

УДК 624.048

ВЛИЯНИЕ ПРИНИМАЕМОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖБ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОДНООСНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ

Е.С. СЕРГЕЕВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. *Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ*)

В статье описывается влияние различных видов диаграмм деформирования бетона на точность деформационного расчета изгибаемого жб элемента. С помощью программного комплекса «Бета 4.2 (5.0)», используя различные формы диаграмм деформирования, были получены результаты. Проанализировав расчеты, были сделаны выводы в соответствии с некоторыми особенностями исследуемого элемента.

Прочность и деформативность бетона в железобетонной конструкции зависит от структуры уже затвердевшего бетона т.е. от количества пор и микротрещин. Как показывают многочисленные опыты, чем меньше количество дефектов в бетоне, тем более прочным он является. Прочность бетона увеличивается за счет совершенствования его состава, технологии приготовления и последующего бетонирования конструкций. Ввиду того, что прочность бетона зависит от множества факторов, расчет конструкций производится опираясь на диаграммы деформирования бетонов, которые являются по сути своей обобщенными характеристиками механических свойств бетонов. Диаграммы деформирования получаются совершенно разными при определенных условиях действий нагрузок на образец: двух-, трехосное сжатие/растяжения, растяжение -сжатие; кратковременная/длительная и др. [1].

Существуют следующие методы расчета железобетонных элементов:

- Предельных усилий
- Упрощенный деформационный
- Общий деформационный

Метод предельных усилий:

Используется при расчете конструкций по прочности сечений, имеющих простую симметричную форму с арматурой, сосредоточенной у наиболее растянутой и наиболее сжатой грани. Допускается производить расчет по предельным усилиям с использованием только уравнения равновесия всех продольных сил, действующих в рассматриваемом сечении конструкции, и уравнений равновесия моментов относительно выбранных осей при расчетных сопротивлениях материалов [2].

Метод базируется на принципе пластического разрушения сечения, при котором достигаются предельные напряжения в растянутой арматуре и сжатом бетоне.

Вид диаграммы деформирования бетона: Жесткопластическая

Обобщенная схема усилий и эпюра напряжений в произвольном сечении имеет вид: [3]

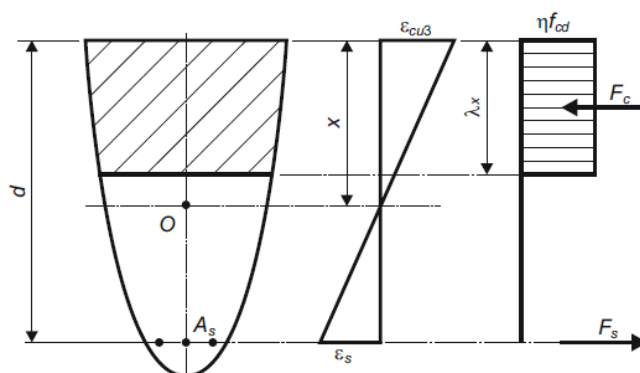


Рисунок 1 – Распределение напряжений и деформаций в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента для метода предельных усилий

Упрощенный деформационный метод:

Используется при расчете конструкций по прочности сечения любой формы с произвольным расположением арматуры при любой схеме приложения продольной силы и изгибающих моментов

Расчет прочности сечений нормальных к продольной оси, в рамках упрощенного деформационного метода, базируется на следующих допущениях: [4]

- расчетных уравнениях равновесия не учитывают сопротивление бетона в растянутой зоне сечения;
- для расчетного сечения выполняется гипотеза плоских сечений(гипотеза Бернулли) в соответствии с которой относительные деформации по высоте сечения изменяются пропорционально расстоянию от рассматриваемой фибры до нейтральной оси;
- Относительные деформации арматуры, располагаемой в сжатой зоне сечения и ϵ_c окружающего ее бетона равны, т.е. оба материала деформируются совместно.

