АННОТАЦИЯ

Предложена математическая модель для оценки геометрически нелинейного поведения и несущей способности оболочек при длительном действии нагрузки. В соответствии с предложенной моделью построен алгоритм и подготовлено программное обеспечение решения задач об изменении во времени форм и несущей способности оболочек.Сформулирована новая модель задачи оптимального проектирования оболочек.

Узоқ муддатли юк таъсирида қобиқ юк кўтариши ва геометрик ночизиқли ҳолатини баҳолаш учун математик модель ишлаб чиқилган. Шу таклиф этилган модель билан алгоритм тузилган, қобиқ шаклини ва юк кўтаришини вақт давомида ўзгаришини аниқлай оладиган дастурий таъминот тайёрланган. Оптимал лойиҳалаш масаласининг янги модели шакллантирилган.

Ключевые слова: геометрически нелинейное поведение, деформация, математическая модель, метод предельного равновесия, надежность, напряженная точка, несущая способность, оболочка, оптимальное проектирование, ползучесть, прогиб, оболочка постоянной толщины, эллиптический параболоид.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Парпиев О.А.-старший преподаватель, кандидат технических наук,
Шамсутдинов М.-стажёр-иследователь
Андижанский машностроительный институт

Современная механика твердых деформируемых тел располагает несколькими методами определения предельной нагрузки. Методы, основанные на теориях упругости и пластичности позволяют проследить развитие упругих, а затем и пластических деформаций на поверхности и по толщине оболочки. Выбирая наиболее напряженную точку на поверхности оболочки, можно определить предельную нагрузку, соответствующую моменту достижения предела прочности только в этой точке. Кроме того, можно применить экспериментальный путь определения предельной несущей способности, в основе которого лежит метод моделирования, основанный на теории подобия.

Широкое распространение получил метод предельного равновесия, специально предназначенный для решения задач определения несущей способности рамных, пластинчатых и оболочечных конструкций в предельном состоянии. Теория предельного равновесия предполагает, что нагрузка, действующая на оболочку, вызывает появление непрекращающихся пластических деформаций и разрушений оболочки вследствие даже малого приращения нагрузки. Происходит частичная или полная пластификация оболочки и нагрузка, соответствующая моменту исчерпания ненесущей способности, называется предельной. Сформулированная А.А. Гвоздевым теория предельного равновесия основана на двух теоремах — статической и кинематической. Считается, что статический метод определяет нижнюю границу несущей способности, а кинематический метод верхнюю ее границу. Таким образом, решая задачу с использованием этих двух методов, с двух сторон- сверху и снизу- можно приблизиться к некоторому среднему значению, соответствующему фактической несущей способности оболочки.

Одна из предпосылок теории предельного равновесия предположение об идеальном жестко — пластическом материале. Другой важной предпосылкой является требование малой деформации, это значит, что к моменту исчерпания несущей способности деформации настолько малы по сравнению с первоначальными размерами конструкции, что ими можно пренебречь другими словами, первоначальные геометрические размеры оболочки считаются неизменными вплоть до ее разрушения.

Классический кинематический предельный анализ предполагает принятие некоторого кинематически допустимого поля перемещений точек срединной поверхности, то есть форму разрушения. Существует модификация кинематического метода теории предельного равновесия, основанная на теории линий текучести. Как и в классическом методе, здесь также задаются различными формами разрушения, однако взамен полей O, Y и W принимают различные механизмы разрушения. Считается, что деформации, вызываемые действием внешней нагрузки, сосредотачиваются в узких зонах, называемых линиями текучести (пластическими шарнирами) и разделяют оболочку на несколько жестких скорлуп, называемых дисками. Здесь, как и прежде, задаваясь обоснованной формой разрушения, можно оценить несущую способность рассматриваемой конструкции.

Такой подход отличается в значительном мере простой' и наглядностью. К достоинствам метода можно отнести также и то, что выбор формы разрушения автоматически учитывает условия закрепления краев оболочки. В тех случаях, когда применение теорий линий текучести ' оправдано, удается получить эффективные и вполне обозримые решения. К тому же, есть возможность экспериментальной проверки формы разрушения, что повышает эффективность метода. Теория предельного равновесия позволяет перейти от однопараметрических расчетов несущей способности оболочек к решению оптимизационных задач.

Из анализа существующих публикаций следует, что к настоящему времени имеются надежные и подтвержденные экспериментальные методы расчета верней защиты несущей способности жесткопластических (в том числе железобетонных) оболочек различной формы, при различных условиях закрепления краев и при разном очертании нагрузки. Эти методы позволяют учесть различное распределения материала по полю оболочки, особенности армирования, наличие отверстий, подкрепленной и других конструктивных факторов. Изменяющиеся методы расчета несущей способности достаточно разработана для того, чтобы их можно было бы использовать в составе новой методики оценки поведения во времени железобетонных оболочек, деформации. Которых обуславливают ползучестью материала или его коррозионным разрушениям в агрессивных средах.

Вычисление прогибов. Вычисление прогибов производятся по формуле (1).

