

ГЛАВА 11. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ

Общие положения

Нелинейный процессор предназначен для решения статических физически и геометрически нелинейных задач, а также задач с наличием конструктивной нелинейности и предвартельного напряжения.

В геометрически нелинейных задачах отсутствует линейная зависимость между деформациями и перемещениями. Решение этих задач производится шаговым методом, причем шаг выбирается автоматически.

В физически нелинейных задачах отсутствует линейная зависимость между напряжениями и деформациями — нелинейная упругость или упругопластичность. Решение нелинейно упругих задач производится шаговым методом (18.5.2). Количество шагов и коэффициенты к нагрузке задаются пользователем или вычисляются программой. Для задач упругопластичности применяется итерационный метод (18.6.2).

К физически нелинейным относятся и задачи ползучести, которые решаются итерационным методом (18.6.2).

В задачах конструктивной нелинейности изменяется расчетная схема. Например, возникает контакт с опорой при достижении в некоторой точке определенной величины перемещения. Для задач конструктивной нелинейности, с односторонними связями, с трением, применяется итерационный метод (18.6.2).

Шаговый и итерационный методы сводят решение нелинейных задач к последовательности линейных. На каждом шаге или итерации по приращениям перемещений вычисляются приращения напряжений (усилий), которые суммируются с полученными ранее. При наличии ограничений суммарные напряжения корректируются.

Нелинейный процессор позволяет комбинировать линейные и нелинейные конечные элементы. Подробная информация о нелинейных конечных элементах содержится в Главе 19.

Геометрическая интерпретация шагового и итерационного методов представлена на рис. 11.1.

11.1 НЕЛИНЕЙНАЯ УПРУГОСТЬ

Моделирование нелинейной упругости материалов производится физически нелинейными элементами. Используются законы деформирования (зависимости $\sigma - \varepsilon$), позволяющие учитывать практически любые нелинейные свойства материала. Возможно наличие двух материалов (бетон и арматура).

Матрица жесткости линейной системы формируется на основании жесткостей, вычисляемых численным интегрированием для каждого нелинейного конечного элемента. Схема численного интегрирования и набор используемых жесткостей определяются типом конечного элемента. Сечение конечного элемента в точках интегрирования дробится на ряд элементарных подобластей. В центрах этих подобластей определяются новые значения физико-механических характеристик материала в соответствии с заданной диаграммой деформирования.

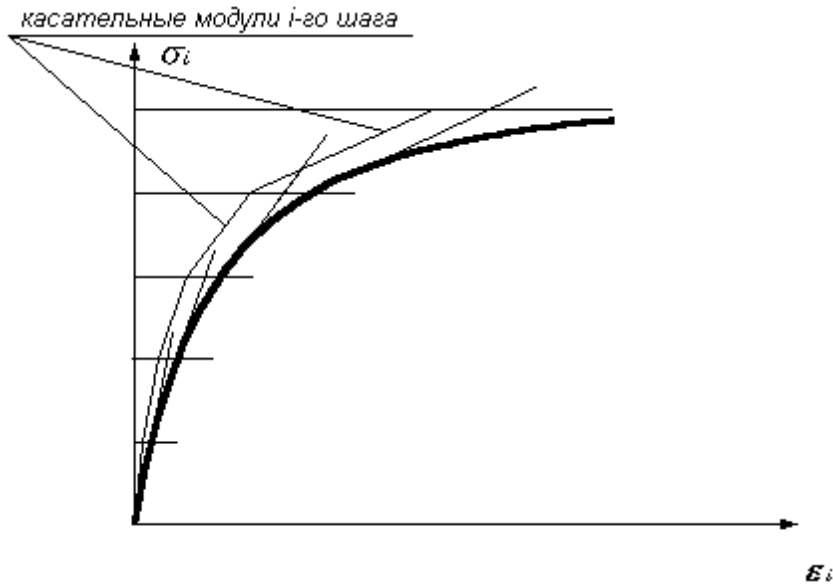


Рис. 11.1. Геометрическая интерпретация шагового метода для случая одноосного растяжения (сжатия)

На каждом шаге производится оценка напряженно-деформированного состояния, для стержневых элементов в точках интегрирования, в плоских и объемных элементах — в центре тяжести. В разделе результатов расчета «Сведения о состоянии материалов» приводятся сообщения о развитии или достижении предельных состояний, появлении пластических шарниров или состояний разрушения. Таблица формируется, если в процессе решения задачи материал сечения был частично или полностью разрушен или в сечении образовался пластический шарнир. В противном случае таблица остается пустой. В сообщениях указывается процент разрушения сечений элементов, как по основному, так и по армирующему материалу. При образовании в сечении пластического шарнира печатается соответствующий текст и величина предельного момента.

