

НАДЕЖНОСТЬ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ.

Кобринец В.М., Овдиенко М.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Пропонується застосувати механіку позовжнього згину для розрахунку позацентрово стиснутих стержнів з урахуванням заданого рівня надійності.

Методика сопромата расчета внецентренно сжатых стержней построена на параллельном переносе силы в центр тяжести сечения. Такой перенос силы сопровождается моментом $M = P \cdot l_0$, который тоже прикладывается в центре тяжести сечения. В теоретической механике утверждается, что такой перенос справедлив для абсолютно твердого тела.

Тимошенко С.П. показал, что его можно применить и для линейного деформируемого тела.

Но для нелинейно деформируемых тел таких, как бетон и другие материалы такой параллельный перенос несправедлив. Поэтому сжимающую силу необходимо учитывать там, где она прикладывается.

Расчет внецентренно сжатых стержней будет выполняться по методике механики продольного изгиба [1]. В данной статье используется ее физически-линейный вариант.

Вероятность надежной работы конструкции P_s можно определить через характеристику безопасности β А.Р. Ржаницына

$$P_s = \frac{1}{2} + \Phi(\beta) \quad (1)$$

Здесь $\Phi(\beta)$ - интеграл вероятности Гаусса.

Если нужно определить β по заданному уровню надежности, тогда нужно определить $\Phi(\beta)$

$$\Phi(\beta) = P_s - \frac{1}{2} \quad (2)$$

и по таблице интеграла Гаусса $\Phi(\beta)$, β находится как аргумент.

Характеристику безопасности можно определить по вероятности отказа P_f по таблице 1 из [2]. Тогда надежность

$$P_s = 1 - P_f \quad (3)$$

Таблица 1. - Характеристика безопасности в зависимости от вероятности отказа

β	2,25	3,2	3,7	4,2	4,7	5
P_f	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}

Определение вероятности отказа или выбор требуемой надежности проблема сложная, решение которой лежит на пределе, а иногда далеко за пределами юрисдикции инженера [3]. Допускаемый уровень при появлении отказа может быть оценен только с позиций социального критерия. В работе [3] предложена формула вероятности отказа

$$P_f = \frac{10^{-5} \cdot \xi_s T}{L} \quad (4)$$

где ξ_s - коэффициент социальной значимости, значение которого приведено в таблице 2.

Таблица 2. - Коэффициент социальной значимости

Вид сооружения	ξ_s
1. Места собрания людей, плотины	0
2. Жилые, конторский, торговые, промышленные здания	,005
3. Мосты	,05
4. Башни, мачты, сооружения для морской добычи ископаемых	0,5
	5

Для $T=50$ годам и $\xi_s = 0,05$ то наиболее распространенное значение $P_f = 10^{-5} - 10^{-7}$. (5)

По значению P_f определяется характеристика безопасности β по таблице 1 или вероятность надежности P_s , а затем β через $\Phi(\beta)$.

А.П. Кудзис разработал оптимальное значение характеристики безопасности, ниже которого нежелательно принимать значения β . При расчете по предельным состояниям первой группы β_{opt} принимается равным:

- для ненапрягаемых железобетонных конструкций – 3,5;
- для конструкций с предварительным напряжением – 4,0;
- для сооружений типа резервуаров или емкостей – 3,8;
- для элементов пролетных строений мостов – 3,7.

При расчете конструкций по предельным состояниям второй группы, исходя из обеспеченности 0,95, рекомендуется $\beta_{opt} = 1,46$ [4].

Целью расчета конструкций и в том числе внецентренно сжатых по надежности состоит в том, чтобы определить площадь сечения, которая соответствовала бы заданному уровню надежности.

Реализация поставленной цели может быть выполнена одним из методов теории надежности, например методом двух моментов [2] точнее параметров, которые входят в характеристику безопасности

$$\beta = \frac{R - Q}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}. \quad (6)$$

Здесь и далее (\sim) обозначается случайная величина.

R - несущая способность, предел прочности, текучести, пластический момент,

Q - наибольшее значение нагрузочного эффекта – усилия или напряжения, выраженные через внешнюю нагрузку. S_R и S_Q - среднеквадратическое отклонение или стандарт вышеуказанных величин.

Значение β должно быть определено через P_f или P_s , или принять оптимальное значение. Прочность принимается по нормативным документам и зависит от вида материала внецентренно сжатого стержня, а напряжения зависят от методики расчета.

По методике сопромата напряжения в любом волокне состоят из суммы

$$\sigma_i = \sigma^N \pm \sigma_i^M \quad (7)$$

где σ^N - напряжения в центре тяжести сечения; σ_i^M - напряжения в i -том волокне от момента.

