

**Сопоставление результатов расчёта монолитного железобетонного безбалочного перекрытия по двум расчётным моделям в ПК Лира 9.6 и методом предельного равновесия**

Литвин С.И.

(Научный руководитель – Смех И.В.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Монолитные безбалочные перекрытия состоят из плит, опирающихся на стены или, в каркасных зданиях, на колонны или на капители колонн.

В настоящее время существует ряд методов расчёта междуэтажных перекрытий. В данной работе для определения площади рабочей арматуры плиты использованы методы компьютерного моделирования и метод предельного равновесия. Моделирование выполняется в одном из наиболее распространённых программных комплексов Lira 9.6. В основу комплекса Lira положен метод конечных элементов и расчет конструкций выполняется в упругой постановке задачи, по методу допускаемых напряжений. Данный подход при расчете статически определимых и статически неопределимых систем не позволяет найти их истинный запас прочности, так как исчерпание несущей способности конструкции сопровождается появлением в ней пластических деформаций.

В ходе исследования моделирование плиты перекрытия было выполнено двумя способами: с помощью стержневых элементов и с помощью плоских элементов.

**Моделирование плиты плоскими конечными элементами**

Характеристика расчётной модели:

- Тип конечного элемента перекрытия – КЭ44 (универсальный четырехугольный элемент оболочки);
- Тип конечного элемента колонны – КЭ5 (элемент пространственной рамы)
- Шаг сетки КЭ в перекрытии – 200 мм в обоих направлениях.

Модель плиты представляла собой систему перекрестных балок с жестким опиранием на узлы. Сопряжение колонны с перекрытием реализовано с помощью создания АЖТ (абсолютно жесткого тела).

Нагрузки на плиту прикладывались в виде равномерно распределенных по плоскости элементов.

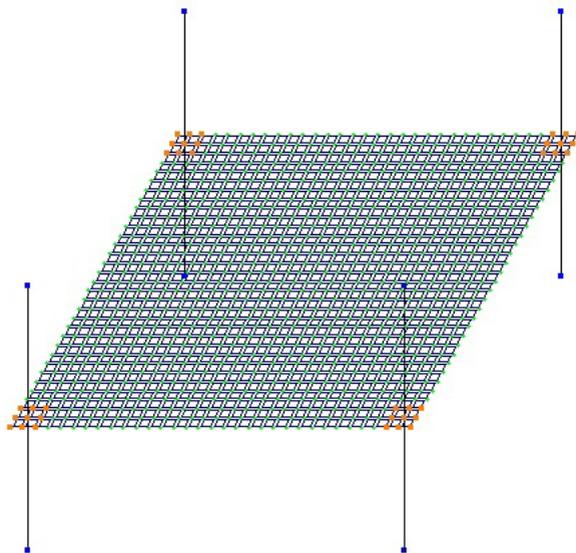


Рисунок 1. Континуальная модель ячейки плиты.

В результате расчета были определены усилия и требуемая площадь поперечного сечения продольной рабочей арматуры (см. таблицу 1).

### **Моделирование плиты конечными элементами «стержень»**

- Характеристика расчётной модели:
- Тип конечного элемента перекрытия и колонны – КЭ5 (элемент пространственной рамы);
- Длина узлов КЭ сетки – 200 мм в обоих направлениях;
- Сопряжение колонны с перекрытием выполнено с помощью создания АЖТ (абсолютно жесткое тело).

Нагрузки на плиту перекрытия прикладывались в виде сосредоточенных сил к узлам КЭ сетки.

В результате расчета были определены усилия и требуемая площадь поперечного сечения продольной рабочей арматуры (см. таблицу 1).

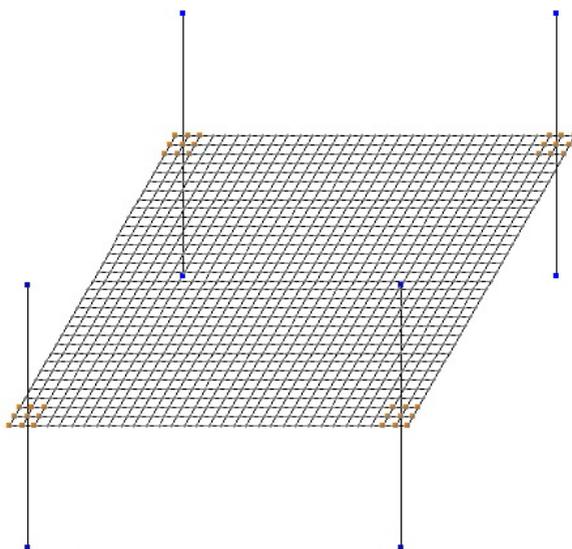


Рисунок 2. Стержневая модель ячейки плиты.

### **Расчёт плиты методом предельного равновесия**

Расчет безбалочного монолитного перекрытия производим по методу предельного равновесия. Экспериментально было установлено, что для безбалочной плиты наиболее опасными являются 2 схемы загрузки – полосовая (через пролет) и сплошная (при загрузке по всей площади плиты).

За расчетную принимаем полосовую нагрузку. При полосовом загрузке одного пролета перекрытия величиной  $l_1$  в состоянии предельного равновесия образуются три параллельных пластических шарнира (рис. 3).

В пролете линейный шарнир образуется по оси загруженных панелей и трещины раскрываются вниз. У опор пластические шарниры отстоят от осей колонн на расстоянии  $c_1$  и трещины раскрываются вверх. Пролетный и опорный пластические шарниры разделяют панели на два жестких звена.

