



УДК 639

Ф.Х. Ахметзянов – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОВРЕЖДАЕМЫХ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Вопросы повреждаемости строительных конструктивных элементов все больше привлекают внимание исследователей и инженеров вследствие необходимости определять остаточную несущую способность, сроки службы, сохраняемость, живучесть элементов при накоплении повреждений в этих элементах. Эти вопросы недостаточно разработаны.

Цель данного сообщения – изложить предлагаемый инженерный подход к методике определения несущей способности повреждаемых бетонных и железобетонных строительных элементов.

Исходные предпосылки: малость деформаций относительно характерных размеров поперечного сечения. Упругая среда с трещинами.

В связи с тем, что физическая и инженерно-физическая модель материала – бетона – была рассмотрена ранее (с возникающими повреждениями структуры в виде микротрещин) [1], в данном сообщении модель бетона принимается в виде сплошной среды, в которой при механическом нагружении возникают и развиваются макротрещины,

приводящие элемент к разделению на части – разрушению (рис. 1, 2).

Анализ характера развития трещин, произведенный автором как в бетонных образцах (рис. 1), так и в железобетонных колоннах (рис. 2), позволяет выявить следующие их особенности:

1) Аналогичность картины предельного состояния перед моментом разрушения, состоящей в разделении образца или элемента трещинами на сжатые полосы, направленные в среднем вдоль сжимающего усилия, при этом гибкость полос увеличивается по мере развития трещин пропорционально отношению осредненной длины трещин, разграничивающих полосу к наименьшему размеру полосы:

$$I = \bar{l}/h_{min} \cdot \quad (1)$$

2) Несущая способность полосы по мере увеличения гибкости снижается пропорционально коэффициенту продольного изгиба

$$G = f(I); \leq 1. \quad (2)$$

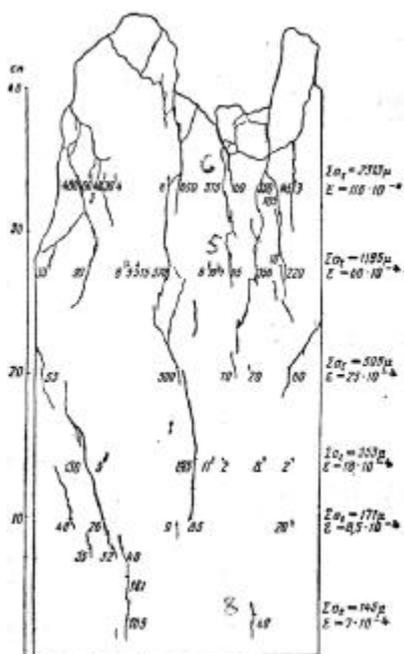


Рис. 1. Эскиз части разрушенной призмы с результатами измерения раскрытия трещин [3]



Рис. 2. Общий вид разрушения колонны № 241 [3]

Одинаковая картина развития трещин в бетонной призме и железобетонной колонне [3]



Рис. 3. Формирующаяся сжатая полоса в железобетонной стене

Критерий можно определить по публикациям в технической литературе [2]. При продолжительном нагружении приходится учитывать ползучесть бетона коэффициентом $m_{\sigma} \leq 1$, умножая на него G [2].

3) Развитие трещин в образцах и элементах сопровождается флуктуациями среднего направления вдоль сжимающего усилия и наклонами трещин, что вызывает появление эксцентриситета приложения сжимающего усилия в поперечном сечении и, следовательно, дополнительного изгибающего момента от усилия на участках с флуктуацией направления трещин. Появление этого изгибающего момента снижает несущую способность как сжатой полосы, так и всего поперечного сечения.

Величина эксцентриситета сжимающего поперечное сечение усилия e_0 при ширине полосы kh (к примеру, около грани элемента) равна:

$$e_0 = [(h - kh) \cdot 0,5(h - kh) - kh(h - 0,5kh)] / h = h(1 - k)^2 [0,5 - k(1 - 0,5k) / (1 - k)^2] \quad (3)$$

Дополнительный изгибающий момент в поперечном сечении вследствие появления эксцентриситета сжимающего усилия e_0 будет равен:

$$DM = N \cdot e_0 = R_b \cdot b \cdot h \cdot h(1 - k)^2 [0,5 - k(1 - 0,5k) / (1 - k)^2] \quad (4)$$

Снижение несущей способности элемента от дополнительного изгибающего момента равно:

$$s(DM) / s_0 = DM / Ws_0 = sDM / bh^2 s_0 \quad (5)$$

Зависимость DM от k приведена на рис. 4. При $k = 0,3h$ относительный изгибающий момент меняет знак ($DM / R_b \cdot b \cdot h^2$).

