

## ВОЗМОЖНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА "РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ" ПРОЕКТА НОРМ "БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ"

*Рочняк О.А.БПИ, г.Брест*

В Беларуси начаты работы по составлению норм и правил "Бетонные и железобетонные конструкции"\* (здесь и далее по тексту используется условное обозначение СНБ 2.06.01).

СНБ 2.06.01 должен содержать, на наш взгляд, основные требования к бетонным и железобетонным конструкциям, которые обеспечат их нормальное функционирование в течение установленного срока службы сооружения. Эти положения должны основываться на современных достижениях отечественной и зарубежных школ железобетона, быть приближенными к рекомендациям Eurocode-2.

Одним из наиболее сложных является расчет железобетонных конструкций при действии поперечных сил.

Расчет железобетонных элементов с поперечной арматурой для обеспечения прочности по наклонной трещине по СНиП 2.03.01-84, как известно, производится методом, использующим модель наклонного сечения. Образование опасной наклонной трещины (ОНТ) предполагается на растянутой грани элемента, последующее ее развитие происходит по траектории главного сжатия. Сопротивление действию поперечной силе оказывает бетон ( $Q_b$ ) над концом ОНТ, поперечная ( $Q_{sw}$ ) и отогнутая ( $Q_{s,im}$ ) арматура. Следует отметить, что расчетная схема определена по результатам испытаний однопролетных балок с эпюрой изгибающих моментов одного знака.

Проект СНиП 51-01 устанавливает, что расчеты при действии поперечных сил по прочности, образованию и раскрытию трещин и деформациям производятся на основе модели наклонного сечения, расчетная схема которого приведена на рис. 1; при этом исчерпание прочности происходит при достижении предельных усилий в сжатом бетоне над наклонной трещиной и между наклонными трещинами с учетом плоского напряженного состояния, а также в поперечной и продольной арматуре ("нагельный эффект" –  $Q_s$ ), пересекающей наклонную трещину.

---

\* В России первый вариант проекта СНиП 51-01 "Бетонные и железобетонные конструкции" составлен. Проект разработан и внесен научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона "НИИЖБ" Минстроя России, Акционерным обществом открытого типа "Научно-исследовательский институт транспортного строительства (АО ЦНИИС), Российским акционерным обществом энергетики и электрофикации АО "ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева".

