

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТБ 1544–2005* Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. Переиздание / Госстандарт РБ. – Минск, 2015. – 22 с.
2. Фаликман, В.Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства / В.Р. Фаликман, Ю.В. Сорокин, О.М. Горячев // Бетон и железобетон. – Москва, 2005. – № 2. – С. 8–11.
3. Коммисаренко, Б.С. Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций / Б.С. Коммисаренко // Дис...доктор техн.наук: 05.23.05; СГАСА. – Самара, 2000. – 320 с.
4. СТБ 1217-2000 Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия / Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2000. – 10 с.
5. Семенюк, С.Д. прочностные и деформативные характеристики легких бетонов на основе керамзита заводов Беларуси / С.Д. Семенюк, И.И. Мельянцова, А.Г. Подголин // Вестник ПГУ. Прикладные науки. – 2015. – № 16 – С. 54–60.

УДК 624

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ

БОРИСЕВИЧ А. А., ЩЕРБАК С. Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Интерес к разработке методов решения прямых и обратных задач строительной механики для несущих систем, взаимодействующих с основанием, поддерживается практикой строительства наземных объектов. Это направление исследований весьма разнообразно. В задачах реального проектирования необходимо учесть, по возможности, все факторы, влияющие на надежность и экономичность зданий и сооружений.

Современные сертифицированные программные комплексы для определения напряженно-деформированного состояния конструкций и систем можно характеризовать как имеющие достаточно развитую библиотеку конечных элементов и располагающие эффективными численными методами решения систем уравнений.

Для исследования напряженно-деформированного состояния системы «здание – фундамент - основание» используются ПК SOFiS-TiK, SCAD, PLAXIS, ANSYS, модуль APM Structure3D, входящий в систему APN Civil Engineering и другие.

В данной работе для расчета рамы, взаимодействующей с упругим основанием, используется ПК Femap&Nastran, обладающий определенными достоинствами. В общем случае основание несущей конструкции может иметь изменяющиеся механические характеристики, в том числе включения, однако все эти особенности допускают конечно-элементное моделирование. Возможен учет физической нелинейности материала основания и материала конструкции. В настоящей работе основание рассматривается как линейно-деформируемая среда.

Расчетная схема рамы с двумя пролетами по 6 м, высотой 10 м в сочетании с основанием (выделен объем $6 \times 20 \times 10 \text{ м}^3$) показана на рис. 1. Сечение горизонтальных стержней принято коробчатого типа в виде прямоугольника с размерами по внешнему контуру: высота $h = 0.2 \text{ м}$, ширина $b = 0.1 \text{ м}$, толщина стенки по всему периметру $t = 0.007 \text{ м}$. Форма сечения стоек такая же, но с размерами: $h = 0.12 \text{ м}$, $b = 0.06 \text{ м}$, $t = 0.006 \text{ м}$. Материал стоек и ригеля: модуль упругости $E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, плотность материала $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, модуль сдвига $G = 8.08 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, предельное напряжение на растяжение-сжатие $\sigma^+ = \sigma^- = 400 \text{ МПа}$, на сдвиг $\tau = 200 \text{ МПа}$. Материал основания: $E = 2.4 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$, $\nu = 0.3$, $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$, предельное напряжение на сжатие $\sigma^- = 300 \text{ кН/м}^2$. Конечно-элементная модель системы формировалась с помощью программы FEMAP v.11.4. Для рамы принят одномерный элемент балочного типа BEAM длиной 0.25 м, для основания — твердотельный, пространственный шестигранный (Brick) элемент SOLID (с длиной ребра куба 0.5 м).

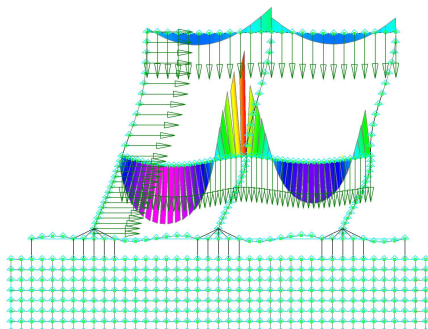


Рис. 1. Расчетная схема рамы

Соединение рамы и основания выполнено с помощью элементов ROD (предполагается опирание рамы на основание через столбчатые фундаменты). Для отслеживания прогибов поверхности основания на уровне примыкания стоек к фундаменту введена гибкая пластинка толщиной 1 мм. Подошва фундамента принята жесткой, не допускающей изгиба и растяжения-сжатия.

