

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.042.12

ПРЕДПОСЫЛКИ, МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УСИЛЕННЫХ В ЗОНЕ СРЕЗА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ
(Полоцкий государственный университет)

Предлагается новая, научно обоснованная методика расчета прочности и трещиностойкости усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов, учитывающая напряженно-деформированное состояние элементов при усилении, различные физико-механические характеристики материалов усиливаемого и усиливающего элементов и имеющая в сравнении с существующими эмпирическими методиками расчета более выраженный физический смысл. На основании предлагаемой методики разработана программа расчета на ЭВМ, позволяющая вычислять параметры напряженно-деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов и производить расчеты по первой и второй группам предельных состояний при действии в зоне среза полной комбинации внутренних усилий.

Анализ усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов имеет ряд особенностей, связанных с наличием начального напряженно-деформированного состояния усиливаемого элемента от действия внутренних усилий при усилении, различием физико-механических характеристик основной и дополнительной поперечной арматуры, основного и дополнительного бетона, с предварительным напряжением дополнительной поперечной арматуры и совместным действием поперечных и продольных усилий, а также изгибающих моментов.

Предлагаемая методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза, основана на общей деформационной модели [1] и положениях модифицированной теории полей сжатия [2 – 6], учитывает вышеназванные особенности напряженно-деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов.

Предпосылки расчета и уравнения напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов, усиленных в зоне среза. Предлагаемая методика расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов основывается на следующих, кроме допущений, принятых в модифицированной теории полей сжатия, *предпосылках*:

- условие совместной работы усиливаемого и усиливающего элементов по контакту в продольном и поперечном направлениях при восприятии внешней нагрузки, прикладываемой к усиленному элементу после усиления;
- неизменность сдвиговых модулей бетона усиливаемого и усиливающего элементов при суммировании касательных деформаций и касательных напряжений до и после усиления [7];
- гипотеза плоских сечений для распределения относительных деформаций по высоте сечения усиливаемого элемента до усиления, элементов усиления, а также для приращений относительных деформаций основного сечения элемента в постановке В.И. Мурашова – Я.М. Немировского [8 – 9];
- угол наклона к продольной оси главных напряжений от полной нагрузки принимается равным углу наклона главных напряжений от приращения нагрузки после усиления на усиленный в зоне среза изгибаемый железобетонный элемент.

При работе под нагрузкой усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента наблюдаются две характерные стадии: первая стадия – работа под нагрузкой усиливаемого элемента до усиления; вторая стадия – работа под нагрузкой усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента после усиления.

Рассмотрим поперечное сечение изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза под нагрузкой.

Согласно деформационной модели для плоской задачи поперечное сечение железобетонного элемента рассматривается как совокупность элементарных площадок-слоев и продольных арматурных стержней основного и дополнительного элементов, в пределах которых нормальные напряжения считаются равномерно распределенными, равными средним значениям.

Согласно модифицированной теории полей сжатия для изгибаемых железобетонных элементов распределение касательных напряжений по высоте элементарных площадок-слоев принимается равномерным, а поперечная арматура – равномерно распределенной вдоль продольной оси элемента со степенью поперечного армирования для поперечной арматуры:

- основного элемента до усиления

$$\rho_{sy,0} = \frac{A_{sy}}{bs}, \quad (1)$$

где A_{sy} , s – соответственно площадь, шаг поперечной арматуры усиливаемого элемента; b – ширина усиливаемого элемента;

- основного элемента после усиления с учетом наращивания сечения

$$\rho_{sy,0,ad} = \frac{A_{sy}}{(b+b_{ad})s}, \quad (2)$$

где b_{ad} – ширина дополнительного бетона усиленного элемента;

- дополнительной после усиления с учетом наращивания сечения

$$\rho_{sy,ad} = \frac{A_{sy,ad}}{(b+b_{ad})s_{ad}}, \quad (3)$$

где $A_{sy,ad}$, s_{ad} – соответственно площадь, шаг дополнительной поперечной арматуры усиленного элемента;

