

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 624.012.45

**МЕТОДИКА ДЛЯ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕ-
ТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ В ЗОНЕ СРЕЗА**

ЛАЗОВСКИЙ Е.Д.

Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь

ПЕЦОЛЬД Т.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение

В связи с интенсивно развивающейся экономикой Республики Беларусь и практически поголовной модернизацией существующих предприятий, вопросы реконструкции существующих строительных объектов являются актуальными. В строительной практике при реконструкции нередко возникают вопросы, связанные с необходимостью усиления изгибаемых железобетонных элементов, в случаях, когда замена поврежденной конструкции или отдельных ее частей невозможна или экономически нецелесообразна. Нередко при реконструкции возникает необходимость в усилении изгибаемых железобетонных элементов в зоне среза. Проблема усиления названных элементов в зоне среза является одной из наиболее сложных для инженерного решения. Сложность решения данной проблемы

связана с тем, что перед усилением с частичным либо полным разгрузением конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений уже находятся в некотором напряженно–деформированном состоянии, отличном от первоначального, и существующие методики расчета не позволяют в необходимой степени учесть это.

Существующие методики расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза

Проведенный анализ отечественных и зарубежных источников показал, что не смотря на то, что для расчета зоны среза изгибаемых железобетонных элементов накоплено значительное число методов и моделей расчета, вопрос анализа усиленных в зоне среза элементов остается во многом открытым.

Существующие методы расчета усиления железобетонных конструкций в зоне среза, предлагаемые [1–3,5] основываются на подходах, в которых напряженно–деформированное состояние усиленной в зоне среза конструкции рассматривается в предельном состоянии. Учет влияния действующей в момент усиления на усиливаемый элемент нагрузки выполняется только лишь введением понижающих коэффициентов к расчетным прочностным характеристикам основного и дополнительного бетона и арматуры, а также использованием в расчете фактических геометрических размеров сечения элемента с учетом ослабления.

Для элементов, усиленных в зоне среза путем наклейки композитных материалов (углеволоконных, стекловолоконных) также предложен метод предельных усилий, в котором добавляется дополнительное слагаемое, учитывающее вклад элементов усиления в общую прочность зоны среза.

Очевидно, что при расчете напряженно–деформированного состояния усиленных в зоне среза железобетонных элементов по данным методикам начальное напряженно–деформированное состояние усиливаемого элемента либо не учитывается, либо учитывается косвенно, введением коэффициентов. При этом не учитывается различия деформационных характеристик материалов усиливаемого и усиливающих элементов. Исходя из этого, можно сделать вывод об отсутствии достоверной методики расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов, отражающей работу уси-

ливаемого элемента на всех стадиях с момента усиления вплоть до разрушения.

Предлагаемая методика расчета напряженно–деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов.

Сложность решения вопроса, связанного с расчетом усиленных в зоне среза элементов, заключается в разности напряженно–деформированного состояния усиливаемого и усиливающих элементов. На практике, усиленная в приопорной зоне изгибаемая конструкция перед загрузением превращается в составную многокомпонентную. Она состоит из основной части, находящейся в определенном напряженно–деформированном состоянии от нагрузки при усилении и собственного веса, и дополнительной части – в первоначальном состоянии [4].

Предлагаемый алгоритм определения напряженно–деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов предусматривает два этапа. На первом этапе, в соответствии с «модифицированной теорией полей сжатия» [6–8] определяется напряженно–деформированное состояние сечения элемента от нагрузки, при которой происходит усиление. На втором этапе для усиленного сечения, начиная с нагрузки при усилении, производится расчет методом последовательных нагружений с реализацией итерационного процесса вычисления деформаций и напряжений в элементарных участках основного и усиливающего элементов вплоть до разрушения [4].

Поскольку в деформационных расчетах принимается постоянный сдвиговой модуль, при анализе усиленных элементов суммируются касательные напряжения в усиливаемом железобетонном элементе до усиления и после усиления (Рисунок 1).