Вид диаграммы деформирования бетона: Линейно-параболическая
 Принцип распределения деформаций и усилий для данного метода имеет вид: [4]

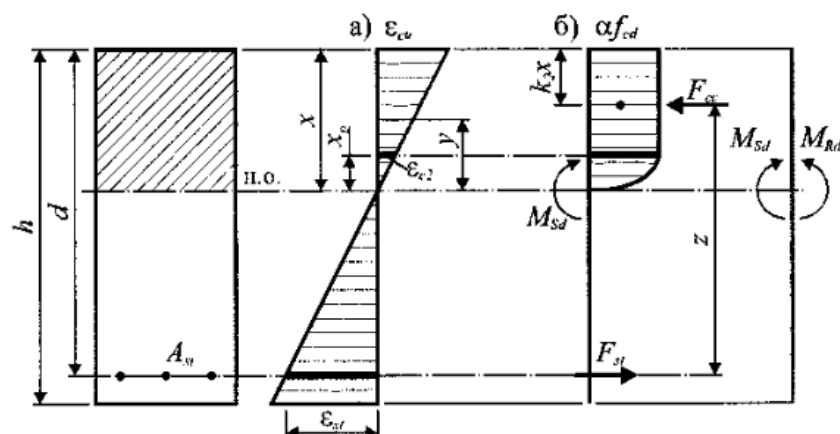


Рисунок 2 – Схема распределения деформаций и усилий напряжений в сечении для расчета упрощенным деформационным методом

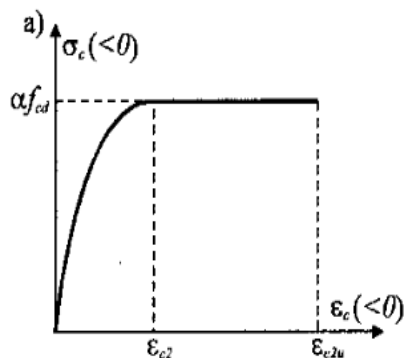


Рисунок 3 – Диаграмма деформирования бетона для упрощенного деформационного метода

Общий деформационный метод:

Используется при расчете конструкции по прочности сечения любой формы с произвольным расположением арматуры при любой схеме приложения продольной силы и изгибающих моментов.

Особенность: Использование метода численного интегрирования при расчете.

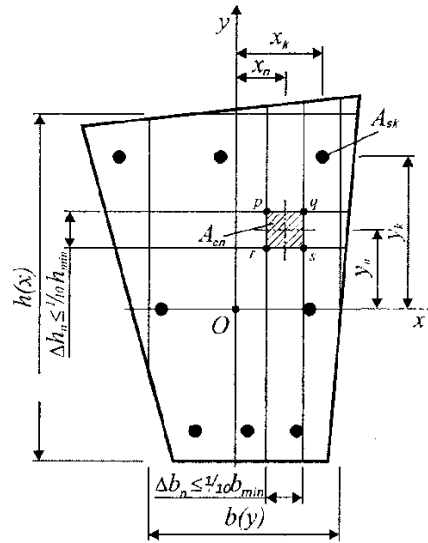


Рисунок 4. – Схематичное представление метода численного интегрирования

Метод заключается в разбиении бетонного сечения на отдельные малые участки площадью A_{cn} , как правило, прямоугольной формы, в качестве дополнительных берутся треугольные или трапециевидные участки. Для каждого n -го элементарного участка бетона фиксируют его площадь A_{cn} и координаты центра тяжести X_n и Y_n . Каждому арматурному стержню присваивают свой номер, а также фиксируют его площадь A_{sk} и положение центра тяжести X_k и Y_k [5].

Переходя к численному интегрированию, условия равновесия в этом случае записываются в виде: [5]

$$\left[\sum_n [\sigma_{cn}(\epsilon_c)] \right] A_{cn} + \left[\sum_k [\sigma_{sk}(\epsilon_s)] \right] A_{sk} = N_{Sd, z} \quad (1)$$

$$\left[\sum_n [\sigma_{cn}(\epsilon_c)] \right] A_{cn} \cdot x_n + \left[\sum_k [\sigma_{sk}(\epsilon_s)] \right] A_{sk} \cdot x_k = M_x \quad (2)$$

$$\left[\sum_n [\sigma_{cn}(\epsilon_c)] \right] A_{cn} \cdot y_n + \left[\sum_k [\sigma_{sk}(\epsilon_s)] \right] A_{sk} \cdot y_k = M_y \quad (3)$$