- дополнительной после усиления без увеличения поперечного сечения элемента

$$\rho_{sy,ad} = \frac{A_{sy,ad}}{bs_{ad}}. \quad (4)$$

На первой стадии работы (рис. 1) параметры напряженно-деформированного состояния усиливаемого элемента в момент усиления определяются из решения следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} = N; \\ \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_0) + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_0) = M; \\ \sum_{i=1}^n \tau_{xy,i} b_i h_i = V; \\ \varepsilon_{x,i} = \frac{1}{r} (y_{c,i} - y_0) + \frac{N}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n E'_{sx,i} A_{s,i}}; \\ \sigma_{c1,i} = f(\varepsilon_{c1,i}); \quad \sigma_{c2,i} = f(\varepsilon_{c2,i}); \quad \sigma_{sx,i} = f(\varepsilon_{sx,i}); \quad \sigma_{sy,i} = f(\varepsilon_{sy,i}); \\ \varepsilon_{x,i} = \varepsilon_{c2,i} \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \sin^2 \theta_i; \\ \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{c2,i} \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \cos^2 \theta_i; \\ \sigma_{cy,i} = \sigma_{c2,i} \sin^2 \theta_i + \sigma_{c1,i} \cos^2 \theta_i + \rho_{sy,0} \sigma_{sy,i}; \\ \tau_{xy,i} = (-\sigma_{c2,i} + \sigma_{c1,i}) \sin \theta_i \cos \theta_i, \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\sigma_{cx,i}$ – проекция на продольную ось элемента нормальных напряжений в бетоне в i -й элементарной площадке усиливаемого элемента; $\sigma_{sx,i}$ – нормальные напряжения в продольной арматуре в i -м арматурном стержне усиливаемого элемента; b_i , h_i – соответственно ширина и толщина i -й элементарной площадки бетона усиливаемого элемента; $A_{s,i}$ – площадь поперечного сечения i -го стержня продольной арматуры усиливаемого элемента; $y_{c,i}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести i -й элементарной площадки бетона; $y_{s,i}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести i -го стержня продольной арматуры; y_0 – расстояние от выбранной оси до центра тяжести сечения усиливаемого элемента; $\tau_{xy,i}$ – кас-

тельные напряжения в i -й элементарной площадке сечения усиливаемого элемента; $\varepsilon_{x,i}$ – проекция относительных деформаций в i -й элементарной площадке бетона или стержне продольной арматуры на продольную ось элемента в момент усиления; $1/r$ – кривизна сечения усиливаемого элемента, определяемая по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_{c0})^2 + \sum_{i=m+1}^n E'_{cx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_{c0})^2}; \quad (6)$$

$E'_{c,i}$, $E'_{cx,i}$ – соответственно секущий модуль деформаций бетона i -й элементарной площадки i -го стержня продольной арматуры усиливаемого элемента; θ_i – угол наклона главных напряжений по отношению к продольной оси в i -й элементарной площадке бетона усиливаемого элемента; $\varepsilon_{x,i}$ – проекция относительных деформаций на продольную ось элемента при усилении в i -й элементарной площадке бетона или i -м стержне продольной арматуры; $\varepsilon_{y,i}$ – проекция относительных деформаций на поперечную ось элемента при усилении в i -й элементарной площадке бетона с учетом поперечной арматуры; $\varepsilon_{c1,i}$, $\varepsilon_{c2,i}$ – соответственно относительные деформации по направлению главных растягивающих и главных сжимающих напряжений в i -й элементарной площадке бетона с учетом поперечной арматуры; $\sigma_{c1,i}$, $\sigma_{c2,i}$ – соответственно главные растягивающие и главные сжимающие напряжения в i -й элементарной площадке бетона с учетом поперечной арматуры при усилении; $\sigma_{sx,i}$, $\sigma_{sy,i}$ – соответственно нормальные напряжения в i -м стержне продольной арматуры, нормальные напряжения в поперечной арматуре в i -й элементарной площадке бетона с учетом поперечной арматуры.

