



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

№2 (46) 2013
(март-апрель)

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.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков 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. (Украина)
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
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. (Германия)

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@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Актуганов А.А.** Применение метода интерполяции по коэффициенту формы к расчету пластинок на упругом основании, нагруженных сосредоточенной силой..... 3
- Баширов Х.З., Горностаев И.С., Колчунов В.И., Яковенко И.А.** Напряженно-деформированное состояние железобетонных составных конструкций в зоне нормальных трещин..... 11
- Калашников М.О.** Контроль жесткости железобетонных перемычек с использованием динамического критерия – коэффициента нелинейных искажений..... 20
- Колчунов В.И., Пятикрестовский К.П.** Особенности расчета деревянных конструкций на прочность по деформациям..... 25
- Коробко В.И., Савин С.Ю.** Свободные колебания треугольных ортотропных пластинок с однородными и комбинированными граничными условиями..... 33
- Купчикова Н.В.** Снижение осадки фундамента путем послойного поверхностного и глубинного уплотнения грунта со щебнем под нижним концом буронабивных свай..... 41
- Новиков Д.А.** Анализ результатов исследований усиленных железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений..... 46
- Новиков Д.А.** Методика экспериментальных исследований усиленных железобетонных элементов..... 50
- Пахомова Е.Г., Творогов Д.А.** Работоспособность железобетонных пролетных строений автодорожных мостов при синергетических воздействиях..... 53
- Турков А.В., Макаров А.А.** Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных балок с различными размерами ячеек на квадратном плане с учетом податливости узловых соединений..... 57
- Баширов Х.З.** К определению параметров прочности нормальных сечений в железобетонных составных конструкциях..... 62

Безопасность зданий и сооружений

- Скобелева Е.А.** Анализ динамики частоты возникновения пожаров на урбанизированных территориях как функции ряда факторов..... 69

Архитектура и градостроительство

- Бударин Е.Л.** Совершенствование архитектурных решений индивидуального жилища в зависимости от социально-демографических условий в Ставропольском крае..... 77
- Захарова Е.Н.** Гносиологические корни архитектуры и костюма..... 86
- Кобелева С.А.** Жилищное строительство, природа, общество, экономика: направления эффективного взаимодействия..... 89
- Колчунов В.И., Брума Е.В.** К оценке составляющей «здоровоохранение» при реализации функций города для маломобильных групп населения.... 94
- Сувакин Е.В.** Принципы формирования сети спортивно-оздоровительных сооружений и их генеральных планов для городов различной численности 99

Строительные материалы и технологии

- Куликова А.В., Соломенцев А.Б.** Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона..... 104



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

№2 (46) 2013
(March-April)

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.

Kirichuk 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.

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

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

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

Korol E.A. 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. (Ukraine)

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

Sikora Z. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)

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. (Germany)

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: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service
for monitoring communications, information
technology and mass communications
The certificate of registration:
ПН № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»
86294

© State University ESPC, 2013

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Aktuganov A.** Application of the method of interpolation for the form-factor to the calculation of plates on elastic foundation, loaded a concentrated force... 3
- Bashirov H., Gornostaev I., Kolchunov VL., Yakovenko I.** Stress-deformation condition of reinforced concrete composite constructions in the normal cracks zone..... 11
- Kalashnikov M.** Rigidity control of reinforced-concrete connection elements using dynamic criterion – nonlinear distortion coefficient..... 20
- Kolchunov V., Pjatkrestovskij K.** Stiffness analysis features for wooden structures..... 25
- Korobko V., Savin S.** Free vibration of the triangular orthotropic plate with homogeneous and combined boundary conditions..... 33
- Kupchikova N.** Reduction of sag of foundations by layer-by-layer surface and deep consolidation of soil with crushed stone under the bottom end of bored piles..... 41
- Novikov D.** Reaserch results analysis on studied strengthened reinforced concrete structures of operating buildings..... 46
- Novikov D.** Methods for experimental study of reinforced concrete elements. 50
- Pakhomova E., Tvorogov D.** Efficiency of reinforced concrete steel structures of road bridges constructions at the synergistic effects..... 53
- Turkov A., Makarov A.** Deflections and frequencies of own fluctuations of systems cross beams with different sizes of cells on the square plan taking into account pliability of nodal connections..... 57
- Bashirov H.** Some propositions to strength parameters at normal cross-sections of reinforced concrete composite structures..... 62

