

Fourier series in terms of a slider coordinate and a projection method in radial coordinate. In the future, the reduced initial-boundary problem is formed. The distribution of the thermal field is determined by the method of finite differences. The system of differential equations is reduced to the system of ordinary differential equations of the first order depending on the coordinate Z, which in the future is solved by the method of discrete orthogonalization of SK. Godunov.

УДК 624.04

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Сорока Н.Н., к.т.н., доцент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

Основатель строительной механики Галилей в 1638 г. сформулировал принцип предельного равновесия, из которого следовало, что основной задачей строительной механики является определение нагрузок, разрушающих конструкцию. Этот принцип в то время мало способствовал созданию практически полезных методов расчета, и в первой четверти XIX в. Навье выдвинул более плодотворную идею расчета по рабочему состоянию. Однако, развитие строительной механики, а также стремление достигнуть наибольшей экономичности конструкций привело в начале XX в. к возрождению метода предельного равновесия на новом, качественно более высоком уровне. Новый метод предельного равновесия вобрал в себя необходимые для его развития. достижения строительной механики, теории упругости, теории пластичности и других разделов механики твердого тела. Этот метод, обоснованный и развитый в трудах А. А. Гвоздева и А. Р. Ржаницына, представляет по своей идее метод предельного равновесия Галилея.

Задача метода предельного равновесия состоит в непосредственном определении предельной нагрузки, не учитывая все предыдущие этапы деформирования. Если пренебречь влиянием продольных сил, то в методе предельного равновесия используются следующие допущения.

1. Рассматривается система, находящаяся в условиях простого статического нагружения.
2. Поперечное сечение элементов системы переходит в пластическое состояние только под действием изгибающих моментов. Влияние продольных и поперечных сил считается незначительным.
3. Сечения, в которых действующий момент меньше предельного, работают в упругой стадии.
4. Пластический шарнир образуется в сечении, где действует предельный момент.

5. Взаимный поворот сечений, примыкающих к пластическому шарниру, неограниченно возрастает без увеличения изгибающего момента.
6. При действии предельной нагрузки система, или ее элементы не теряют устойчивости.

Для определения параметра предельной нагрузки, построения предельной эпюры изгибающих моментов и механизма пластического разрушения системы могут быть использованы несколько методов.

Прямой метод [1] – основанный на поэтапном расчете системы при увеличении параметра нагрузки и установлении на каждом этапе простого шарнира в сечении, где образовался пластический шарнир. Метод позволяет рассмотреть все стадии работы конструкции – ее упругую стадию, упругопластическую стадию и стадию разрушения, но требует выполнения многократных статических расчетов.

Метод, основанный на использовании статической теоремы. В соответствии с которой предельная нагрузка есть наибольшая из всех нагрузок, при которых выполняются условия равновесия, а изгибающие моменты не превышают предельных.

Метод, основанный на использовании кинематической теоремы. В соответствии с которой из всех возможных механизмов пластического разрушения действительным будет тот, который отвечает наименьшему параметру нагрузки, который и есть предельным параметром нагрузки.

Два последних метода сводят проблему нахождения параметра предельной нагрузки к решению задачи линейного программирования, что упрощает расчеты при наличии компьютера, но не позволяет выявить последовательность образования пластических шарниров.

Для некоторых простых конструкций, например, арочных, предельную нагрузку в границах приведенных допущений можно вычислить аналитически. Так для круговой двухшарнирной арки, загруженной вертикальной равномерно-распределенной нагрузкой, предельную нагрузку можно определить из решения системы уравнений.

$$\frac{q_0 l^2}{8} - Hf = M_0;$$

$$\frac{q_0}{2} x(l-x) - H \left[\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f \right] = -M_0; \quad (1)$$

$$x = \frac{l}{2} \pm \frac{1}{q_0} \sqrt{q_0^2 R^2 - H^2},$$

где l, f, R – пролет, стрела подъема и радиус оси арки; M_0 – предельный момент; q_0, H – значение предельной нагрузки и распор арки; x –

координаты двух пластических шарниров (третий шарнир образуется на оси симметрии при $x = l/2$).