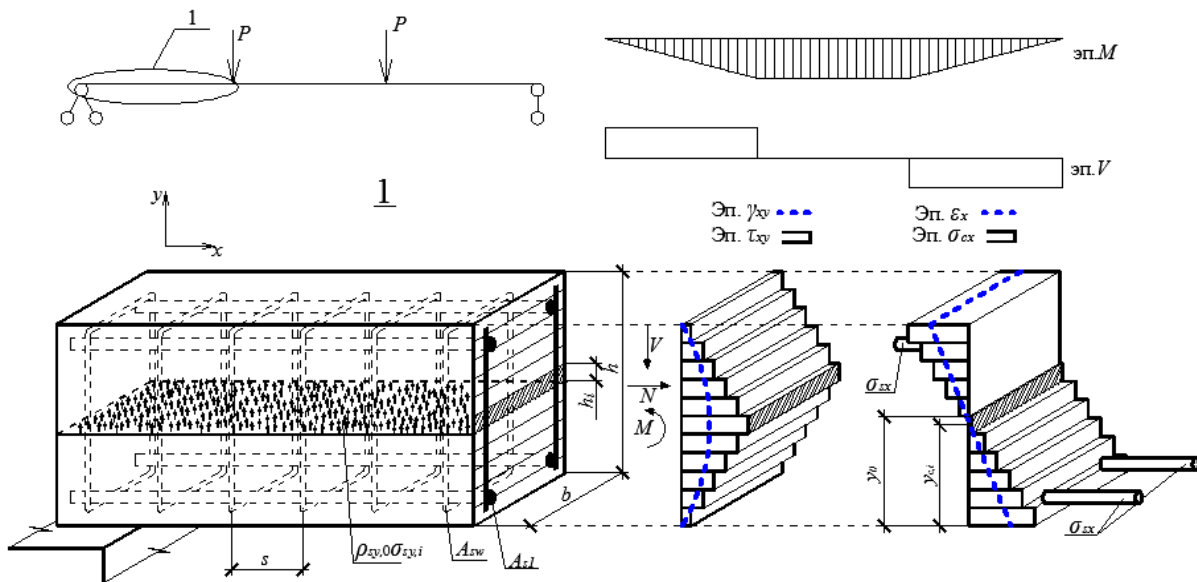


Рис. 1. Распределение касательных и нормальных деформаций и напряжений в усиленном в зоне среза изгибаемом железобетонном элементе на первой стадии работы

Первые три уравнения в системе (5) являются условиями равновесия для рассматриваемого поперечного сечения зоны среза усиливаемого элемента; четвертое уравнение описывает распределение проекций относительных деформаций на продольную ось по высоте сечения элемента в соответствии с принятой гипотезой плоских сечений; с пятого по восьмое – соответственно принятые аппроксимации диаграмм деформирования бетона в условиях двухосного напряженного состояния при растяжении и сжатии продольной и поперечной арматуры; девятое и десятое – уравнения совместности относительных деформаций для плоской i -й элементарной площадки; два последних – уравнения равновесия для i -й элементарной площадки в поперечном направлении в соответствии с модифицированной теорией полей сжатия.

При этом расчет параметров напряженно-деформированного состояния изгибаемого железобетонного элемента в зоне среза на первой стадии его работы выполняется от действия внутренних усилий (M , N , V) от внешней нагрузки в момент усиления.

Решение системы уравнений (5) позволяет получить распределение относительных деформаций растяжения-сжатия и касательных деформаций, а также нормальных и касательных напряжений по высоте поперечного сечения элемента от действия внутренних усилий на первой стадии.