Building and structure safety

- Skobeleva E.** Analysis dynamic frequency of emergence fires in the urbanized territories as functions of a number of factors..... 69

Architecture and town-planning

- Budarin E.** Improvement of architecture solutions of individual housing in dependence of social and demographical conditions in Stavropol region..... 77
- Zakharova E.** Gnosiological roots of architecture and suit..... 86
- Kobeleva S.** Housing construction, nature, society, economy: directions of effective interaction..... 89
- Kolchunov V., Bruma E.** By estimates of component «healthcare» at realization of functions of the city for people with limited mobility..... 94
- Suvakin E.** Principles of formation of the network sports and fitness facilities and their master plan for the city and other manning..... 99

Construction materials and technologies

- Kulikova A., Solomentsev A.** Rheological properties of bitumen with additives for warm asphalt..... 104

БАШИРОВ Х.З., ГОРНОСТАЕВ И.С., КОЛЧУНОВ В.И., ЯКОВЕНКО И.А.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНЕ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН*

Предложена расчетная модель и рабочие гипотезы, позволяющие на порядок упростить дифференциальные уравнения железобетонных составных стержней для различных схем нагружения, в том числе и при наличии трещин, без снижения строгости и точности их решения. Приведено решение этого дифференциального уравнения и сделан вывод расчетных формул для определения напряженно-деформированного состояния железобетонных составных конструкций с учетом податливости шва на уровне арматуры и между разными бетонами в виде условного сосредоточенного сдвига, эффекта нарушения сплошности.

Ключевые слова: железобетонные составные конструкции, напряженно-деформированное состояние, податливость шва между разными бетонами, условный сосредоточенный сдвиг, эффект нарушения сплошности.

Для раскрытия статической неопределимости системы, состоящей из различных железобетонных стержней, связанных продольными швами, будем использовать метод сил, выбрав в качестве основной системы составной стержень, лишенный связей сдвига [1], действие которых заменим функциональными неизвестными $\tau(z)$. Связь $\tau_q - \varepsilon_q$ может быть принята в виде:

$$\tau_q = \varepsilon_q G, \quad (1)$$

где G – условный модуль сдвига; ε_q – относительные взаимные смещения на поверхности сцепления (в шве).

Эксперименты показывают, что численные значения G на контакте бетона и арматуры близки к $0,3...0,4 E_b$ [2 и др.], что близко к значению модуля сдвига бетона G , принятого в нормах. Что касается его численных значений на контакте разных бетонов, то здесь, безусловно, еще необходимы дополнительные экспериментальные исследования. Если проанализировать физическую природу сил сцепления, то становится ясным, что они связаны со сдвигающими усилиями. Другое дело, что эти усилия вызываются не только привычными поперечными силами Q , а обусловлены местным напряженно-деформированным состоянием (НДС) бетонного слоя, прилегающего к поверхности сцепления. Эти усилия проявляются в составном стержне, в том числе и на участках чистого изгиба, где $Q=0$. Однако, согласно предпосылкам теории составных стержней, толщина этого бетонного слоя (шва) принимается равной нулю, что не мешает решению задачи в интегральном виде, в стиле сопротивления материалов. Если же перейти на уровень предпосылок теории упругости (пластичности), то можно заметить, что для пограничного слоя бетона, прилегающего к поверхности сцепления, также характерно напряженно-деформированное состояние с преобладанием сдвига. Тогда между зависимостью теории упругости (пластичности) и зависимостями теории составных стержней прослеживается аналогия. Действительно, зависимость:

$$\tau_b = \gamma_b \cdot G_b \quad (2)$$

для бетона аналогична зависимости (1).

Таким образом, γ_b аналогично ε_q . Теперь, если проанализировать деформированное состояние в рассматриваемой зоне на элементарном участке единичной длины (рис. 1), то в соответствии с физическим смыслом параметров γ и ε_q можно записать, что:

* Исследования выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Мероприятие 1.1, Соглашение №14.В37.21.0292).

$$k_i(\gamma_{b,1} - \gamma_{b,2}) \cdot l = (\varepsilon_{b,1} - \varepsilon_{b,2}) \cdot l, \quad (3)$$

где k_i – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние полного тензора деформаций на деформации сдвига в направлении продольной оси составного стержня (так как чистого сдвига в этом направлении здесь не наблюдается).