Расчет предельной нагрузки в универсальных программных комплексах, таких как ЛИРА-САПР и ANSYS реализован в виде итерационной процедуры с применением специальных нелинейных элементов типа ползуна. И если в ANSYS можно программно, с помощью языка APDL, организовать выход из итерационного процесса при наступлении предельного состояния, то, к сожалению, в ЛИРА-САПР такой возможности нет. Расчет продолжается до достижения нагрузки, заданной пользователем. Предельная нагрузка определяется на основе анализа протокола расчета и требуется перерасчет для уточнения ее значения.

Принятые ранее допущения не учитывали действия продольной силы, которая для отдельных конструкций может существенно влиять на предельную нагрузку. Учет продольной силы усложняет расчеты, так как при этом необходимо учитывать форму поперечного сечения [2]. В наиболее простом случае, когда поперечное сечение элемента конструкции представляет собой идеализированный двутавр, область прочности ограничена прямыми и представляет собой ромб (рис. 1). Предельное состояние элемента наступает, когда усилия M и N попадают на границу области прочности.

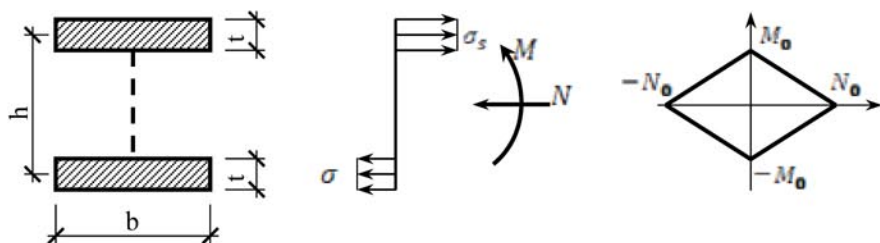


Рис. 1. Предельное состояние идеализированного двутавра

Пример вычисления предельной нагрузки для бесшарнирной круговой арки с поперечным сечением в виде идеализированного двутавра представлен в [2]. Пролет арки был разбит на 6 частей и, с учетом такой разбивки, криволинейная ось арки заменена ломаной. Расчет сводился к решению задачи линейного программирования и была получена предельная нагрузка $F_0 = 9.248 \text{ кН}$ с удовлетворением условий пластичности в 5-ти сечениях арки – в стержнях, примыкающих к опорам и на оси симметрии. Расчет этой же арки в ПК ЛИРА-САПР приводит к предельному усилию $F_0 = 8.656 \text{ кН}$ при разрушении стержней, примыкающих к опорам. Анализируя данные результаты, приходим к выводу, что приведение расчета к решению задачи линейного программирования завышает предельную

нагрузку, дополнительно требуя удовлетворения условий текучести на оси симметрии арки. Для круговой двухшарнирной арки, загруженной равномерно-распределенной вертикальной нагрузкой, сечение которой является идеализированным двугавром, были получены аналитические зависимости для определения предельной нагрузки.

$$H = \left(\sigma_s - \frac{q_0 l^2}{8W} \right) \frac{AW}{W - Af^2};$$

$$x = \frac{l}{2} \pm \sqrt{R^2 - \frac{H^2(W + RA)^2}{q_0^2(2W + RA)^2}}; \quad (2)$$

$$-\frac{q_0}{RA} \left(\frac{l}{2} - x \right)^2 + \frac{q_0 x}{2W} (l - x) - H \frac{W + RA}{RAW} \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x \right)^2} + \frac{H}{W} (R - f) = -\sigma_s,$$

где σ_s – предел упругости материала; A и W – площадь и момент сопротивления поперечного сечения.

