



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.

№6 (38) 2011
(ноябрь-декабрь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. д.т.н., доц.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Меркулов С.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольгов Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф.
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф.
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф.

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи и массовых ком-
муникаций. Свидетельство:
ПИ № ФС77-35718 от 24 марта 2009 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Колчунов В.И., Баширов Х.З., Яковенко И.А., Биджосян Г.К.** Сопротивление растянутого бетона между трещинами составных железобетонных конструкций с учетом новых эффектов..... 3
- Коробко А.В., Абашин Е.Г.** Определение модуля упругости бетона в железобетонных балках по результатам статических испытаний..... 12
- Колчунов В.И., Яковенко И.А.** Об использовании гипотезы плоских сечений в железобетоне..... 16
- Коробко В.И., Черняев А.А.** Определение максимального прогиба прямоугольных пластинок с комбинированными граничными условиями с использованием конформных радиусов..... 24
- Панфилов Д.А., Мурашкин В.Г.** Усовершенствованная методика расчета общих прогибов изгибаемых железобетонных элементов с учетом дискретного трещинообразования применительно к обычным и высокопрочным бетонам..... 30
- Турков А.В., Марфин К.В.** Точность результатов численных исследований квадратных составных изотропных пластин на податливых связях при различном количестве конечных элементов..... 43
- Федосов С.В., Мизонов В.Е., Порошин Н.Р., Елин Н.Н.** Ячеечная модель нелинейной теплопередачи через многослойную стенку..... 50

Безопасность зданий и сооружений

- Алоян Р.М., Гуюмджян П.П., Ветренко Т.Г., Костяшова Е.В.** Проведение инженерно-экологических изысканий для целей обеспечения радонобезопасности объектов строительства..... 57

Строительные материалы и технологии

- Кузьмин И.Б.** Теоретические основы технологии бетонирования монолитных конструкций пароразогретыми в автобетоносмесителях смесями..... 64
- Мишина А.В.** Изменение физико-механических характеристик высокопрочного сталефибробетона во времени..... 70
- Стефаненко И.В., Ушаков А.В., Акчурин Т.К.** Результаты определения характеристик трещиностойкости жаростойкого бетона на фосфатном связующем... 75
- Христофоров А.И., Христофорова И.А., Кузьмин Д.И.** Мелкозернистый бетон, модифицированный смесью органических соединений Na⁺ и углеродных наноматериалов..... 79

Интеграция информационных и коммуникационных технологий в технических вузах России

- Колчунов В.И., Коськин А.В., Данилевич Д.В., Бухтиярова А.С.** Итоговая конференция проекта 145022 ТЕМПУС-2008-DE-JPCR в Госуниверситет – УНПК (г. Орел)..... 84

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№6 (38) 2011
(November-December)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.

Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.

Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.

Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Merkulov C.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Olkov Y.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Fyodorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

www.gu-unpk.ru

E-mail: oante@ostu.ru

Journal is registered in Federal service on su-
pervision in sphere of communication and
mass communications

The certificate of registration:

ПН № ФС77-35718 from 24.03.09

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»
86294

© State University ESPC, 2011

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Kolchunov V.I., Bashirov H.Z., Yakovenko I.A., Bidzhosyan G.K. The strength of concrete in tension zone between the cracks of composite reinforced concrete structures considering new effects.....	3
Korobko A.V., Abashin E.G. Definition of the concrete elasticity module in reinforced concrete beams by the static tests results.....	12
Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. About use of a hypothesis of flat sections in ferro-concrete.....	16
Korobko V.I., Chernyaev A.A. The definition of the maximal deflection of rectangular plates with combined boundary conditions with use of the relation of conformal radiuses...	24
Panfilov D.A., Murashkin V.G. Improved method of calculation deflections flexural reinforced concrete members with discrete treatment of cracking the case of conventional and high-strength concrete.....	30
Turkov A.V., Marfin K.V. Deflection and natural frequency compositesquare isotropic plates with various boundary conditions for change stiffness shear.....	43
Fedosov S.V., Mizonov V.E., Poroshin N.R., Yelin N.N. A cell model of non-linear heat transfer through a composite wall.....	50

Building and structure safety

Alojan R.M., Gujumdzhan P.P., Vetrenko T.G., Kostjashova E.V. Carrying out of engineering-ecological researches for objectives for maintenance of radonosafety objects of construction.....	57
--	----