Учитывая то обстоятельство, что равенство (3) справедливо и для средних условных деформаций сдвига, накапливаемых в местных зонах $t_{b,1}$ и $t_{b,2}$, прилегающих к шву (рис. 1, б), а также для средних сосредоточенных относительных взаимных смещений ε_{qm} , и вводя средний коэффициент пропорциональности $k_{i,m}$, учитывающий влияние полного тензора деформаций на деформации сдвига в направлении продольной оси составного стержня, накапливаемые в зоне, прилегающей к шву, получим:

$$k_{i,m}\gamma_{b,m} = \varepsilon_{qm}. \quad (4)$$

С учетом проведенного анализа сформулируем следующую рабочую предпосылку о сосредоточенной податливости шва достаточно общую для решения задачи расчета составных железобетонных стержней:

- разность средних условных сосредоточенных относительных линейных деформаций разных бетонов ε_{qm} , возникающих в произвольной точке шва, равна разности средних условных угловых деформаций $\gamma_{b,m}$ на уровне шва в направлении продольной оси составного стержня, которые накапливаются и усредняются в пределах местных зон, прилегающих к шву (рис. 1).

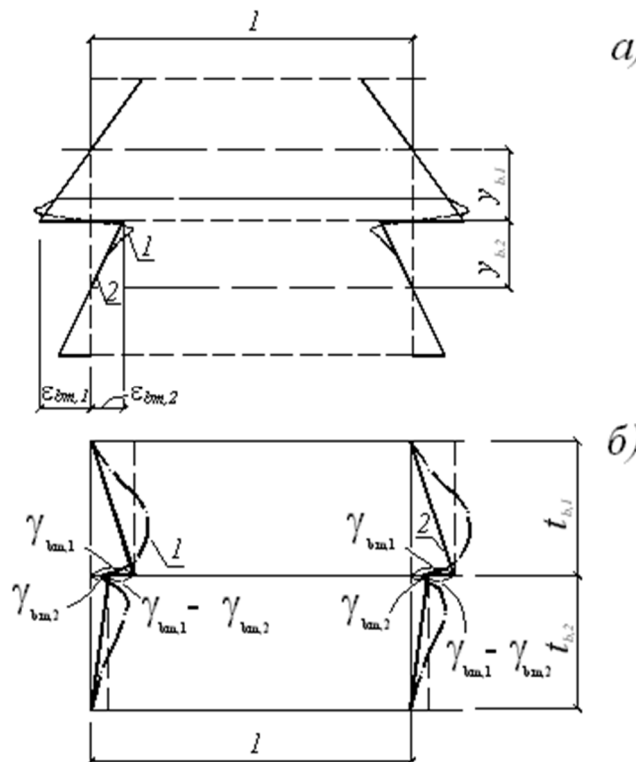


Рисунок 1 – Деформирование железобетонного элемента в окрестности пограничного слоя t_b : а – при несовместных сосредоточенных средних линейных деформациях бетонов, прилегающих к шву; б – средние сдвиговые деформации бетонов в зонах, прилегающих к поверхности шва 1 и 2– действительные и средние деформации соответственно

$$\text{Тогда } \tau_q = \gamma_{b,m} k_{i,m} \xi_i = \gamma_{b,m} \xi_m = \varepsilon_{qm} \xi_m, \quad (5)$$

где ξ_m – условный модуль сдвига, усредненный в зоне сдвига, прилегающей к шву.

В соответствии с [1]:

$$r' = \frac{T''}{\xi_{\Delta}}, \quad (6)$$

где ξ_{Δ} – коэффициент жесткости шва.

