

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРОЙ БЕЗ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ, В СООТВЕТСТВИИ С ПОЛОЖЕНИЯМИ ПРОЕКТА СНБ 5.03.01-98

Главной особенностью работы под нагрузкой железобетонных изгибаемых элементов с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном является то, что в таких конструкциях после нарушения условий трещиностойкости в зоне действия максимальных изгибающих моментов развивается регулярная система нормальных трещин располагаемых с примерно одинаковым шагом $l_{cr} = (1-2,5)h$; (где h – полная высота сечения конструкции). С увеличением нагрузки наблюдается интенсивный рост образовавшихся трещин, а расстояние между ними l_{cr} может уменьшиться до величины h . Одновременно, на границе между сжатой и растянутой зонами, из вершин нормальных трещин развиваются продольные трещины, которые соединяясь выделяют сжатую зону бетона (рис 1).

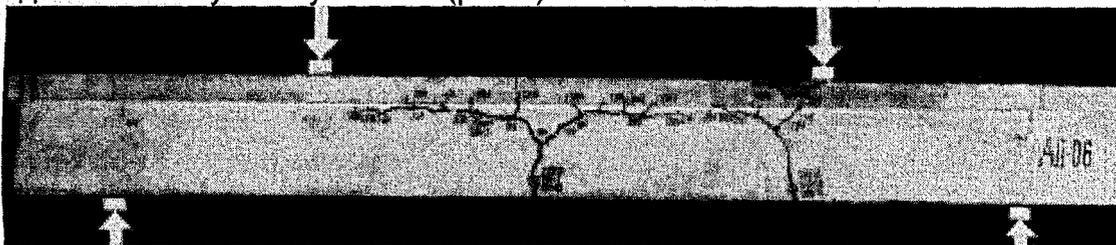


Рис. 1. Характер трещинообразования и разрушения балки армированной предварительно напряжённой арматурой без сцепления с бетоном

Разрушение конструкции происходит, как правило, хрупко от истощения сопротивления выделенной сжатой зоны бетона, возможна также потеря ее устойчивости. При этом напряжения в напрягаемой арматуре крайне редко достигают расчетного сопротивления при растяжении.

Таким образом, после образования нормальных трещин железобетонный изгибаемый элемент с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном получает ярко выраженное блочное строение, то есть состоит из системы блоков, имеющих контакт в сжатой зоне и передающих распор (через опорные блоки) на преднапряженные продольные стержни. Такие блоки можно рассматривать в качестве расчетных элементов, для которых считается справедливой гипотеза сплошности. Блоки контактируют в сечениях с трещинами в пределах зоны сжатого и сохраняющего макросплошность растянутого бетона.

Из регулярности расположения нормальных трещин следует циклическая симметрия напряженно-деформированного состояния конструкции относительно сечений с трещинами. Вследствие симметрии, по контакту смежных блоков действуют только нормальные напряжения, а распределение деформаций в пределах контакта близко к линейному (рис. 2).

Напряженно-деформированное состояние блоков изучалось экспериментально, а также аналитически. Для прямоугольных регулярных внецентренно сжатых блоков постоянной толщины решение контактной задачи в линейной постановке было дано в работе [1]. В работах [2, 3] предложена пространственная блочно-контактная модель, которая более полно и строго по сравнению с плоской учитывает особенности

деформирования и разрушения бетонных и железобетонных конструкций с магистральными трещинами.

