

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Филимонов А.П., главный инженер проектов.

*Проектно-изыскательский институт объектов транспорта*

*АО «ХАРГИПРОТРАНС»*

*ул.Энгельса 29Б, г. Харьков, Украина*

*E-mail: alexfil@ukr.net*

В настоящее время разработано множество моделей конструкций, учитывающих нелинейность деформирования материалов и особенности связанные с образованием трещин в бетоне. Отмечая большие достоинства наиболее совершенного метода Н. И. Карпенко [1], следует все же указать, что в нем нет отражения особенностей деформирования бетона в условиях двухосного напряженного состояния. Допущением также является то, что на всех стадиях работы с трещинами принимается прямоугольная эпюра в сжатой зоне бетона и не учитывается работа растянутого бетона над трещиной. Кроме того, жесткости элементов при переходе от одной стадии в другую (от одной схемы трещин к другой) претерпевают дискретные изменения, что усложняет алгоритм решения и неблагоприятно сказывается на сходимости процесса последовательных приближений.

Целью настоящего исследования является разработка конечного элемента прямоугольной формы для сталебетонной плиты, свободного от отмеченных недостатков.

Рассматривается бетонная плита с внешним листовым армированием. Для данной плиты будем считать справедливыми предпосылки теории «тонких плит», которые формулируются следующим образом: напряжения  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  пренебрежимо малы по сравнению с основными напряжениями  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ; прогибы малы в сравнении с толщиной плиты; перемещения в направлении оси  $z$  постоянны по толщине плиты и равны прогибам срединной поверхности, которая не испытывает деформаций в своей плоскости.

Функционал полной потенциальной энергии системы является основой для решения поставленной задачи. Имея дифференциальные операторы, связывающие перемещения с напряжениями и деформациями, построим функционал полной потенциальной энергии:

При расчете сталебетонной плиты, для описания работы бетона, использованы диаграммы деформирования материалов для различных видов напряженного состояния, учтена работа бетона с трещинами в растянутой зоне бетона, а также податливость связей сдвига на границе контакта бетона и стального листа. Для каждого конкретного вида напряженного состояния экспериментальные диаграммы деформирования бетона аппроксимируются аналитической зависимостью в виде полинома 4-й степени ( $k = 4$ ):

Принятая аппроксимация перемещений удовлетворяет наложенным условиям и дифференциальному уравнению изгибаемой пластины.

Далее, устанавливаем связь между постоянными коэффициентами полинома и перемещениями узлов конечного элемента. Для этого, формируем систему алгебраических уравнений относительно постоянных коэффициентов  $c_i$ , подставляя координаты узлов в функции перемещений. В результате получаем систему из 12-и линейных уравнений относительно постоянных коэффициентов.

Параметры напряженного состояния конечного элемента (погонные изгибающий и крутящие моменты) определяются через перемещения его узлов. Подставляя соответствующие производные от функции прогиба, получим функции погонных изгибающих и крутящего моментов  $M_x(x,y)$ ,  $M_y(x,y)$ ,  $M_{xy}(x,y)$  по области конечного элемента. Значения параметров в любой точке области конечного элемента находят подстановкой координат  $x$  и  $y$ .

В соответствии с полученной матрицей жесткости выполнен численный расчет сталебетонной плиты размером 1x1 м, толщиной бетона 0,05 м и толщиной стального листа 1 мм. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко Н. И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976.
2. Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д. Теория деформирования сталебетонных плит// Межвуз. сб. науч. тр./ХарГАЖТ, 1996. – Вып.27.
3. Варвак П. М., Городецкий А. С., Пискунов В. Г. и др. Метод конечных элементов.//К.: Вища школа, 1981.
4. Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д. Экспериментальные исследования сталебетонных плит// Строительство и архитектура. Сер. Изв. вузов, 1991. – Вып. 5.