

УДК 624.012.35

**Ромашко Василий Николаевич**

*Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования  
г. Ровно, Украина*

**Romashko Vasyl**

*Ph. D. in Engineering, associate professor, head of chair  
National University of Water Management and Nature Recourses Use  
Rivne, Ukraine*

## **ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

## **THE GENERALIZED MODEL OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES DEFORMATION**

***Аннотация.** В работе рассматриваются основные принципы построения обобщенной модели деформирования бетонных и железобетонных элементов и конструкций, базирующейся на главных закономерностях внутреннего перераспределения усилий и напряжений не только между их сечениями, но и определенными фибрами этих сечений.*

***Ключевые слова:** железобетон, элементы, конструкции, модель, деформирование, перераспределение, усилия, напряжения.*

***Summary.** The paper deals with the basic principles of the generalized model of concrete and reinforced concrete elements and structures deformation, based on the main patterns of forces and stresses internal redistribution not only between their sections, but also between definite sections of these fibers.*

***Key words:** reinforced concrete, elements, structures, model, deformation, redistribution, forces, stresses.*

**Вступление.** Главной особенностью современного этапа развития теории бетона и железобетона можно считать соответствующий переход в проектировании бетонных и железобетонных элементов и конструкций от силовой к так называемой «деформационной» модели их работы. И базируется он, прежде всего, на использовании в расчетах гипотезы плоских сечений и полных диаграмм деформирования бетона с так называемой «нисходящей ветвью». Сама нисходящая ветвь диаграммы деформирования бетона и степень ее реализации в реальных бетонных и железобетонных элементах и конструкциях зависит от многих факторов. Однако обусловлена она, прежде всего, пластическими деформациями бетона и отражает возможность перераспределения напряжений между отдельными фибрами в сечении элемента или конструкции подобно перераспределению усилий между элементами или конструкциями в самой системе. А поэтому отсюда следует, что современные методики расчета железобетонных элементов и конструкций должны разрабатываться с учетом указанных процессов перераспределения, начиная с напряжений между фибрами отдельного сечения и заканчивая усилиями между отдельными элементами всей системы.

**Обзор литературы.** Впервые явление перераспределения усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях было исследовано в начале XX-го века Kazinczy G. [1]. Однако из-за отсутствия соответствующих теоретических предпосылок перераспределение изгибающих моментов в то время так и не нашло применения на практике, поскольку проектирование железобетонных конструкций осуществлялось за допустимыми напряжениями на основе теории упругости.

Ситуация начала меняться принципиально лишь в конце 30-х, в начале 40-х годов прошлого века, когда в проектировании строительных элементов и конструкций перешли к расчету за разрушающими усилиями. Естественно, что проведенные на тот период довольно обширные исследования по перераспределению усилий в статически неопределимых системах и конструкциях [2] способствовали выявлению действительного характера

поведения железобетонных элементов и конструкций при интенсивном развитии пластических деформаций бетона.

Еще больше активизировались указанные исследования в конце 50-х годов с введением в практику проектирования строительных конструкций метода предельных состояний. Благодаря результатам целого ряда последующих работ [3, 4, 5], направленных на углубленное изучение действительного напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов и конструкций в статически неопределимых системах, на сегодня решены основные задачи, связанные с проблемами перераспределения усилий:

- определены наиболее весомые факторы, влияющие на перераспределение усилий в элементах подобных систем;
- разработаны методы и способы перераспределения (регулирования) усилий в определенных элементах и конструкциях в случае возникновения такой необходимости;
- предложены методы расчета перераспределения (регулирования) усилий, учитывающие пластические свойства материалов.

**Результаты исследований.** В общем известно, что перераспределение усилий в элементах и конструкциях происходит благодаря пластическим деформациям материалов. Тем не менее, указанное явление может происходить лишь тогда, когда элемент имеет неоднородную структуру или находится в условиях неоднородного напряженно-деформированного состояния.

Представим себе относительно короткий бетонный элемент в виде системы из бесконечного числа фибр (стержней), связанных между собой и закрепленных от потери устойчивости. В случае осевого нагружения системы из таких стержней она будет оставаться статически определимой, поскольку при одинаковых усилиях (напряжениях) все фибры работают одинаково (рис.1,*a*). Естественно, что перераспределение напряжений между стержнями этой системы в данном случае есть просто невозможным. Другая ситуация складывается при внецентренном сжатии, когда все стержни (фибры) работают по-разному, а сама система становится статически неопределимой. При

разрушении наиболее напряженных фибр бетона система продолжит и дальше сопротивляться возрастающей нагрузке, так как напряжение с указанных фибр (стержней) будет перераспределяться на менее напряженные фибры (рис. 1,б). Подобный характер деформирования присущ и центрально сжатым железобетонным элементам. Арматурные стержни, имея большую жесткость за жесткость отдельных бетонных волокон, способны до определенной поры продолжать перебирать на себя часть возрастающей на систему нагрузки при падающей способности отдельных фибр бетона (рис. 1,в).