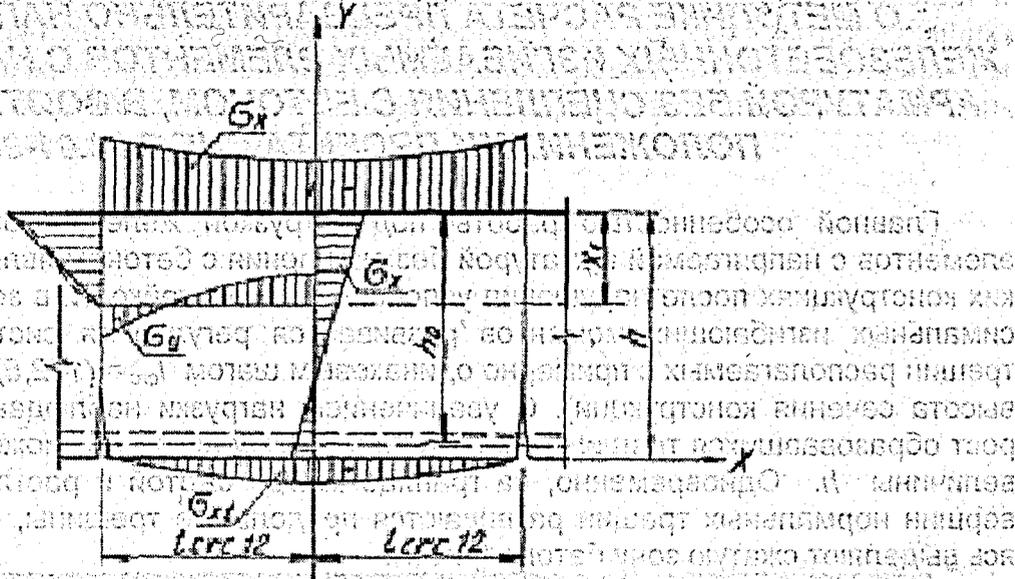


Рис. 2.

Схема распределения нормальных напряжений действующих в бетонном блоке

Блочно-контактная модель позволяет объяснить особенности трещинообразования и разрушения изгибаемых элементов с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном, причины образования вторичных трещин, приводящих зачастую к реализации не предусмотренных действующими строительными нормами механизмов разрушения конструкции. На основе блочно-контактной модели были разработаны инженерные методы расчета параметров напряженно-деформированного состояния и предельных усилий изгибаемых элементов, не имеющих сцепления арматуры с бетоном, предложены рациональные схемы их армирования [4].

Анализ напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов армированных только напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном показал, что в практике строительства их использование целесообразно лишь в том случае, если для конструкции будут соблюдены требования 1-й категории трещиностойкости.

В действующих в настоящее время строительных нормах по проектированию бетонных и железобетонных конструкций СНиП 2.03.01-84 указывается, что к предварительно напряженным конструкциям без сцепления арматуры с бетоном должны предъявляться требования 1-й категории трещиностойкости, при этом каких-либо конкретных указаний по их расчету и конструированию не приводится.

СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» расчет изгибаемых элементов с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном предлагает производить по общим зависимостям, вводя условно в соответствующие расчетные формулы вместо расчетного сопротивления растяжению напрягаемой арматуры значение установившегося в ней (за вычетом всех потерь) предварительного напряжения. В качестве основных конструктивных мероприятий, которые должны обеспечить сцепление напрягаемой арматуры с бетоном, тем самым уменьшив ширину раскрытия и шаг образующихся при действии эксплуатационных нагрузок трещин, предлагается инъектирование закрытых и обетонирование открытых каналов. Такой подход к расчету и проектированию преднапряженных конструкций без сцепления арматуры с бетоном является неосторожным. Инъектирование и обетонирование каналов не позволяет обеспечить надежного сцепления напрягаемой арматуры с бетоном прежде всего потому, что ма-

териал, заинъекцированных и омоноличенных каналов, и окружающий их бетон конструкции находятся в различном напряженно-деформированном состоянии. Кроме того практика эксплуатации конструкций с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном показала, что в ряде случаев обеспечить полное инъектирование закрытых каналов достаточно сложно. Вследствие этих причин существует опасность откола сжатой зоны бетона при действии эксплуатационных нагрузок и ее хрупкого разрушения.

Более надежным способом предотвращения возможного откола сжатой зоны бетона в конструкциях с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном является установка в растянутой, от действия эксплуатационных нагрузок зоне дополнительной связанной с бетоном арматуры (смешанное армирование) (рис.3). Смешанное армирование уменьшает ширину раскрытия и шаг образующихся трещин и, при выполнении определенных расчетно-конструктивных требований, позволяет избежать хрупкого разрушения сжатой зоны бетона. Поэтому установка связанной с бетоном арматуры в растянутой при действии эксплуатационных нагрузок зоне предварительно напряженных конструкций без сцепления, является обязательным требованием проекта норм СНБ 5.03.01-98 «Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования». Количество арматуры, имеющей сцепление с бетоном, определяется исходя из требований расчета по ограничению ширины раскрытия трещин, внецентренно сжатого элемента при действии продольного усилия $N_{pd} = \sigma_{sp} A_{sp}$.

