

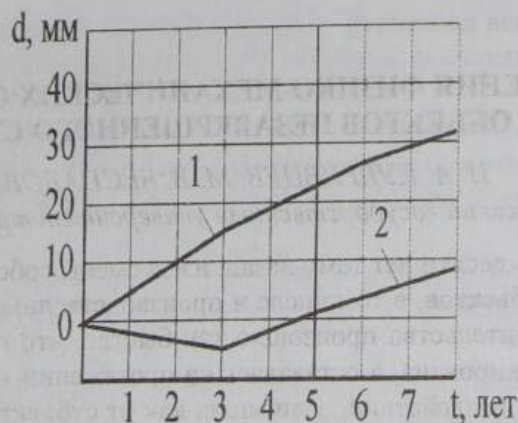


Рисунок 1 – Поднятие фундамента здания: 1–5-этажное (возведен только 1 этаж); 2–9-этажное каркасное здание (возведен только каркас и часть стен ограждения)

К сказанному следует добавить, что за период эксплуатации 8–10 лет из-за промерзания грунтов происходит изменение показателей влажности на границе текучести и пластичности.

УДК 691.328

ОСОБЕННОСТИ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Г. М. КУЗЕМКИНА

Белорусский государственный университет транспорта

В литературе отмечается, что решение нелинейных задач численными методами существенно сложнее, чем линейных вследствие необходимости обеспечения устойчивой сходимости результата. Поэтому расчет строительных конструкций с применением готовых программных продуктов, таких, например, как ANSYS, без знаний особенностей конечноэлементного моделирования свойств железобетона очень часто не приводит к каким-либо результатам.

В выполненной работе поставлена цель выявления этих особенностей и построения уточненной конечноэлементной модели рамы с повышенными стойками.

При моделировании бетона применяются следующие допущения и ограничения:

- растрескивание разрешается в трех ортогональных направлениях в каждом узле модели;
- учет растрескивания от какого-либо узла моделируется путем рассмотрения распределенной полосы трещин вместо отдельной дискретной трещины;
- бетон до приложения нагрузок считается изотропным;
- при моделировании арматуры используется распределение ее свойств по всему объему элемента.

Модель допускает присутствие четырех различных материалов в пределах каждого элемента: одного материала матрицы (бетона) и до трех упрочняющих материалов. Как для арматуры, так и для бетона можно учесть свойства ползучести и пластичности. Положение арматуры внутри матрицы определяется с помощью углов, определяемых по отношению к местной системе отсчета.

Повреждения бетона классифицируются по четырем категориям, которые различаются по знакам главных напряжений. Для каждой категории имеются некоторые выражения, описывающие законы изменения функции главных напряжений F_i и функции, определяющей положение поверхности повреждения в пространстве главных напряжений S_i . (Она является пространственным аналогом кругов Мора для материала с нелинейными свойствами.) Поверхность разрушения представляет собой функцию угла подобия напряженных состояний, который описывает относительные величины главных напряжений.

Если критерий повреждения бетона при многоосном напряженном состоянии, соответствующий условию, при котором главные напряжения лежат вне объема, ограниченного поверхностью повре-

ждения, удовлетворен в направлениях 1, 2 и 3 (они соответствуют главным напряжениям $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), трещины образуются в плоскостях, перпендикулярных этим главным напряжениям. Если критерий отказа удовлетворен в направлениях 1, 2, трещины образуются в плоскостях, перпендикулярных главным напряжениям σ_1 и σ_2 . Если критерий отказа удовлетворен только в направлении 1, трещины образуются в плоскости, перпендикулярной главному напряжению σ_1 .

Таким образом, самое важное свойство описанной модели материала – возможность учета его нелинейных свойств. Бетон способен к трещинообразованию (в трех ортогональных направлениях), скалыванию, пластической деформации и ползучести. Арматура воспринимает растягивающие и сжимающие нагрузки, обладает пластическими деформациями и ползучестью, но не работает на сдвиг.

Поскольку бетон имеет нелинейную зависимость напряжений и деформаций, то при конечно-элементном расчете требует итерационного решения. Когда рассматриваются совместно и растрескивание и скалывание, необходимо предусматривать медленное приложение нагрузок, чтобы предотвратить возможное фиктивное разрушение бетона прежде, чем произойдет передача приложенной нагрузки через закрытую трещину. Это обычно случается, когда чрезмерные деформации, вызванные появлением трещин, приводят к большим напряжениям в перпендикулярном направлении, что проявляется через эффект Пуассона. В тех точках, где произошло скалывание, вывод значений деформаций пластичности и ползучести осуществляется на основе предыдущего подшага сходимости. При наличии растрескивания выводятся значения упругих деформаций с учетом деформаций трещины.

Выполненные исследования показали, что программно устанавливаемое количество итераций часто оказывается недостаточным для получения устойчивого решения. Поэтому количество итераций необходимо применять равным не менее пятидесяти. Ускорению расчетов способствует использование фиксированного шага приложения нагрузки, поскольку при автоматизированном подборе шага решение системы нелинейных уравнений оказывается расходящимся, и возникает необходимость значительного увеличения числа итераций.

В результате тестового расчета установлено, что для стержневых конструкций типа железобетонных рам зданий требуемая точность расчетов достигается при делении самой короткой стороны поперечного сечения сеткой конечных элементов не менее чем на три части. Причем, целесообразно использовать регулярной сетки.

С учетом описанных особенностей конечноэлементного моделирования железобетонных конструкций выполнен расчет напряженно-деформированного состояния одноэтажной железобетонной рамы с повышенными стойками. Учитывалось действие нагрузок от собственного веса, длительно действующей нагрузки от веса покрытия, временной снеговой нагрузки, определенной для III снегового района. Ветровая нагрузка на раму не учитывалась. Использована модель, предполагающая разбиение конструкции на восьмиузловые пространственные конечные элементы SOLID65. Расчетная схема учитывала точную геометрию конструкции. Произведены вычисления напряженно-деформированного состояния рамы при нормативной нагрузке, равной контрольной для оценки жесткости и трещиностойкости, а также при расчетной нагрузке. Определены также области образования трещин, возникающих при названных случаях нагружения. Установлено, что при росте прикладываемых нагрузок происходит увеличение объема областей, в которых образуются трещины, и соответственно имеет место перераспределение внутренних напряжений. Этот эффект не может быть выявлен при расчетах с использованием модели изотропного материала.

В результате расчета получены значения напряжений в верхнем и нижнем поясах рамы без затяжки и рамы с затяжкой. Максимальные напряжения наблюдаются в верхнем поясе рамы в месте сопряжения стойки с ригелем. Именно в этом месте произошло разрушение рамы при испытании натурной конструкции. Постановка затяжки несколько снижает растягивающие напряжения в наиболее напряженном верхнем поясе Г-образного элемента и повышает напряжения в линейном элементе ригеля, который без затяжки напряжен незначительно. Сопоставление полученных расчетом значений с результатами испытаний натурной конструкции показывает достоверность разработанной конечноэлементной модели рамы.

Выполненные исследования позволяют выработать рекомендации по совершенствованию армирования рамной конструкции.