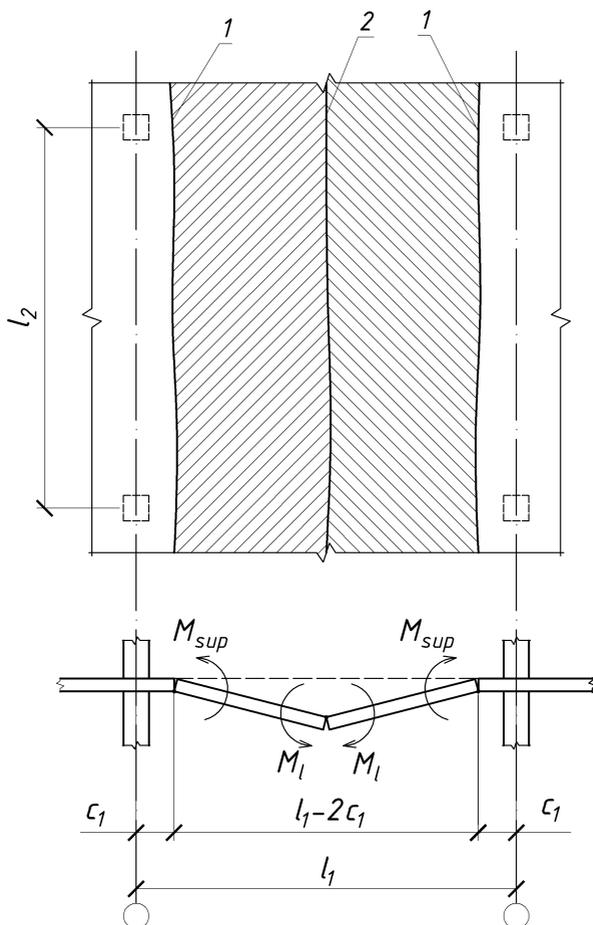


Рисунок 3. Схема линейных пластических шарниров при полосовой нагрузке;  
 1 – опорные пластические шарниры,  
 2 – пролетный пластический шарнир.

При загрузении полосовой нагрузкой для случая излома отдельной полосы с образованием двух звеньев, соединенных тремя пластическими шарнирами, среднюю полосу рассчитывают из условия, что суммы опорного и пролётного моментов, воспринимаемых сечением плиты в пластических шарнирах

$M_{sup} = f_{yd} \cdot A_{s,sup} \cdot z_{sup}$  и  $M_l = f_{yd} \cdot A_{s,l} \cdot z_l$  равны балочному моменту плиты шириной  $l_2$  и пролетом  $l_1$ , т.е.

$$\frac{l_2 \cdot p \cdot (0,5l_1 - c_1)^2}{2} \leq f_{yd} \cdot (A_{sup} \cdot z_{s,sup} + A_{s,l} \cdot z_{s,l}),$$

где  $c_1$  – расстояние от опорных пластических шарниров до оси ближайших к ним рядов колонн в направлении  $l_1$ ;

$A_{s,sup}$ ,  $A_{s,l}$  – площади сечения арматуры в опорном и в пролетном пластических шарнирах в пределах одной панели;

$z_{s,sup}$ ,  $z_{s,l}$  – плечи внутренних пар в опорном и пролетном пластических шарнирах;

$p$  – принятое расчётное сочетание нагрузок на  $1 \text{ м}^2$ .

В целях упрощения расчета уравнение равновесия выражаем через коэффициенты  $\theta_{sup} = A_{sup} / A_{s1}$  и  $\theta_l = A_l / A_{s1}$ , где  $A_{s1} = A_{sup} + A_l$  – суммарная площадь сечения арматуры, то-

гда 
$$\frac{l_2 \cdot p \cdot (l_1 - 2c_1)^2}{8} \leq f_{yd} \cdot A_s \cdot z_l \cdot \left( \theta_{sup} \cdot \frac{z_{s,sup}}{z_{s,l}} + \theta_l \right).$$

При расчете панелей принимаем  $\theta_l = 0,4$ ,  $\theta_{sup} = 0,6$ .

Результаты проведенных расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Метод расчета / Положение арматуры	Программный комплекс «ЛИРА» 9.6 (стержневая модель)	Программный комплекс «ЛИРА» 9.6 (континуальная модель)	Расчет методом предельного равновесия
верхнее армирование	1570 мм <sup>2</sup> /м	1620 мм <sup>2</sup> /м	344 мм <sup>2</sup> /м
нижнее армирование	393 мм <sup>2</sup> /м	340 мм <sup>2</sup> /м	172 мм <sup>2</sup> /м

Сопоставляя результаты расчётов можно сделать вывод о признании наиболее точным и приближённым к реальной работе материала под нагрузкой, расчет методом предельного равновесия, так как требуется минимальный расход арматуры для конструирования перекрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 5.03.01-02 “Бетонные и железобетонные конструкции” (с изменениями №1..5) Мн.: Минстройархитектуры, 2004 г.
2. СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" /Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988 г.
3. СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" (Изменение №1 РБ) /Министерство архитектуры и строительство Республики Беларусь. – Мн.: Минстройархитектуры, 2004 г.
4. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования\\ Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. Проф. Т.М. Пецоляда и проф. В.В. Тура.-Брест,БГТУ, 2003.
5. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов.- 5-е издание, переработанное и дополненное. В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат., 1991г.