11.2 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Моделирование геометрической нелинейности производится с помощью соответствующих линейно упругих конечных элементов — нитей, мембран, изгибаемых стержней и пластин. Применяется шаговый метод с автоматическим выбором шага. На каждом шаге контролируется положительная определенность матрицы линеаризованной системы, что позволяет решать задачи устойчивости деформированной схемы. Реализован также метод, позволяющий решать геометрически нелинейные задачи после потери устойчивости.

11.3 ФИЗИЧЕСКАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Используется для задач, требующих одновременного учета нелинейно упругих свойств материала и больших перемещений. Применяется шаговый метод с автоматическим выбором шага. Критерий выбора — изменение геометрии и жесткостей.

11.4 КОНСТРУКТИВНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

Для решения задач конструктивной нелинейности используется итерационный метод. Моделирование обеспечивается специальными конечными элементами односторонних связей, трения, предварительного натяжения.

11.5 УПРУГОПЛАСТИЧНОСТЬ

Для решения задач упругопластичности используется итерационный метод. Библиотека упругопластичных конечных элементов содержит изгибаемые стержни и оболочки, элементы плоского напряженного состояния и плоской деформации, объемные элементы и элементы грунта.

11.6 ПОЛЗУЧЕСТЬ

Учет ползучести выполняется для всех физически нелинейных элементов, для которых должен быть задан закон уменьшения модуля упругости во времени (в сутках). Расчет может производиться после любой законченной истории нелинейных нагружений. Результатами являются суммарные перемещения узлов и усилия в элементах.

11.7 МОНТАЖ

Система **МОНТАЖ** предназначена для компьютерного моделирования процесса возведения сооружений. В графической системе создается расчетная схема, содержащая все элементы, монтируемые и демонтируемые. Монтаж и демонтаж элемента может быть выполнен только один раз.

На каждой стадии производится расчет конструктивной схемы, содержащей смонтированные и не демонтированные к этой стадии элементы.

После того как схема создана, необходимо сформировать монтажную таблицу, содержащую три набора данных:

1. **Стадии.** Для каждой стадии возведения указываются элементы, которые будут смонтированы и демонтированы. Допускаются пустые стадии, без монтируемых и демонтируемых элементов, они используются только для задания нагрузки. Каждой стадии должно соответствовать свое монтажное нагружение, количество стадий и монтажных нагружений одинаково.

2. **Группы.** Для каждой группы элементов схемы задаются поправочные коэффициенты к модулю деформации и к прочности бетона в соответствии с номерами стадий возведения. Поправочные коэффициенты не могут убывать от стадии к стадии. Если информация о группах не указана, то характеристики материала остаются неизменными на всех стадиях.

3. **Дополнительные нагружения.** Для каждой стадии задаются номера дополнительных нагружений и коэффициенты (в том числе нулевые и отрицательные), с которыми эти нагружения должны учитываться при возведении. Под дополнительными подразумеваются присутствующие только при возведении. Это, например, нагружения от складирования строительных материалов, от их перемещения в пределах этажа или с этажа на этаж и т.п. Они задаются под номерами, большими, чем общее количество стадий возведения. Эксплуатационные нагрузки на завершённое сооружение задаются на послестадийных нагружениях.

В результате работы расчетного процессора системы **МОНТАЖ** в элементах вычисляются усилия и напряжения, накапливаемые в процессе возведения.

По умолчанию перемещения узлов в процессе счета не накапливаются, а вычисляются для каждой стадии.

При моделировании сооружений из железобетона могут быть учтены климатические условия, при которых происходит замораживание или оттаивание уложенной бетонной смеси, что реализуется коэффициентами понижения или повышения прочности и модуля деформации бетона на различных стадиях возведения. При этом производится учет текущих прочности и модуля деформации бетона, а также наличия временных стоек опалубки. На каждой стадии расчета определяется количество арматуры во всех сечениях железобетонных элементов. Результаты армирования для каждой стадии представлены в виде таблиц, по которым легко оценить, является ли проектное армирование достаточным.