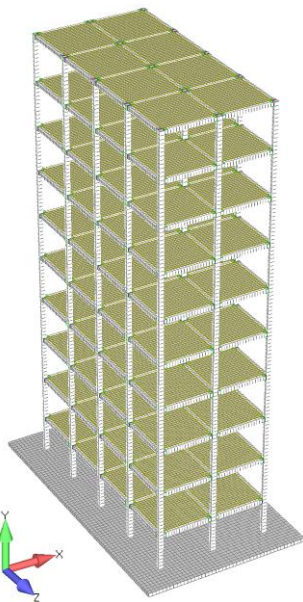


Рис. 1. Исследуемый каркас здания

Для описания железобетонных элементов модели 10-этажного каркаса использованы объемные элементы типа SOLID (Твердотельный, пространственный конечный элемент (КЭ) с характерным размером 0.4 м) и линейные (одномерные) элементы типа ROD (Стержень) – для моделирования арматуры. Сечение колонн железобетонного каркаса принято размером 0.4×0.4 м неизменным по высоте десятиэтажного здания, ригели перекрытий имеют прямоугольное сечение размером 0.3×0.4 м, толщина плит перекрытия – 0.2 м.

Для анализа чувствительности напряженно-деформированного состояния (НДС) каркаса к изменению некоторых его параметров приняты следующие характеристики материалов.

Характеристики бетона: класс C30/37, коэффициент Пуассона $\nu = 0.2$, плотность материала $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$; модуль сдвига вычисляется по формуле $G = E_{cm} / (2(1 + \nu))$.

Колонны армированы: продольная арматура размещена в каждом углу сечения колонны (площадь сечения арматуры в одном углу равна 491 мм², что соответствует площади стержня $\varnothing = 25 \text{ мм}$); поперечная арматура на модели отсутствует. Ригели имеют нижнюю и верхнюю рабочую арматуру (площадь сечения каждой соответствует площади четырех стержней $\varnothing = 20 \text{ мм}$).

Характеристики арматуры класса S500: модуль упругости $E_s = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, плотность материала $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$; модуль сдвига вычисляется по формуле $G = E / (2(1 + \nu))$.

Внешняя вертикальная нагрузка на узлы ригелей по всем этажам принята равной 3 кН, на узлы ригелей покрытия — 1.5 кН. Горизонтальная нагрузка направлена вдоль оси X (вдоль меньшего размера в плане каркаса), нагрузка на узел равна 0.5 кН, приложена ко всем узлам на плоскости XY. Предполагается, что в принятом для расчета нагружении заданы расчетные значения нагрузок.

Расчет каркаса на действие статических нагрузок показал, что наиболее нагруженным КЭ колонны, оси которой соответствуют координаты $x = 6.0 \text{ м}$, $z = 12 \text{ м}$, является элемент у основания колонны. Нормальные напряжения в направлении оси Y равны -42.98 МПа. Соответствующие напряжения в КЭ 794 колонны на уровне перекрытия первого этажа равны -41.91 МПа. Именно в этом КЭ оказываются наибольшие напряжения от динамической нагрузки.

Для каркаса, расположенного на неподатливом основании, получен спектр собственных частот: [5.842E-7, 5.857E-7, 0.0539, 0.107, 0.149, 0.203, 0.215, 0.296, 0.362, 0.400] Hz. В дальнейшем результаты модального анализа используются в динамическом расчете.

Гармоническая нагрузка приложена на ригели первого этажа (отметка $Y = 4.8$ м), окаймляющие прямоугольник с угловыми координатами x и y (м): (5.4, 8.4), (12.2, 24.2), (12.2, -0.2), (-0.2, -0.2). Нагрузка на узлы каждого ригеля приложена в двух точках на расстоянии 1.9 м от колонн и равна 500 Н (амплитудное значение).

Задача динамического расчета в данной постановке сводится к исследованию изменения напряженно-деформированного состояния каркаса в зависимости от частоты изменения гармонической нагрузки и выявлению наиболее интенсивных зон резонанса.