Construction materials and technologies

Kuzmin I.B. Theoretical basis technology of concreting of monolithic constructions by mixes warmed up by steam in auto concrete mixers.....	64
Mishina A.V. Change in the physical and mechanical properties of high-strength steel fibro concrete in the course of time.....	70
Stefanenko I.V., Ushakov A.V., Akchurin T.K. The results of determining crash-resisting characteristics of thermo-resisting phosphate concrete.....	75
Khristoforov A.I., Khristoforova I.A., Kuzmin D.I. Fine-grained concrete, modified by the mix of organic connections Na+ and carbon nanomaterials.....	79

Integration of information and communication technologies in the technical universities of Russia

Kolchunov V.I., Koskin A.B., Danilevich D.V., Buhtijarova A.S. The final conference of the project 145 022 TEMPUS-2008-DE-JPCR in State University – Education-Science-Production Complex (Orel).....	84
--	----

УДК 624.012.45.04

КОЛЧУНОВ В.И., БАШИРОВ Х.З., ЯКОВЕНКО И.А.,
БИДЖОСЯН Г.К.

СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЯНУТОГО БЕТОНА МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЭФФЕКТОВ

В работе представлена методика, базирующаяся на традиционных предпосылках теории железобетона и положениях механики разрушения, позволяющая уточнить основные параметры сопротивления железобетона. Получены новые зависимости для оценки сопротивления растянутого бетона между трещинами в составных внецентренно сжатых железобетонных конструкциях при учете эффекта нарушения сплошности и условных сосредоточенных смещений. При этом выделяются несколько уровней трещинообразования вплоть до момента разрушения.

Ключевые слова: *сопротивление растянутого бетона между трещинами, составные внецентренно сжатые железобетонные конструкции, эффект нарушения сплошности, условные сосредоточенные смещения, расстояние между трещинами, коэффициент учета работы растянутого бетона.*

Расчет по деформациям и трещиностойкости все чаще из проверочного становится определяющим, поэтому в настоящее время в ведущих научно-исследовательских организациях проводится работа по уточнению сопротивления растянутого бетона между трещинами железобетонных малоизученных составных конструкций. Привлечение здесь инструментария механики разрушения, безусловно, позволит достичь заметного приближения расчетных параметров оценки сопротивления растянутого бетона между трещинами к действительным.

Железобетонные конструкции, как правило, эксплуатируются в стадии, наступающей после образования трещин. Для определения параметров второй группы предельных состояний, которые выбраны в качестве основных при постановке настоящих исследований, стоит обратить внимание на эффект, возникающий в железобетонных конструкциях после нарушения их сплошности. Учет такого эффекта в сочетании с условными сосредоточенными смещениями позволяет существенно уточнить значения постоянной интегрирования при решении задачи определения коэффициента учета работы растянутого бетона между трещинами, расстояния между трещинами железобетонных конструкций составного сечения.

Необходимо подчеркнуть, что решение поставленной задачи позволяет, даже оставаясь в рамках традиционной модели В.И. Мурашева, заметно уточнить основные параметры железобетона ψ_s , l_{cr} и объяснить многие замеченные в экспериментах явления, происходящие при сопротивлении железобетона силовым и деформационным воздействиям.

В основу оценки сопротивления растянутого бетона между трещинами, ширины их раскрытия и расстояния между ними положены следующие **основные предпосылки:**

- для средних деформаций бетонов и арматуры считается справедливой гипотеза плоских сечений в пределах каждого из стержней, входящих в составной стержень; напряжения в бетоне и арматуре определяются с использованием билинейных диаграмм связей $\sigma - \varepsilon$;
- образование трещин происходит после достижения крайними растянутыми волокнами бетона предельных деформаций; в эксплуатационной стадии высота трещин практически не изменяется; в процессе нагружения выделяется несколько уровней трещинообразования; расстояния между трещинами последующего уровня меньше, либо равны половине расстояния между трещинами предыдущего уровня;

- связь между напряжениями сцепления τ и относительными условными сосредоточенными взаимными смещениями двух бетонов $\varepsilon_{q,b}$, бетона и арматуры $\varepsilon_g(x)$ (рис. 1) принимается в виде: $\tau(x) = G(\lambda)\varepsilon_g(x)$, где $G(\lambda)$ – секущий эквивалентный модуль деформаций сцепления между бетонами или арматуры и бетона;
- раскрытие трещин – это накопление относительных условных сосредоточенных взаимных смещений арматуры и бетона на участках, расположенных по обе стороны от трещины (см. рис. 1), – гипотеза Томаса;
- учитывается дополнительное деформационное воздействие в трещине, связанное с нарушением сплошности материала;
- учитывается депланация бетона в сечении с трещиной в зависимости от расстояния поверхности контакта с арматурой.

