

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ РАБОТЫ РАСТЯНУТОГО БЕТОНА НАД ТРЕЩИНАМИ

Дорофеев В.С., Зинченко А.В., Завируха Т.В., Пономарь Л.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса*

**Постановка проблемы.** Железобетон – основной строительный материал, поэтому совершенствование методов расчета является важной и сложной проблемой при проектировании зданий и сооружений, возводимых из железобетона.

Это материал, в котором, при сопротивлении силовым воздействиям образуются макротрещины.[4] Процесс трещинообразования и учет работы растянутого бетона над трещинами и между ними в элементах железобетонных конструкций - явления достаточно сложные, для описания которых требуется привлечение ряда гипотез о совместной работе двух материалов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Изучению этих явлений в железобетонных конструкциях посвящено большое количество зарубежных исследований. Большинство экспериментальных исследований железобетонных конструкций проводилось с целью получения количественных данных об их сопротивлении, а вопросы, связанные с физической природой происходящих при этом явлении, не затрагивались.[4] Поэтому отсутствие теоретического обоснования и анализа экспериментальных данных вынудило в свое время отдать предпочтение эмпирическим методам расчета, в том числе по оценке сопротивления растянутого бетона между трещинами. В результате нормативные документы и руководства по расчету, как правило, построены на эмпирических зависимостях.

В этом направлении работали и получили некоторые экспериментально-теоретические данные: Мурашев В.И., Немировский Я.М., Попов Р.В., Гвоздев А.А., Фрайфельд С.Е., Вилков К.И., Суслов Ю.А., Фигаровский В.В., Гузев Е.А., Ростомян Л.Ф., Махно Р.К., Рокач В.С. Исследования приведенных выше ученых показали закономерности изменения высоты трещин с ростом нагрузки в обычных балках прямоугольного сечения.

**Цель статьи.** Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учетом работы растянутого бетона над трещинами.

**Результаты исследований.** С развитием железобетона развивались и совершенствовались методы расчета железобетонных конструкций. Для этого потребовались обширные экспериментальные исследования, которые проводились почти во всех странах мира. Уже первые экспериментальные исследования показали, что при загрузении железобетонного элемента в нем проявляются особые свойства, с которыми нельзя не считаться при построении теории расчета.

В последнее время для совершенствования расчета железобетонных конструкций все большее внимание уделяется методам механики разрушения, так как после появления трещин гипотезы и методы механики сплошной среды уже неприменимы (тем не менее, в механике твердого деформируемого тела гипотеза сплошности материала является основной). [3] В механике разрушения наиболее полно изучены вопросы, связанные с исследованием напряженно-деформированного состояния в окрестности трещины.

Экспериментально доказано, что в ряде случаев для уравнивания усилий в арматуре в стадии трещинообразования равнодействующая усилий в бетоне должна проходить за пределами сечения или центра тяжести сжатой зоны. Это указывает на то, что эпюра напряжений в бетоне является двузначной, т.е. что в сечениях с трещинами имеется не только сжатая, но и растянутая зона бетона.

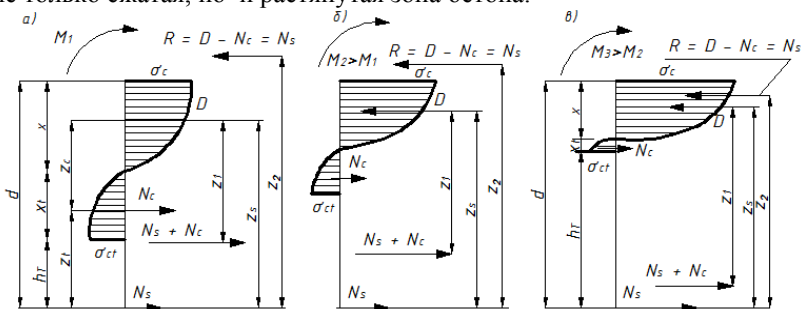


Рис. 1 Эффект работы растянутой зоны бетона над трещинами в обычном изгибаемом железобетонном элементе: а) появление трещин; б) процесс трещинообразования; в) стабилизация процесса трещинообразования

Работа растянутой зоны бетона изгибаемых и внецентренно нагруженных элементов складывается из работы растянутого бетона над трещинами и его работы между ними. [2] Этот процесс единый, но проявляется по-разному – в зависимости от стадии работы конструкции при

кратковременной нагрузке и длительной ее выдержке. Растянутый бетон над трещинами играет существенную роль в начальной стадии работы конструкции. На более поздней стадии его роль становится менее значительной, в то время как бетон между трещинами продолжает работать почти, вплоть до наступления текучести арматуры.

Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов, а именно балок прямоугольного сечения, при воздействии кратковременного и длительного нагружения с учетом работы растянутого бетона над трещинами проводилось Я.М. Немировским и Р.В. Поповым, Е.А. Гузеевым, Л.Ф. Ростомяном, Р.К.Махно, В.С. Рокачем. [1] В балках по высоте сечений имелись датчики, по которым были получены непосредственные данные о высоте сжатой и растянутой зон бетона в сечениях с трещинами и коэффициенте  $\varphi$ . В этих опытах замерялись деформации арматуры и крайнего сжатого волокна бетона как при кратковременном нагружении, так и при длительной выдержке нагрузки. Именно по деформациям арматуры в сечениях с трещинами удалось с полной определенностью установить как сам факт работы растянутого бетона над трещинами, так и количественную оценку ее роли на различных этапах нагружения элементов и в период их выдержки под нагрузкой во времени.