Если учитывать, что относительные деформации и напряжения могут быть связаны секущим модулем деформаций, соответственно можно записать:

$$\sigma_{cn}(\epsilon_c) = E_{cn} \cdot \epsilon_{cn} \quad (4)$$

$$\sigma_{sk}(\epsilon_s) = E_{sk} \cdot \epsilon_{sk} \quad (5)$$

Подставив (4) и (5) в (1), (2), (3) получается:

$$\left[\sum_n (\epsilon_{cn} \cdot E_{cn}) \right] A_{cn} + \left[\sum_k (\epsilon_{sk} \cdot E_{sk}) \right] A_{sk} = N_{Sd, z} \quad (6)$$

$$\left[\sum_n (\epsilon_{cn} \cdot E_{cn}) \right] A_{cn} \cdot x_n + \left[\sum_k (\epsilon_{sk} \cdot E_{sk}) \right] A_{sk} \cdot x_k = M_x \quad (7)$$

$$\left[\sum_n (\epsilon_{cn} \cdot E_{cn}) \right] A_{cn} \cdot y_n + \left[\sum_k (\epsilon_{sk} \cdot E_{sk}) \right] A_{sk} \cdot y_k = M_y \quad (8)$$

Решить такие уравнения вручную очень трудоемкая работа, именно поэтому этот метод является самым сложным. Целесообразно использование программных комплексов при расчете конструкций данным способом.

Вид диаграммы деформирования бетона: параболическая с ниспадающей ветвью

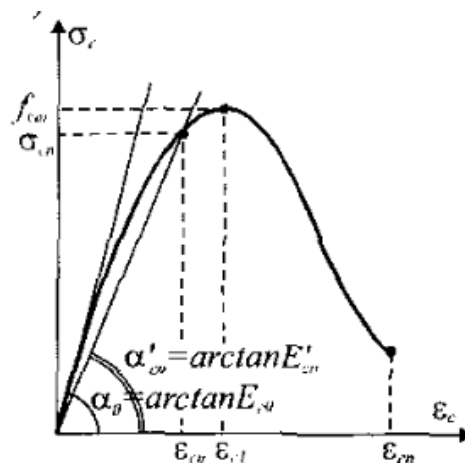


Рисунок 5 – Диаграмма деформирования бетона для общего деформационного метода

В работе будут рассматриваться базовые характеристики бетонов, получаемые в результате одноосного кратковременного сжатия и растяжения. Диаграмма показывает зависимость между напряжениями σ и продольными относительными деформациями ϵ сжатого (растянутого) бетона. Для описания диаграмм деформирования будем использовать два значения относительных деформаций: - $\epsilon_{c,l}$ относительные деформации, соответствующим пиковым напряжениям диаграммы; - $\epsilon_{c,n}$ предельные относительные деформации бетона при сжатии.

Введение. Для оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в различных стадиях их загрузки в настоящее время наиболее перспективной представляется нелинейная деформационная модель поскольку является более точной. Каким образом выбор той или иной формы диаграммы будет влиять на результаты расчета, будет рассматриваться в данной работе при помощи программы «Бета 4.2 (5.0)».

Постановка задачи. Рассчитать балку прямоугольного сечения на прочность деформационным методом используя разные варианты диаграмм деформирования бетона.

Дано:

$b = 300$ мм

$h = 800$ мм

$c = 70$ мм

$l_{eff} = 4500$ мм

Бетон класса С 20/25 ($f_{c,k} = 20$ МПа; $f_{c,d} = 13.4$ МПа; $E = 27000$ МПа.)

Растянутая арматура класса S500 ($f_{yk} = 500$ МПа; $f_{yd} = 450$ МПа; $E_s = 20 \cdot 10^4$ МПа.)