На второй стадии (рис. 2) параметры напряженно-деформированного состояния усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента от нагрузки, приложенной к элементу после усиления, предлагается определять из решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i + \sum_{j=1}^k \sigma_{cx,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} + \sum_{j=k+1}^l \sigma_{sx,ad,j} A_{s,ad,j} = N + \Delta N; \\
 \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_{0,ad}) + \sum_{j=1}^k \sigma_{cx,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} (y_{c,ad,j} - y_{0,ad}) + \\
 + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_{0,ad}) + \sum_{j=k+1}^l \sigma_{sx,ad,j} A_{s,ad,j} (y_{s,ad,j} - y_{0,ad}) = M + \Delta M; \\
 \sum_{i=1}^n (\tau_{xy,i[1]} + \tau_{xy,ad,i}) b_i h_i + \sum_{j=1}^l \tau_{xy,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} = V + \Delta V; \\
 \varepsilon_{x,i} = \varepsilon_{x,i[1]} + \varepsilon_{x,ad,i}; \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{y,i[1]} + \varepsilon_{y,ad,i}; \\
 \varepsilon_{x,ad,i} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{c,i} - y_{0,ad}) + \frac{\Delta N}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n E'_{sx,i} A_{s,i} + \sum_{j=1}^k E'_{c,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} + \sum_{j=k+1}^l E'_{sx,ad,j} A_{s,ad,j}}; \\
 \varepsilon_{x,ad,j} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{c,ad,j} - y_{0,ad}) + \frac{\Delta N}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n E'_{sx,i} A_{s,i} + \sum_{j=1}^k E'_{c,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} + \sum_{j=k+1}^l E'_{sx,ad,j} A_{s,ad,j}}; \\
 \sigma_{c1,i} = f(\varepsilon_{c1,i}); \sigma_{c2,i} = f(\varepsilon_{c2,i}); \sigma_{sx,i} = f(\varepsilon_{sx,i}); \sigma_{sy,i} = f(\varepsilon_{sy,i}); \\
 \sigma_{c1,ad,j} = f(\varepsilon_{c1,ad,j}); \sigma_{c2,ad,j} = f(\varepsilon_{c2,ad,j}); \sigma_{sx,ad,j} = f(\varepsilon_{sx,ad,j}); \sigma_{sy,ad,j} = f(\varepsilon_{sy,ad,j}); \\
 \varepsilon_{x,i} = \varepsilon_{c2,i} \cdot \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \cdot \sin^2 \theta_i; \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{c2,i} \cdot \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \cdot \cos^2 \theta_i; \\
 \varepsilon_{x,ad,i} = \varepsilon_{c2,ad,i} \cdot \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,ad,i} \cdot \sin^2 \theta_i; \varepsilon_{x,ad,j} = \varepsilon_{c2,ad,j} \cdot \cos^2 \theta_j + \varepsilon_{c1,ad,j} \cdot \sin^2 \theta_j; \\
 \varepsilon_{y,ad,i} = \varepsilon_{c2,ad,i} \cdot \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,ad,i} \cdot \cos^2 \theta_i; \varepsilon_{y,ad,j} = \varepsilon_{c2,ad,j} \cdot \sin^2 \theta_j + \varepsilon_{c1,ad,j} \cdot \cos^2 \theta_j; \\
 \sigma_{cy,ad,i} = \sigma_{c2,ad,i} \sin^2 \theta_i + \sigma_{c1,ad,i} \cos^2 \theta_i + \rho_{sy,0,ad} \sigma_{sy,ad,i} + \rho_{sy,ad} \sigma_{sy,ad,j}; \\
 \sigma_{cy,ad,j} = \sigma_{c2,ad,j} \sin^2 \theta_j + \sigma_{c1,ad,j} \cos^2 \theta_j + \rho_{sy,0,ad} \sigma_{sy,ad,i} + \rho_{sy,ad} \sigma_{sy,ad,j}; \\
 \tau_{xy,ad,i} = (-\sigma_{c2,ad,i} + \sigma_{c1,ad,i}) \cdot \sin \theta_i \cos \theta_i; \tau_{xy,ad,j} = (-\sigma_{c2,ad,j} + \sigma_{c1,ad,j}) \cdot \sin \theta_j \cos \theta_j,
 \end{cases} \quad (7)$$

Где $\sigma_{cx,ad,j}$, $\sigma_{sx,ad,j}$ – соответственно проекция на продольную ось усиленного элемента нормальных напряжений в дополнительном бетоне в j -й элементарной площадке, нормальные напряжения в дополнительной продольной арматуре в j -м арматурном стержне усиленного элемента; $b_{ad,j}$, $h_{ad,j}$ – соответственно ширина и высота j -й элементарной площадки дополнительного бетона усиленного элемента; $A_{s,ad,j}$ – площадь поперечного сечения j -го стержня дополнительной продольной арматуры усиленного элемента; $y_{c,ad,j}$, $y_{s,ad,j}$ – соответственно расстояние от выбранной оси до центра тяжести j -й элементарной площадки дополнительного бетона, j -го стержня дополнительной продольной арматуры усиленного элемента; N , M , V – соответственно продольная сила, изгибающий момент и поперечная сила, действующие на сечение изгибаемого железобетонного элемента в момент усиления; ΔN , ΔM , ΔV – приращения внутренних усилий в изгибаемом железобетонном элементе после его усиления в зоне среза; $1/r_{ad}$ – кривизна сечения элемента, усиленного в зоне среза, от приращения комбинации внутренних усилий ΔN , ΔM , ΔV , определяемая по формуле

$$\frac{1}{r_{ad}} = \frac{\Delta M}{\left(\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_{0,ad})^2 + \sum_{i=m+1}^n E'_{cx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_{0,ad})^2 + \right.} \quad (8)$$

$$\left. + \sum_{j=1}^k E'_{c,ad,j} b_{ad,j} h_{ad,j} (y_{c,ad,j} - y_{0,ad})^2 + \sum_{j=k+1}^l E'_{cx,ad,j} A_{s,ad,j} (y_{s,ad,j} - y_{0,ad})^2 \right)$$

