УДК 624. 01

Б.М. СЕИТОВ, Б.С. ОРДОБАЕВ
E.mail. ksucta@elcat.kg

ТЕОРИЯ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бул макалада имараттарды жана курулмаларды долбоорлодо, курулуш конструкцияларынын бекемдик жана туруштук берүү жөндөмдүүлүктөрү боюнча маселелер каралган. Макалада курулуш конструкцияларын теңдештик салмак чектеринин ыкмасы менен эсептерди чыгаруу камтылган. Теңдештик салмак чектеринин ыкмаларын жана принциптерин колдонуу жана алардын эсептерин чыгаруу ыкмалары жөнүндө керектүү маалымат берилген.

Настоящая статья рассматривает вопросы проектирования зданий и сооружений по прочности и несущей способности строительных конструкций. В статье приведены расчеты строительных конструкций методом предельного равновесия. Даны необходимые сведения о реализации метода предельного равновесия и принципы, и ход решения их задачи.

The real article examines the questions of planning of building and building on durability and bearing strength of building constructions. To the article the calculations of building constructions are driven by the method of maximum equilibrium. Necessary information is given about realization of method of maximum equilibrium both principles and motion of decision of their task.

Расчет по предельному равновесию статически неопределимых систем впервые предложен венгерским инженером Б.Казинчи в 1913-году. Дальнейшее развитие получил в научных работах датских ученых А.Иигерсслева и К.Иогансена. Особые значения для развития методов расчета строительных конструкций по стадии предельного равновесия имелись в работах профессоров А.А.Гвоздева, А.Р.Ржаницына, Л.М.Овенина, Г.К.Хайдукова, Н.А.Ахвледияни, М.И.Ерхова, Д.Д.Ивлева, А.С.Дехтяря, А.М.Проценко, С.Б. Смирнова, А.АЧираса и многих других ученых мира.

Как известно, прочностной расчет конструкций - одна из основных задач строительной механики. Ранее прочностной расчет производился по допускаемым напряжениям и вообще исключал появление в конструкции конечных пластически зон. Поэтому он приводил к существенному перерасходу материала. В настоящее время введён метод расчетных предельных состояний, который содержит два принципиальных новшества. Первое - это расчленение единого коэффициента запаса К на три отдельных коэффициента, имеющих четкий физический смысл: К= К1 •К2•К3 . Здесь, К1 - коэффициент надежности по материалу, учитывающий изменчивость прочностных свойств материала, К2 - коэффициент надежности по перегрузке, отражающий изменчивость нагрузки и воздействий, и наконец, К3 - коэффициент, отражающий изменчивость условий работы материала и конструкции, которые не могут быть отражены в расчетах прямым путем.

Второе новшество состоит в переходе от критерия оценки прочности конструкции по разрушению её в одной наиболее опасной точке, найденной из "упругого" расчета, к критерию предельного состояния конструкции в целом, найденному на основе метода предельного равновесия.

Современный прочностной расчет железобетонных конструкций отличается от их расчета по методу предельного равновесия лишь тем, что найденная в начале на основе метода предельного равновесия предельная нагрузка qo делится затем на коэффициент запаса

$$К = К_1 \bullet К_2 \bullet К_3 \qquad (1)$$

В результате получается величина расчетной эксплуатационной нагрузки $\boldsymbol{q_э = q_o \bullet K^{-1}}$, где **К = 1,4 : 1,6**. То есть, найдя сначала предел несущей способности системы $\mathbf{q_o}$ из рассмотрения её предельной стадии, мы затем грамотно отступаем в эксплуатационную стадию находим нагрузку $\boldsymbol{q_э = q_o K^{-1}}$**.** Только зная предельную нагрузку, можно обоснованно назначить величину эксплуатационной нагрузки $\boldsymbol{q_э}$.

Прочностной расчет, основанный на анализе условий предельного равновесия конструкций, правомерен лишь при наличии пластических свойств в их материале. Прочностной расчет системы из абсолютно хрупкого материала (типа стекла) следует производить только по допускаемым напряжениям.

Пластичность или текучесть материала - это его способность деформироваться (течь) при постоянном напряжении $\boldsymbol{\sigma = \sigma_т = const}$ **,** называемом пределом пластичности или текучести материала при одноосном сжатии или растяжении.

Последние исследования в теории метода предельного равновесия сняли почти все ограничения и условия его применимости. Единственное условие, которое не может быть снято - это условие о существовании достаточно большой площадки пластичности материала на диаграмме "$\boldsymbol{\sigma - \mathcal{E}}$". Она должна быть настолько велика, чтобы могла исключить хрупкое разрушение начальных пластических зон до формирования тех последних пластических зон, которые обращают систему в механизм.

