

Зулпуев А.М.

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛОСКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

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 Сарухяна 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, которым является метод 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 конструкциях.

Четвертым достоинством метода сосредоточенных деформаций является широкое использование гипотезы плоских сечений. Это обстоятельство позволяет резко снизить число элементов МСД по сравнению с обычным 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 "" 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 плоскос-

тями сосредоточенных деформаций на прямоугольные (квадратные) элементы размером .

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.

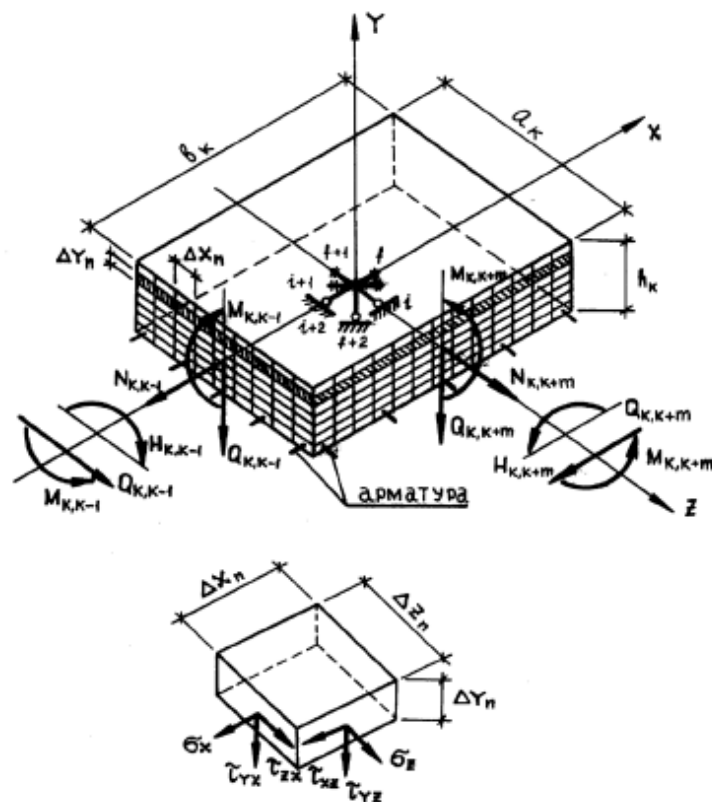


Рис.1. Железобетонная плита, расчетная схема по МСД

Напряженно-деформированное состояние железобетонных плит выражается матричным уравнением вида

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

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

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

$$\{F\} = [Y] * \{\lambda\} \quad (2)$$

где: {F} - вектор внутренних усилий;
 {Y} - 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

$$[R] = [A] * [\hat{E}] * [A]^0 \quad (3)$$

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

$$\{F\}_k = [Y]_k * \{\lambda\}_k \quad (4)$$

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

$[F]_k$ - матрица жесткости сечений для k -го элемента по тем же граням;

$\{l\}_k$ - 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, заключается 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:

Основные особенности расчетной методики и алгоритмов программы заключается 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.

Литература:

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