

УДК 624.014.059.22

Моделирование шатровых плит перекрытий жилых зданий с применением МКЭ

Риблов В.В.

Луганский национальный аграрный университет, Украина

Анотація. Підвищена деформативність шатрових плит перекриттів цивільних будинків потребує індивідуального підходу при розрахунках і конструюванні. Обґрунтована необхідність виконання розрахунків з урахуванням впливу нелінійних властивостей залізобетону. Запропоновано способи урахування нелінійних властивостей залізобетону при розрахунках таких конструкцій.

Аннотация. Повышенная деформативность шатровых плит перекрытий гражданских зданий требует индивидуального подхода при расчетах и конструировании. Обоснована необходимость выполнения расчетов с учетом влияния нелинейных свойств железобетона. Предложены способы учета нелинейных свойств железобетона при расчетах таких конструкций.

Abstract. The increased deformation of hip flags of ceilings of civil buildings requires individual approach at calculations and constructing. Necessity of performance of calculations is proved in view of influence of nonlinear properties of Ferro-concrete. The methods of account of nonlinear properties of the reinforced concrete are offered during the calculations of such constructions.

Ключевые слова: шатровая плита, свойства бетона, прогиб.

Введение. Постановка проблемы. Шатровые плиты еще недавно были наиболее распространенным типом перекрытий гражданских зданий. Опыт эксплуатации таких конструкций свидетельствует об их повышенной деформативности, что приводит к провисаниям конструкций, нарушению эстетики помещений. В ряде случаев подобное обстоятельство не просто создает неудобства при проживании, но иногда приводит к аварийным ситуациям. Поэтому при проектировании аналогичных конструкций необходимо выполнять расчеты (в т.ч. и поверочные существующих конструкций) с учетом нелинейных свойств железобетона.

Методики расчета, рекомендуемые действующими нормативными документами, не всегда дают возможность правильно оценить деформативность конструкций, поскольку в их основу положены предпосылки упругой или об упругопластической работе материала в эксплуатационной стадии. Положение усугубляется еще и тем, что расчеты ведутся, как правило, с применением недеформированных схем.

Работа отвечает актуальным направлениям научно-технической политики Украины в области оценки технического состояния строительных конст-

рукцій в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины № 409 от 5 мая 1997 г. «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей».

Анализ последних достижений и публикаций (решению проблем, связанных с конструированием железобетонных изгибаемых элементов перекрытий зданий и сооружений посвящены регулярно проводимые конференции как в стране, так и за рубежом) свидетельствует о необходимости продолжения исследований, направленных на решение важной народнохозяйственной задачи – обеспечения нормальной эксплуатации перекрытий гражданских зданий. Решение этой задачи возможно различными методами. При этом учет упругопластических свойств материалов конструкций и изменения условий закрепления при расчетах производится не всегда адекватно [1, 2], что не дает возможности сделать правильные выводы о том, удовлетворяют ли запроектированные конструкции ограничения по обем группам предельных состояний.

Цель работы. Разработка методики учета нелинейных свойств железобетона при расчетах шатровых плит перекрытий гражданских зданий.

Основная часть. При расчетах пластинчатых конструкций неупругая работа материала в уравнении изгиба пластинки может быть учтена следующим образом [1]:

$$D \left(\theta_x \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \theta_y \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right) = p(x, y), \quad (1)$$

где $\theta_x = E_{x,i,pl}/E$, $\theta_y = E_{y,i,pl}/E$ – отношение упругопластического модуля в направлении соответственно осей X и Y к модулю упругости в точке с координатами x, y ; $W = W(x, y)$ – прогиб пластинки в точке с координатами x, y ; D – цилиндрическая жесткость пластинки; $p(x, y)$ – значение интенсивности распределенной нагрузки в точке с координатами x, y .

Выражения для моментов и поперечных сил могут быть записаны с учетом коэффициентов перевода модуля упругости в упругопластический модуль в направлении осей X и Y (θ_x, θ_y) и упругого модуля сдвига в упругопластический модуль сдвига ($\sqrt{\theta_x \cdot \theta_y}$) следующим образом:

Решение уравнения (1) должно удовлетворять граничные условия на всех четырех краях пластинки. Граничные условия определяются конструктивными особенностями перекрытия. Например, при условии свободного опирания по краям b прогиб W и момент на краях $x=0, x=a$ равны нулю.

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left(\theta_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left(\nu \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \theta_y \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ M_{xy} &= -D \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} (1-\nu) \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \\ Q_y &= -D \frac{\partial}{\partial y} \left(\sqrt{\theta_x \cdot \theta_y} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \theta_y \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Расчет конструкции может быть выполнен МКЭ. При этом адекватная существующей конструкции модель МКЭ должна учитывать все свойства конструктивных элементов, в частности, железобетона.

Поскольку при проверках конструкций необходимо выполнять расчеты по двум группам предельных состояний, рекомендуется разрабатывать две расчетные модели:

- упрощенную – для проверки (подбора) армирования плиты;
- усложненную – практически адекватную существующей конструкции (для определения прогибов, перемещений и т.п.).

