

2. Чехавичус, Р.П. Исследование трещиностойкости и прочности железобетонных балок в наклонных сечениях при действии статических и многократно повторяющихся нагрузок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Р.П. Чехавичус; ВИСИ. – Вильнюс, 1972. – 29 с.
3. Мамедов, Г.М. Учет продольной арматуры и преднапряжения в оценке прочности наклонных сечений / Г.М. Мамедов, Р.Д. Алиев // Бетон и железобетон. – 1984. – № 3. – С. 32–33.
4. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест: БПИ, 1998. – 246 с.
5. Разработка методики расчета железобетонных конструкций из напрягающего бетона с комбинированным преднапряжением арматуры: отчет о НИР (промежуточный); 06/609 / БрГТУ; рук. Кондратчик А.А. – БрГТУ, 2007. – 51 с. – Исполн.: Марчук В.А., Гарах О.Г., Тур А.В. – Библиогр.: С. 49–51. – № ГР 20064330.
6. Санникова, О.Г. Косвенное армирование элементов из напрягающего бетона / О.Г. Санникова, А.А. Кондратчик // Сб. тр. XVI Международного науч.-метод. Семинара “Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь”. Брест. 28-30 мая 2009 г.– Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 1. – С. 70–78.

19.01.10

#### SANNIKOVA O.G., KONDRATCIK A.A. Development of deformations of expansion of concrete in ferro-concrete elements with physicochemical and combined preliminary effort, of the fixture

The test results of self strain and strength changes during expansion of self-stressed concrete under physicochemical and combined prestressed reinforcement are presented.

624.012.46

. .

**Введение.** В современной строительной индустрии железобетон является наиболее востребованным строительным материалом, и с каждым годом его использование неизменно растет. Широкое применение материала объясняется, во-первых, рядом свойств (большой диапазон варьирования прочностных характеристик, высокая морозостойкость, долговечность и т.д.), выгодно отличающих его от других конструктивных материалов, а, во-вторых, постоянно ведущимися научно-исследовательскими работами, направленными на разностороннее исследование материала с целью выявления в нем новых резервов и областей их применимости и совершенствования теории и методов расчета конструкций. Вместе с тем, существует ряд вопросов, связанных с эксплуатацией железобетона, на которые до настоящего времени не найдено однозначных аргументированных ответов. Одним из таких является образование и развитие трещин в эксплуатируемых железобетонных конструкциях, что, как известно, негативно сказывается на их эксплуатационной пригодности и долговечности (коррозия стальной арматуры, уменьшение жесткости, повышение деформативности).

#### Существующие предложения по расчету трещиностойкости.

За последние несколько десятилетий в отечественной науке о железобетоне проблеме трещинообразования уделено незначительное внимание, несмотря на то, что в своё время благодаря работам М.М. Холмянского [1], О.А. Оатула [2], Ю.П. Гуци [3] и М.Н. Мулина [4], О.Я. Берга [5], Залесова [6] и др. в этой области были получены значительные научные результаты. В то же время зарубежные ученые находятся в постоянном поиске более совершенных методик прогнозирования ширины раскрытия трещин, о чем свидетельствуют многочисленные публикации по данной тематике [7–15, и др.] и достаточно существенные изменения и корректировки подходов к расчету данного параметра в последних редакциях нормативных документов [16, 17].

Анализ существующих подходов к расчету ширины раскрытия трещин показывает, что до настоящего времени не сформировано единого мнения о теоретических основах расчета ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, так и о значимости факторов и параметров, оказывающих решающее влияние на процесс трещинообразования и подлежащих учету в расчетных моделях. Подробное изучение существующих предложений к определению

ширины и расстояния между трещинами показало, что в современной теории трещиностойкости достаточно четко выделились четыре основных научных подхода, которых придерживаются исследователи при построении аналитических моделей и инженерных методик расчета параметров трещиностойкости:

1. Эмпирический подход (ACI 224.2R-86 [18], Gergely P. и Lutz L.A. [19], СНиП 2.03.01-84\*[18], Мулин Н.М. [4], Гуца Ю.П. [3] др.);
2. Подход, базирующийся на основных положениях теории механики разрушения (Пирадов А.Б., Гвелесиани Л.О., Пирадов К.А., Гузев Е.А. [21, 22], Oh В.Н., Kang Y.-J. [23], Shah S.P., Swartz S.E. [24] и др.);
3. Подход, основанный на теории «tension stiffening» (CEB-fib Model Code [25], Eurocode2 [17], Pedziwiatr J. [15], СНБ 5.03.01-02 [26], Мурашев В.И. [27], Немировский Я.Н. [28] и др.);
4. Подход, основанные на теории «bond-slip» (Holmberg A. [29], Farra B. [30], Noakowski P. [31], Alvares M. [32], предлагаемый метод и др.).