$A_{st} = 1963$ мм² (4 d25 S500)

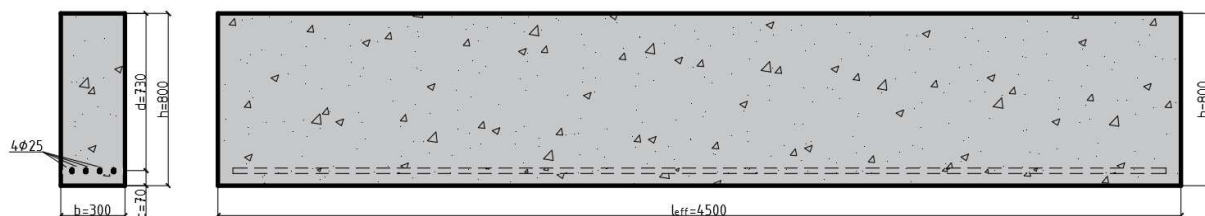


Рисунок 6. – Общий вид балки

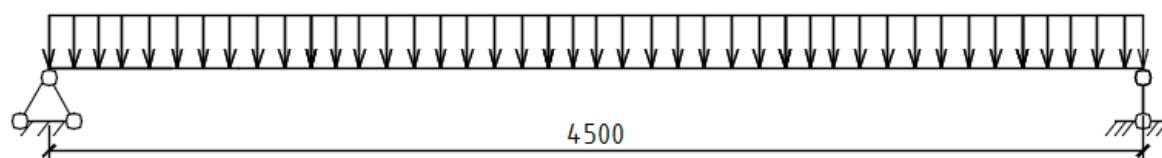


Рисунок 7 – Расчетная схема балки

Расчет производился по всем трем методам: методу предельных усилий, упрощенному деформационному методу и общему деформационному, используя разные диаграммы деформирования бетона при одноосном кратковременном сжатии. Были получены следующие результаты:

Таблица 1

Расчетное значение M_{Rd} , кН×м							
Метод предельных усилий ($M_{Rd(1)}$)	Упрощенный деформационный метод ($M_{Rd(2)}$)	Общий деформационный метод (СНБ) ($M_{Rd(3)}$)	Общий деформационный метод (ТКП EN 1992...) ($M_{Rd(4)}$)	Общий деформационный метод (диаграмма 1) ($M_{Rd(5)}$)	Общий деформационный метод (диаграмма 2) ($M_{Rd(6)}$)	Общий деформационный метод (диаграмма 3) ($M_{Rd(7)}$)	Общий деформационный метод (диаграмма 4) ($M_{Rd(8)}$)
1	2	3	4	5	6	7	8
531,96	515,72	543,1	542,5	539,3	540,9	545,8	547,2

Выводы. На основании полученных данных, можно сделать вывод о том, что выбор той или иной диаграммы деформирования бетона несущественно влияет на расчет прочности изгибаемого железобетонного элемента, поскольку значительной разницы в результатах нет.

Анализируя более детально, очевидно, что наиболее отклоненным от усреднённого значения результат дал упрощенный деформационный метод. Объясняется это тем, что расчет ведется при помощи таблиц (приблизительно), в запас прочности. Несмотря на то, что метод предельных усилий является одним из самых распространённых методов, он так же дал отличный от других результат, вследствие расчета по эмпирическим формулам и с учетом погрешностей расчета. Общий деформационный метод дал почти одинаковые результаты, погрешность между наиболее отклоненными значениями составила $\Delta=1,44\%$, несмотря на то, какая форма диаграммы деформирования использовалась.

Небольшая расхожимость между результатами объясняется тем, что исчерпание прочности конструкции происходит в результате достижения предельных значений либо сжатой зоны бетона, либо растянутой арматуры. В данном случае, исходя из расчетов, разрушение происходит по растянутой арматуре после достижения предела текучести в продольной арматуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пецольт Т.М., Тур В.В. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей. – Брест, БГТУ, 2003, – с.69–71
2. Пецольт Т.М., Тур В.В. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей. – Брест, БГТУ, 2003, – с.197–200
3. ТКП EN 1992-1-1-2009. Проектирование железобетонных конструкций – Минск: Стройтехнорм, 2009, – с. 20
4. Пецольт Т.М., Тур В.В. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей. – Брест, БГТУ, 2003, – с.142–145
5. Пецольт Т.М., Тур В.В. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей. – Брест, БГТУ, 2003, – с.128–132