

# МЕДИЦИНА, ПЕДАГОГИКА И ТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Researchbib Impact factor: 11.79/2023

SJIF 2024 = 5.444

Том 2, Выпуск , 30 АПРЕЛЬ

## РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Бекмуродов Умид Бекмуродович**, ассистент Термизский инженерно-технологический институт

**Кулмаматов Р. Ж.** ассистент Термизский инженерно-технологический институт

В настоящее время имеется большое количество вариантов расчета конструкций транспортных сооружений, которые отличаются способами учета физической нелинейности составляющих конструкций [1]. В работе рассматривается алгоритм деформирования и разрушения плоских систем, работающих в условиях плоского напряженного состояния.

При этом рассматривается, различные критерии разрушения и численно прослеживается процесс исчерпания несущей способности конструкции. Известно, что в механике твердого тела решение любой задачи заключается в решении следующей системы уравнений [2]:

1. Уравнений равновесия.
2. Уравнений совместности деформаций.
3. Определяющих уравнений или соотношений между напряжениями и деформациями для материала конструкции.

Предлагаемая модель расчета конструкций позволяет производить расчет на единой методической основе любых элементов с различной формой поперечного сечения и разным расположением пути, с составными и комбинированными сечениями, включающими различные виды напряжений и деформаций при различном характере внешних нагрузок и воздействий.

При моделировании расчета конструкций методом конечных элементов система может быть представлена в следующей форме

# МЕДИЦИНА, ПЕДАГОГИКА И ТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Researchbib Impact factor: 11.79/2023

SJIF 2024 = 5.444

Том 2, Выпуск , 30 АПРЕЛЬ

$$[K(q)]\{q\} = \{P\}, \quad (1)$$

где  $\{q\}^T = \{q_1 \ q_2 \dots \ q_n\}$  – вектор искомых величин;  $\{P\}^T = \{P_1 \ P_2 \dots \ P_n\}$  – вектор, элементы которого характеризуют заданное внешнее воздействие на конструкцию;  $[K(q)]$  – квадратная матрица размером  $n \times n$ , элементы которой

зависят не только от свойств материала конструкции, но и от ее напряженно - деформированного состояния, выражаемого через вектор  $\{q\}$ . Именно это обстоятельство приводит к тому, что решение системы (1) может быть получено лишь с помощью итерационных методов [3].

Метод переменных параметров состоит в том, что значение элементов общей матрицы  $[K(q)]$  на каждом этапе решения системы (1) определяется через значения вектора  $\{q\}$ , полученного на предыдущем этапе

$$[K(q^{(s-1)})]\{q^{(s)}\} = \{P\}, \quad (2)$$

где  $s$  – номер итерации. На первой итерации ( $s = 1$ ) значения неизвестных  $q_i$  ( $i = 1, 2 \dots n$ ), от которых зависят элементы матрицы  $[K]$  можно принять равным нулю. В этом случае нелинейные составляющие обращаются в нуль. В результате получим матрицу  $[K(q)] = [K]_A$  линейной задачи. Процесс последовательных решений уравнения (2) с процедурой уточнения элементов матрицы  $[K]$  на каждой итерации продолжается до тех пор, пока разница между результатами решения, полученными на данной и предыдущей итерации, окажется меньше заданной, достаточно малой величины.

Описанный процесс последовательных приближений при своей простоте имеет тот недостаток, что при сильной нелинейности слабо сходится, а иногда оказывается расходящимся. Необходимость на каждой итерации решать общую систему уравнений для новой матрицы  $[K(q)]$  заметно увеличивает

# МЕДИЦИНА, ПЕДАГОГИКА И ТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Researchbib Impact factor: 11.79/2023

SJIF 2024 = 5.444

Том 2, Выпуск , 30 АПРЕЛЬ

трудоемкость метода. Этот метод иногда называют методом переменных жесткостей.

Метод дополнительных векторов по сравнению с предыдущим, приводит к определенному уменьшению трудоемкости вычислений. Он основан на выделении из матрицы  $[K(q)]$  ее линейной составляющей

$$[K(q)] = [K]_{\Lambda} + [K]_{\text{H}}. \quad (3)$$

С учетом (3) уравнение (1) можно представить так

$$[K]_{\Lambda} \{q\} = \{P\} - [K]_{\text{H}} \{q\}. \quad (4)$$

Применительно к (4) процедура последовательных приближений такова

$$[K]_{\Lambda} \{q^{(s)}\} = \{P^{(s-1)}\}, \quad (5)$$

$$\{P^{(s-1)}\} = \{P\} - [K(q^{(s-1)})]_{\text{H}} \{q^{(s-1)}\}, \quad (6)$$

очевидно, что

$$\{q^{(s)}\} = [K]_{\Lambda}^{-1} \{P^{(s-1)}\}, \quad (7)$$

то есть использование этого метода требует лишь разового обращения матрицы  $[K]_{\Lambda}$ .

Значения грузового вектора  $\{P^{(s-1)}\}$  при этом уточняется на каждой итерации. Этот метод как и предыдущий, достаточно прост и эффективен. В нем число итераций сильно зависит от точности начального приближения. Процедура плохо сходится для существенно нелинейных задач, а в случае вогнутости кривой  $P(q)$  процесс итераций может оказаться расходящимся. Метод дополнительных векторов называют иногда методом упругих решений. Ускорение сходимости последовательных приближений достигается *методом Ньютона–Рафсона*. Была составлена программа расчета конструкций под статической нагрузкой.

# МЕДИЦИНА, ПЕДАГОГИКА И ТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Researchbib Impact factor: 11.79/2023

SJIF 2024 = 5.444

Том 2, Выпуск , 30 АПРЕЛЬ

Программа рассчитывает внутренние усилия, а также прогибы и деформации в конструкции. Расчет конструкций пути производится в нелинейной постановке с использованием метода последовательных нагружений при котором нагрузка на конструкцию прикладывается порциями и на каждой порции приращения ищется решение, которое далее суммируется с предыдущими решениями.

## Литература

1. Х.В. Pang, Т.С. Hsu Fixed Angle Softened Truss Model for Reinforced Concrete / ACI Struct. Journ. 1996. V. 93, №2, pp. 197–207.

2.С. И. Роговой С. И. Нелинейное деформирование в теории материалов и расчет прочности нормальных сечений. – Полтава, 2002. -183 с.

3.В.М. Бондаренко. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: Монография. М.: Издательство АСВ, 2004. - 472 с.