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

Раньше такие вычисления проделаны для оболочки со срединной поверхностью в виде эллиптического параболоида с различным отношением длин сторон и с разными пологостями. Выберем в качестве примера квадратную в плане оболочку β = 1 с отношением λ = (f/h) = 20; (f — стрела подъема, h — постоянная толщина.

Для таких значений параметров получаем

$W = 0{,}01327\ [(a^4q) / (10^4D)]$

Переходя к нашим обозначениям, преобразуем этот результат к виду

$$W = 0{,}00254\frac{б}{E}\cdot\frac{B}{e^3\gamma^3}(1-\mu^2) \quad (2)$$

$$\left(m^2+\frac{n^2}{\psi^2}\right)^2 \sin\frac{m\pi x}{2}\sin\frac{n\pi y}{2} = \left(1+\frac{1}{1}\right)^2 1\cdot 1 = 4$$

$$mn\left[\pi^4\left(m^2+\frac{n^2}{\psi^2}\right)^4 + \frac{192\cdot(1-\mu)^2}{\psi^4 e^2}(m^2+n^2)\right] = 300217{,}8 \qquad (3)$$

$$W = 0{,}00414\frac{б}{E}P\frac{B}{e^3\gamma^3}(1-\mu^2)$$

Здесь обозначены W — прогиб в центре оболочки, 6 — предел текучести стальной арматуры, E — модуль упругости железобетона, μ - коэффициент Пуассона, остальные обозначения пояснены ранее. Для вычислений по (1) необходимо подсчитывать двойную сумму только нечетных членов гармонического ряда. Если взять только один его член m = n =1, из (1) найдем (3).Сравнивая оценки (2) и (3), замечаем, что удерживание только одного члена приводит к достаточно грубой оценке, завышая результат в 1.6 раза.

Для выяснения числа членов, которые необходимо принимать во внимание при расчетах прогибов, была составлена программа на БЭЙСИКе для ПЭВМ, реализующая вычисления (1). Можно заметить, что удовлетворительные оценки, получаются при удержании 25 членов ряда, т.е. при m = n = 9.

Поиск оптимальных формы поверхности Θ, пологости и постоянной толщины h либо распределения материала h(x, y) — достаточно изученная задача для жесткопластических оболочек. Известно, в частности, что прежде всего математическая модель задачи на попытку увеличить заданную способность отвечает увеличением стрелы подъема и лишь после исчерпания этой и других возможностей в последнюю очередь наращивает толщину. Такое поведение модели характерно как при оптимизации по объему материала, так и по приведенной стоимости.

Ниже рассмотрены оболочки постоянной толщины с фиксированными пологостью γ и окончательной формой поверхности Θ. Все внимание обращено на ту сторону задачи, которая составляет содержание настоящей работы — на изменения, происходящие с оболочкой во времени. Поэтому область поиска представлена двумя переменными — временем нагружения τ и относительной толщиной $e=hf^{-1}$. Для получения оболочки с заданными формой и несущей способностью крайними альтернативами являются тонкая оболочка и позднее нагружение, а также толстая оболочка и раннее нагружение.

Выше было принято время нагружения отождествлять со временем распалубливания, поэтому для конструирования целевой функции — приведенной стоимости — следует выяснить, какие возможности открывает раннее распалубливание.

Если возводится многопролетное многоволновое покрытие из оболочек, то раннее распалубливание повышает оборачиваемость инвентарной опалубки и дает возможность иметь на строительной площадке небольшое количество комплектов. Предварительный экономический анализ показывает, однако, что эта возможность приводит к сравнительно небольшому экономическому эффекту. Несравненно более существенным является экономический эффект от досрочного ввода в эксплуатацию производственных мощностей промышленного предприятия, что прямо связано современем распалубливания. так как удаление опалубки и поддерживающих конструкций позволяет приступить к устройству полов, монтажу технологического оборудования и др.

В соответствии с этим ниже прията целевая функция Z состоящая из двух слагаемых Z_1 и Z_2. Представим первое слагаемое Z_1 — стоимость материалов в виде произведения

$$Z_1 = 4B^3 \cdot \psi \cdot e \cdot \gamma \cdot c_1$$

где C_1 — стоимость 1 м^3 железобетона, ψ — отношение сторон в плане. Второе слагаемое Z_2 — эффект от раннего ввода в эксплуатацию может быть представлена в виде

$$Z_2 = E_H \varnothing (\tau_1 - \tau_2)$$

где E_H — нормативный коэффициент эффективности, а — сметная стоимость основных вводимых фондов, τ_1 и τ_2 их плановый и фактический сроки распалубки оболочки.

Поскольку Z_1 — затраты, а Z_2 — экономия средств, то ясно, что

$$Z = Z_1 — Z_2 \quad (1.\ 19)$$

Основные выводы.

1. Предложена математическая модель для оценки геометрически нелинейного поведения и несущей способности 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.

Литература:

1. Парпиев О.А., Абдуллаев Ф. Геометрические методы описания физичесикх процессов в оболочечных конструкциях. Жаҳон молиявий-иқтисодий инқирози шароитида республика иқтисодиёти муаммолари ва ечимлари. Республика олий таълим муассасаларининг илмий-амалий ва техник анжумани материаллари.430-432 бетлар. Андижон 2010.