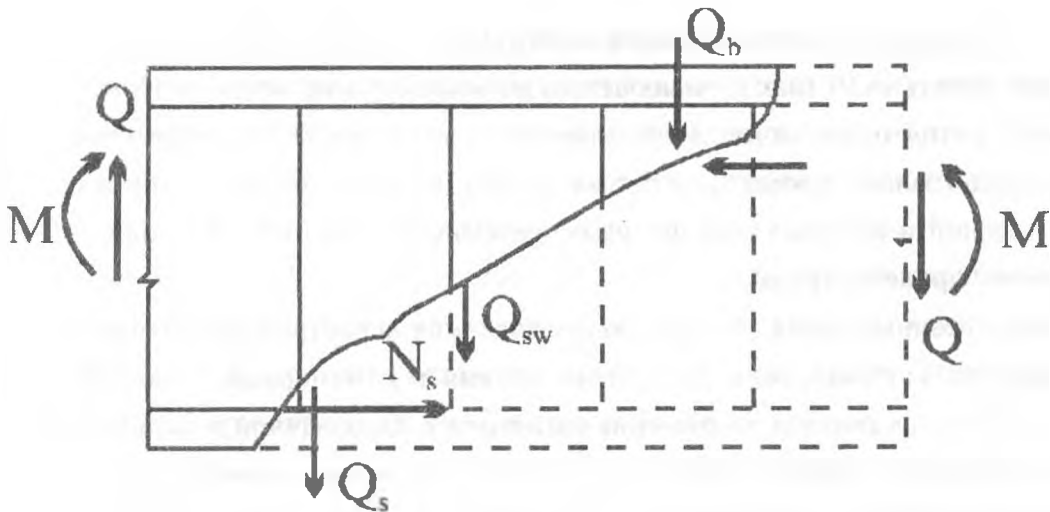


Рис. 1

Расчетная модель наклонного сечения, на наш взгляд, является основной для статически определимых балок с однозначной эпюрой изгибающих моментов. Подлежит обсуждению вопрос о включении в уравнение равновесия начальной силы  $-Q_s$ . Экспериментальные данные свидетельствуют, что при "вращательном" движении двух разделенных наклонных трещин частей балки "нагельный эффект" проявляется слабо, при "сдвиговом" перемещении  $Q_s$  может достигать значительных величин (а в элементах без поперечного армирования "нагельный эффект" является в ряде случаев единственным фактором, оказывающим сопротивление действию поперечных сил). Решение данного вопроса может быть таким. При значительных "пролетах среза" ( $a/h_0 \geq 2$ ),  $Q_s$  не следует учитывать, так как при этом наиболее вероятно вращательное перемещение двух блоков балки; если  $a/h_0 < 2$ , в этом случае (как правило, имеет место сдвиговая форма перемещения блоков балки)  $Q_s$  отлично от нуля; величину  $Q_s$  возможно определить, рассматривая продольный арматурный стержень, как балку на упруго-пластическом основании (бетоне). Для обеспечения проявления  $Q_s$  в СНБ 2.06.01 необходимо отразить конструктивные мероприятия, способствующие этому.

Работа приопорных зон балок при наличии изгибающих моментов разного знака существенным образом отличается от вышеописанной расчетной модели.

Результаты исследований свидетельствуют, в частности, о том, что могут иметь условия для быстрого распространения ОНТ, приводящие к преждевременному разрушению элемента. К числу факторов, оказывающих влияние на формирование таких условий, следует отнести соотношение между максимальными значениями изгибающего момента и поперечной силы. В элементах с однозначной эпюрой  $M$  (треугольной при загрузении одним либо двумя грузами), при постоянной величине  $Q$ , моменты изменяются от нуля на опоре до максимального значения в сечении под грузом; таким образом, при существовании в приопорной зоне определенного соотношения  $M/Q_b$ , вся нижняя арматура расположена в растянутой зоне, а верхняя – в сжатой.

В элементах с разнозначной эпюрой моментов на участке с постоянной по величине и знаку  $Q$  могут действовать разные по величине и знаку моменты. Например, мо-

мент может изменяться от максимума под грузом до нуля в точке в средней части участка, далее менять свой знак и уменьшаться до минимума на опоре, в этом случае между опорой и грузом имеются по две растянутые и сжатые зоны. Это определяет различную ориентацию главных площадок в бетоне на участке между опорой и грузом в элементах с однозначной и разнозначной эпюрами изгибающих моментов при одинаковых относительных "пролетах среза".

Изложенные выше обстоятельства являются некоторой иллюстрацией к отличиям в характере образования и развития трещин в приопорных зонах, формировании ОНТ, в целом механизмах разрушения элементов с однозначной и разнозначной эпюрами изгибающих моментов. По этим причинам расчетная схема наклонного сечения, приведенная на рис. 1, повидимому, не может быть использована для оценки сопротивления действию поперечных сил, приопорных зон элементов с разнозначной эпюрой моментов.

Для расчета таких элементов следует рассмотреть возможность применения "ферменной аналогии". Результаты экспериментально-теоретических исследований железобетонных статически неопределимых неразрезных балок, выполненных в НИИЖБе, Строительном институте Штутгартского университета, БПИ и др. подтверждают приемлимость использования схемы фермы для расчета на действие поперечных сил балок с разнозначной эпюрой моментов. Практика, однако, свидетельствует о значительной трудоемкости таких расчетов. Проект СНиП 51-01 читает, что расчеты железобетонных конструкций при действии поперечных сил могут производиться на основе стержневой модели, включающей сжатые и растянутые пояса, соединенные между собой сжатыми и растянутыми раскосами (схема усилий представлена на рис. 2).