В соответствии с шириной частотной полосы получены расчетные точки для частотного анализа (соответствующий график показан на рис. 2).

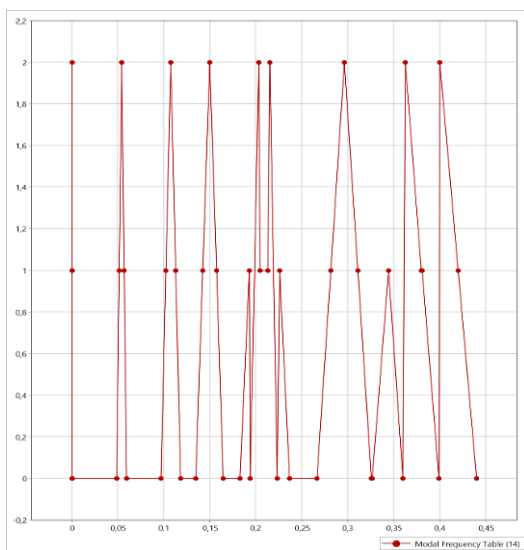


Рис. 2

В таблице содержится 40 значений частот, по которым произведен расчет амплитудно-частотной характеристики.

На рис. 3 и 4 представлены графики горизонтального и вертикального перемещений узла каркаса на уровне покрытия. Максимальные перемещения имеют место при самой высокой частоте $\nu = 0.430$ Hz.

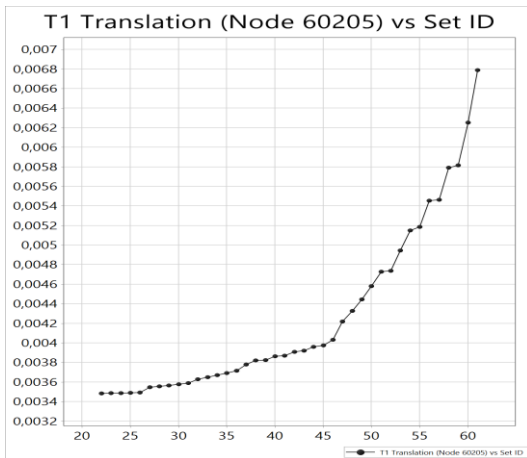


Рис. 3

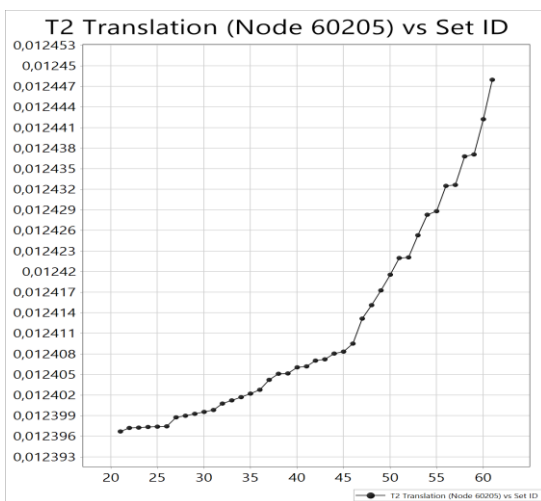


Рис. 4. Узел 60205 имеет координаты: $x = 4.5$ м, $y = 38.4$ м, $z = 7.5$ м.

Наиболее напряженным элементом оказался КЭ 794. Элемент 794 относится к колонне первого этажа (координаты оси колонны: $x=6.0$ м, $z=12$ м; координата центра тяжести элемента $y=4.2$ м).

Особенности взаимосвязи нормальных напряжений в КЭ 794 и перемещений одного из узлов каркаса (узел 60205) с изменением частоты динамической нагрузки показаны на рис. 5.