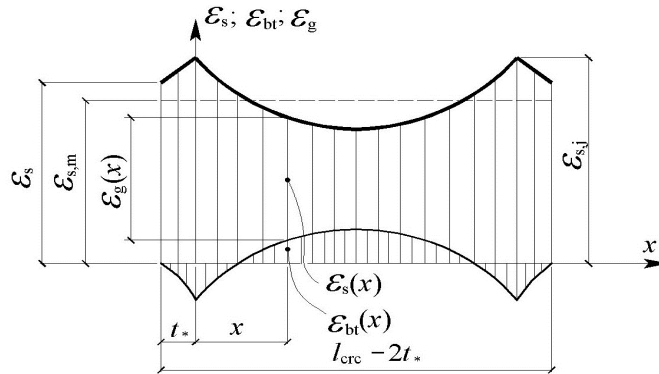


Рисунок 1 – Эпюры деформаций бетона $\varepsilon_{bt}(x)$, арматуры $\varepsilon_s(x)$ и их относительных взаимных смещений $\varepsilon_g(x)$ на участке между трещинами во внецентренно сжатых железобетонных элементах

Расстояние между трещинами l_{crc} определяется на основании второй предпосылки из условия, в соответствии с которым удлинения бетона на поверхности конструкции в среднем сечении (на участке между трещинами) равны $\varepsilon_{bt,u}$:

$$\varepsilon_{bt}(x) \Big|_{x=0,5l_{crc}-t_*} = \varepsilon_{bt,u} \quad (1)$$

Из рисунка 1 следует, что относительные взаимные смещения арматуры и бетона определяются из зависимости:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s(x) - \varepsilon_{bt}(x), \quad (2)$$

где $\varepsilon_s(x)$ и $\varepsilon_{bt}(x)$ – относительные деформации арматуры и относительные деформации бетона в сечении x соответственно.

Таким образом, задача по определению l_{crc} сводится к нахождению относительных деформаций бетона из зависимости (2).

Деформации $\varepsilon_s(x)$ отыскивают из условия:

$$\varepsilon_s(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{S_s}{A_s E_s} \int_0^x \tau(x) dx \quad (3)$$

Здесь S_s – периметр поперечного сечения арматуры; ε_s – деформации арматуры в трещине; ΔT – результирующая условных касательных напряжений в местной зоне, прилегающей к трещине; $\tau(x)$ – условные касательные напряжения.

К условности параметра $\tau(x)$ добавляется еще и то, что арматура моделируется (независимо от ее профиля) цилиндрическим стержнем, хотя в действительности поверхность арматуры имеет более сложную форму.

Характер эпюры $\varepsilon_{bt}(x)$, выполненной с привлечением опытов других авторов [1 и др.], показывает, что при определенной величине нагрузки деформации на участках, примыкающих к трещинам, начинают уменьшаться и даже меняют знак, деформации же в середине участка между трещинами продолжают увеличиваться до тех пор, пока в этом месте не появляется новая трещина. Анализ характера эпюры $\varepsilon_{bt}(x)$ показывает необходимость (см. рис. 1) учета деформационного воздействия в трещине [1, 3].

Деформации бетона $\varepsilon_{bt}(x)$ определяются из условия равновесия блока, расположенного между сечением с трещиной и сечением, проходящим на расстоянии $t_* + x$ от трещины (рис. 2):

$$\varepsilon_{bt}(x) = \delta \frac{\varepsilon_s A_s E_s Z_s - \varepsilon_s(x) A_s E_s Z_s(x) - Q(t_* + x)}{\omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b v_{bt}(x) Z_{bt}(x)}. \quad (4)$$

Здесь $\omega_{bt}(x)$ и $v_{bt}(x)$ – соответственно коэффициент полноты эпюры деформаций и коэффициент упругости растянутого бетона в сечении x на участке между трещинами, произведение $\omega_{bt}(x) \cdot v_{bt}(x)$ близко к 0,5; $A_{bt}(x)$ – растянутая площадь сечения бетона в сечении x ; Q – поперечная сила в сечении с трещиной; δ – коэффициент, учитывающий расположение растянутой арматуры по высоте сечения.

