

РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ЗАКОНЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

На основе двуквадратичного закона деформирования при рассмотрении 3-й стадии напряженно-деформированного состояния разработаны методы расчета на прочность поперечных сечений изгибаемых железобетонных элементов, соответствующие различным случаям их разрушения.

При возрастании нагрузки на изгибающий элемент от нуля до разрушающей в опасном сечении, по длине балки наблюдают характерные стадии напряженно-деформированного состояния (рис. 1).

В припорных сечениях, если $M = M(x)$ бетон работает упруго. За расчетный момент принимают такой, при котором в растянутой зоне максимальное напряжение меньше опасного значения $\max \sigma_b < R_{bit}$, и в растянутой зоне железобетонного элемента не образуются трещины. Эта стадия лежит в основе расчета железобетонных элементов по упругой стадии. Здесь эпюра напряжений в растянутой и сжатой зонах практически мало отличается от прямолинейной, что предполагает линейный закон деформирования бетона. Такую стадию напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента относят к стадии I. В настоящее время она достаточно хорошо изучена.

Далее следует стадия Ia – это стадия пластической работы материала. Здесь в растянутой зоне $\max \sigma_b = R_{bit}$, что приводит к появлению пластических деформаций, которые практически постоянны в большей части сечения и интенсивно уменьшаются по мере приближения к нейтральной линии.

В сжатой зоне при этом эпюра напряжений сохраняет очертание, мало отличающееся от треугольного. Стадия Ia лежит в основе расчетов изгибаемых железобетонных элементов по трещиностойкости. В случае бетонной балки эта стадия лежит в основе расчетов на прочность.

Стадия II характерна тем, что в растянутой зоне образуется трещина. Она выключает из работы бетон растянутой зоны, и все