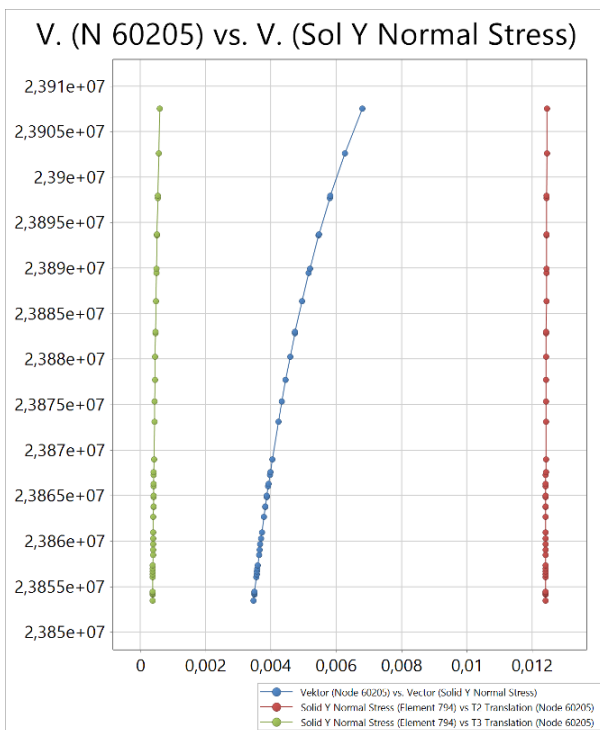


Рис. 5. Перемещению узла по оси X (T1 Translation) соответствует средний график, по оси Y (T2 Translation) — правый, по оси Z (T3 Translation) — левый

Элемент 794 относится к колонне (координаты оси колонны: $x=6.0$ м, $z=12$ м; координата центра тяжести элемента $y=4.2$ м); элемент 1005 расположен на ригеле (координаты оси ригеля: $x=6.0$ м, $z=7.95$ м; координата центра тяжести элемента $y=4.6$ м).

Определенному напряжению в элементе 1005 может соответствовать, как следует из графика, два достаточно близких значения напряжений в элементе 794 (рис. 6).

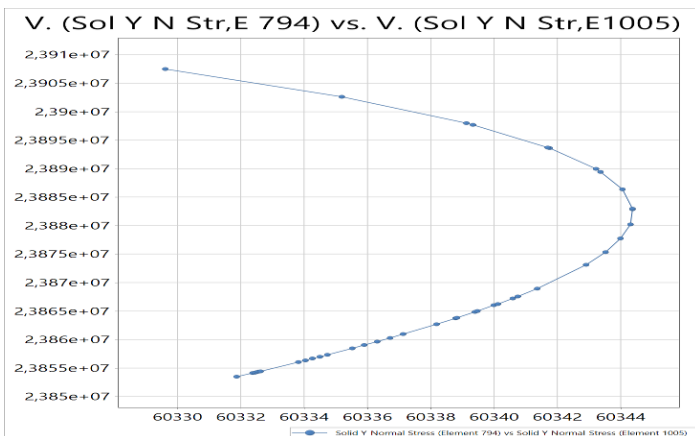


Рис. 6

Исследуемая система является системой с бесконечно большим числом степеней свободы. Для первой и второй собственных частот период колебаний оказывается очень большим, поэтому соответствующие напряжения (и деформации) в элементах системы надо понимать как напряжения от статической нагрузки, численно равной амплитудному значению динамической нагрузки. С увеличением частоты динамической нагрузки деформации и напряжения конструктивных элементов исследуемой системы нарастают, что и подтверждается представленными ранее графиками. Для 10-й частоты период колебаний равен 2.5 секунды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. — М.: ДМК Пресс, 2013. — 784 с.: ил
2. Шимкович Д. Г. FEMAP & NASTRAN. Инженерный анализ методом конечных элементов. — М.: ДМК Пресс, 2008. — 701 с.
3. Ильичев, В. А., Мангушев, Р. А. и др. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Москва: Изд-во АСВ, 2016. — 1031 с.