Подставляя (3) и (4) в (2), после соответствующих преобразований получим:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{S_s}{K \cdot A_s E_s} \int_0^x \tau(x) dx + \frac{\delta}{t} [\Delta T Z + Q(t_* + x)]. \quad (5)$$

Здесь

$$\frac{1}{K} = 1 + \delta \frac{A_s E_s Z_s(x)}{\omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b \cdot v_{bt}(x) Z_{bt}(x)}; \quad (6)$$

$$t = \omega_{bt}(x) A_{bt}(x) E_b v_{bt}(x) Z_{bt}(x); \quad (7)$$

$$Z_s \approx Z_s(x) \approx Z. \quad (8)$$

Принимая во внимание многолетние экспериментальные и численные исследования, приведенные в работах [1, 2], а также основываясь на замене железобетонного элемента расчетной моделью (см. рис. 2), обладающей свойствами близкими к реальным, расчетные формулы можно упростить:

$$\frac{1}{K} = 1 + \delta \frac{\mu \alpha \cdot Z}{0,32 h_0 (\gamma - \zeta) (\gamma + 0,03 \zeta)}; \quad (9)$$

$$t = 0,32 \cdot h_0 (\gamma - \zeta) (\gamma + 0,03 \zeta), \quad (10)$$

где $\zeta = \frac{x}{h_0}$; $\gamma = \frac{h}{h_0}$; $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$; $\mu = \frac{A_s}{b h_0}$; $\delta = \frac{1 - \zeta}{\gamma - \zeta}$.

Выражение (5) с учетом третьей предпосылки принимает вид:

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - B \int_0^x \varepsilon_g(x) dx + \frac{\delta}{t} [\Delta T Z + Q(t_* + x)], \quad (11)$$

где B – параметр сцепления арматуры с бетоном, принимаемый равным:

$$B = \frac{S_s G}{K \cdot A_s E_s}. \quad (12)$$

После дифференцирования получаем:

$$\frac{d\varepsilon_g(x)}{dx} + B \varepsilon_g(x) = \frac{\delta}{t} Q. \quad (13)$$

Решение неоднородного дифференциального уравнения первого порядка (13) имеет вид:

$$\varepsilon_g(x) = C \cdot e^{-Bx} + \frac{\delta \cdot Q}{t \cdot B}. \quad (14)$$

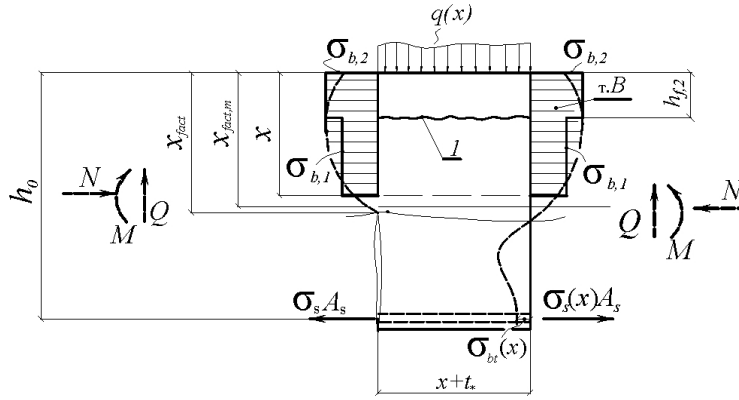


Рисунок 2 – Расчетная схема к определению $\varepsilon_{bt}(x)$

Постоянную интегрирования C находят из граничного условия, в соответствии с которым при $x = 0$, $\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{A_s E_s} - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b}$:

$$C = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{A_s E_s} - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b} - \frac{\delta \cdot Q}{t \cdot B}. \quad (15)$$

Здесь $\frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b}$ соответствует деформациям бетона $\varepsilon_{bt}(x)$ в сечении, расположенном на расстоянии t_* от сечения с трещиной (см. рис. 1). При этом значения $\sigma_{bt,c}$ принимаются со знаком минус здесь и во всех ниже приведенных формулах (рис. 3).

