К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

К.Ахмедов, К. Юлдашев, А. Алимжанов

Мақолада темир-бетон қобиқларнинг зилзилали ҳудудларда юк кўтариш қобилияти таҳлил қилинган, уларнинг узоқ муддатли юк таъсиридаги геометрик ночизиқли ҳолатини баҳолашнинг математик модели таклиф қилинган. Оптимал лойиҳалаш масалалари ечилган.

Analyzed a carry capacity of the ferroconcrete's shell in seismically places and suggested mathematical model for evolution their geometric nonlinear behavior on prolonged effectional forces. Solved problems of optimal designing.

Традиционные расчеты несущей способности проводятся обычно на основе методов теории предельного равновесия – статического и кинематического. Кинематический метод получил более широкое распространение, так как требует определения в общем случае трех полей кинематически допустимых перемещений, между тем как статический метод нуждается в подборе шести статически допустимых полей внутренних усилий**.**

Одно из условий обоснованного применения теории предельного равновесия – требование малости перемещений и неизменность исходной формы оболочки к моменту исчерпания несущей способности. В большинстве практических задач это требование соблюдается, однако, имеются и такие задачи, где такое условие выполнить не удается. Примером подобных задач является деформирование и разрушение железобетонных оболочек в условиях ползучести, чему и посвящена настоящая статья. Сущность проблемы заключается в том, что обе теоремы предельного равновесия – и статическая, и кинематическая — могут быть доказаны лишь для системы с неизменной геометрией**.**

Напряженно-деформированное состояние пологих оболочек описывается нелинейными дифференциальными уравнениями вида

$$D\nabla^2\ \nabla W - \nabla^2{}_k\varphi - \frac{d^2W}{dx^2}\cdot\frac{d^2\varphi}{dy^2} + 2\frac{d^2W}{dxdy}\cdot\frac{d^2\varphi}{dxdy} - \frac{d^2W}{dx^2}\cdot\frac{d^2\varphi}{dy^2} - q = 0 \qquad \textbf{(1)}$$

$$\frac{1}{Eh}\nabla^2\nabla W + \nabla^2{}_k\varphi + \frac{d^2W}{dx^2}\cdot\frac{d^2\varphi}{dy^2} + \left(\frac{d^2W}{dxdy}\right)^2 = 0 \qquad \textbf{(2)}$$

Первое уравнение – статистическое уравнение равновесия, а второе – геометрическое уравнение совместности деформаций.

В уравнениях **(1)** и **(2)** приняты обозначения: $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ - цилиндрическая жесткость оболочки E, μ - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала оболочки; h – толщина оболочки;

$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2}$ - дифференциальный оператор Лапласа;

$\nabla^2\nabla^2 = \frac{d^4}{dx^4} + 2\frac{d^4}{dx^2dy^2} + \frac{d^4}{dy^4}$ - бигармонический дифференциальный оператор;

$\nabla^2{}_k = k_y\frac{d^2}{dx^2} + 2k\frac{d^2}{dx\cdot dy} + k_x\frac{d^2}{dy^2}$ - дифференциальный оператор;

W, φ – соответственно функция перемещений по направлению оси (прогиб оболочки) и функция напряжений;

q – интенсивность распределенной нагрузки.

Уравнения (1) и (2) являются нелинейными дифференциальными уравнениями, которые применяются для расчета гибких пологих оболочек, т.е. оболочек при больших прогибах. В нелинейной постановке целесообразно решать задачи изгиба пологих оболочек при коэффициентах вспарушенности (отношении стрелы подъема в центре к толщине оболочки) не больше шести **,** т.е.

$\lambda = (f / h) < 6$

При больших коэффициентах вспарушенности в уравнениях (1) и (2) нелинейные члены можно отбросить. И тогда напряженно-деформированное состояние пологих оболочек описывается системой линейных дифференциальных уравнений:

$D \nabla^2 \nabla^2 W - \nabla^2 \varphi - q = 0$ (3)

$(1/Eh) \nabla^2 \nabla^2 \varphi + \nabla^2 W = 0$ (4)

Уравнение (3) и (4) описывают смешанное напряженное состояние пологих оболочек, т.е. сочетание моментного и безмоментного напряженных состояний и обычно используются в пределах

$20 >> (f / h) << 6$

С увеличением вспарушенности напряженное состояние переходит в безмоментное и описывается системой дифференциальных уравнений:

$\nabla^2_k \varphi + q = 0$ (1. 5)

$(1/Eh) \nabla^2 \nabla^2 \varphi + \nabla^2_k W = 0$ (6)

Уравнение (5) получено из (3) при условии, что D = 0. Это будет справедливым при отсутствии изгибающих моментов. Система уравнений (1.5) и (1.6) используется при $(f/h) \geq 20$**.**

Одним из распространенных решений системы линейных дифференциальных уравнений пологих оболочек с постоянными кривизнами является решение в двойных тригонометрических рядах.