Та же разность относительных продольных сосредоточенных деформаций в шве с учетом зависимости (5) примет вид:

$$r' = \frac{T'}{\xi_m}. \quad (7)$$

Тогда порядок дифференциальных уравнений [1] может быть понижен. Принимая во внимание вышеизложенное, получим:

$$\frac{T'}{\xi_m} = \gamma T + \Delta; \quad (8)$$

$$T = \int_0^z \tau_q(z) \cdot dz, \quad (9)$$

где при отсутствии трещин:

$$\Delta = -\frac{N_{0,1}}{\varphi_{b,1} E_{b,1} A_{b,1}} + \frac{N_{0,2}}{\varphi_{b,2} E_{b,2} A_{b,2}} - \frac{M_0 (y_{b,1} + y_{b,2})}{\varphi_{b,1} E_{b,1} I_{b,1} + \varphi_{b,2} E_{b,2} I_{b,2}}, \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{1}{\varphi_{b,1} E_{b,1} A_{b,1}} + \frac{1}{\varphi_{b,2} E_{b,2} A_{b,2}} + \frac{(y_{b,1} + y_{b,2})^2}{\varphi_{b,1} E_{b,1} I_{b,1} + \varphi_{b,2} E_{b,2} I_{b,2}} \quad (11)$$

и при наличии трещин:

$$\Delta = -\frac{N_{0,1}}{(E_{b,1} A_{b,1})_{ekv}} + \frac{N_{0,2}}{(E_{b,2} A_{b,2})_{ekv}} - \frac{f(x_{fact,m})}{\rho}, \quad (12)$$

$$\lambda = \sqrt{\xi \gamma} = \sqrt{\xi \left[\frac{1}{(E_{b,1} A_{b,1})_{ekv}} + \frac{1}{(E_{b,2} A_{b,2})_{ekv}} + \frac{f^2(x_{fact,m})}{M \cdot \rho} \right]}. \quad (13)$$

Здесь $N_{0,1}$ – продольная сила от внешней нагрузки в первом железобетонном стержне для поперечного сечения на рассматриваемом участке составного стержня; $N_{0,2}$ – то же, во втором железобетонном стержне; M_0 – суммарный изгибающий момент, равный сумме изгибающих моментов в соответствующем поперечном сечении каждого составляющего стержня основной системы; $A_{b,1}$, $A_{b,2}$ и $I_{b,1}$, $I_{b,2}$ – приведенные площади и приведенные моменты инерции поперечных сечений отдельных железобетонных стержней, образующих составной стержень; $E_{b,1}$; $E_{b,2}$ – начальные модули бетона отдельных железобетонных стержней, образующих составной стержень; $\varphi_{b,1}$ и $\varphi_{b,2}$ в первом приближении могут быть приняты равными 0,85; $y_{b,1}$; $y_{b,2}$ – расстояния от геометрических продольных осей соответствующих стержней до прилежащего шва; $(E_{b,1} A_{b,1})_{ekv}$, $(E_{b,2} A_{b,2})_{ekv}$ – эквивалентные жесткости поперечных сечений отдельных железобетонных стержней, образующих составной стержень; $f(x_{fact,m})$ в случае расположения нейтральной оси составного стержня в пределах первого из составляющих стержней принимается равной $x_{fact,m} - 0,5h_{f,2}$ или, в случае расположения нейтральной оси составного стержня в пределах второго из составляющих стержней, принимается равной $2x_{fact,m} - 1,5h_{f,2}$, где $x_{fact,m}$ – фактическая высота сжатой зоны бетона, усредненная в блоке между трещинами; ρ – радиус кривизны для железобетонного составного стержня, отыскиваемый в соответствии с предложениями работы [3], ξ – коэффициент жесткости шва сдвигу (между бетоном и арматурой обозначается ξ_s , а между разными бетонами – ξ_b) – определяется на основании эксперимен-

тальных исследований составных призм, армированных рабочим арматурным стержнем, или без армирования, соответственно.

Эквивалентные жесткости поперечных сечений на сжатие (растяжение) отдельных железобетонных стержней, образующих составной стержень при наличии трещин, определяются на основании следующих соображений: нормальные усилия в составляющих стержнях делим на продольные относительные деформации, вычисленные относительно выбранной продольной оси:

$$(E_{b,i} A_{b,i})_{ekv} = \frac{N_i}{\varepsilon_0}, \quad (14)$$

где

$$\varepsilon_0 = B_{12} M_i + B_{22} N_i, \quad (15)$$

$$B_{12} = \frac{1}{(z_s + z_b)^2} \left[\frac{\psi_s z_b}{E_s A_s} - \frac{\psi_b z_s}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \tilde{\nu}} \right], \quad (16)$$

$$B_{22} = \frac{1}{(z_s + z_b)^2} \left[\frac{\psi_b z_s^2}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \tilde{\nu}} + \frac{\psi_s z_b^2}{E_s A_s} \right], \quad (17)$$