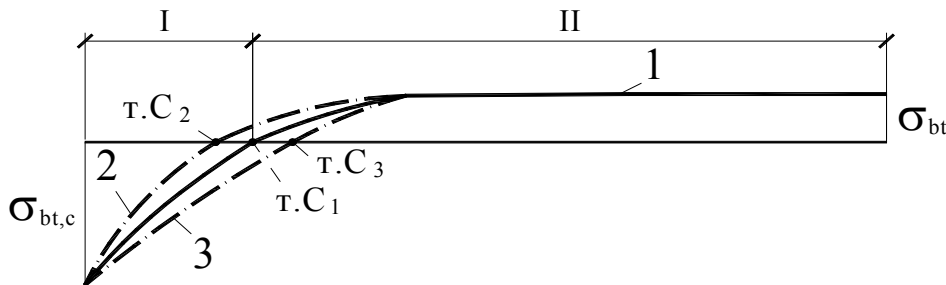


Рисунок 3 – Приближенное определение границы между участками I и II

Граница между участками I и II определена приближенно – распределение напряжений в бетоне отыскивается в виде одной элементарной функции (более точно следовало бы описать это распределение на каждом участке отдельной функцией). Однако допущенная при этом погрешность незначительна (см. расположение точек C_1, C_2, C_3 на рис. 3). Тогда:

$$\varepsilon_g(x) = \left(\varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b} - \frac{\delta \cdot Q}{t \cdot B} \right) e^{-Bx} - \frac{\delta \cdot Q}{t \cdot B}. \quad (16)$$

При выполнении практических расчетов следует учитывать депланацию бетона в зависимости от расстояния поверхности арматуры до поверхности бетона (рис. 4).

Для этого используется расчетная схема для определения перемещений берегов трещины, выделенная в зоне защитного слоя (рис. 4, б). При этом действительная эпюра напряжений в бетоне околоарматурной зоны, прилегающей к трещине, заменяется для выполнения расчета на трапециевидную.

Тогда значение напряжения $\sigma_{bt,c1}$ (см. рис. 4, б) отыскивается из зависимости:

$$\sigma_{bt,c1} = \frac{2 \cdot \Delta T}{b \cdot a_{pr,l}} - \sigma_{bt,c} \quad (17)$$

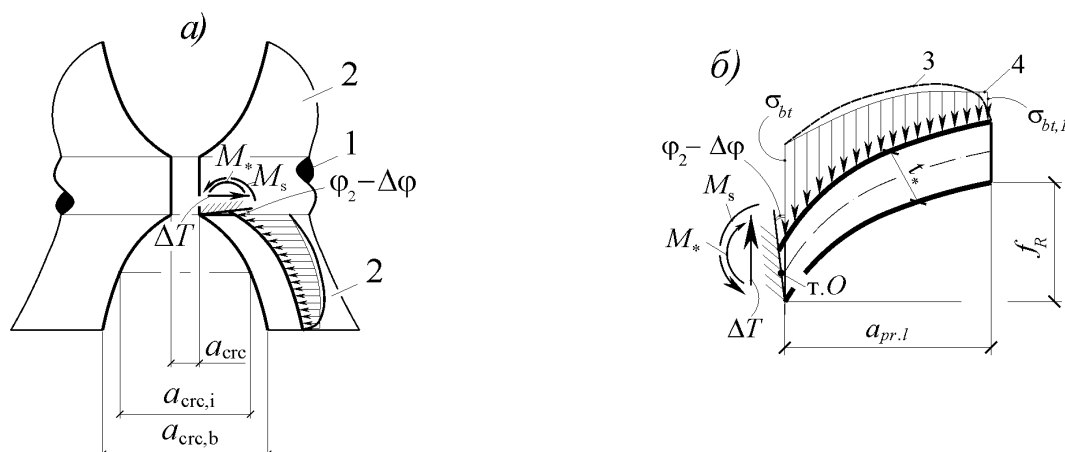


Рисунок 4 – Деформация бетона в сечении с трещиной:

а – фрагмент околоарматурной зоны железобетонной конструкции; *б* – расчетная схема для определения перемещений берегов трещины, выделенная в зоне защитного слоя; 1 – арматурный стержень; 2 – бетонная матрица; 3 – действительная эпюра напряжений в бетоне околоарматурной зоны, прилегающей к трещине; 4 – то же, принятая для расчета