Решение системы уравнений (3), (4) строится в виде:

$$W = \sum_{m=1,3,5...}^{8} \sum_{n=1,3,5...}^{8} A_{mn} \sin\frac{m\pi x}{a} \sin\frac{n\pi y}{b} \quad (7)$$

$$\varphi = \sum_{m=1,3,5...}^{8} \sum_{n=1,3,5...}^{8} B_{mn} \sin\frac{m\pi x}{a} \sin\frac{n\pi y}{b} \quad (8)$$

где A_{mn} и B_{mn} – неопределенные коэффициенты, подлежащие определению.

При загружении оболочки равномерно распеределенной нагрузкой эти коэффициенты имеют значения:

$$A_{mn} = \frac{16q(mn)^2}{D\pi^2 mn\left\{(mn)^4 + \frac{Eh}{D}(mn)^2\right\}} \quad (9)$$

$$B_{mn} = \frac{16Eh(mn)}{D\pi^2 mn\left\{(mn)^4 + \frac{Eh}{D}(mn)^2\right\}} \quad (10),$$

где для сокращения записи введены обозначения:

$$(mn) = \frac{\pi^2 m^2}{a^2} + \frac{\pi^2 n^2}{b^2} \; ; \quad [mn] = \frac{k_y(\pi^2 m^2)}{a^2} + \frac{k_x(\pi^2 n^2)}{b^2}$$

Решение (7), (8) удовлетворяет уравнения (3), (4) и граничные условия при шарнирно-подвижном закреплении по контуру.

Решение будет представлено в виде:

$$W = \frac{16q}{\pi^2 D} \sum_{m=1,3...}^{8} \sum_{n=1,3...}^{8} \frac{(mn^2 \sin\frac{m\pi x}{a} \sin\frac{n\pi y}{b}}{mn\left\{(mn)^4 + \frac{Eh}{D}[mn]^2\right\}} \quad (11)$$

$$\varphi = \frac{16q}{\pi^2 D} \sum_{m=1,3\ldots}^{8} \sum_{n=1,3\ldots}^{8} \frac{(mn^2 \sin\frac{m\pi x}{a} \sin\frac{n\pi y}{b}}{mn\left\{(mn)^4 + \frac{Eh}{D}[mn]^2\right\}} \quad (12)$$

Подставив значения функции напряжений (12) в формулы

$$N_x = \frac{d^2\varphi}{dy^2}; \qquad N_y = \frac{d^2\varphi}{dx^2}; \qquad N_{xy} = \frac{d^2\varphi}{dxdy},$$

после операции дифференцирования получим формулы для определения нормальных и сдвигающих усилий, действующих в срединной поверхности оболочки.

Нами получены следующие научные результаты и сделаны краткие выводы:

1. Предложена математическая модель для оценки геометрически нелинейного поведения и несущей способности железобетонных оболочек при длительном действии нагрузки.

2. В соответствии с предложенной моделью построен алгоритм и подготовлено программное обеспечение решения задач об изменении во времени форм и несущей способности железобетонных пологих оболочек вследствие ползучести бетона.

3. Решены новые задачи о геометрически нелинейном деформировании и разрушении железобетонных пологих оболочек при длительном действии нагрузки. Проведен анализ полученных решений и подтверждена правильность методики, алгоритма и программы.

4. Сформулирована новая модель задачи оптимального проектирования железобетонных оболочек, деформирующихся во времени вследствие ползучести бетона. Решены задачи оптимального проектирования и впервые установлена целесообразность перерасхода материала для получения возможности раннего распалубливания.

Андижон муҳандислик-иқтисодиёт институти,
2009 йил 20 апрелда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. А.Маматқулов)