В упрощенной модели железобетонная плита моделируется плоскими КЭ, деформируемыми по линейному закону. Для бетона шатровой плиты задается модуль упругости, который определяется для установленного класса бетона конструкции в соответствии с требованиями [3] с умножением на коэффициент 0,85. Класс бетона по прочности устанавливается по результатам выполненного обследования конструкций. Коэффициент 0,85 частично учитывает неупругие свойства бетона.

Для определения прогибов конструкций разработана усложненная модель с использованием объемных КЭ с нелинейной зависимостью деформирования бетона. Нелинейная работа железобетона учитывается с помощью экспериментально полученных зависимостей « $\sigma_b - \epsilon_b$ » [4] для бетона соответствующего класса по прочности. Арматура моделируется стержневыми КЭ приведенной площади для принятого шага дискретизации КЭ. Опти-

мальний шаг дискретизации исследуемой области плиты перекрытия на КЭ определяется по результатам выполненных предварительных расчетов.

Общий вид усложненной модели приведен на рис. 1.

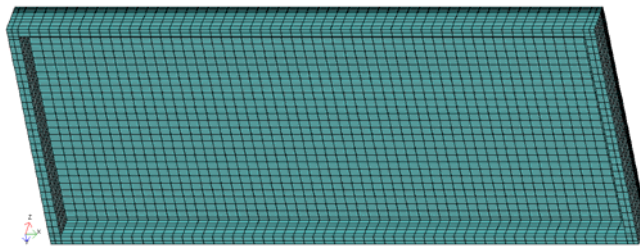


Рис. 1. Общий вид усложненной модели шатровой плиты

В расчетной схеме задаются три загрузки.

Собственный вес конструкций. Плотность железобетона принимается 2500 кг/м^3 . Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f=1,1$.

Собственный вес пола и перегородок. Характеристическое значение равномерно распределенной нагрузки принимается по данным проведенных обследований или проектным материалам. При отсутствии таких данных принимается равным $q=0,12 \text{ т/м}^2$. Коэффициент надежности по нагрузке – $\gamma_f=1,3$.

Полезная нагрузка. Характеристическое значение равномерно-распределенной нагрузки согласно табл. 6.2. ДБН В.1.2-2:2006 принимается равным $q=0,15 \text{ т/м}^2$. Коэффициент надежности по нагрузке – $\gamma_f=1,3$.

Усложненная модель используется при расчетах на характеристические величины нагрузок. В результате расчетов получают численные величины деформаций конструкций. Изополю вертикальных перемещений плиты приведены на рис. 2.

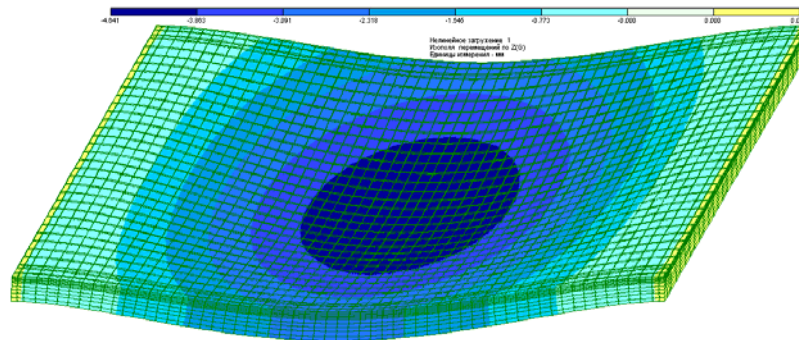


Рис. 2. Деформации плиты вдоль оси OZ

Учет неупругих свойств железобетона можно выполнить при расчетах по упрощенной схеме. В этом случае по результатам расчета на предыдущей итерации определяют коэффициенты θ_x , θ_y и $\sqrt{\theta_x \cdot \theta_y}$. После определения коэффициентов корректируют модули упругости КЭ и выполняется следующий этап расчета. Расчет считается окончанным после получения практически одинаковых результатов на смежных этапах расчета.

Выводы

1. Предложена методика расчета шатровых плит перекрытий гражданских зданий с учетом упругопластических свойств железобетона. Учет свойств железобетона возможен при расчетах с использованием как известных ВК МКЭ типа ЛИРА, SCAD, так и с применением других численных методов. При формировании матрицы жесткости нелинейные свойства учитываются введением понижающих коэффициентов θ_x , θ_y и $\sqrt{\theta_x \cdot \theta_y}$, которые уточняются в процессе итерационного расчета модели.

2. В результате расчета по данной методике можно определить не только НДС, но и дать прогноз развития осадок и прогибов во времени. Для этого достаточно задать закон изменения жесткостных характеристик пластинки в каждой точке во времени.

Литература

- [1] Голоднов А.И., Риблов В.В. Расчет железобетонных плит, опирающихся на деформируемый контур. // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 2. – С. 43 – 48.
- [2] Голоднов А.И., Риблов В.В. О техническом состоянии шатровых плит перекрытий жилых зданий. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: вид-во ЛНАУ, 2008. – №88. – С. 28 – 33.
- [3] СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 76 с.
- [4] Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. / НИИСК Госстроя СССР. – Киев, 1987. – 24 с.

Надійшла до редколегії 03.06.2009 р.