Каждое из выделенных выше направлений имеет свои слабые и сильные стороны. Так, предложения первой группы обладают одним существенным недостатком, накладывающим определенные ограничения на область их применимости, – невозможно в рамках проведения эксперимента учесть влияние на исследуемый показатель всех факторов и параметров. В этой связи аналитические выражения, полученные с использованием эмпирического подхода, требуют постоянного уточнения в свете получения новых материалов и экспериментальных данных.

Предложения второй группы представляют весьма интересные, но достаточно общие решения, что также существенно ограничивает возможность их применение при проведении инженерных расчетов железобетонных конструкций.

В выражениях третьей группы для определения ширины раскрытия трещин усреднение разницы относительных деформаций арматуры и бетона на участке между трещинами производится путем умножения на коэффициент  $s$ . Подробное изучение зависимости, предлагаемой для определения параметра  $s$ , при её практическом применении для железобетонных элементов с различными параметрами (диаметром арматуры и коэффициентами армирования, прочностными характеристиками бетона и арматурной стали,

**Драган Алексей Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций Брестского государственного технического университета.  
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

характеристиками сцепления арматурных профилей) выявило занижение расчетных значений ширины раскрытия трещин по отношению к экспериментальным данным и величинам, полученным по альтернативным методикам расчета [33].

Зависимости, полученные в рамках моделей четвертой группы, базируются на комплексном рассмотрении процесса трещинообразования, учитывающем как законы деформирования материалов (арматуры и растянутого бетона), так и законы, описывающие их совместную работу (законы сцепления). Очевидно, что, как и другие выражения, представленные выше, последние также не лишены слабых сторон. Наиболее очевидными из них являются применение в моделях идеализированных диаграмм, описывающих поведение материалов под нагрузкой (диаграммы деформирования материалов, законы сцепления). Тем не менее, по мнению авторов, именно комплексный методологический подход позволяет в наиболее полной мере выявить закономерности образования и развития трещин и должен служить основой к разработке расчетных методик оценки параметров трещинообразования.

Разнообразие расчетно-аналитических подходов к оценке трещиностойкости железобетонных конструкций свидетельствует о значимости и актуальности данной проблемы как с теоретической, так и с прикладной точки зрения и выявляет назревшую необходимость дальнейшего её детального изучения с целью обоснованного уточнения существующих или разработки новых достоверных методик прогнозирования параметров трещиностойкости.

#### Основные положения предлагаемой аналитической модели.

Предлагаемая аналитическая модель разработана на базе экспериментально-теоретического исследования работы под нагрузкой растянутых железобетонных элементов. При этом ключевое внимание в исследовании уделялось изучению механизма перераспределения усилий между арматурой и растянутым бетоном на различных этапах процесса трещинообразования (без и с трещинами).

В соответствии с принятой концепцией, при нагружении железобетонного элемента растягивающей нагрузкой по его длине выделяются характерные зоны: зона перераспределения усилий между арматурой и бетоном (зона 1 – рис. 1, а); зону совместного (синхронного) деформирования (зона 2 – рис. 1, а). Зона перераспределения усилий располагается вблизи сечения с трещинами и у торцов железобетонного элемента (сечений с условной трещиной). В пределах указанной зоны наблюдается перераспределение усилия, воспринимаемого элементом, между арматурой и растянутым бетоном. В сечении с трещиной (условной трещиной) все внешнее растягивающее усилие воспринимает исключительно арматура, а по мере удаления от трещины часть усилия посредством сил сцепления, возникающих по контакту двух материалов, передается на бетон, который постепенно включается в работу на растяжение и тем самым разгружает арматурный стержень (эффект «tension stiffening»). В некотором сечении по длине элемента деформации арматуры и растянутого бетона выравниваются, и они деформируются совместно (зона совместного деформирования), при этом каждый из компонентов сечения воспринимает часть внешнего усилия, пропорциональную своей жесткости. Рассмотренный механизм совместной работы арматуры и бетона позволяет предположить, что появление первой (-ых) трещины (-н) должно произойти в любом из сечений, расположенных в пределах зоны совместного деформирования, на этапе нагружения, при котором величина относительных деформаций в указанной зоне достигнет значения, равного предельной растяжимости бетона ( $\epsilon_{ct1}$ ). При заданном уровне нагружения деление железобетонного элемента трещинами на блоки будет продолжаться до тех пор, пока расстояние между соседними трещинами не будет меньше  $2l_b$ , что соответствует напряженно-деформированному состоянию, при котором по длине всех выделенных трещинами блоков зоны перераспределения усилий между арматурой и бетоном «перекрываются» (рис. 1, б). Подобное напряженно-деформированное состояние позволяет однозначно выделить сечения, в которых относитель-

ные деформации растянутого бетона примут наибольшее значение (посредине длины каждого из блоков). При увеличении внешнего усилия очередная стадия трещинообразования наступит в тот момент, когда относительные деформации бетона в центральном сечении хотя бы в одном из выделенных блоков достигнут предельного значения  $\epsilon_{ct1}$ . Образование новых трещин будет продолжаться до тех пор, пока не будет выделен блок такой длины, для которого усилие, требуемое для образования в нем очередной трещины, достигнет предельного значения,  $N_{ult} = f_{yct} A_s$ .