Зависимости (2) получены в предположении, что пластика возникает на оси симметрии арки и в двух сечениях, определяемых координатами x .

Для арки с параметрами $l = 20\text{ м}; f = 8\text{ м}; h = 1\text{ м}; b = 0.5\text{ м}; t = 0.1\text{ м}$, по зависимостям (2) получено $q_0 = 1232.91$ кН/м. При этом предполагается наличие трех сечений, где образуется пластика.

Расчет этой же арки в ПК ЛИРА показывает наличие двух сечений, расположенных симметрично, где образуется пластика (рис. 2) и приводит к предельной нагрузке $q_0 = 1123.88$ кН/м.



Рис. 2. Деформации арки в предельном состоянии

Что касается железобетонных конструкций, то их расчет осложняется наличием двух нелинейно деформирующихся материалов – бетона и стали. Если использовать нелинейные диаграммы деформирования бетона и стали, то область прочности железобетонного сечения с несимметричным армированием будет иметь вид, представленный на рис. 3. Построение области прочности выполнено с использованием методики Н.И. Карпенко [3] по программе, составленной автором.

Относительные значения момента и продольной силы определяются, как $\bar{M} = M/M_0^+$ и $\bar{N} = N/N_0^+$, где M_0^+ и N_0^+ – положительные значения

пределных момента и продольной силы. Крайние правая и левая точки на кривой, ограничивающей область прочности, соответствуют центральному растяжению и центральному сжатию сечения.

При симметричном армировании железобетонного сечения область прочности симметрична относительно оси \bar{N} . На рис. 3 также представлены предельные эпюры напряжений в бетоне при различных соотношениях момента и продольной силы.

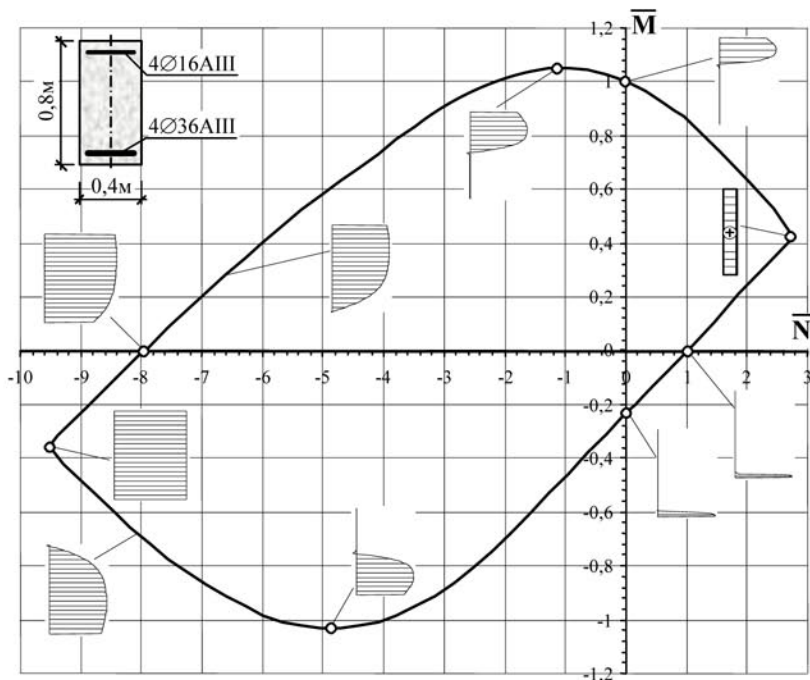


Рис. 3. Область прочности железобетонного сечения

Литература

1. Дарков А.В. Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: "Высшая школа", 1986. – 607с.
2. Чирас А.А. Строительная механика. М.: Стройиздат, 1989. – 256с.
3. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры. // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1986. – С. 7-25.

MAXIMUM STATE OF THE CORED SYSTEMS

The analytical and numeral methods of calculation of the maximum loading are examined.