Метод предельного равновесия основан всего на двух принципах (или теоремах): кинематическом и статическом. Истинная предельная нагрузка $\boldsymbol{q_o}$ равна тонной нижней границе - ***„ inf ”*** множества её верхних оценок $\boldsymbol{\{q_i^+\}}$, отвечающих множеству всех кинематически возможных механизмов пластического разрушения системы, то есть $\boldsymbol{inf \{q_i^+\} = (q_i^+)_{min} = q_o}$. При этом механизм, дающий $\boldsymbol{q_o}$ - истинный.

Во-первых, следует как-то задаться конфигурацией любого механизма (то есть схемой размещения его пластических зон), а также кинематически возможным полем скоростей его перемещений в системе координат $\boldsymbol{\{Xj\}}$ ***(j=1;2;3)***

Конкретных рекомендаций о способе их задания метод предельного равновесия не дает. Это поле $\boldsymbol{\{Vi\}}$ должно удовлетворять условиям неразрывности деформаций Коши **:**

$$\mathcal{E}ij = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial vi}{\partial \mathrm{xi}} + \frac{\partial Vi}{\partial \mathrm{Xi}}\right) \qquad (2)$$

Во-вторых, составляется выражение для мощности внешней нагрузки А на этом поле скоростей: (пусть $Y_1=U$; $V_3=W$; $V_2=V$; $X_1=X$; $X_2=Y$; $X_3=Z$):

$$А_{внеш.} = \int_s (quU + qvV + qwW)\mathrm{ds} = \sum_s^i \int qviVids \qquad (3)$$

В третьих, из условий Коши $\frac{1}{2}\left\{\frac{\partial Vi}{\partial Xj}\right\} + \left\{\frac{\partial Vi}{\partial Xj}\right\} = \mathcal{E}ij$ (4)

по компонентам Vi , Vj находится компоненты поля скоростей деформаций $\mathcal{E}ij$ и по ним составляется выражение для мощности внутренней энергии:

$$W_{внутр} = \int_v \partial ijEijdV \qquad (5)$$

где компоненты поля напряжений $\{\sigma ij\}$ удовлетворяют условию пластичности $\Phi(\sigma ij)=0$ и связаны с $\{\mathcal{E}ij\}$ законом течения: $\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma ij} = K\mathcal{E}ij$

При наличии пластического изгиба находятся скорости кривизн:

$$\boldsymbol{x_{ij}} = \frac{1}{2}\left\{\frac{\partial Eij}{\partial Xi} + \frac{\partial Eij}{\partial Xi}\right\} \qquad (6)$$

из известных уравнений Коши. При этом (3) принимает вид:

$$\boldsymbol{W_{внутр}} = \sum_s \int (Xij \bullet Mij)\ \boldsymbol{ds}\ \textbf{или}\ \boldsymbol{W_{внутр}} = \sum_{i=1}^n hi\ Qi\ Moi \qquad (7)$$

В неодномерном поле напряжений (или усилий) компоненты поля напряжений $\{\sigma ij\}$, моментов $\{Mij\}$ или других усилий находятся по соответствующим им компонентам поля скоростей деформаций $\{\mathcal{E}ij\}$; или кривизн $\{Xij\}$; или других скоростей

$\{Bi\}$. Они взаимосвязаны Ассоциированным законом течения и условием пластичности.

Условие пластичности $\Phi(\sigma ij) = 0$, или $\Phi(Mij)=0$; или $\Phi(Mij, Nij)=0$ определяет условие перехода материала конструкции в пластическое состояние при том сочетании напряжений $\{\sigma ij\}$ или моментов или других усилий, $\{Mij, Nij\}$, которые действуют в конструкции.

Ассоциированный закон течения как бы заменяет обощенный закон Гука в пластической стадии. Он устанавливает связь между полем напряжений (усилий) в пластических зонах и полем соответствующих им скоростей пластических деформаций $\{\sigma ij\} \rightarrow \{\varepsilon ij\}$ или $\{Mij\} \rightarrow \{\varepsilon ij\}$

Закон течений записывается как : $$\varepsilon ij = \frac{\partial\Phi(6ij)}{\partial\sigma Mij} \bullet K \qquad (8)$$

$$x_{ij} = \frac{\partial\Phi(Mij)}{\partial Mij} \bullet K \qquad (9)$$

где Φ (σij) или Φ(Mij) - условия пластичности. К и К - неизвестные константы. Закон течения (8); (9) не дает абсолютные значения величин εij или Xij только их соотношение $\varepsilon ij/\varepsilon ik$. Закон течения по Физическому смыслу означает, что вектор скорости деформации $\boldsymbol{\mathcal{E}}$ нормален к кривой условия пластичности $\boldsymbol{\Phi(\sigma ij) = 0}$**.**