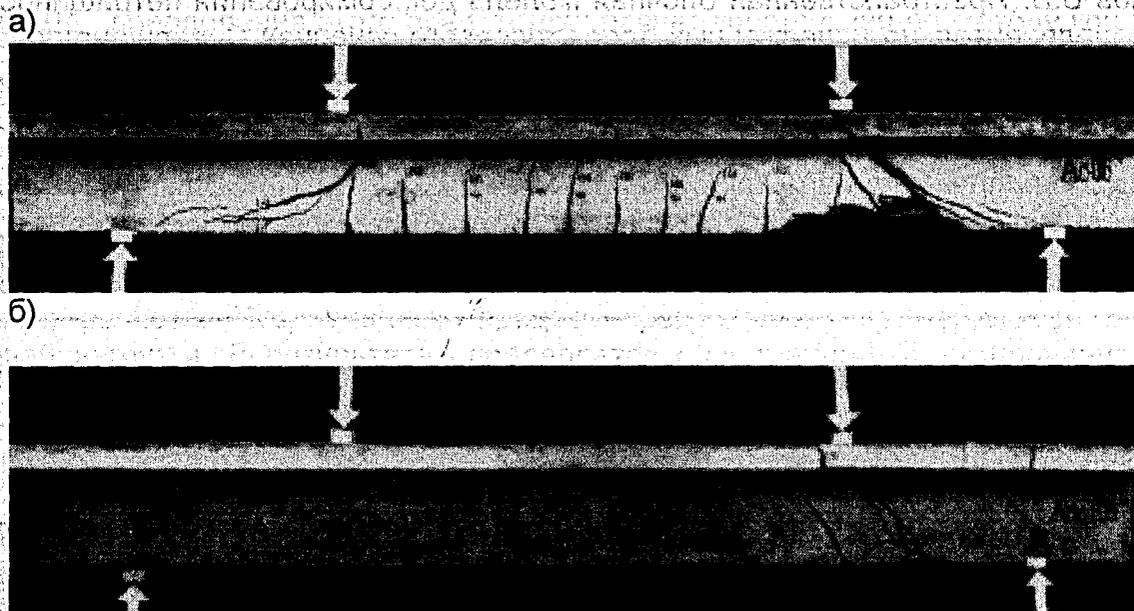


Рис. 3.

Характер трещинообразования и разрушения балок:

а) армированных предварительно напряжённой арматурой имеющей сцепление с бетоном;

б) армированных предварительно напряжённой арматурой без сцепления с бетоном, и дополнительной связанной с бетоном арматурой.

Минимальный процент армирования арматурой, имеющей сцепление с бетоном, при этом должен составлять не менее 0.15%. Данное условие позволяет обеспечить расстояние между трещинами, образующимися в зоне действия максимальных изгибающих моментов, не более половины высоты сечения изгибаемого элемента. В этом случае напряжения σ_y , действующие по горизонтальным площадкам, не превысят предела прочности бетона при растяжении в условиях плоского напря-

женно-деформированного состояния, что в свою очередь позволит избежать образования вторичных горизонтальных трещин. Это дает возможность с достаточной надежностью производить расчет изгибаемых элементов с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном по первой и второй группам предельных состояний согласно общим методикам расчета изгибаемых элементов проекта норм СНБ 5.03.01-98, рассматривая усилие предварительного обжатия, определенное с учетом всех потерь, как внешнее усилие, приложенное к конструкции. Допускается расчет сечений по прочности производить по методу предельных усилий, условно принимая напряжения в напрягаемой арматуре равными величине предварительного напряжения с учетом всех потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев П.И., Пересыпкин Е.Н. Метод расчета раскрытия швов и трещин в массивных бетонных конструкциях. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 58, М., Энергия, 1970.
2. Белов В.В. Блочная модель деформирования массивных бетонных и железобетонных элементов с макротрещинами // Гидротехническое строительство. 1994, №9, С.147-151.
3. Белов В.В. Пространственная блочная модель деформирования нетрещиностойких предварительно напряженных балок таврового сечения // Совершенствование методов расчета и исследования новых типов железобетонных конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. СПбГАСУ, СПб, 1995, С.51-57.
4. Деркач В.Н. Совершенствование армирования железобетонных изгибаемых элементов с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном // Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций: Сборник научных трудов ЦНИИпромзданий.-М., 1992, С.3-6.

УДК 624.012.45

Жукьян А.П.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА И АРМАТУРЫ

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет эффективно решать самые различные задачи в области расчетов строительных конструкций. При этом он допускает введение расчетных схем сложной геометрической конфигурации, назначение любых граничных условий, введение в расчет элементов с различными характеристиками или даже описываемых разными математическими моделями. Вычислительные комплексы МКЭ (MSC/NASTRAN, COSMOS-M, RSTAB, ЛИРА, МИРАЖ, SCAD) позволяют с высокой точностью определить поля напряжений и деформаций для плоских и пространственных конструкций от нагрузок и воздействий различной природы (гравитационных, тепловых и др.). Однако, для физически и геометрически нелинейного анализа железобетонных конструкций они мало пригодны, так как не учитывают реальную работу сечения с трещиной. Большинство прикладных программ для расчета конструкций по методу конечных элементов в качестве геометрических характеристик использует жесткость сечения без трещины, а в качестве ха-