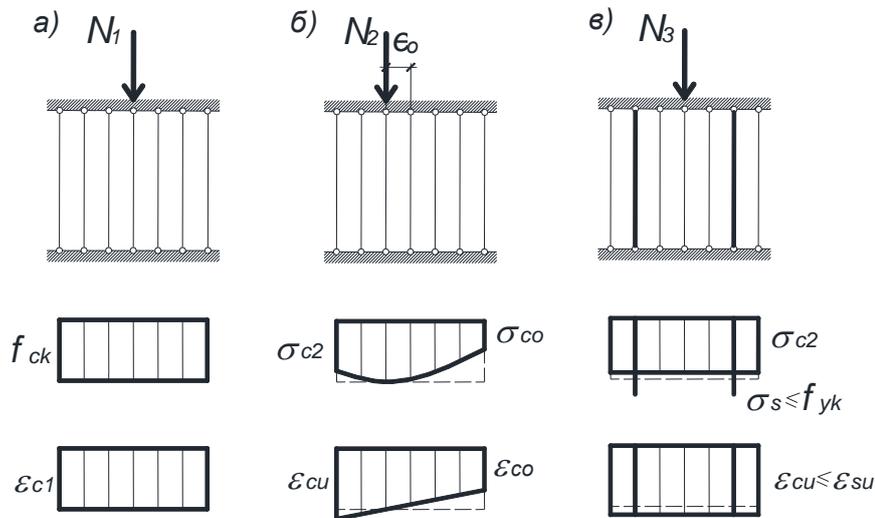


Рис. 1. К перераспределению напряжений между отдельными фибрами сжатых бетонных и железобетонных элементов

Вполне очевидно, что максимальное усилие, которое возникает в наиболее напряженном сечении железобетонного элемента, не приводит его к немедленному или мгновенному разрушению. Это усилие в течение еще некоторого времени перераспределяется на смежные сечения, «догружая» их. Поэтому в действительности разрушается не сечение конструкции, а бетон в ее определенном объеме или арматура на ее определенном участке [6]. И наконец, уменьшение несущей способности отдельных участков статически

неопределимых систем приводит к перераспределению усилий на менее напряженные участки и их характерные сечения. Подобный процесс будет продолжаться до тех пор, пока сама система не превратится в геометрически изменяемую.

Следует иметь в виду, что природа перераспределения напряжений в наиболее напряженном сечении элемента, в общем, является такой же, как и перераспределение усилий между отдельными элементами статически неопределимой системы. Поэтому вполне естественно, что использование полных диаграмм деформирования бетона с так называемой «нисходящей ветвью» позволяет построить общую иерархию перераспределения усилий как закономерного процесса и обосновать с физической точки зрения природу его существования.

В большинстве случаев процесс деформирования бетонных и железобетонных элементов и конструкций всегда есть довольно сложным и неоднозначным. И связано это, как правило, с физической, геометрической и конструкционной нелинейностью явлений, которые его сопровождают. Если же говорить об отдельных фибрах (бетонных волокнах) сечения, то их деформирование сопровождается физической нелинейностью, связанной с различным изменением физико-механических характеристик, и прежде всего - деформационных (в частности, модуля деформаций бетона). Деформирование сечений элементов и конструкций на отдельных участках связано кроме всего с геометрической нелинейностью (непропорциональным изменением высоты сжатой зоны бетона, площади ее сечения и т.д.). Деформирование статически неопределимых конструкций и систем осложняется еще и проявлением конструкционной нелинейности (включая изменение расчетных схем вследствие образования шарниров пластичности).

Понятно, что величина деформаций бетона при этом всегда будет разной, так как будет зависеть от условий работы элементов системы и характера напряженно-деформированного состояния их сечений. Поэтому единственным критерием потери несущей способности бетонных и железобетонных

элементов и конструкций может выступать нарушение равновесия усилий от внешних нагрузок и воздействий с внутренними усилиями в сечениях элементов и конструкций при физической, геометрической и конструкционной нелинейности их деформирования. В предельном состоянии оно фиксируется с помощью общеизвестного экстремального критерия несущей способности  $dM / d(1/r) = 0$ .

Следовательно, использование в расчетах действительных диаграмм состояния элементов и полных диаграмм деформирования бетона с нисходящими ветвями (рис. 2) позволяет не только с единых позиций решать эксплуатационные задачи, но и способствует поиску резервов несущей способности указанных элементов и конструкций в целом [6].