Рассматривается одно нагружение. Вертикальная нагрузка: на каждый узел ригеля принята равной 1000 Н. Горизонтальная нагрузка на каждый узел левых стоек – 500 Н.

Результаты расчета рамы, расположенной на деформируемом основании (рис. 1.). Максимальные суммарные (нормальные) напряжения в сечении конца А элемента (КЭ 104) стержня на растянутой поверхности равны 187.95 МПа, минимальные на сжатой поверхности того же стержня равны –188.5 МПа.

Суммарное перемещение узла 11513 оказалось равным 0.07192 м. Минимальные нормальные напряжения в КЭ SOLID 3805 основания равны -2248Н/м².

Результаты расчета рамы (шарнирное закрепление стоек в фундаменте) расположенной на недеформируемом основании (рис. 2). Максимальные суммарные (нормальные) напряжения в сечении конца А элемента (КЭ 66) стержня на растянутой поверхности равны 178.7 МПа, минимальные на сжатой поверхности стержня равны -176.0 МПа (КЭ 29).

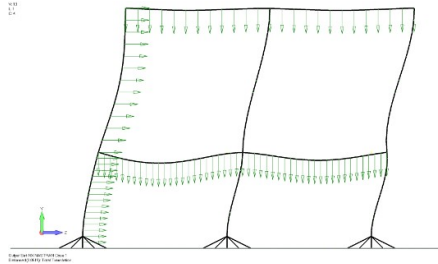


Рис. 2. Результаты расчета рамы

Суммарное перемещение узла 321 оказалось равным 0.0515 м.

Представляет практический интерес задача о чувствительности напряженно-деформированного состояния системы «рама-основание» к изменению параметров КЭ рамы и основания.

Если принять для основания: $E = 1.97 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$, то получим: максимальные суммарные (нормальные) напряжения в сечении конца А элемента (КЭ 104) стержня на растянутой поверхности равны 186.45 МПа, минимальные на сжатой поверхности того же стержня равны -189.16 МПа .

Минимальные нормальные напряжения в КЭ SOLID 3745 основания равны -2254 Н/м^2 .

Для расчета конструкции на вынужденные колебания при действии гармонической нагрузки необходимо знать собственные частоты и собственные формы колебаний. Для рамы, расположенной на недеформируемом основании и рамы, расположенной на деформируемом основании, они существенно различаются. Собственные формы для первых 4-х частот для варианта с защемленными стойками показаны на рисунке 3. Во втором случае упругое основание является, в определенной мере, гасителем колебаний. Первые четыре частоты находятся в интервале 0.071–0.0734 Гц.

Для пространственного каркаса, расположенного на недеформируемом основании спектр частот (первые 10) располагается в интервале 3.330–13.390 Гц. Собственные формы для первых 4-х частот показаны на рисунке 4. Выполнен расчет плоской рамы, расположенной на недеформируемом основании, на действие гармонической вертикальной нагрузки $F(t) = 1000 \cdot \sin \theta t$, приложенной в узлах нижнего яруса 133 ($z = 6.25 \text{ м}$) и 139 ($z = 7.75 \text{ м}$).

Рассматривался установившийся режим работы. Общий коэффициент конструкционного демпфирования принят равным 0,1. Метод решения: Direct Frequency, основанный на решении уравнений динамики при гармоническом законе движения. При формировании таблицы частот принимался во внимание весь рассчитанный диапазон собственных частот (от первой до десятой). Ширина частотной полосы и число формируемых точек в окрестности каждой частоты принимались в соответствии с рекомендациями [2].

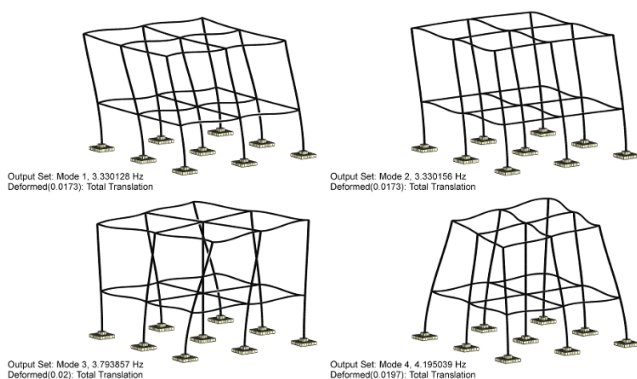


Рис. 3.

