

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛОСКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

ЗУЛПУЕВ А.М.
izvestiva@ktu.aknet.kg

Построена расчетная модель метода сосредоточенных деформаций для расчета железобетонных плоскостных конструкций, учитываемых в стесненных условиях деформирования при различных граничных условиях опирания по контуру.

В настоящее время для несущих систем многоэтажных зданий чаще всего применяются два типа расчётных моделей: дискретно-континуальные и дискретные. Тенденции дальнейшего совершенствования железобетонных элементов несущих систем многоэтажных зданий требуют соединения в расчётных моделях теории нелинейного деформирования железобетона с методами строительной механики и вычислительной техники для получения исчерпывающих и достоверных сведений о напряжённо-деформированном состоянии в элементах, их соединениях и несущих системах в целом, на основании чего могут быть запроектированы и осуществлены экономичные и надёжные конструктивные решения многоэтажных зданий.

Для расчета несущих систем многоэтажных зданий широко распространена дискретно-континуальная модель, детально разработанная в трудах Дроздова П.Ф., Додонова М.И., Панышина Л.Л. и Саруханяна Р.Л. [1].

Таким образом, дискретно-континуальная расчетная модель оказалась достаточно жизнеспособной, плодотворной и перспективной; ее потенциальные возможности, видимо, будут развиваться и в будущем. Вместе с тем, можно полагать, что дискретно-континуальные расчетные модели будут, по мере развития вычислительной техники, все чаще заменяться дискретными расчетными моделями вследствие большей общности, универсальности и хорошей математической обеспеченности последних, которыми являются методы сосредоточенных деформаций.

Идея метода сосредоточенных деформаций (МСД) состоит в том, что исходный стержень делится на элементы, по плоскостям раздела между которыми сосредотачиваются деформации прилегающих элементов. По-другому можно сказать так: исходный деформируемый стержень делится на элементы, превращаемые в жесткие и соединенные между собой податливыми связями, характеристики податливости (жесткости) которых должны сохранять свойства исходного стержня.

Основное достоинство метода сосредоточенных деформаций – простота формирования матриц жесткости сечений, элементов, стержней систем из них; при этом элементами матриц жесткости сечений служат балочные жесткостные характеристики (изгибная, осевая и т.д.), сохраняющие свой смысл также и в упругопластической стадии работы; причем такие же жесткостные характеристики распространяются и на случай плоского напряженного состояния и изгиба в двух направлениях для упруго и неупруго работающих железобетонных плит.

Другим достоинством метода сосредоточенных деформаций является четкое деление сложного напряженно-деформированного состояния на элементарные составляющие (изгиб, сжатие-растяжение и т.д.).

Третьим достоинством метода сосредоточенных деформаций является простота учета податливых соединений между элементами или в опорных устройствах, это имеет значение при расчете сборно-монолитных или составных конструкций.

Четвертым достоинством метода сосредоточенных деформаций является широкое использование гипотезы плоских сечений. Это обстоятельство позволяет резко уменьшить число элементов МСД по сравнению с обычными применяемыми числами метода конечных элементов, без потери точности в описании напряженно-деформированного состояния на участках значительной протяженности.

Так, для стержневых элементов закон плоского деформирования принимается единым по всей высоте поперечного сечения; в задачах о плоско - напряженном состоянии и изгибе плит законы плоского деформирования задаются едиными для каждого элемента МСД в отдельности. Законы плоского деформирования в пределах элементов МСД совместно с нелинейными диаграммами

деформирования материалов " $\sigma_m - \varepsilon_m$ " позволяют выявить сложный характер распределения напряжений на тех же участках [2].

А также метод сосредоточенных деформаций ориентирован, прежде всего, на расчет элементов с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры; в этом случае необходимо, для учета меняющейся по длине жесткости, делить стержни также и при обычном варианте метода конечного элемента; поэтому в этом случае метод сосредоточенных деформаций и обычный метод конечных элементов близки между собой в смысле необходимой степени дискретизации. Вместе с тем при учете нелинейности железобетонных стержней в методе конечных элементов, элементы матрицы жесткости приходится отыскивать в главных центральных осях, меняющих свое положение в зависимости от уровня напряженно-деформированного состояния. В методе сосредоточенных деформаций матрицы жесткости элементов строятся непосредственно на основе матриц жесткости сечений в неизменных координатных осях без перехода к центральным осям сечений. Это обстоятельство свидетельствует о значительном достоинстве метода сосредоточенных деформаций.

Изгибаемая сборная железобетонная плита перекрытия сплошного сечения разбивается плоскостями сосредоточенных деформаций на прямоугольные (квадратные) элементы размером $a_k * b_k$ (рис.1).

Рассматривая эти "элементы МСД" как жесткие, введем между ними условные (фиктивные) связи, способные сопротивляться изгибу, кручению, сдвигу и сжатию – растяжению; жесткость связей определяется свойствами материалов и сечениями плиты перекрытий. Схема внутренних сил по плоскостям сосредоточенных деформаций, внешние силы сводятся к узловым, прикладываемым в местах фиктивных связей метода перемещений.