Особенности статического принципа метода предельного равновесия в том, что истинная предельная нагрузка $\boldsymbol{q_o}$ равна точной верхней границе ***“SUP”*** множества её нижних оценок $\boldsymbol{\{q^-_k\}}$, отвечающих множеству всех равновесных и "стабильных" полей напряжений, построенных в данной системе, то есть $\boldsymbol{SUP\{q^-_k\}=(q^-_k)_{max}=q_o}$. ("Стабильным” назовем поле $\boldsymbol{\{\sigma\}}$ нигде не нарушающее условий пластичности материала $\boldsymbol{\Phi\ (\sigma ij)=0}$). Поле $\boldsymbol{\{\sigma\}}$, дающее $\boldsymbol{q_o}$, обязательно является истинным лишь в пластических зонах. В "упругих" зонах оно может отличаться от истинного упруго-пластического поля $\boldsymbol{\{\sigma\}}$.

Комбинация кинематического и статического решений дает двухстороннюю оценку для $\boldsymbol{q_o : q^-_{max} \le q^+_{max}}$. Если окажется, что $\boldsymbol{q^-_{max}=q^+_{max}}$ то можно утверждать, что найдено точное значение $\boldsymbol{q_o=q^-_{max}=q^+_{max}=q_o^{ист}}$ получено полное решение задачи предельного равновесия. В этом случае поле $\boldsymbol{\{\sigma\}}$, дающее параметр $\boldsymbol{q^-_{max}=q_o}$, в точности соответствует пластическим зонам истинного механизма разрушения и его напряжения здесь совпадают с напряжениями, определяемыми законом течения $\boldsymbol{\sigma ij=k\varepsilon ij}$ из уравнений

$$\boldsymbol{\varepsilon ij} = \frac{\partial\Phi(6ij)}{\partial\sigma ij} \text{ и условием текучести } \boldsymbol{\Phi(\sigma ij)=0} \qquad (10)$$

Точную величину предельной нагрузки $\boldsymbol{q_o}$ иногда можно найти только на основе статического принципа, если удается построить такое поле $\boldsymbol{\{\sigma\}}$, которое образует пластические зоны, заведомо обращающие систему в некоторый механизм, (то есть кинематика отчасти здесь присутствует).

Зная предельную нагрузку $\boldsymbol{q_o}$, решаем "проверочную" задачу прочностного расчета, находя расчетную эксплуатационную нагрузку для конструкции как $\boldsymbol{q_э=q_o}$ ($K_1K_2 \bullet K_3$). В "проверочной" задаче заданы все геометрические параметры системы ($\boldsymbol{Li}$) и прочностные параметры $\boldsymbol{\{\sigma o.k\}}$, и надо найти её предельную $\boldsymbol{q_o}$ или эксплуатационную $\boldsymbol{q_э}$ нагрузку в функции от этих параметров:

$$\mathbf{q_o}=\boldsymbol{f}\,[(\boldsymbol{\sigma j.k})\,(\boldsymbol{hi})] \qquad (11)$$

Если же надо найти $$\boldsymbol{\sigma_o=f^{-1}[q, (hi)]} \qquad (12)$$

то это уже "прямая" задача. В "прямых" задачах прочностного расчета или предельного равновесия задана по величине нагрузка $\boldsymbol{q_o}$ или и надо найти некоторые параметры конструкции, например предельный момент $\mathbf{M_0}$ в функции от неё:

$$\mathbf{M_o}=\boldsymbol{f\bar{\imath}^{1}[qi, (hi)} \qquad (13)$$

Заключение

Таким образом, "прямую" задачу можно решить, используя лишь статический принцип, если построить любое равновесное поле $\boldsymbol{\{\sigma\}}$, например "упругое" $\boldsymbol{\{\sigma q^{упр}\}}$ или иное поле напряжений $\boldsymbol{\{\sigma q\}}$ и назначить параметры системы так, чтобы была обеспечена "стабильность" этого поля. Для такого подхода нужно, чтобы соотношение предельных усилий в элементах системы можно было бы назначать достаточно произвольно.

Список литературы

1. Смирнов С.Б., Сеитов Б.М. Расчет строительных конструкций по прочности и несущей способности (учебное пособие). – Ош.: ОшТУ, 1997. – 117 с.
2. Смирнов С.Б., Мондрус В.Л., Бунятов В.Ю. Расчет рамы методом предельного равновесия. – М.: МИСИ, 1991.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. - М .: ВШ, 1986.-607 с.
4. Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С. Некоторые вопросы теории прочности и деформации бетона. Наука и новые технологии, №1-2013, Бишкек, с.41-49