Иллюстрацией к влиянию динамической нагрузки на напряженное состояние рамы (КЭ 29, КЭ 66; при статическом нагружении в этих элементах возникают наибольшие нормальные напряжения) являются графики, показанные на рис. 4 и 5. С помощью подобных графиков достаточно хорошо просматривается влияние различных частот на напряженное и деформированное состояния исследуемой системы.

Пространственная рама с шагом колонн по осям 6 метров расположена на упругом основании размером $20 \times 20 \times 10 \text{ м}^3$. Механические характеристики основания соответствуют ранее заданным.

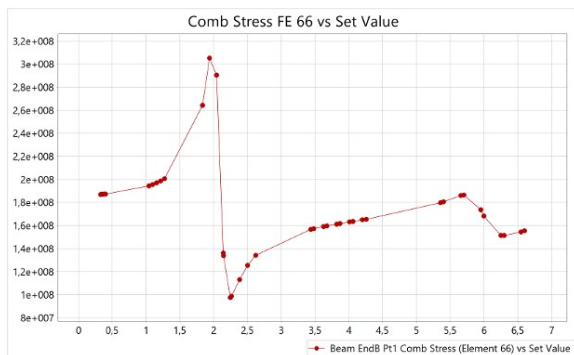


Рис. 4.

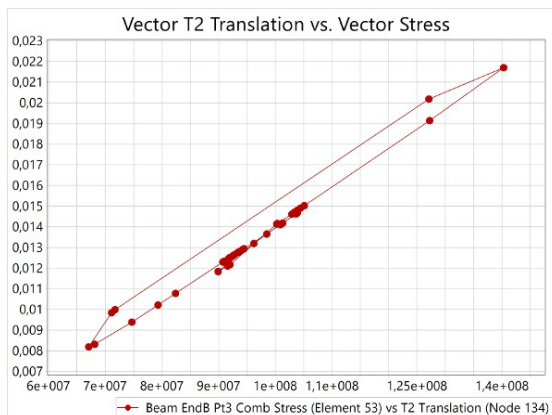


Рис. 5.

Спектр частот (первые 10) рассматриваемой системы располагается в интервале 0.934 – 2.970 Гц. При задании параметров динамических расчетов ширина частотной полосы принимается 10 процентов от абсолютного значения соответствующей собственной частоты. Число формируемых точек в окрестности каждой частоты задается равным 5.

Динамический расчет рамы выполнен на действие гармонической вертикальной нагрузки $F(t) = 1000 \cdot \sin \theta t$, приложенной в узлах нижнего яруса 11844 ($z = 6.25$ м) и 11850 ($z = 7.75$ м). Наиболее интенсивная зона резонанса располагается в диапазоне частот 29 – 34 Гц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисевич А. А. Строительная механика: учебное пособие для вузов/А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. — Минск: БНТУ, 2009. — 756 с.
2. Шимкович Д.Г. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов — М.: ДМК Пресс, 2012. — 702 с., ил. (Серия «Проектирование»).

УДК 691

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗГИБУ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

ГИЛЬ А.И., ЛАЗОВСКИЙ Е.Д.

Полоцкий государственный университет
Полоцк, Беларусь

В данной статье рассмотрен вариант применения композитной арматуры совместно с металлической (гибридное армирование) в изгибаемых статически неопределяемых железобетонных элементах. Показаны преимущества и перспективы применения данного вида армирования. Рассмотрена возможность применения блочной модели для расчета прочности элементов с гибридным армированием. Определены предполагаемые допущения для расчетной модели, представлен алгоритм расчета.

В последнее время все больше внимания уделяется вопросу разработки эффективных решений применения композитных стержней в изгибаемых железобетонных элементах, не требующих дополнительных затрат на устранение основных недостатков композита. К настоящему времени даже высокая прочность при растяжении (более 1000 МПа), не позволяет решить главной на данный момент проблемы применения композитной арматуры в качестве рабочей (при полной замене стальной) в железобетонных конструкциях, а именно низкого значения модуля упругости (порядка 50 ГПа).