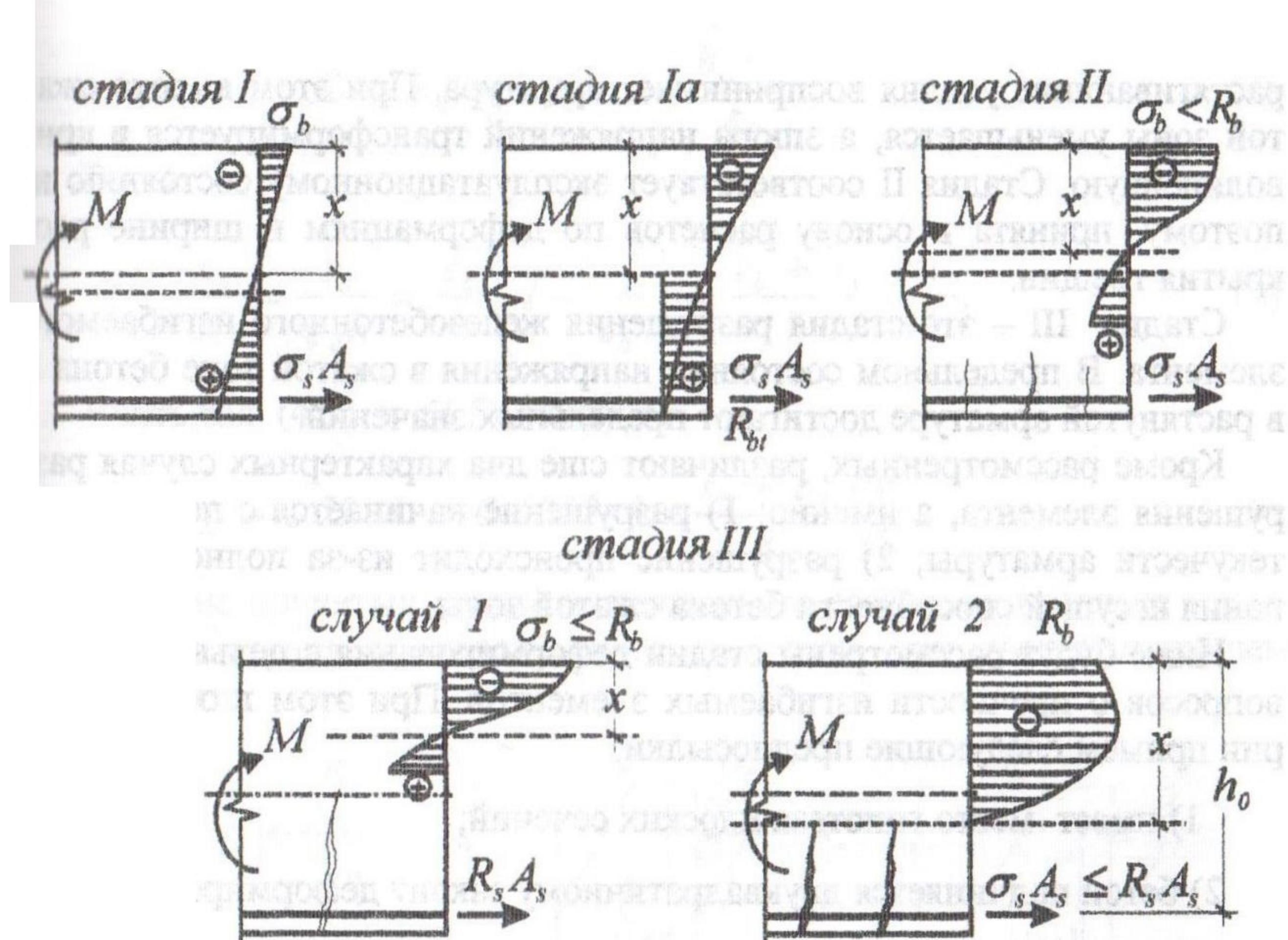


Рис.1. Стадии напряженно-деформированного состояния в нормальных сечениях изгибающего железобетонного элемента

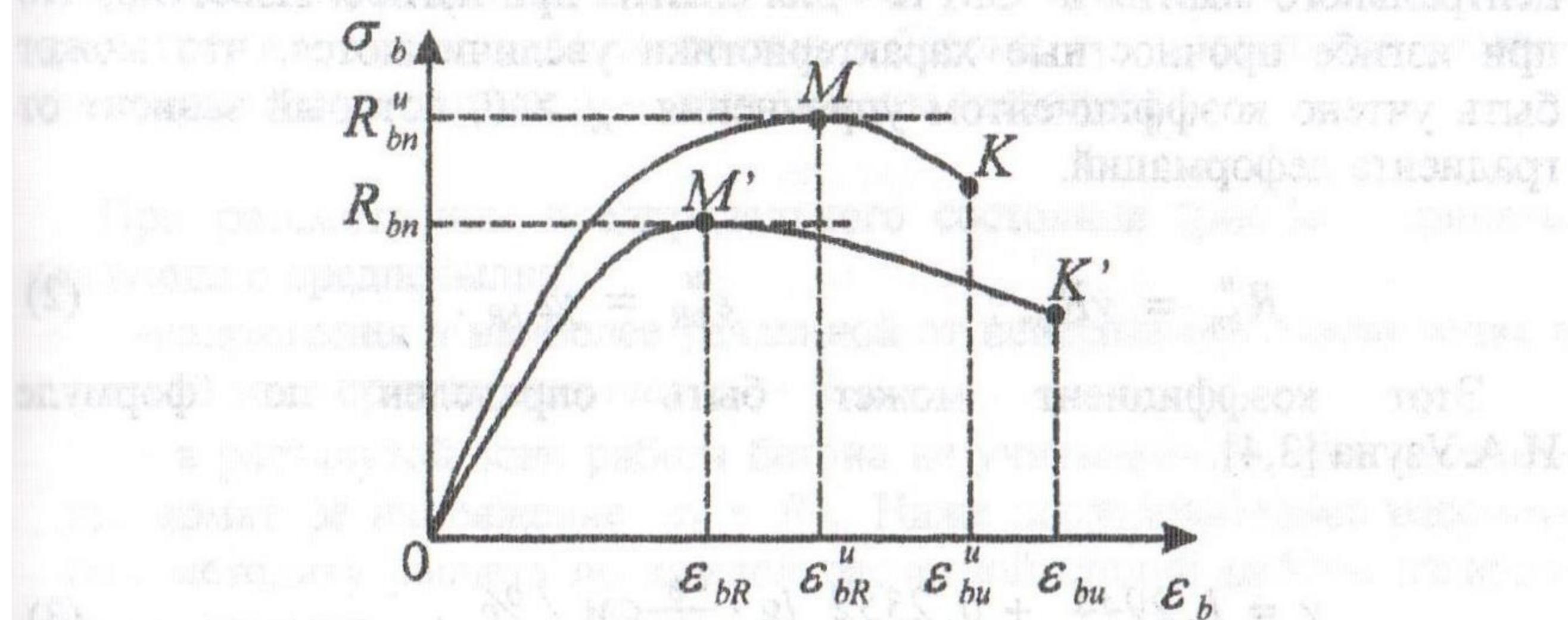


Рис.2. Трансформация диаграммы σ_b - ε_b с учетом коэффициента упрочнения при изгибе