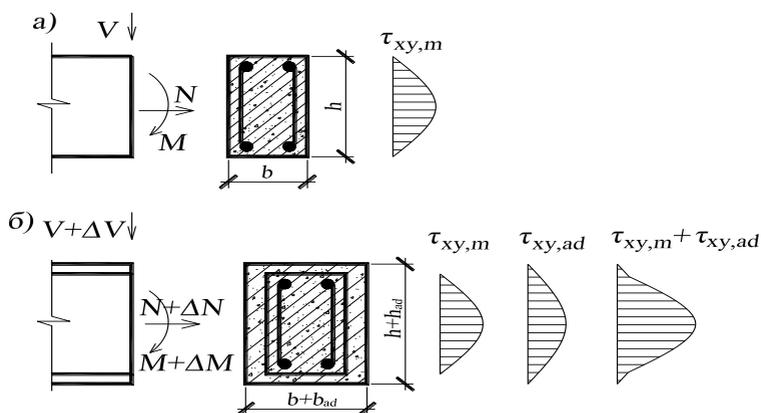


Рисунок 1. Распределение касательных напряжений, принимаемое для расчета усиленных элементов в соответствии с «МТСП»
 а) для неусиленного сечения, б) для усиленного)

Основная и дополнительная части элемента разбиваются на элементарные участки–слои. Гипотеза плоских сечений для всего сечения усиленного под нагрузкой в зоне среза железобетонного элемента не выполняется, поскольку в момент усиления в сечения усиливаемого элемента уже имеются начальные деформации. Поэтому принимаем гипотезу плоских сечений отдельно для дополнительной части и для приращений относительных деформаций основной части сечения конструкции. Относительные деформации элементарного слоя усиливаемой части сечения находятся как сумма относительных деформаций до и после усиления. Уравнения напряженно-деформированного состояния для изгибаемого железобетонного элемента, усиленного увеличением поперечного сечения с установкой дополнительной продольной и поперечной арматуры в зоне среза выглядят следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{cx(i)} b_{(i)} h_{(i)} + \sum_{i=m+1}^k \sigma_{cx,ad(i)} b_{ad(i)} h_{ad(i)} + \sum_{j=1}^n \sigma_{sx(j)} A_{s(j)} + \sum_{j=n+1}^l \sigma_{sx,ad(j)} A_{s,ad(j)} = N_{Sd} + \Delta N;$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{cx(i)} b_{(i)} h_{(i)} (y_{c(i)} - y_{c0,ad}) + \sum_{i=1+m}^k \sigma_{cx,ad(i)} b_{ad(i)} h_{ad(i)} (y_{c,ad(i)} - y_{c0,ad}) +$$

$$+ \sum_{j=1}^n \sigma_{sx(j)} A_{s(j)} (y_{s(j)} - y_{c0,ad}) + \sum_{j=n+1}^l \sigma_{sx,ad(j)} A_{s,ad(j)} (y_{s,ad(j)} - y_{c0,ad}) = M_{Sd} + \Delta M; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m \tau_{xy,m(i)} b_{(i)} h_{(i)} + \sum_{i=m+1}^k \tau_{xy,ad(i)} b_{ad(i)} h_{ad(i)} = V_{Sd} + \Delta V;$$

$$\varepsilon_{cx(i)} = \varepsilon_{cxm(i)} + \varepsilon_{cx,ad(i)}; \quad \varepsilon_{sx(j)} = \varepsilon_{sxm(j)} + \varepsilon_{sx,ad(j)};$$

$$\varepsilon_{cx(i)} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{c(i)} - y_{c0,ad}); \quad \varepsilon_{cx,ad(i)} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{cx,ad(i)} - y_{c0,ad});$$

$$\varepsilon_{sx(j)} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{s(j)} - y_{c0,ad}); \quad \varepsilon_{sx,ad(j)} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{sx,ad(j)} - y_{c0,ad});$$

$$\sigma_{c1(i)} = f(\varepsilon_{c1(i)}); \quad \sigma_{sx(j)} = f(\varepsilon_{sx(j)}); \quad \sigma_{c1,ad(i)} = f(\varepsilon_{c1,ad(i)}); \quad \sigma_{sx,ad(j)} = f(\varepsilon_{sx,ad(j)});$$

$$\varepsilon_{cx(i)} = \varepsilon_{c2(i)} \cdot \cos^2 \theta + \varepsilon_{c1(i)} \cdot \sin^2 \theta; \quad \varepsilon_{cx,ad(i)} = \varepsilon_{c2,ad(i)} \cdot \cos^2 \theta + \varepsilon_{c1,ad(i)} \cdot \sin^2 \theta;$$

$$\varepsilon_{cy(i)} = \varepsilon_{c2(i)} \cdot \sin^2 \theta + \varepsilon_{c1(i)} \cdot \cos^2 \theta; \quad \varepsilon_{cy,ad(i)} = \varepsilon_{c2,ad(i)} \cdot \sin^2 \theta + \varepsilon_{c1,ad(i)} \cdot \cos^2 \theta;$$

$$\tau_{xy(i)} = (-\sigma_{c2(i)} + \sigma_{c1(i)}) \cdot \sin \theta \cos \theta; \quad \tau_{xy,ad(i)} = (-\sigma_{c2,ad(i)} + \sigma_{c1,ad(i)}) \cdot \sin \theta \cos \theta;$$