Перемещения в зоне защитного слоя $y_{pr,l}$ определяются с использованием метода начальных параметров:

$$EI \cdot y_{pr,l} = \frac{\sum EI \cdot (\varphi_2 - \Delta\varphi) \cdot a_{pr,l}}{1!} + \frac{\sum M_* \cdot a_{pr,l}^2}{2!} - \frac{X_3 \cdot a_{pr,l}^2}{2!} + \frac{\Delta T \cdot a_{pr,l}^3}{3!} - \frac{(\sigma_{bt,c} \cdot b) \cdot a_{pr,l}^4}{4!} + \frac{\sum \left(\frac{\sigma_{bt,c1}}{a_{pr,l}} \right) \cdot a_{pr,l}^5}{5!} \quad (18)$$

При этом значение M_* принимается со знаком, полученным из уравнения равновесия суммы моментов относительно точки O ($\sum M_0 = 0$):

$$M_* = X_3 - \frac{\sigma_{bt,c} \cdot b \cdot a_{pr,l}^2}{2} + \frac{(\sigma_{bt,c} - \sigma_{bt,c1}) \cdot b \cdot a_{pr,l}^2}{4} \quad (19)$$

Численный анализ показывает, что перемещения в зоне защитного слоя $y_{pr,l}$, вычисленные по предложенной формуле, достаточно близки к экспериментальным данным. В свою очередь обработка таких данных позволяет получить следующую зависимость:

$$2f_R = \frac{2 \cdot 0,0163 \cdot 100 \cdot \sigma_S \cdot (1 - e^{-0,516 \cdot r}) \cdot 10}{100 \cdot R_S} \quad (20)$$

Здесь значения σ_S и R_S принимаются в $\frac{\kappa H}{\text{см}^2}$, а значение f_R – в мм.

Отношение вычисленного перемещения в зоне защитного слоя $y_{pr,l}$ к экспериментальным перемещениям в рассматриваемой зоне f_R показывает, что оно может быть принято постоянным, близким к 1,2.

Однако до накопления достаточного количества экспериментальных данных и проведения сопоставительного анализа принято целесообразным вводить в расчет коэффициент $k_{r,dep}$:

$$k_{r,dep} = \frac{y_{pr,l}}{f_R} \quad (21)$$

С учетом отмеченного ширина раскрытия трещин на уровне защитного слоя будет вычисляться по формуле:

$$a_{crc,tot} = a_{crc,S} + 2 \cdot \frac{y_{pr,l}}{k_{r,dep}}, \quad (22)$$

где

$$a_{crc,S} = -\frac{2\Delta T}{G} + \frac{2B_3}{B} \left(1 - e^{-B(0,5l_{crc} - t_*)}\right). \quad (23)$$

ΔT определяется из расчетной схемы двухконсольного элемента методами строительной механики [1].

Продолжая исследования сопротивления растянутого бетона между трещинами в составных железобетонных конструкциях, из выражения (2) с учетом (3) и (11) после алгебраических преобразований получим:

$$\varepsilon_{bt}(x) = \frac{S_s G}{E_s A_s} \left(\frac{1}{K} - 1\right) \int_0^x \varepsilon_g(x) dx - \frac{\delta}{t} [\Delta TZ + Q(t_* + x)]. \quad (24)$$

С учетом (16) будем иметь:

$$\varepsilon_{bt}(x) = \frac{S_s G}{E_s A_s} \left(\frac{1}{K} - 1\right) \left[\frac{\left(\varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{\sigma_{bt,s}}{v_b E_b} - \frac{\delta Q}{tB}\right) e^{-Bx}}{-B} + \frac{\delta Q}{tB} x + C \right] - \frac{\delta}{t} [\Delta TZ + Q(t_* + x)]. \quad (25)$$

Постоянную интегрирования C отыскивают из граничного условия, в соответствии с которым при $x = 0$, $\varepsilon_{bt}(x) = -\frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b}$:

$$C = \frac{B_3}{B} + \frac{1}{B(1-K)} \left[\frac{\delta}{t} (\Delta T \cdot Z + Q t_*) - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b} \right]. \quad (26)$$

$$\text{Здесь } B_3 = \varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - \frac{\sigma_{bt,s}}{v_b E_b} - B_2; \quad B_2 = \frac{\delta Q}{tB}. \quad (27)$$

После подстановки C в уравнение (25) и выполнения соответствующих преобразований получим:

$$\varepsilon_{bt}(x) = (1-K) \left[B_3 (1 - e^{-Bx}) + \frac{\delta Q}{t} \right] - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b} - \frac{\delta Q}{t} x. \quad (28)$$

Из условия (1), принимая во внимание (28), при $Q \rightarrow 0$ (применительно к зоне нормальных трещин), получим:

$$e^{-B(0,5l_{crc} - t_*)} = 1 + \frac{\varepsilon_{bt,u}}{B_{3,*}(K-1)} + \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b B_{3,*}(K-1)}, \quad (29)$$

где $B_{3,*}$ равно значению B_3 (см. формулы (27)) при $B_2 = 0$.