растягивающие усилия воспринимает арматура. При этом высота сжатой зоны уменьшается, а эпюра напряжений трансформируется в криволинейную. Стадия II соответствует эксплуатационному состоянию и, поэтому, принята в основу расчетов по деформациям и ширине раскрытия трещин.

Стадия III – это стадия разрушения железобетонного изгибаемого элемента. В предельном состоянии напряжения в сжатой зоне бетона и в растянутой арматуре достигают предельных значений.

Кроме рассмотренных, различают еще два характерных случая разрушения элемента, а именно: 1) разрушение начинается с появлением текучести арматуры; 2) разрушение происходит из-за полного исчерпания несущей способности бетона сжатой зоны.

Ниже будут рассмотрены стадии деформирования с целью решения вопросов о прочности изгибаемых элементов. При этом в основу теории примем следующие предпосылки:

- 1) имеет место гипотеза плоских сечений;
- 2) бетон подчиняется двуквадратичному закону деформирования

$$\sigma_b = E_0 \varepsilon - E_1 \varepsilon^2 + \left|_{\varepsilon_{bR}} \right. E_2 (\varepsilon - \varepsilon_{bR})^2. \quad (1)$$

3) диаграммы $\sigma_b - \varepsilon_b$, полученные при испытании образцов на центральное растяжение и сжатие могут быть трансформированы для случая изгиба (рис.2.). На этом рисунке показана диаграмма ОМК для центрального сжатия и ОМ'К' для сжатия при изгибе. Известно, что при изгибе прочностные характеристики увеличиваются, что может быть учтено коэффициентом упрочнения $\chi > 0$, который зависит от градиента деформаций.

$$R_{bn}^u = \chi R_{bn}; \quad \varepsilon_{bR}^u = \chi \varepsilon_{bR}. \quad (2)$$

Этот коэффициент может быть определен по формуле И.А.Узун [3,4].

$$\chi = 1.2944 + 0.2352 \lg \cdot \frac{\varepsilon_b}{X} \text{ см / \%}. \quad (3)$$

Для изгибаемых железобетонных элементов, используя гипотезу плоских сечений, имеем

$$X = h_c = h \xi_c = \frac{h}{1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b}} \quad (4)$$

Тогда

$$\frac{\varepsilon_b}{X} = \frac{\varepsilon_b}{\xi_c h} = \frac{\varepsilon_b}{h} \left(1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b} \right) = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_s}{h} \frac{\text{см}}{\%} \quad (5)$$

Учитывая (4.3) и (4.5), получим

$$\chi = 1.2944 + 0.2352 \lg \cdot \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_s}{h} \frac{\text{см}}{\%} \quad (6)$$

4) кроме принятых стадий напряженного состояния вводится в рассмотрение стадия предпредельного состояния при соответствующем ему моменте.