$\tau_{xy,ad,i}$, $\tau_{xy,ad,j}$ – соответственно касательные напряжения в бетоне i -й элементарной площадки основного бетона, в j -й элементарной площадке дополнительного бетона от приращения внутренних усилий в сечении элемента после усиления; $\tau_{xy,i[1]}$, $\epsilon_{x,i[1]}$, $\epsilon_{y,i[1]}$ – соответственно касательные напряжения, проекция относительных деформаций на продольную ось элемента при усилении в i -й элементарной площадке бетона или в i -м стержне продольной арматуры, проекция относительных деформаций на поперечную ось элемента при усилении в i -й элементарной площадке основного бетона с учетом поперечной арматуры, полученные на первой стадии расчетов; $\epsilon_{x,ad,i}$, $\epsilon_{x,ad,j}$ – соответственно проекция относительных деформаций на продольную ось элемента в i -й элементарной площадке основного бетона или в i -м стержне основной продольной арматуры, проекция относительных деформаций на продольную ось элемента в j -й элементарной площадке дополнительного бетона или в j -м стержне дополнительной продольной арматуры от приращения внутренних усилий в элементе после усиления; $\epsilon_{c1,ad,i}$, $\epsilon_{c1,ad,j}$ – соответственно относительные деформации по направлению главных растягивающих напряжений в i -й элементарной площадке основного бетона с учетом поперечной арматуры, в j -й элементарной площадке дополнительного бетона с учетом поперечной арматуры от приращения внутренних усилий в элементе после усиления; $\epsilon_{c2,ad,i}$, $\epsilon_{c2,ad,j}$ – соответственно относительные деформации по направлению главных сжимающих напряжений в i -й элементарной площадке основного бетона с учетом поперечной арматуры, в j -й элементарной площадке дополнительного бетона с учетом поперечной арматуры от приращения внутренних усилий в элементе после усиления; $E'_{sx,ad,j}$, $E'_{sy,ad,j}$, $A'_{s,ad,j}$ – соответственно секущие модули деформаций дополнительной продольной и поперечной арматуры, площадь поперечного сечения j -го стержня дополнительной продольной арматуры; θ_j – угол наклона главных напряжений по отношению к продольной оси в j -й элементарной площадке дополнительного бетона с учетом поперечной арматуры после усиления.