Отсюда

$$\ln B_4 = -B(0,5l_{crc} - t_*). \quad (30)$$

Здесь

$$B_4 = 1 + \frac{\sigma_{bt,c}}{(K-1)B_{3,*}v_b E_b} + \frac{\varepsilon_{bt,u}}{B_{3,*}(K-1)}. \quad (31)$$

Необходимо отметить, что для области действительных чисел на параметр B_4 накладываются следующие ограничения:

$$0 < B_4 < e^{B t_b}. \quad (32)$$

Из выражения (30) следует, что:

$$l_{cre} = \frac{2(\ln B_4 - Bt_*)}{-B}. \quad (33)$$

Анализ соотношения (33) показывает, что увеличение деформаций в арматуре при росте нагрузки вызывает уменьшение расстояния между трещинами. При этом появление нового уровня трещинообразования соответствует уровню нагрузки, при котором соблюдается следующее неравенство:

$$l_{cre,i} \leq 0,5l_{cre,i-1}. \quad (34)$$

Таким образом, трещинообразование продолжается до момента разрушения. При этом выделяется не один (как это принято в ряде известных методик), а несколько уровней трещинообразования:

$$\left. \begin{aligned} l_{cre} > l_{cre,1} &- \text{трещин нет;} \\ l_{cre,1} \geq l_{cre} > l_{cre,2} &- \text{первый уровень;} \\ l_{cre,2} \geq l_{cre} > l_{cre,3} &- \text{второй уровень;} \\ \dots & \\ l_{cre} \geq 6t_* &- \text{последний уровень.} \end{aligned} \right\}. \quad (35)$$

Расстояние между трещинами является важнейшим параметром, необходимым для определения ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях. Из физических соображений ниже, в формуле для определения ширины раскрытия трещин, используются уровневое значение l_{cre} в соответствии с (35).

В итоге общий алгоритм расчета сводится к тому, что вначале определяют параметры напряженно-деформированного состояния расчетного сечения, после этого находят функциональное значение l_{cre} по формуле (33). Затем из неравенств (34) и (35) находят уровневое значение l_{cre} .

Расстояние между трещинами является важнейшим параметром, необходимым для определения сопротивления растянутого бетона между трещинами.

Складывая выражения (32) и (12), получим формулу для определения $\varepsilon_s(x)$. Интегрирование $\varepsilon_s(x)$ в пределах расстояния между трещинами l_{cre} позволяет получить значение коэффициента учета работы растянутого бетона ψ_s по формуле:

$$\begin{aligned} \psi_s = & \frac{2 \cdot K \cdot B_3}{\varepsilon_s \cdot l_{cre} \cdot B} \cdot [1 - e^{-B(0,5l_{cre} - t_*)}] + \frac{2}{\varepsilon_s \cdot l_{cre}} \left(\varepsilon_s + \frac{\Delta T}{E_s A_s} - K \cdot B_3 \right) \cdot (0,5l_{cre} - t_*) + \\ & + \frac{\delta Q \cdot K}{\varepsilon_s \cdot l_{cre} \cdot B \cdot t_*} (0,5l_{cre} - t_*)^2 + \frac{2 \cdot \varepsilon_s \cdot E_s \cdot A_s + \Delta T}{\varepsilon_s \cdot l_{cre} \cdot E_s \cdot A_s} \cdot t_*. \end{aligned} \quad (36)$$

Полученные зависимости (31)-(35) учитывают влияние ряда важных факторов, таких как: деформации арматуры в сечении с трещиной, параметры сцепления B арматуры с бетоном, геометрические характеристики сечения и характеристики бетона и арматуры, деформацию бетона на поверхности конструкции по отношению к радиусу пограничного слоя, деформационный эффект (возникающий в железобетонном элементе после нарушения сплошности), относительные условные сосредоточенные взаимные смещения бетона и арматуры и в необходимых случаях – влияние поперечной силы Q .