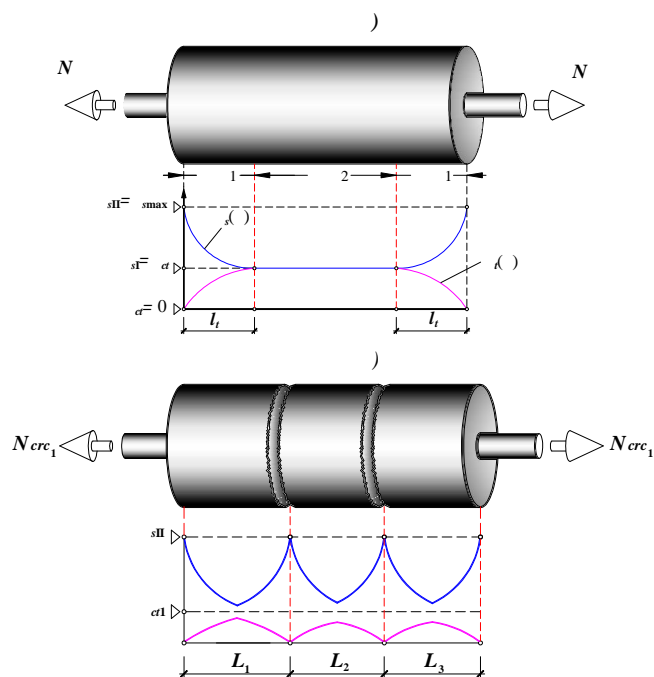


Рис. 1. Схемы распределения относительных деформаций по длине элемента с выделением характерных зон: а) на этапе работы элемента без трещин; б) с трещинами

Для определения величины внешнего растягивающего усилия, требуемой для образования в блоке трещины длины  $L_i$ , может быть использовано следующее уравнение:

$$\epsilon_{ct i} \left( N_{cr i}; \frac{L_i}{2} \right) - \epsilon_{ct1} = 0, \quad (1)$$

где  $\epsilon_{ct i} \left( N_{cr i}; \frac{L_i}{2} \right)$  – функция, описывающая распределение относительных деформаций растянутого бетона в зависимости от уровня нагружения ( $N_{cr i}$ ) и длины блока ( $L_i$ );

$N_{cr i}$  – искомая величина внешнего растягивающего усилия, которая должна удовлетворять следующему неравенству:

$\epsilon_{t1}$  – предельное значение относительных деформаций бетона при растяжении.

После того, как по длине рассматриваемого железобетонного элемента выделяются блоки, в которых образование новых трещин невозможно, наступает стадия «стабилизировавшегося (установившегося) трещинообразования», характеризующаяся тем, что распределение трещин по длине элемента не изменяется (количество трещин остается постоянным), а дальнейший прирост внешнего растягивающего усилия приводит к увеличению ширины раскрытия образовавшихся трещин.

Разница в абсолютных удлинениях двух материалов, работающих «совместно», на участке между двумя соседними трещинами будет соответствовать ширине раскрытия трещины в уровне арматуры (рис. 2). Интегральное выражение для определения ширины

раскрытия трещин, нормальных к продольной оси железобетонного элемента, может быть представлено в следующем виде:

$$w_m = 2 \cdot \int_{l_i - \frac{L_m}{2}}^{l_i} (\varepsilon_s(x) - \varepsilon_{ct}(x)) dx, \quad (2)$$

где  $s(x)$  и  $ct(x)$  – функции, описывающие распределения относительных деформаций арматуры и бетона по длине зоны перераспределения усилий  $l_t$  соответственно (рис. 2);

$l_t$  – длина зоны перераспределения, соответствующая усилию, при котором определяется ширина раскрытия трещины;

$L_m$  – средняя длина блока, выделенного трещинами.

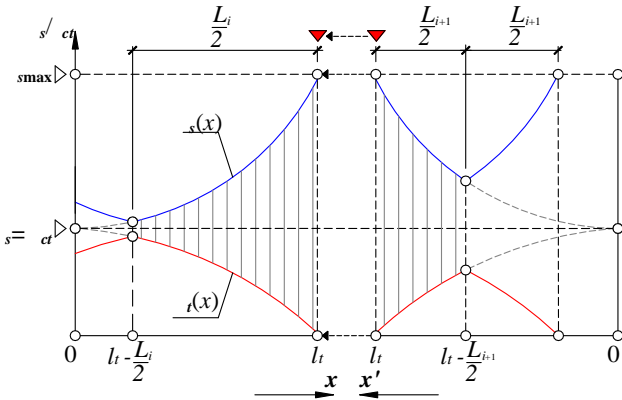


Рис. 2. К определению зависимости для определения ширины раскрытия трещин (3) ( $x$  и  $x'$  – направления локальных осей)