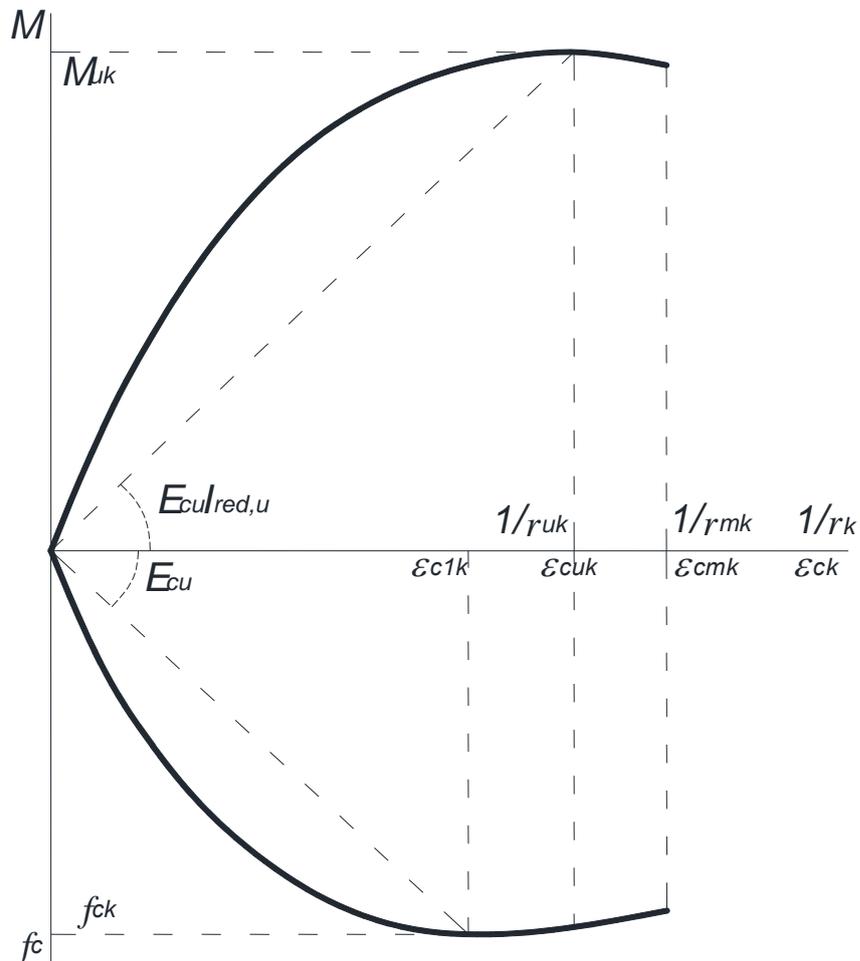


Рис. 2. Связь диаграмм деформирования сжатого бетона с диаграммами состояния железобетонных элементов и конструкций

**Заклучение и выводы.** Все вышесказанное позволяет утверждать, что:

- в деформировании бетонных и железобетонных элементов и конструкций определяющим является процесс внутреннего перераспределения напряжений и усилий, проходящий благодаря развитию пластических деформаций;
- потеря несущей способности бетонных и железобетонных элементов и конструкций всегда происходит вследствие нарушения условий равновесия, что свидетельствует о существовании единого обобщенного критерия исчерпания их несущей способности;
- модель работы бетонных и железобетонных элементов и конструкций на самом деле всегда есть деформационно-силовой и априори не может быть чисто «деформационной» или чисто силовой.

### Литература

1. Kazinczy G. Kísérletek befalazott tartókkal / G. Kazinczy // *Betonszemle.* – 1914. – II. évf. 4., 5, és 6. szám, 68-71., 83-87-, 101-104. old.

2. Гвоздев А.А. О перераспределение усилий в статических неопределимых обычных и предварительно напряжённых конструкциях. / А.А. Гвоздев. – М.: Госстройиздат, 1955. – 29 с.

3. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статических неопределимых железобетонных конструкциях / С.М. Крылов. – М.: Госстройиздат, 1964. -168 с.

4. Карпенко Н. И. К построению общей методики расчёта статических неопределимых стержневых железобетонных конструкций на основе метода конечных элементов. / Н. И. Карпенко, Т. А. Мухамедиев, М. А. Сапожников // *Строительная механика и расчёт сооружений.* – 1989. – № 6. – С. 55-61.

5. Бондаренко В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – Санкт-Петербург. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 472 с.

6. Ромашко В.М. Основи загальної теорії деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій / В.М. Ромашко // *Ресурсоекономні*

матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2012. –  
Вип.24. – С. 229-234.