где M_i – момент всей сил, расположенных по одну сторону рассматриваемого сечения, составного стержня относительно выбранной оси y ; N_i – внешняя продольная сила, приложенная на уровне оси y и принимаемая при растяжении со знаком «+»; z_s, z_b – расстояния от выбранной оси y до точки приложения равнодействующей усилий соответственно в растянутой арматуре и в сжатом бетоне; ξ – определяется согласно указаниям п. 4.28 норм [4]; $\tilde{\nu} = 2\nu$, ν – коэффициент, принимаемый по таблице 35 норм [4]; φ_f – коэффициент, определяемый по формуле (164) норм [4] без учета арматуры, расположенной в сжатой зоне сечения; ψ_s – определяется согласно указаниям п. 4.29 [4]; ψ_b – определяется согласно указаниям п. 4.27 норм [4].

Ось y располагается в пределах рабочей высоты сечения (рис. 2), исходя из удобства расчетной схемы. Если ось y располагается выше центра тяжести площади сечения сжатой зоны, то величину z_b следует принимать отрицательной. Если ось y совпадает с усредненной нейтральной осью железобетонного элемента, то для обычной железобетонной конструкции в формуле (15) $M_i = 0$, а для железобетонной составной конструкции применительно к составляющему ж/б стержню, в котором проходит усредненная нейтральная ось M_i , образует касательные силы в шве (на рис. 1 условно не показаны) умноженное на расстояние от шва до усредненной нейтральной оси.

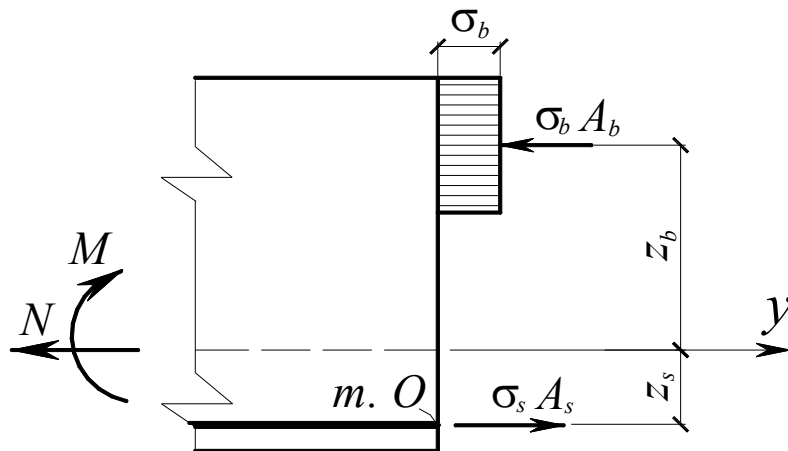


Рисунок 2 – Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси элемента, для каждого из составляющих стержней (усилия M и N), приведенные на рисунке, включают и соответствующие составляющие от сдвигающих сил в шве между бетонами, которые на рисунке для разных случаев расположения фактической нейтральной оси, условно не показаны

Будем искать решение уравнения (8) в виде произведения двух функций от z :

$$T = u(z) \cdot v(z). \quad (18)$$

Дифференцируя обе части равенства (18), получим:

$$\frac{dT}{dz} = u \frac{dv}{dz} + v \frac{du}{dz}. \quad (19)$$

Подставляя полученное выражение производной $\frac{dT}{dz}$ в уравнение (8), будем иметь:

$$u \cdot \left(\frac{dv}{dz} - \gamma \cdot \xi_m \cdot v \right) + v \cdot \frac{du}{dz} = \xi_m \cdot \Delta(z). \quad (20)$$

Выберем функцию z такой, чтобы:

$$\frac{dv}{dz} - \gamma \xi_m v = 0. \quad (21)$$

Разделяя переменные в этом дифференциальном уравнении относительно функции z , находим:

$$\frac{dv}{v} = \gamma \cdot \xi_m \cdot dz. \quad (22)$$

Интегрируя, получаем:

$$\ln|v| = \int \gamma \xi_m dz + C_0 \quad (23)$$

или

$$v = \pm C_1 \cdot e^{\gamma \xi_m dz}. \quad (24)$$

Подставляя найденные значения $v(z)$ в уравнение (20), получим:

$$v \cdot \frac{du}{dz} = \xi_m \Delta(z) \quad (25)$$

или

$$\frac{du}{dz} = \frac{\xi_m}{v} \cdot \Delta(z). \quad (26)$$

$$u = \xi_m \int \frac{\Delta(z)}{v(z)} \cdot dz + c. \quad (27)$$

Подставляя u и v в формулу (18), окончательно получим:

$$T = \pm \xi_m e^{\gamma \xi_m z} \int \frac{\Delta(z)}{e^{\gamma \xi_m z}} dz \pm C e^{\gamma \xi_m z}. \quad (28)$$