Для построения аналитической модели с использованием изложенных выше представлений о развитии процесса трещинообразования использовались следующие предпосылки:

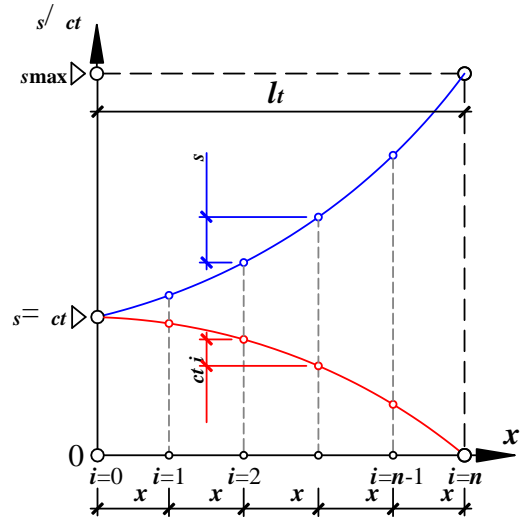
1. Совместная работа арматуры с бетоном характеризуется величиной основных касательных напряжений сцепления, определяемых исходя из закона, связывающего касательные напряжения, действующие по контакту арматурного стержня и бетона и взаимные смещения арматуры и бетона  $b = f(s)$ . В рассматриваемой модели по результатам выполненного анализа принят закон сцепления, предлагаемый в CEB-*fib* Model Code 1990.
2. Связь между относительными деформациями и напряжениями бетона принята в виде линейной аппроксимации диаграммы деформирования бетона на растяжение, описываемой только восходящей ветвью.
3. Принят деформационный критерий образования трещины, в соответствии с которым трещина нормального отрыва образуется тогда, когда относительные деформации растянутого бетона достигают значения предельной растяжимости  $\varepsilon_{t1}$ .

Для определения базовых параметров, определяющих ширину раскрытия трещины ( $l_t$ ,  $s(x)$  и  $ct(x)$  – формула (2)), был разработан расчетный итерационный алгоритм. За начало координат принимается сечение по длине элемента, в котором деформации арматуры и бетона становятся равными (рис. 3,а). Горизонтальная локальная ось назначается вдоль оси железобетонного элемента в направлении сечения с трещиной. Локальная ось разбивается на элементарные отрезки длиной  $x$ . Для каждого элементарного отрезка составляются условия равновесия: отдельно для арматуры и для растянутого бетона (рис. 3,б):

$$\Delta I_i = \sigma_{s_i} - \sigma_{s_{i-1}} - \Delta x \cdot \left( \frac{\tau_{b_i} + \tau_{b_{i-1}}}{2} \right) \cdot \frac{4}{\varnothing_s} = 0, \quad (3)$$

$$\Delta_2 i = \sigma_{ct_{i-1}} - \sigma_{ct_i} - \Delta x \cdot \left( \frac{\tau_{b_i} + \tau_{b_{i-1}}}{2} \right) \cdot \frac{4 \cdot A_s}{\varnothing_s} \cdot \frac{1}{A_{ct,netto}} = 0. \quad (4)$$

а)



б)