где $\sigma_{cx,ad(i)}$ – проекция средних напряжений в дополнительном бетоне в i -ой элементарной площадке на продольную ось; $\sigma_{sx,ad}$ – напряжения в дополнительной продольной арматуре в j -м арматурном стержне; $b_{ad(i)}$ – ширина i -го элементарного участка дополнительного бетона; $h_{ad(i)}$ – высота i -го элементарного участка дополнительного бетона; $y_{c,ad(i)}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести элементарной площадки дополнительного бетона; $A_{s,ad(j)}$ – площадь поперечного сечения j -го дополнительного арматурного стержня; $y_{sx,ad(j)}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести j -го дополнительного арматурного стержня $y_{c0,ad}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести сечения после усиления; $\tau_{xy,m(i)}$ – касательные напряжения в i -м элементарном участке усиливаемого элемента в момент усиления; $\tau_{xy,ad(i)}$ – касательные напряжения в бетоне i -го элементарного участка от нагрузки после усиления; $1/r_{ad}$ – кривизна усиленного сечения элемента; $\varepsilon_{cxm(i)}$ – проекция относительных деформаций i -й элементарной площадки бетона основного сечения в момент усиления на продольную ось x ; $\varepsilon_{cx,ad(i)}$ – проекция

относительных деформаций i -й элементарной площадки бетона на продольную ось x от нагрузки после усиления; $\varepsilon_{sxm(j)}$ —относительные деформации в j -м арматурном стержне в момент усиления; $\varepsilon_{sx,ad(j)}$ — относительные деформации в j -м арматурном стержне от нагрузки после усиления; $\sigma_{c2,ad(i)}$ —главные сжимающие напряжения в i -м элементарном участке дополнительного бетона; $\sigma_{c1,ad(i)}$ —главные растягивающие напряжения в i -м элементарном участке дополнительного бетона; $\varepsilon_{c2,ad(i)}$ —относительные деформации по направлению главных сжимающих напряжений в i -м элементарном участке дополнительного бетона; $\varepsilon_{c1,ad(i)}$ — относительные деформации по направлению главных растягивающих напряжений в i -м элементарном участке дополнительного бетона; θ — угол наклона главных напряжений по отношению к продольной оси элемента Δ .

Выводы

Предложенная авторами методика расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов позволяет учесть напряженно-деформированное состояние элемента в момент усиления, и более точно, по сравнению с существующими, отражает действительную работу усиленной под нагрузкой конструкции. Данная расчетная методика позволяет решать практически любые задачи в области усиления зоны среза конструкций, недоступные ныне применяемым методам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голышев А.Б. и др. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.А. Голышев, П.И. Кривошеев, П.М. Козлецкий и др. — К.:Логос, 2004. — 219с.
2. Лазовский Д.Н.//Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. / Монография. — Новополоцк.: ПГУ, 1998. — 240с.
3. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1965. — 342с.
4. Пецольд Т.М., Лазовский Е.Д., Глухов Д.О. / Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза // Т.М. Пецольд, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов / Вестн. Полоц.

госуд. ун-та. Вып. №16. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – Новополоцк: ПГУ, 2012, С.54–59.

5. Пособие П1–98 к СНиП 2.03.01–84*. Усиление железобетонных конструкций / Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 1998. – 189 с.

6. Тур В.В., Кондратчик А.А. // Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил. / Монография. – Брест.: БрГТУ, 2000. – 397 с.

7. Vecchio, F.J., Collins, M.P. // The Response of Reinforced Concrete to In-Place Shear and Normal Stresses / Pub 82.03, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Toronto, March 1982, 332 pp.

8. Collins M.P., Mitchell D., Adebare P., Vecchio F.J. // General Shear Design Method / ACI Struct. Journ., v.93, N 1, January–February, 1996, pp. 36–45.