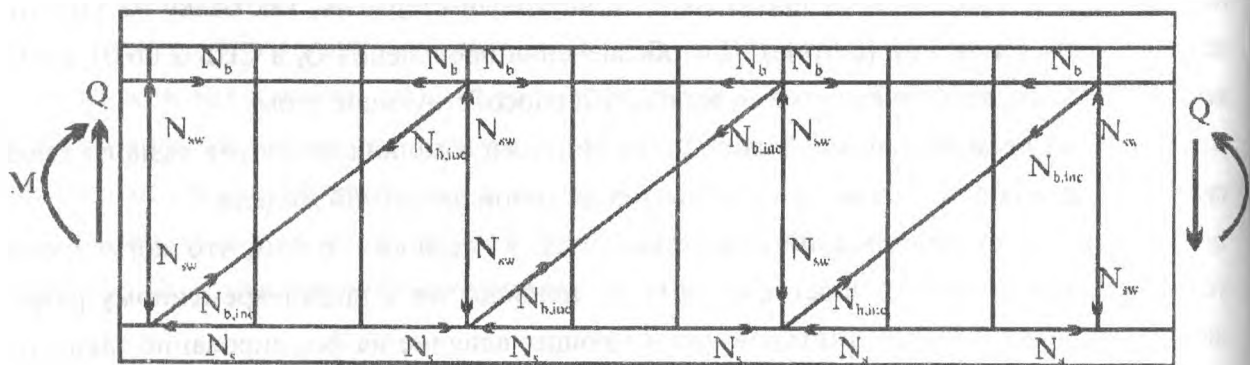


Рис. 2.

По вышеизложенным причинам данная схема, на наш взгляд, приемлема для расчета элементов с разнозначной эпюрой  $M$ . Включение "ферменной аналогии" в СНБ 2.06.01 будет способствовать сближению положений отечественных нормативных документов и Eurocode-2.

Следует все же отметить, что "ферменная аналогия", не принимая во внимание зависимость несущей способности железобетонного элемента от целого ряда факторов, в том числе и от сцепления арматуры с бетоном, определяет одно из возможных состояний равновесия, а расчет элементов с однозначной эпюрой моментов по этой расчетной схеме приводит к завышению количества поперечной арматуры.

В проект норм, на наш взгляд, следует включить также рекомендации по расчетной оценке сопротивления приопорных зон элементов, обладающих отличительными конструктивными особенностями (железобетонные изгибаемые элементы без сцепления продольной рабочей арматуры с бетоном; короткие балки  $e/h < 4$  и др.).

Например использование модели сечений для элементов без сцепления арматуры с бетоном не дает какого-либо удовлетворительного согласования с данными экспериментальных исследований. Устранение сцепления существенно повышает нагрузку образования критических наклонных трещин и увеличивает сопротивление поперечной силе. Это объясняется тем, что в балках без сцепления величина главных растягивающих напряжений, действующих по наклонным площадкам, менее, чем в балках при наличии сцепления. Только при незначительных "пролетах среза" исчерпание несущей способности происходит в результате разрушения приопорной зоны. В балках прямоугольного поперечного сечения (при  $a/h_0 < 1$ ) раскалывается выделенный нормальной трещиной приопорный блок. Расчетная схема балок таврового поперечного сечения при небольших относительных "пролетах среза" ( $a/h_0 < 1.5$ ) во многом определяется распространением магистральной наклонной трещины (МНТ\*), образование которой происходит выше линии "опора – пролетный груз".

Расчетная схема приопорной зоны – бетонная сжатая полоса, параметры которой можно определить, исходя из геометрических соотношений опорной и грузовой площадок и самой балки. Расчетный анализ свидетельствует, что такой подход дает результаты, близкие к экспериментальным; отклонение не превышает 12 %.

В целом можно полагать, что включение в СНБ 2.06.01 различных методов расчета (метод сечений, "ферменную аналогию", методы механики разрушения и др.) целесообразно; в этом случае расширяются возможности норм, сближаются позиции различных школ теории железобетона. Применение же того или иного метода должно быть в нормативном документе тщательно обосновано, прежде всего с позиции соответствия расчетной схемы с характером трещинообразования, последующего распространения трещин, механизма разрушения железобетонного элемента.

---

\* Трещины, появление которых радикальным образом изменяет напряженное состояние железобетонного элемента, считаебм "магистральными"; это относится к наклонным, нормальным и пролетным трещинам.