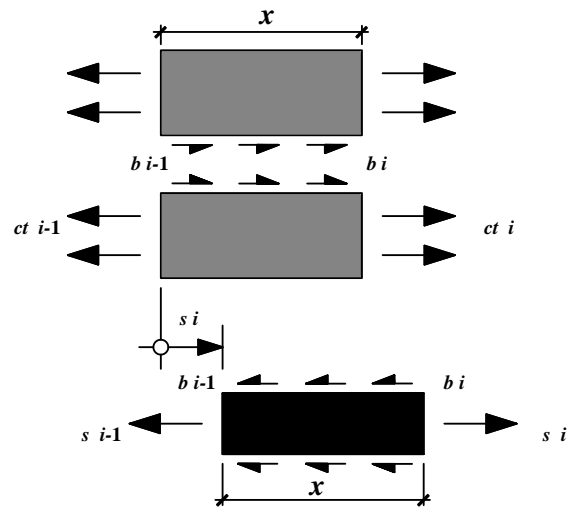


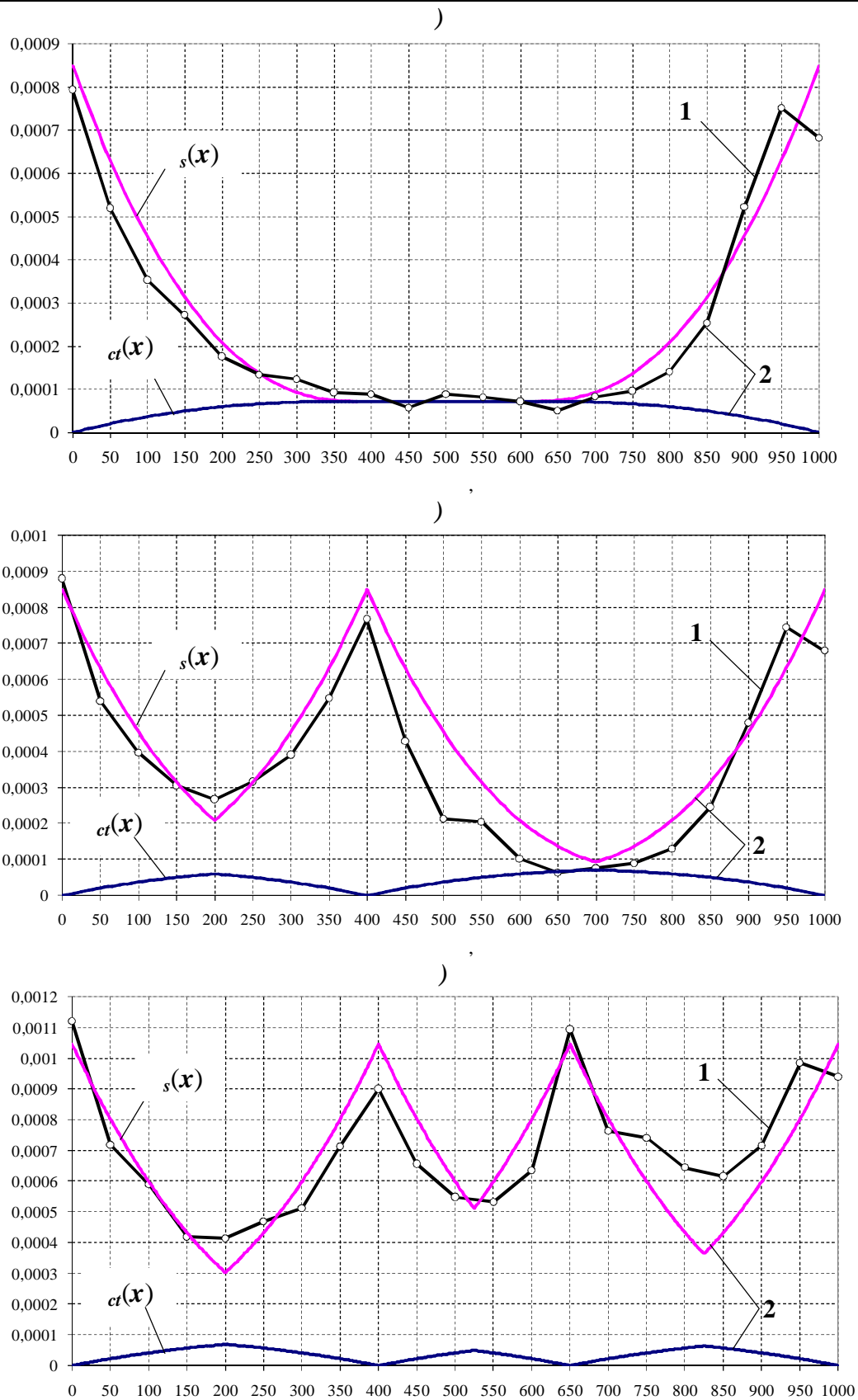
Рис. 3. Алгоритм расчетной модели:

- а) к определению приращений относительных деформаций;
- б) условия равновесия для элементарного отрезка

Величины напряжений ( $s_i, s_{i-1}, ct_i, ct_{i-1}, b_i$  и  $b_{i-1}$ ) на концах отрезка, входящих в выражения (4) и (5), устанавливаются по значениям относительных деформаций и величин взаимных смещений в указанных сечениях на основании принятых законов деформирования материалов и закона сцепления соответственно. Величина взаимных смещений арматуры и бетона в некотором сечении определяется на основании следующего выражения:

$$\delta_{s_i} = \delta_{s_{i-1}} + \Delta \delta_{s_i} = \delta_{s_{i-1}} + \Delta x \cdot \left( \frac{\varepsilon_{s_i} + \varepsilon_{s_{i-1}}}{2} - \frac{\varepsilon_{ct_i} + \varepsilon_{ct_{i-1}}}{2} \right). \quad (5)$$

Выполнение условий равновесия (3) и (4) достигается подбором требуемых величин приращения относительных деформаций арматуры ( $s_i$ ) и соответственно убыли относительных деформаций растянутого бетона ( $ct_i$ ) для каждого отрезка (см. рис. 3,а). Условием окончания выполнения итерационного алгоритма является определение сечения, в котором выполняются следующие граничные условия:



а) до образования трещины ( $N=80\text{kN}$ ); б) образование первой трещины ( $N=80\text{kN}$ ); в) образование второй трещины ( $98,4\text{kN}$ )  
**Рис. 4.** Сопоставление опытных (1) и аналитических (2) распределений относительных деформаций (параметры образца – 1Ø25S400;  
 $\epsilon_{eff} = 0,015$ ;  $f_{ctm} = 2,47\text{H/mm}^2$ )

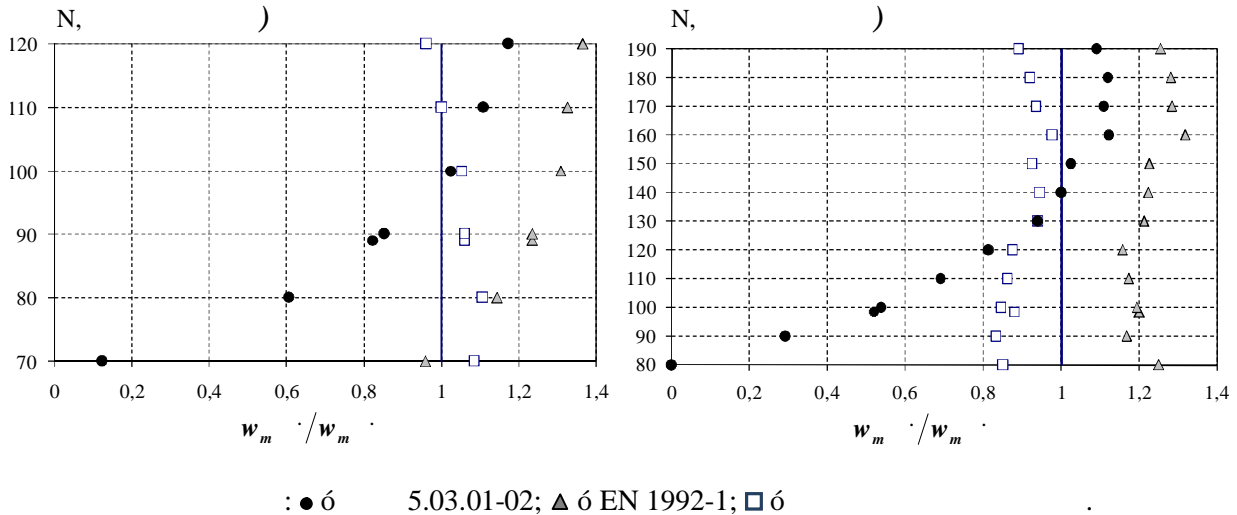


Рис. 5. Сопоставление значений средней ширины раскрытия трещин для случая осевого растяжения кратковременной нагрузкой

$$\varepsilon_{s i} = \varepsilon_{sII} = \frac{N}{A_s E_s} \text{ и } \varepsilon_{ct i} = 0. \quad (6)$$

Расстояние от точки, соответствующей началу координат, до точки, в которой выполняются граничные условия (6), соответствует длине зоны перераспределения усилия между арматурой и бетоном ( $l_t$ ) при заданном уровне нагружения  $N$ :

$$l_t = \sum_0^i \Delta x. \quad (7)$$

На базе изложенной выше концепции расчетного итерационного алгоритма был выполнен вычислительный эксперимент. Программой эксперимента предусматривалось определение аналитических выражений для вычисления длины зоны перераспределения усилий ( $l_t = f(N)$ ), а также для описания распределений относительных деформаций арматуры  $s(x)$  и растянутого бетона  $ct(x)$  при варьируемых параметрах армирования базового элемента ( $\varnothing_s$ , тип поверхности арматуры,  $\rho_{eff}$ ) и прочностных характеристиках материалов ( $f_{ctm}$ ,  $f_{yk}$ ).

Методами регрессионного анализа данных вычислительного эксперимента для определения параметров трещинообразования получены следующие зависимости для вычисления:

- длины зоны перераспределения усилий:

$$l_t = K_p \frac{N_{ult}}{\pi \cdot \varnothing_s \cdot (1 + \rho_{eff} \cdot \alpha_E)} \cdot \sqrt{\frac{N}{N_{ult}}}, \quad (8)$$

здесь  $K_p$  – эмпирико-аналитический коэффициент, характеризующий условия сцепления арматуры с бетоном, мм<sup>2</sup>/Н;

$N_{ult}$  – величина предельного растягивающего усилия;

$\rho_{eff}$  – эффективный процент армирования;

– соотношение модулей упругости арматуры и бетона;

- ординат эпюры распределения относительных деформаций арматуры  $s(x)$  по длине зоны перераспределения (см. рис. 4):

$$\varepsilon_s(x) = \varepsilon_{sII} \cdot \left[ a \cdot \left( \frac{x}{l_t} \right)^{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} + b \right]; \quad (9)$$