4) Флуктуации направления трещин вызывают уменьшение размера поперечного сечения полос между трещинами и увеличение напряжений на этих участках – «концентрацию напряжений», оцениваемую отношением максимального размера сечения к минимальному полосы:

$$"k" = h_{max} / h_{min} \quad (6)$$

В железобетонных элементах до потери рабочей арматурой сцепления с бетоном на расстоянии, вызывающем местную потерю устойчивости

арматурного стержня, работоспособность сохраняется. Следовательно, условием сохранения несущей способности по арматуре будет:

$$N_{S1} \geq N_{кр1}, \quad (7)$$

где N_{S1} , $N_{кр1}$ – усилие в стержне рабочей арматуры и критическое усилие в нем при потере устойчивости.

Нужно отметить, что при отсечении полосы бетона трещиной вдоль арматурного стержня под наклоном к направлению стержня появляется горизонтальная составляющая к стержню, зависящая от угла наклона трещины к арматуре (рис. 5). Равнодействующая сжимающей нагрузки в пределах наклонной полосы при сквозной трещине:

$$P_1 = s_b \cdot kh \cdot b, \quad (8)$$

где $s_b = P/bh$ (на некотором расстоянии от вершины трещины).

Составляющая $P_{1Г}$ – перпендикулярная к наклонной грани полосы

$$P_{1Г} = P_1 \cdot \sin a \quad (9)$$

$$DM = \frac{N \cdot e_0}{R_b \cdot bh^2}$$

Составляющая P_2 – перпендикулярная к арматурному рабочему стержню сжатого элемента равна:

$$P_2 = P_{1Г} \cdot \cos a \quad (10)$$

С учетом выражений (9) и (8):

$$P_2 = s_b \cdot kh \cdot b \cdot \sin a \cdot \cos a \quad (11)$$

Подставив вместо Γ выражение P/bh в (11), получаем:

$$P_2 = P \cdot kh \cdot b \cdot 0,5 \sin 2a / bh = 0,5P \cdot k \cdot \sin 2a \quad (12)$$

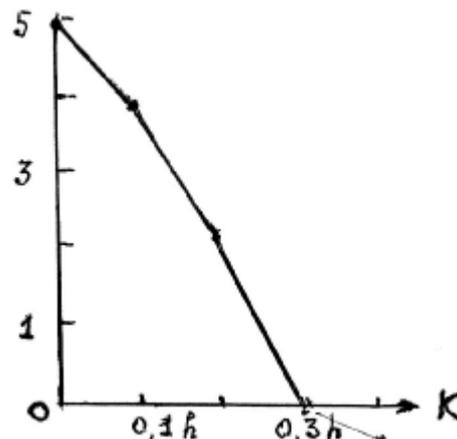


Рис. 4. Изменение знака изгибающего момента при возрастании отсекаемой трещиной доли размера сечения K