Принимая во внимание (9), с точностью до постоянных интегрирования, также будем иметь:

$$\tau = T' = \xi_m^2 \gamma e^{\gamma \xi_m z} \int \frac{\Delta(z)}{e^{\gamma \xi_m z}} dz + \xi_m e^{\gamma \xi_m z} \frac{\Delta(z)}{e^{\gamma \xi_m z}} + C_\tau. \quad (29)$$

Граничные условия для определения постоянных интегрирования зависят от условий загрузки и опирания стержней.

В качестве примера рассмотрим стержень, приведенный на рисунке 3, а.

Для крайних участков стержня:

$$\Delta(z) = -Pz\eta, \quad (30)$$

где

$$\eta = \frac{y_{b,1} + y_{b,2}}{\varphi_{b,1} E_{b,1} I_{b,1} + \varphi_{b,2} E_{b,2} I_{b,2}}. \quad (31)$$

Как показывает анализ испытаний обычных и предварительно напряженных железобетонных элементов из тяжелых бетонов, значение $\varphi_{b,i}$, учитывающие неупругие деформации в растянутой и сжатой зонах бетона до появления трещин с достаточной для практики точностью, можно принимать усредненным и равным 0,85.

Используем метод интегрирования по частям для выражения (28).

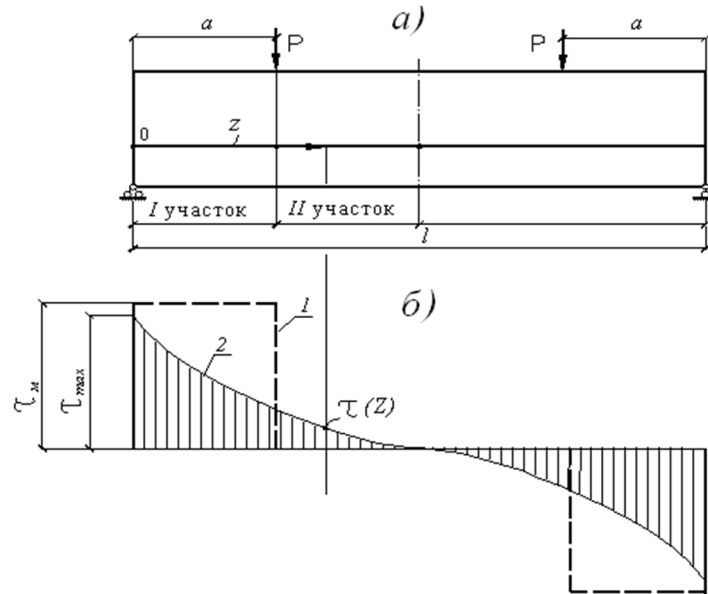


Рисунок 3 – Статическая схема I железобетонного элемента, как составного стержня (а) и эпюры касательных напряжений вдоль поверхности шва (б):

- 1 – при совместных деформациях разных бетонов на уровне шва;
- 2 – при учете их несовместности по предлагаемой методике

Обозначим: $\lambda = -P\eta z$; $d\varphi = e^{-\gamma\xi_m z} dz$. Отсюда $d\lambda = -P\eta dz$; $\varphi = \frac{e^{-\gamma\xi_m z}}{-\gamma\xi_m}$. Тогда,

$$\begin{aligned}
 -T_1 &= \xi_m \cdot e^{\gamma\xi_m z} \left(Pz\eta \cdot \frac{e^{-\gamma\xi_m z}}{\gamma\xi_m} + \frac{P\eta}{\gamma\xi_m} \cdot \frac{e^{-\gamma\xi_m z}}{\gamma\xi_m} \right) + c_1 \cdot e^{\gamma\xi_m z} = \\
 &= \xi_m \cdot e^{\gamma\xi_m z} \cdot \frac{P \cdot \eta \cdot e^{-\gamma\xi_m z}}{\gamma\xi_m} \left(z + \frac{1}{\gamma\xi_m} \right) + c_1 \cdot e^{\gamma\xi_m z} = \frac{P \cdot \eta}{\gamma} \left(z + \frac{1}{\gamma\xi_m} \right) + c_1 \cdot e^{\gamma\xi_m z}. \quad (32)
 \end{aligned}$$