- ординат эпюры распределения относительных деформаций растянутого бетона  $ct(x)$  по длине зоны перераспределения (см. рис. 4):

$$\varepsilon_{ct}(x) = \varepsilon_{sII} \cdot \left[ 1 - \left[ a \cdot \left( \frac{x}{l_t} \right)^{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} + b \right] \right] \cdot \rho_{eff} \cdot \alpha_E. \quad (10)$$

Параметры  $a$  и  $b$  в выражениях (9) и (10) являются безразмерными коэффициентами, характеризующими соотношение жесткостей характеристик арматуры и бетонного сечения, и вычисляются по следующим формулам:

$$a = \frac{1}{1 + \rho_{eff} \cdot \alpha_E} \text{ и } b = \frac{1}{1 + \frac{1}{\rho_{eff} \cdot \alpha_E}}. \quad (11)$$

После преобразования формулы (2) с учетом полученных зависимостей (8)–(10), выражение для определения средней ширины раскрытия трещин может быть записано в следующем виде:

$$w_m = K_p \cdot k_t \cdot \varepsilon_{sII} \cdot \frac{f_{ctm}}{(1 + \rho_{eff} \cdot \alpha_E)} \cdot \psi \cdot 0,375 \cdot \frac{\varnothing_s}{\rho_{eff}}, \quad (12)$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий уровень нагружения и определяемый следующей зависимостью:

$$\psi = \sqrt{\beta \cdot \rho_{eff}} \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N_{cr}}{N}} \cdot \left( 1 - \frac{1}{6} \sqrt{\frac{N_{cr}}{N}} \right) \right), \quad (13)$$

здесь  $\beta = f_{yk}/f_{ctm}$  – коэффициент, определяемый как отношение нормативного сопротивления арматуры к средней прочности бетона при осевом растяжении;

$N_{cr}$  – усилие трещинообразования.

**Заключение.** Правомерность принятых предпосылок и достоверность предлагаемой расчетной методики подтверждены:

- в ходе сопоставления опытных распределений относительных деформаций арматуры с распределениями, полученными на основании предлагаемых зависимостей (формула(9)) и (формула(10)), для стадии до и после образования трещин соответственно (рис. 4) [34]. Положительные результаты сравнения дают основание полагать, что предлагаемые выражения адекватно описывают напряженно-деформированное состояние арматуры и бетона в составе центрально растянутого железобетонного элемента для различных стадий процесса трещинообразования;
- в ходе сравнения расчетных значений ширины раскрытия трещин, полученных посредством предлагаемой зависимости (12), с соответствующими опытными величинами, а также со значениями, рассчитанными по нормативным методикам [16] и [26] (рис. 5) [34]. Из рисунка 5 видно, что значения и характер изменения ширины раскрытия трещин с ростом внешней нагрузки, полученные посредством предлагаемой методики, весьма точно соответствуют параметрам, имевшим место в эксперименте, а точ-