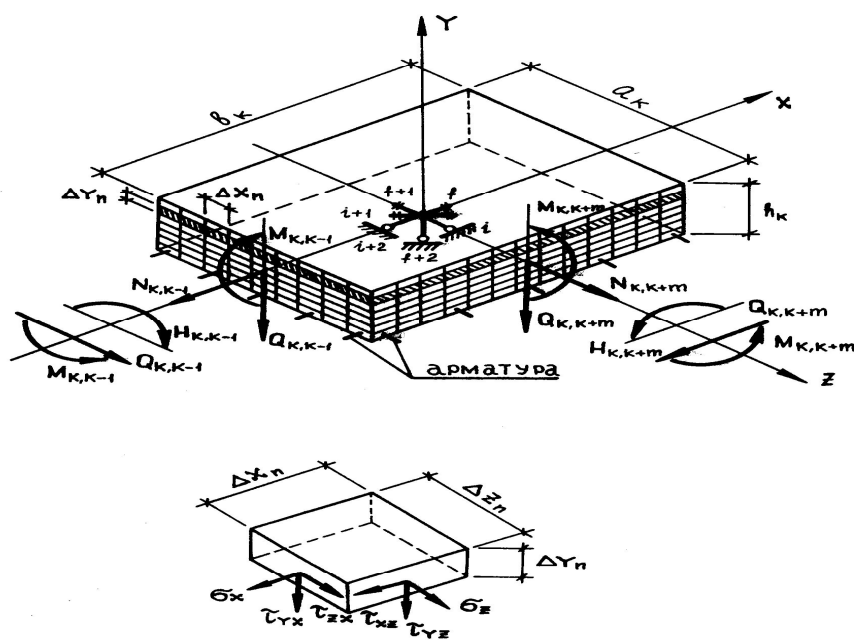


Рис.1. Железобетонная плита, расчетная схема по МСД

Напряженно-деформированное состояние железобетонных плит выражается матричным уравнением вида

$$[R] * \{v\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[R]$ - матрица внешней жесткости системы;
 $\{v\}$ - вектор искомым перемещений элементов МСД;
 $\{P\}$ - вектор узловых нагрузок.

Связь между внутренними усилиями по плоскостям сосредоточенных деформаций и соответствующими деформациями записывается в виде

$$\{F\} = [\mathcal{E}] * \{\lambda\}, \quad (2)$$

где $\{F\}$ - вектор внутренних усилий;

$[\mathcal{E}]$ - матрица внутренней жесткости сечений;

$\{\lambda\}$ - вектор сосредоточенных деформаций (взаимных смещений и поворотов элементов МСД).

Для всех сечений элементов МСД по плоскостям сосредоточенных деформаций принимается гипотеза плоских сечений. Система алгебраических уравнений (1) решается относительно вектора перемещений $\{v\}$. Для этого должны быть известны матрица внешней жесткости $[R]$ и вектор узловых нагрузок $\{P\}$.

Имея расчетную модель, без особых затруднений можно составить вектор внешних сил $\{P\}$. Основная трудность заключается в формировании матрицы внешней жесткости системы $[R]$. Для ее построения можно применить способ единичных перемещений элементов МСД в направлении наложенных связей. Однако, как показала практика, удобнее воспользоваться формулой

$$[R] = [A] * [K] * [A]^T, \quad (3)$$

где $[A]$ - матрица коэффициентов уравнений равновесия элементов МСД;

$[A]^T$ - матрица, транспонированная с матрицей коэффициентов уравнений равновесия $[A]$;

$[K]$ - матрица внутренней жесткости сечений.

Согласно формуле (2) связь между внутренними усилиями по плоскостям сосредоточенных деформаций и соответствующими деформациями для типового k -го элемента МСД запишем в матричном виде

$$\{F\}_k = [\mathcal{E}]_k * \{\lambda\}_k, \quad (4)$$

где $\{F\}_k$ - вектор внутренних сил по граням k -го элемента по плоскостям сосредоточенных деформаций;

$[\mathcal{E}]_k$ - матрица жесткости сечений для k -го элемента по тем же граням;

$\{\lambda\}_k$ - вектор соответствующих деформаций.

В изгибаемых плитных элементах (рис. 1) сложности состоят в том, что сечения по плоскостям сосредоточенных деформаций являются комплексными. А так как бетон работает упруго лишь при небольших нагрузках, то с развитием неупругих деформаций по высоте железобетонной плиты, плоскость, соединяющая точки с нулевыми деформациями, меняет свое положение, отклоняясь от нейтральной плоскости для упругого состояния.

Кроме того, что в общем случае железобетонная плита будет распорной системой, т.е. ее закрепление на опорах практически невозможно осуществить на уровне нейтральной плоскости, меняющей свое положение в зависимости от уровня загрузки. Особенности расчета железобетонных плит с учетом нелинейной работы элементов, в отличие от упругой постановки задачи, заключаются в формировании матрицы жесткости, где появляются дополнительные побочные элементы. Эти элементы отражают взаимное влияние продольных сил, изгибающих и моментов, действующих по плоскостям сосредоточенных деформаций. В то же время следует сказать, что элементы матрицы нелинейные, что объясняется неупругими деформациями бетона и арматуры.

На основе разработанного метода сосредоточенных деформаций реализована программа для определения прочности, перемещений и трещиностойкости железобетонных плит перекрытий.

Выводы: Из вышеизложенного следует, что основные особенности расчетной методики и алгоритмов программы заключаются в том, что наряду с упруго-пластическими свойствами железобетона, они позволяют учесть влияние на работу плит перекрытий нормальных усилий (т.е. эффект распора) по высоте сечения плит перекрытий при различных граничных условиях опирания по контуру.

Литература

1. Дроздов П.Ф., Додонов М.И., Панышин Л.Л., Саруханян Р.Л. Проектирование и расчет многоэтажных гражданских зданий и их элементов. – М.: Стройиздат, 1986. С. 351.
2. Зулпуев А.М. Построение аппроксимирующей зависимости «Напряжение- деформация» для бетона. Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». №2,2006 г., М., 2006. С. 9-11.