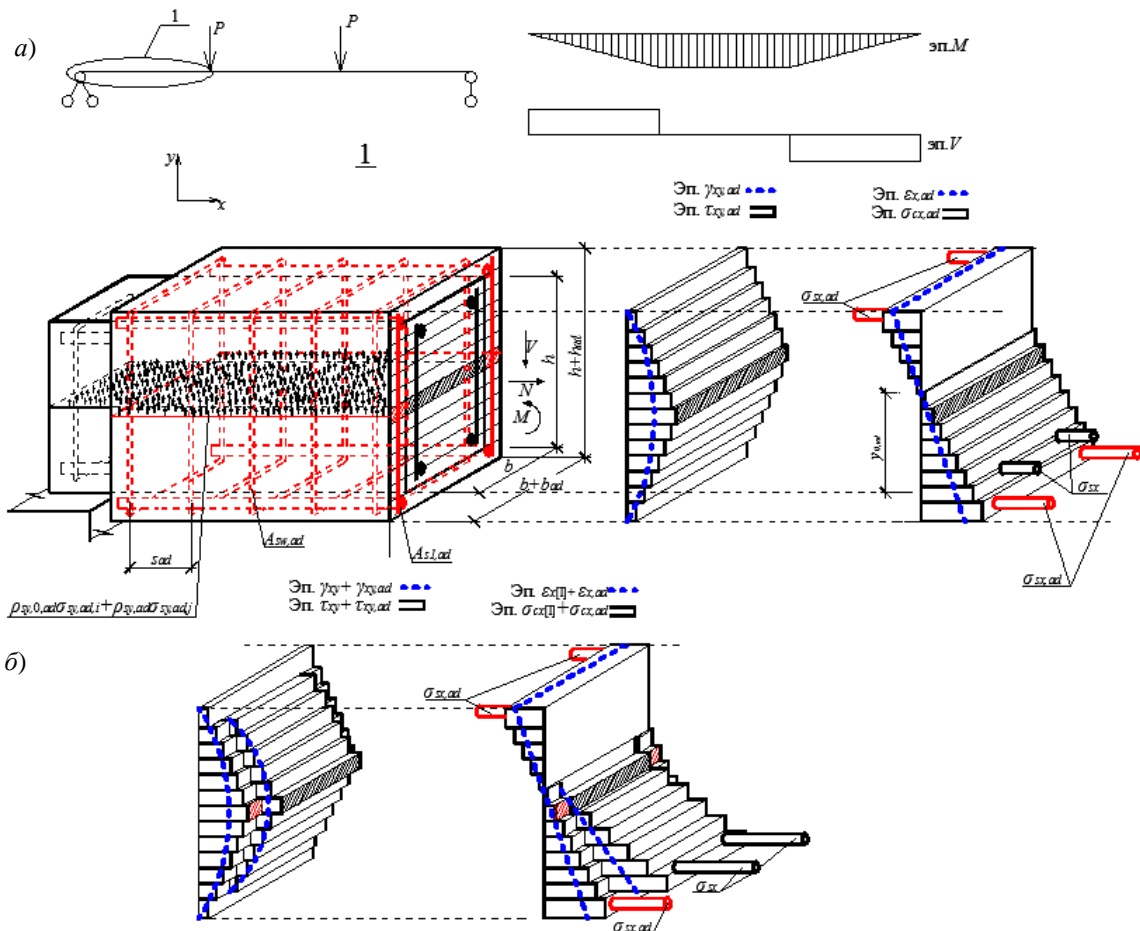


Рис. 2. Распределение касательных и нормальных деформаций и напряжений в усиленном в зоне среза изгибаемом железобетонном элементе на второй стадии работы: а – от приращения нагрузки после усиления; б – от полной нагрузки после усиления

Последовательно увеличивая значения внутренних усилий в их сочетании, действующих в расчетном сечении, устанавливают их значение, соответствующее образованию трещин в бетоне в зоне среза.

Нагрузка, при которой относительные деформации ε_{c1} по направлению главных растягивающих напряжений в бетоне достигают значения, соответствующего прочности бетона при растяжении по принятой диаграмме деформирования хотя бы в одной элементарной площадке основного или дополнительного бетона, соответствует началу образования трещин. Ширина раскрытия наклонных трещин w и расстояние между ними $S_{m\theta}$ определяются на основании полученных из решений систем уравнений значений относительных деформаций поперечной арматуры и угла наклона к продольной оси главных напряжений по формулам:

$$w_i = \varepsilon_{c1,i} S_{m\theta,i}; \quad (9)$$

$$S_{m\theta,i} = \frac{1}{\frac{\sin \theta_i}{S_{mx}} + \frac{\cos \theta_i}{S_{my}}}, \quad (10)$$

где S_{mx} , S_{my} – шаг наклонных трещин в продольном и поперечном направлении соответственно, мм.

Прочность усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента также определяется методом последовательных нагружений. Максимальное значение нагрузки, при котором выполняются все условия систем уравнений (5), (7), соответствует прочности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза. Для установления наиболее опасного сечения в зоне среза рассматриваются несколько сечений по длине зоны среза элемента с различным сочетанием действующих внутренних усилий M , N , V .

На основании предлагаемой методики разработана программа автоматизированного расчета параметров напряженно-деформированного состояния поперечного сечения в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов [11]. Диалоговое окно программы с результатами расчета параметров напряженно-деформированного состояния поперечного сечения при заданной комбинации внутренних усилий представлено на рисунке 3.