Выводы

1. Учет эффекта нарушения сплошности железобетонных конструкций и податливости шва в виде условного сосредоточенного сдвига позволяет существенно уточнить значения постоянной интегрирования при решении задачи сопротивления растянутого бетона между трещинами и расстояния между ними в составных внецентренно сжатых железобетонных конструкциях.

2. Решение поставленной задачи позволяет, даже оставаясь в рамках традиционной модели В.И. Мурашева, заметно уточнить основные параметры сопротивления железобетона ψ_s , l_{cr} и объяснить многие замеченные в экспериментах явления, происходящие при его сопротивлении силовым и деформационным воздействиям.

3. Разработана методика, базирующаяся на традиционных предпосылках теории железобетона и положениях механики разрушения, позволяющая заметно приблизить эти важнейшие расчетные параметры к действительным. Получены зависимости для определения коэффициента учета работы растянутого бетона и расстояния между трещинами с учетом податливости шва между разными бетонами в виде условного сосредоточенного сдвига, эффекта нарушения сплошности и относительных условных сосредоточенных взаимных смещений бетона и арматуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
2. Гольшев, А.Б. Сопротивление железобетона: монография [Текст] / А.Б. Гольшев, В.И. Колчунов. – К.: Основа, 2009. – 432 с.
3. Федоров, В.С. Методика расчета ширины раскрытия трещин в железобетонных внецентренно сжатых конструкциях с учетом эффекта нарушения сплошности [Текст] / В.С. Федоров, Е.В. Шавыкина, В.И. Колчунов // Строительная механика, расчет сооружений. – 2009. – №1. – С. 8-11.

Колчунов Владимир Иванович

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина
Доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных технологий строительства
Тел.: +38 (067) 208-78-54
E-mail: vikolchunov@mail.ru

Баширов Хамит Закирович

ОАО «Центротранстрой», г. Москва
Кандидат технических наук

Яковенко Игорь Анатольевич

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина
Кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий строительства
Тел.: +38 (067) 440-19-39
E-mail: i2103@ukr.net

Биджосян Георгий Константинович

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск, Украина
Тел.: +38 (050) 595-69-14
E-mail: bijosyan@ukr.net

KOLCHUNOV VL.I., BASHIROV H.Z., YAKOVENKO I.A.,
BIDZHOSYAN G.K.

THE STRENGTH OF CONCRETE IN TENSION ZONE BETWEEN THE CRACKS OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES CONSIDERING NEW EFFECTS

The work presents a methodology based on traditional preconditions of the theory of reinforced concrete and propositions of fracture mechanics, which allows to specify the basic parameters of the strength of concrete. There are new obtained dependences for estimation of the strength of concrete in tension area between cracks for composite eccentric-compressed reinforced concrete structures, tak-

ing into account the effect of discontinuity and conventional displacements. In this case there are several levels of cracks appearing up to the moment of failure.

Keywords: *resistance of the stretched concrete between cracks, composite eccentrically compressed reinforced concrete constructions, the effect of discontinuity, conditional concentrated displacements, distance between cracks, coefficient of work account for concrete in tension.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona: monografija [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 c.
2. Golyshev, A.B. Soprotivlenie zhelezobetona: monografija [Tekst] / A.B. Golyshev, V.I. Kolchunov. – K.: Osnova, 2009. – 432 s.
3. Fedorov, V.S. Metodika rascheta shiriny raskrytija trevin v zhelezobetonnyh vnecentrenno szhatyh konstrukcijah s uchetom jeffekta narushenija sploshnosti [Tekst] / V.S. Fedorov, E.V. Shavykina, V.I. Kolchunov // Stroitel'naja mehanika, raschet sooruzhenij. – 2009. – №1. – S. 8-11.

Kolchunov Vladimir Ivanovich

National aviation university, Kiev, Ukraine

Doctor of technical sciences, professor of computer technology building department

Ph.: +38 (067)-208-78-54

E-mail: vikolchunov@mail.ru

Bashirov Hamit Zakirovich

«Centrotransstroy», Moscow

Candidate of technical sciences

Yakovenko Igor Anatolievich

National aviation university, Kiev, Ukraine

Candidate of technical sciences, senior lecturer of computer technology building department

Ph.: +38 (067) 440-19-39

E-mail: i2103@ukr.net

Bidzhosyan Georgij Konstantinovich

Donbass state technical university, Alchevsk, Ukraine

Ph.: +38 (050) 595-69-14

E-mail: bijosyan@ukr.net