Если напряжения по (7) подставить в (6) возникнут осложнения. Чтобы их избежать, нужно применить новую методику расчета внецентренно сжатых стержней по механике продольного изгиба [1]. По этой методике деформированное состояние определяется относительно оси стержня, а напряженное формируется наложением напряжений сжатия и продольного изгиба и определяется относительно нейтральной оси. Полные напряжения можно вычисляются через

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot \frac{y_i}{C_{но}} \quad (8)$$

здесь $C_{но}$ - расстояние от оси стержня до нейтральной оси; y_i - расстояние от нейтральной оси до волокна, в котором вычисляются напряжения; $\sigma_0 = \frac{P}{A}$

Преимущество формулы (8) по сравнению с (7) очевидно ее и подставим в характеристику безопасности (6) Расстояние между осями $C_{но}$ определяется по формуле.

$$C_{но} = \frac{I_x}{A[e_0 + f(l/2)]} \quad (9)$$

Когда расчет выполняется по недеформированной схеме, выгиб стержня $f(l/2)$ не учитывается.

Если сила P прикладывается с эксцентриситетом относительно оси стержня справа, тогда нейтральная ось будет располагаться слева. Когда нейтральная ось касается сечения, а сечение это круг, такое положение нейтральной оси будет граничным и $C_{но}^{ep} = R$. Для прямоугольника или двутавра граничное значение $C_{но}^{ep} = \frac{h}{2}$. Этим значениям должно соответствовать и граничное значение эксцентриситета e_{gp} . Его значение можно найти из (9) через известное значение $C_{но}^{ep}$.

Если $e_0 < e_{gp}$ - это малый эксцентриситет. При этом нейтральная ось располагается вне сечения. Эпюра напряжений будет одного знака. Когда $e_0 > e_{gp}$ - это большой эксцентриситет. Нейтральная ось будет располагаться в зоне сечения, а эпюра напряжений будет состоять из двух зон сжатой и растянутой.

Напряжениям следует придать вид удобный для расчета внецентренно сжатых на надежность. В этом случае напряжения вычисляются для волокна, в котором $y_i = y_{max}$. Кроме того, их необходимо записать с учетом площади A_n , которая при заданном уровне надежности отличается от A_0 и должна определяться через характеристику безопасности β . Формула этих напряжений имеет такой вид

$$\sigma = \frac{\sigma_0 \cdot A_0 \cdot y_{max}}{A_n \cdot C_{но}} = B\sigma_0 \quad (10)$$

где
$$B = \frac{A_0 \cdot y_{max}}{A_n \cdot C_{но}} \quad (11)$$

Теперь напряжения по (10) в таком виде можно подставить в характеристику безопасности (6).

$$\beta = \frac{R - B \cdot \sigma_0}{\sqrt{S_R^2 + B^2 + S_{\sigma_0}^2}} \quad (12)$$

Левую и правую части (12) возведем в квадрат и после приведения подобных получим квадратное уравнение относительно B

$$aB^2 - bB + c = 0 \quad (13)$$

С такими коэффициентами

$$a = \sigma_0^2 - \beta^2 \cdot S_{\sigma_0}^2; \quad b = 2R\sigma_0; \quad c = R^2 - \beta^2 - S_R^2 \quad (14)$$

Решение (13) известно

$$B = \frac{b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (15)$$

Значение B по (15) следует подставить в (11) и вычислить площадь A_n с учетом заданного уровня надежности.

В формуле (16) вместо A_n может быть $A_0 \cdot y_{max}$ характерный размер площади или момент сопротивления. (16)

Реализация предлагаемой методики была выполнена на примере расчета внецентренно сжатого двутаврового и равновеликого стержня прямоугольного сечения с учетом заданного уровня надежности. Двутавровый стержень оказался более экономичным.

Выводы.

1. Расчет внецентренно сжатых стержней с учетом заданного уровня надежности как и других конструкций приводит к увеличению площади сечений.
2. Надежность внецентренно сжатых стержней зависит не только от площади, но и каким образом эта площадь распределяется по сечению, сравнить площадь двутавра и прямоугольника.

SUMMARY

Proposed to apply the mechanics for calculating the buckling noncentral pressed rods considering a given level of reliability.

Литература

1. Кобринец В.М. Сопротивление внецентренно сжатых элементов с учетом физической нелинейности. //Вісник №26. Одеса: ОДАБА, 2007. – С.180-183.
2. Кайзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – М.: Изд-во Строительных Вузов, 1998. – 302с.
3. Г. Агусти, А. Баратта, Ф. Кашиати. Вероятностные методы в строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1988. – 584с.
4. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций. – Вильнюс: Издательство Москлас. 1985. – 156с.