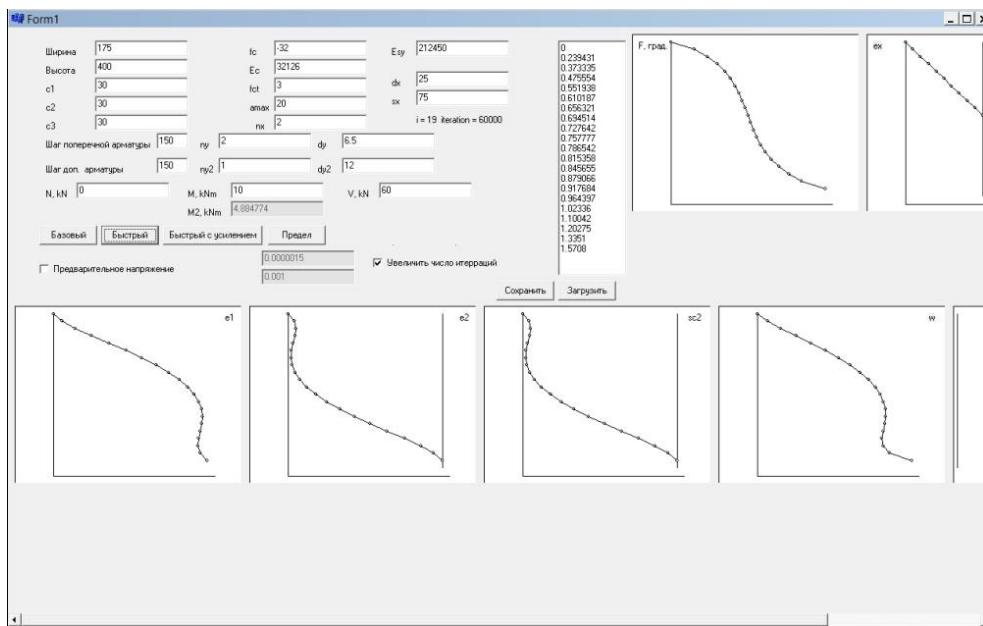


Рис. 3. Диалоговое окно программы расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов

Заключение. Предложена новая научно обоснованная методика расчета прочности и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза, в том числе установкой дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры. Предлагаемая методика позволяет решать практически любые задачи в области усиления зоны среза изгибаемых железобетонных элементов, недоступные ныне применяемым методам. Методика позволяет учесть начальное напряженно-деформированное состояние усиливаемых элементов при усилении, предварительное напряжение дополнительной поперечной арматуры, различные физико-механические и геометрические характеристики усиливаемой и усиливающей частей усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазовский, Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений: моногр. / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк: ПГУ, 1998. – 240 с.
2. Nakamura, H. Evaluation of Shear Strength of RC Beam Section Based on Extended Modified Compression Field Theory / H. Nakamura, T. Higai // Concrete library of Japan Soc. of Civil Engineers, no. 25, June 1995. – P. 93 – 105.
3. Vecchio, F.J. The Modified compression field theory for reinforced Concrete Elements Subjected to shear / F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACU. V. 83, no. 2, March – April 1986. – P. 219 – 231.
4. Vecchio, F.J. The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses / F.J. Vecchio, M.P. Collins // Pub 82.03, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Toronto, March 1982. – 332 p.
5. Vecchio, F.J. Predicting the Response of Reinforced Concrete Beams Subjected to shear using Modified Compression Field Theory / F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACI Struct. Journ., V. 85, № 3, May – June, 1988. – P. 258 – 268.
6. Vecchio, F.J. Analysis based on the Modified Compression Field Theory / F.J. Vecchio // IABSE Colloq. On Structural Concrete, Stuttgart, 1991, IABSE Report, V. 62. – P. 321 – 326.
7. Пецольд, Т.М. Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза / Т.М. Пецольд, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2012. – № 16. – С. 40 – 45.
8. Мурашов, В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / В.И. Мурашов. – М.: Машстройиздат, 1950. – 268 с.
9. Немировский, Я.М. Жесткость изгибаемых железобетонных элементов при кратковременном и длительном нагружении / Я.М. Немировский // Бетон и железобетон. – 1955. – № 5. – С. 172 – 176.
10. Усиление железобетонных конструкций: пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84* / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 1998. – 189 с.
11. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей // Д.О. Глухов [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2012. – № 12. – С. 2 – 5.

Поступила 15.11.2013

**BACKGROUND, METHODOLOGY AND SOFTWARE
FOR THE CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE
OF FLEXIBLE SLICER ZONE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

Y. LAZOUSKI, D. GLUKHAU

A new, evidence-based methods of calculation of strength and crack resistance of reinforced shear zone of steel reinforced concrete members based on stress-strain of standing items with different physical and mechanical characteristics of the materials reinforced and reinforcing elements, which in comparison with the existing empirical methods RAS couple more pronounced physical meaning are proposed. A computer program, based on the proposed method that allows you to calculate the parameters of stressed-strained state of reinforced shear zone of steel reinforced concrete elements and calculate the first and second groups of limit state action in the area of the cut of the full combination of domestic efforts, elaborated.