Проанализировав выше указанные эксперименты, можно сделать вывод о том, что при неучете работы растянутого бетона над трещинами можно установить, что после появления трещин в изгибаемом или внецентренно нагруженном элементе должно происходить резкое увеличение напряжений в арматуре в сечениях с трещинами, вызванное якобы резким выключением всего бетона над трещинами из работы, а также к искажению коэффициента  $\psi_s$ , характеризующего работу бетона растянутой зоны между трещинами. Однако авторы экспериментов этих явлений в действительности не наблюдали: в сечении, в котором только что возникла трещина, деформации в арматуре были невелики и незначительно отличались от средних ее деформаций, взятых для зоны чистого изгиба. Выключение его из работы на первых этапах нагружения после образования трещин отвечает уменьшению величины  $\psi_s$  – коэффициента, характеризующего неравномерность распределения деформаций в растянутой арматуре на участках с трещинами, объяснимое тем, что скорость нарастания деформаций арматуры в сечениях с трещинами –  $\varepsilon_s$  значительно превышает в этом случае скорость нарастания средних деформаций растянутой арматуры –  $\varepsilon_{sm}$ . [1]

По полученным данным можно сформировать принципиальную схему изменений коэффициента  $\psi_s$ : вначале он близок к единице, потому что связь арматуры и бетона на участках между трещинами почти полностью сохраняется, а в конце нагружения коэффициент  $\psi_s$  приближается к единице из-за почти полного выключения бетона между трещинами из работы вследствие нарушения связи его с арматурой при наступлении ее текучести.

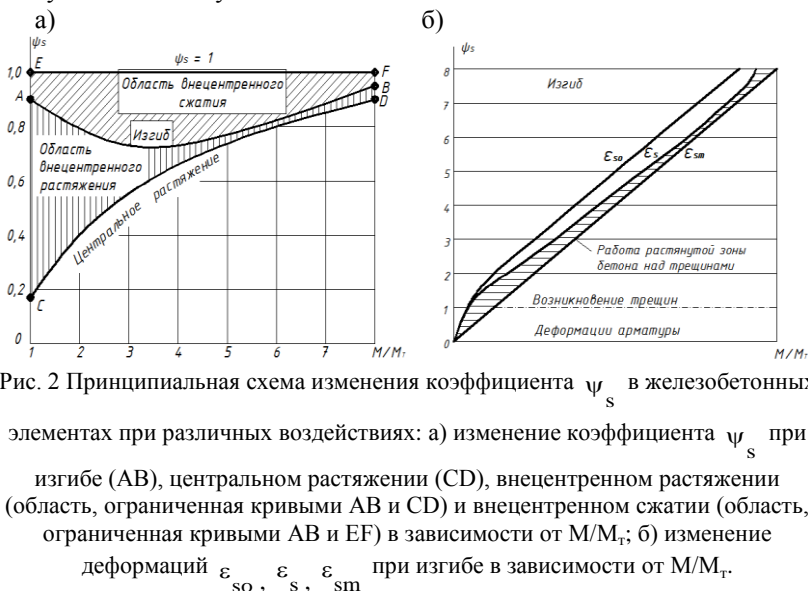


Рис. 2 Принципиальная схема изменения коэффициента  $\psi_s$  в железобетонных

элементах при различных воздействиях: а) изменение коэффициента  $\psi_s$  при изгибе (AB), центральном растяжении (CD), внецентренном растяжении (область, ограниченная кривыми AB и CD) и внецентренном сжатии (область, ограниченная кривыми AB и EF) в зависимости от  $M/M_T$ ; б) изменение деформаций  $\epsilon_{so}$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_{sm}$  при изгибе в зависимости от  $M/M_T$ .

### Выводы

1. Проведенный обзор-анализ исследований показывает, что процесс трещинообразования и последующего развития трещин в элементах железобетонных конструкций - явления достаточно сложные, для описания которых требуется привлечение ряда гипотез о совместной работе двух материалов. Все известные предложения по расчету расстояния между трещинами и учету сопротивления растянутого бетона могут быть разделены на основные группы в зависимости от подхода к выводу основных зависимостей:

- в первую группу включены предложения, основанные на предположках теории В.И. Мурашева и их упрощенные варианты;
- ко второй группе относятся работы, в которых предлагаются эмпирические, полумпирические и статистические формулы, получен-

ные на базе обширных экспериментальных исследований, введение удобной характеристики для исследований и расчета, понятия коэффициента  $\psi$ , как отношения высоты сжатой зоны бетона в сечениях с трещинами к средней ее высоте;

- к третьей группе относятся экспериментальные закономерности развития трещин по высоте сечения, в зависимости от величины нагрузки для балок с гладкой арматурой как для всей зоны чистого изгиба в целом, так и для участков этой зоны с наибольшим развитием трещин и деформаций.

2. Неучет работы растянутого бетона над трещинами приводит к искажению коэффициента  $\psi_s$ , характеризующего работу растянутой зоны между трещинами.

### **Summary**

**Stress-strain state of reinforced concrete elements with the work of the cracked concrete in tension above the crack reviewed in the article.**

### *Литература*

1. Немировский Я.М. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учетом работы растянутого бетона надтрещинами и пересмотр на этой основе теории расчета деформации раскрытия трещин / Я.М. Немировский // Прочность и жесткость железобетонных конструкций ; под.ред. А.А. Гвоздева. – М.: Стройиздат, 1968. – С.152–173.

2. Немировский Я.М. Жесткость изгибаемых железобетонных конструкций при длительном нагружении. В сб.: «Теория расчета и проектировании железобетонных конструкций». Госстройиздат, 1958.

3. Мурашев В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона. 1950г.

4. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Немировский Я.М. О расчете перемещений (прогибов) железобетонных конструкций по проекту новых норм (СНиП II-V.1-62). «Бетон и железобетон», 1962, №6.

5. ДСТУ Б.В.2,6-156.2010. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования. К.: Министерство регионального развития и строительства Украины, 2011.