ность результатов расчета сопоставима с точностью нормативных методик.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Холмянский, М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – Москва: Стройиздат, 1981. – 183 с.
- Оатул, А.А. Основы теории сцепления арматуры с бетоном / А.А. Оатул // Исследования по бетону и железобетону. – 1967. – № 46. – С. 143–162.
- Гуца, Ю.П. Ширина раскрытия трещин в элементах железобетонных конструкций / Ю.П. Гуца // Предельные состояния элементов железобетонных конструкций. – Москва: Стойиздат, 1976. – С. 30–44.
- Мулин, Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н.М. Мулин. – Москва: Стройиздат, 1974. – 231 с.
- Берг, О.Я. Физические основы прочности бетона и железобетона / О.Я. Берг. – Москва: Госиздат литературы по строительству и архитектуре, 1962. – 96 с.
- Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С. Залесов [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1988. – 320 с.
- Beeby, A.W. The influence of the parameter  $\sigma/\rho_{eff}$  on crack widths / A.W. Beeby // Structural Concrete. – 2004. – Vol. 5, № 4. – P. 72–83.
- Discussion: The influence of the parameter  $\sigma/\rho_{eff}$  on crack widths / A.W. Beeby [et al.] // Structural Concrete. – 2005.–Vol. 6, № 4. – P. 155–165.
- Crack opening near reinforcement bars in concrete structures / K. Tammo [et al.] // Structural Concrete. – 2006. – Vol. 7, № 4. – P. 137–143.
- Flexural Crack Widths at the Bars in Reinforced Concrete Beams: Research Report / Center for Highway Research, The University of Texas at Austin; S.I. Husain. – Texas, 1968. – № 102, 1F.
- Log-term cracking in reinforced concrete beams / J.M. Illston [et al.] // Proceedings of the Institute of Civil Engineering. Part II. Research and Theory. – 1972. – № 53. – P. 445–459.
- Models for flexural cracking in concrete: the state of the art / A. Borosnyoi [et al.] // Structural Concrete. – 2005. – Vol. 6, № 2. – P. 53–62.
- Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures: Research Report / Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology; N. J. Carino – Gaithersburg, 1995. – 51 с. – NISTIR 5634.
- Cracking analysis of RC members using polynomial strain distribution function / H.–G. Kwak [et al.] // Engineering Structures. – 2002. – № 24. – P. 455–468.
- Pedziwiatr, J. Tension stiffening effect a przyczepnosc na przykladzie osiowo rozciąganych elementow zelbetowych / J. Pedziwiatr // Krynica 2008: Problemy naukowo-badawcze budownictwa : monografia 54 konferencji naukowej, Krynica, 21–26 września 2008 r.: w 6 t. / Komitet inżynierii lądowej i wodnej PAN, Komitet nauki PZITB ; redakcja : A. Łapko [et al.]. – Białystok : Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2008. – Т. VI : Badawczo-projektowe zagadnienia w budownictwie. – S. 241–248.
- Design of Concrete Structure. General Rules and Rules for Building: ENV 1992-1:1991. – Introduced Dec. 1991 – Brussel: European Committee for Standardization, 1991. – 230 p.
- EN 1992-1:2001(Final Draft, April 2002) Eurocode 2: Design of Concrete Structure. General Rules and Rules for Building. – Brussels, 2002. – 230 p.
- American Concrete Institute Committee 224. Cracking of concrete members in direct tension (ACI 224.2R-86) // ACI Journal – 1986. – Vol.84, No.1 – P. 3–13.
- Gergely, P., Lutz, L. A. Maximum crack width in reinforced flexural members. Causes, Mechanism and Control of Cracking in Concrete/ P. Gergely, L.A. Lutz // American Concrete Institute SP-20. – 1968. – P. 87–117.
- Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84\* – Москва: Госстрой СССР, 1989. – 77 с.
- Пирадов, А.Б. Длина и ширина раскрытия трещин в бетонных элементах при длительном нагружении / А.Б. Пирадов, Л.О. Гвелесиани [и др.] // Известие ВУЗов. Серия «Строительство». – 1991. – №12. – С. 88–90.
- Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики / Е.А. Гузев [и др.]. – Брест: Изд-во БПИ, 1999. – 215 с.
- Oh, B. H., Kang, Y.-J. New formulas for maximum crack width and crack spacing in reinforced concrete flexural members / B.H. Oh, Y.-J. Kang // ACI Structural Journal. – 1987. – Vol. 85, № 2. – P. 103–112.
- Fracture Mechanics of Concrete: Applications of Fracture Mechanics to Concrete, Rock and Other Quasi-Brittle Materials / S. P. Shah [и др.]. – New York: Изд-во John Wiley & Sons, 1995.
- Comite–Euro–International du Beton (CEB). CEB-FIP Model Code 1978 // Design Code. (CEB Bulletin d'Information No.124/125.) – London, 1978.
- Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01–02. – Введ. 20.06.2002 – Минск: из-во Минстройархитектуры, 2002. – 139 с.
- Железобетонные конструкции. Общий курс / В.И. Мурашев [и др.]; под ред. П.Л. Пастернака. – Москва: Гос. Изд-во лит-ры по стр-ву, арх-ре и стр. материалам, 1962. – 658 с.
- Немировский, Я.Н. Пересмотр некоторых положений теории раскрытия трещин / Я.Н. Немировский // Бетон и железобетон. – 1970. – №3. – С.13–16.
- Holmberg, A. Unbonded Portions Between Concrete Cracks / A. Holmberg // Danish Society for Structural Science and Engineering. – 1984. –Vol. 55, No.4. – P. 113–117.
- Farra, B. and Jaccoud, J-P. Bond behaviour, tension stiffening and crack prediction of high strength concrete / Proceedings of International Symposium «Bond in Concrete». – Riga, 1992.
- Noakowski, P. Determination of crack width: Simple and close to reality method considering tensile strength of concrete and steel bonding / P. Noakowski // Technology of Concrete. Supplement. – Gdansk, 2004.
- Alvarez, M. Einfluss des Verbundverhaltens auf das Verformungsvermögen von Stahlbeton. – Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1998. – 189s.
- Тур, В.В., Драган, А.В. К расчету ширины раскрытия трещин в железобетонных элементах при осевых растягивающих усилиях / В.В. Тур, А.В. Драган // Строительная наука и техника. – 2009. – №1(22). – С. 40–54.
- Драган, А.В. Трещиностойкость железобетонных элементов при действии осевых растягивающих усилий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01./ А.В. Драган. – Брест, 2009. – 170 л.

16.01.10

#### DRAHAN A.V. To define cracking parameters in RC-members

The article offers the classification of the existing approaches for crack width calculation. Authors' also offer some general propositions and theses, as well as main calculating relations of the proposed analytical model and the engineering method to calculate flexural crack width based on this model.