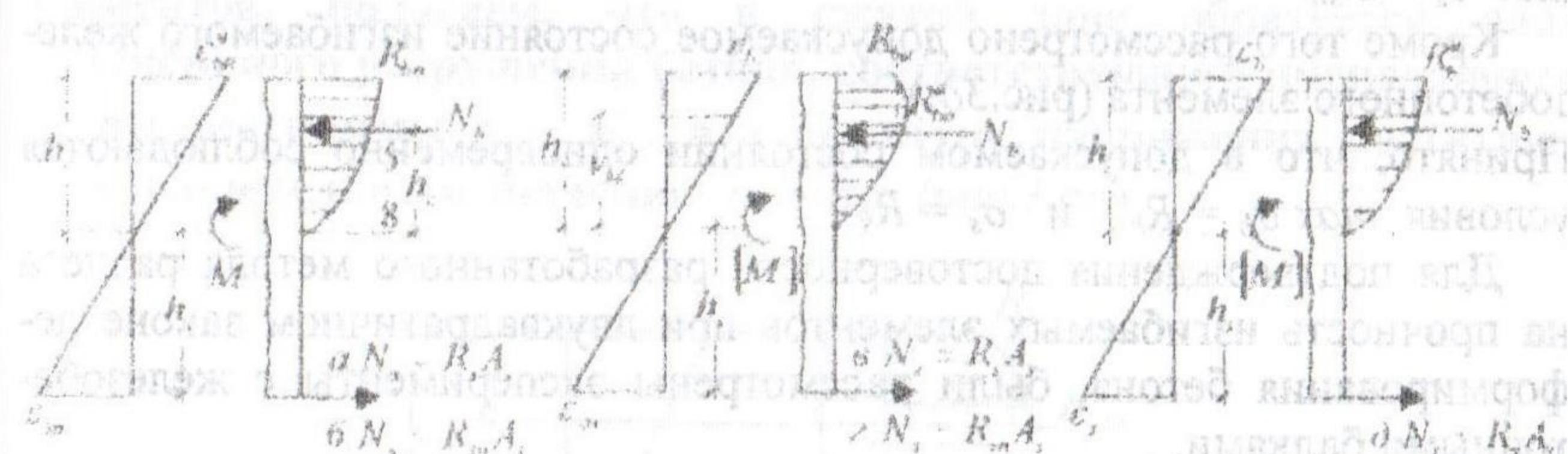


Рис.3. Расчетные схемы состояний изгибаемых железобетонных элементов; *a* - предпредельное состояние; *b* - предельное состояние в арматуре; *c* - предельное состояние в бетоне; *d* - предельное состояние в арматуре и бетоне; *e* - допускаемое состояние.

При рассмотрении предпредельного состояния (рис.3а.) приняты следующие предпосылки:

-напряжения в наиболее удаленной от нейтральной линии точке в сжатой зоне принято как $\max \sigma_b = R_{bn}$.

- в растянутой зоне работа бетона не учитывается; в) в растянутой арматуре напряжение $\sigma_b < R_{sn}$. Ниже последовательно рассмотрим методику расчета по каждой расчетной стадии работы изгибающегося элемента.

Кроме того, от рассмотрения предпредельного состояния можно перейти к рассмотрению предельных состояний трех типов.

В случае предельного состояния в арматуре (рис.3б.), сохраняется расчетная схема рассмотренного предпредельного состояния и отличается тем, что в арматуре напряжения $\sigma_s = R_{sn}$. Тогда в формулах R_s заменяется на R_{sn} .

При рассмотрении предельного состояния в бетоне (рис.3в.) учитывается, что:

-на эпюре напряжений в сжатой зоне имеются участки, соответствующие восходящей и ниспадающей ветвям диаграммы $\sigma - \varepsilon$.

-для арматуры принято, что в ней напряжения равны расчетному сопротивлению R_s .

В случае предельного состояния в бетоне и арматуре (рис.3г.) учитывается, что:

-в бетоне сжатой зоны образуется слой интенсивного разрушения.

-в арматуре напряжения достигают своего предельного значения $\sigma_s = R_{sn}$.

Кроме того рассмотрено допускаемое состояние изгибающего железобетонного элемента (рис.3д.).

Принято, что в допускаемом состоянии одновременно соблюдаются условия $\max \sigma_b = R_b''$ и $\sigma_s = R_s$.

Для подтверждения достоверности разработанного метода расчета на прочность изгибаемых элементов при двуквадратичном законе деформирования бетона, были рассмотрены эксперименты с железобетонными балками.

Вывод. Сопоставление опытных значений разрушающего момента M_{on} с теоретическими значениями M_{teor} , полученными по предложенной методике, показало их хорошее совпадение, при среднеквадратичном отклонении 5,7%.

Литература

1. Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Нелинейный расчет изгибаемых элементов конструкций // Сборник научных трудов "Строительные конструкции, строительные материалы, инженерные системы, экологические проблемы" - Одесса: ОГАСА- 1998. - С. 14-15.
2. Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Расчет изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона. Монография.- Одесса: Издательство ОГАСА, 2003—210с.
3. Узун И.А. Напряженно-деформированное состояние изгибаемых элементов //Известия вузов. Строительство и архитектура.-1990.-№8.- С. 3-7.
4. Узун И.А. Трансформирование диаграммы деформирования бетона при сжатии //Известия вузов. Строительство и архитектура.-1991 .-№11.- С. 7-12.