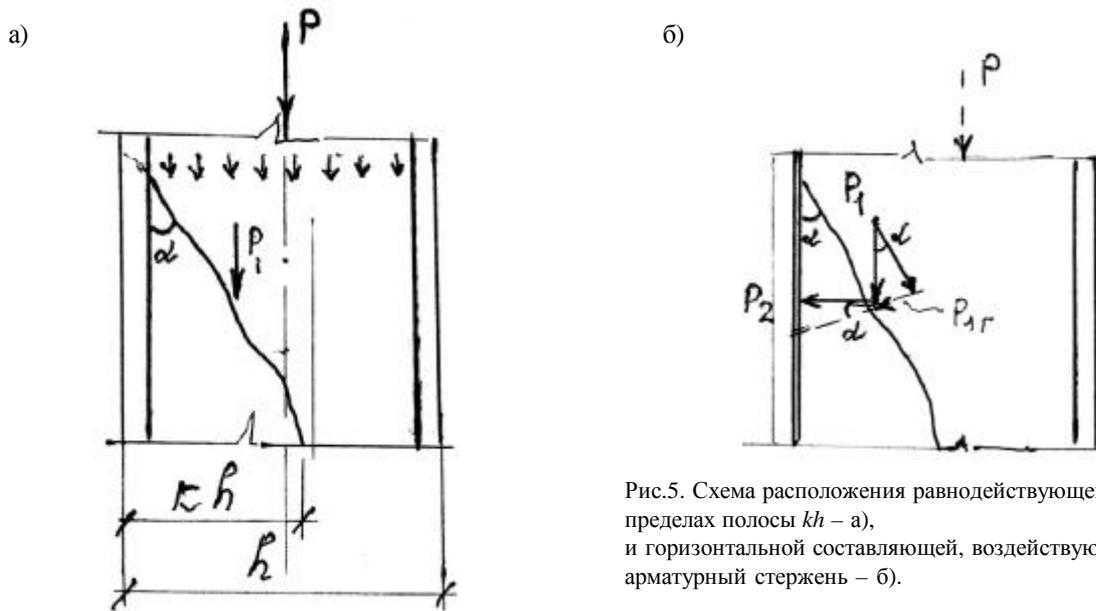


Рис.5. Схема расположения равнодействующего сжатия в пределах полосы $kh - a$), и горизонтальной составляющей, воздействующей на арматурный стержень - б).

Таким образом, при наклонных трещинах проверку напряженного состояния рабочей арматуры в повреждаемом железобетонном элементе можно свести к расчету на воздействие нагрузки вдоль стержня и в поперечном к стержню направлении.

Если расстояние нарушенного сцепления вдоль арматуры составляет l , а расстояние от начала полосы отделенной трещиной от остальной части поперечного сечения, до горизонтальной составляющей P_2 равно « a », то изгибающий момент от усилия P_2 в арматурном стержне:

$$M = P_2 \cdot a(l - a)/l. \quad (13)$$

Вертикальное усилие в арматурном стержне, несмотря на нарушение сцепления, из условия равновесия усилий в любом поперечном сечении равно:

$$P_{sb} = a \cdot s_b \cdot A_s. \quad (14)$$

Эксцентриситет усилия

$$\begin{aligned} e_0 &= M/P_{sb} = P_2 \cdot a(l - a)/l \cdot a s_b \cdot A_s = \\ &= 0,5 s_b b h \cdot k \cdot \sin 2\alpha \cdot a(l - a)/l a s_b = \\ &= 0,5 b h \cdot k \cdot \sin 2\alpha \cdot a(l - a)/l a. \end{aligned} \quad (15)$$

Снижение несущей способности арматурных стержней с потерей сцепления за счет возникновения горизонтальной составляющей в наклонной сжатой полосе, отсеченной сквозной трещиной, равно:

$$\begin{aligned} s_M/s_{0p} &= M/WS_0 \approx 6 \cdot 0,5 s_b b h \cdot a(l - a)/ \\ &/ (l \cdot b h^2 \cdot s_0) \approx 3 s_b \cdot a(l - a)/(l \cdot h \cdot s_0) \end{aligned} \quad (16a)$$

$$\text{или } s_M/s_{0p} = 3 \cdot a(l - a)/l \cdot h. \quad (16b)$$

При $a = l/2$

$$s_M/s_{0p} = (3/4)l/h. \quad (16в)$$

Здесь l – расстояние между поперечными стержнями в элементе.

Литература

1. Ахметзянов Ф.Х., Строганов В.Ф., Якупов Н.М. Особенности микроструктуры и ее влияние на микродеформации и микрповреждаемость цементного камня. Материалы XVII сессии Международной школы по моделям механики сплошной среды. – Казань, 4-10 июля 2004. – С. 21-25.
2. СНиП II-V.1-62. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. Табл. 17.
3. Берг О.Я. Исследование прочности железобетонных конструкций при воздействии на них многократно повторной нагрузки. Труды ВНИИ транспортного строительства. Вып.19. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – С. 6-109.