Здесь в качестве граничного принимается условие, в соответствии с которым на свободном торце стержня $T = 0$. Тогда из уравнения (32) при $z = 0$ получим:

$$c_1 = -\frac{P \cdot \eta}{\gamma^2 \xi_m}. \quad (33)$$

Подставляя полученное значение для c_1 в уравнение (32), для крайних участков окончательно получим:

$$T_1 = -\frac{P \cdot \eta}{\gamma} \left(z + \frac{1}{\gamma\xi_m} - \frac{e^{\gamma\xi_m z}}{\gamma \cdot \xi_m} \right). \quad (34)$$

Для среднего участка стержня параметр $\Delta(z)$ принимает постоянное значение, равное $-Pa\eta$. Тогда,

$$-T_2 = c_2 \cdot e^{\gamma\xi_m z} + \xi_m e^{\gamma\xi_m z} \cdot \int_0^a \frac{\Delta(z)}{e^{\gamma\xi_m z}} dz + \xi_m \cdot e^{\gamma\xi_m z} \cdot \int_a^z \frac{\Delta(z)}{e^{\gamma\xi_m z}} dz. \quad (35)$$

$$\begin{aligned}
 &c_2 \cdot e^{\gamma\xi_m z} + \xi_m e^{\gamma\xi_m z} \cdot (-Pa\eta) \left(\frac{e^{-\gamma\xi_m z}}{-\gamma\xi_m} \Big|_0^a \right) + \xi_m \cdot e^{\gamma\xi_m z} \cdot (-Pa\eta) \left(\frac{e^{-\gamma\xi_m z}}{-\gamma\xi_m} \Big|_a^z \right) dz = \\
 &= c_2 \cdot e^{\gamma\xi_m z} + e^{\gamma\xi_m z} \cdot \frac{Pa\eta}{\gamma} [e^{-\gamma\xi_m z} - 1]. \quad (36)
 \end{aligned}$$

На границе участков при $z = a$ из выражения (32) следует:

$$-T_1 = -T_2 = \frac{P \cdot \eta}{\gamma} \left(a + \frac{1}{\gamma \xi_m} - \frac{e^{\gamma \xi_m a}}{\gamma \xi_m} \right). \quad (37)$$

Это же значение на границе крайнего и среднего участков принимает и выражение (36) при $z = a$:

$$-T_1 = -T_2 = c_2 \cdot e^{\gamma \xi_m z} + e^{\gamma \xi_m z} \cdot \frac{Pa\eta}{\gamma} [e^{-\gamma \xi_m z} - 1] = c_2 \cdot e^{\gamma \xi_m a} + e^{\gamma \xi_m a} \cdot \frac{Pa\eta}{\gamma} [e^{-\gamma \xi_m a} - 1]. \quad (38)$$

Приравнявая его к выражению (37), получим:

$$c_2 = \frac{Pa\eta}{\gamma} [e^{-\gamma \xi_m a} - 1] - \frac{P \cdot \eta}{\gamma \cdot e^{\gamma \xi_m a}} \left(a + \frac{1}{\gamma \xi_m} - \frac{e^{\gamma \xi_m a}}{\gamma \xi_m} \right). \quad (39)$$

Подставляя это значение в выражение (36), для среднего участка окончательно получим:

$$T_2 = -\frac{P\eta \cdot e^{\gamma \xi_m z}}{\gamma} \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right]. \quad (40)$$

Располагая зависимостью (29), будем иметь:

• для крайних участков (рис. 3):

$$\tau_1 = -\frac{P \cdot \eta}{\gamma} (1 - e^{\gamma \xi_m z}) + C_{1,\tau}; \quad (41)$$

• для среднего участка (рис. 3):

$$\tau_2 = -P\eta \cdot e^{\gamma \xi_m z} \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right] + C_{2,\tau}. \quad (42)$$

Постоянную интегрирования $C_{2,\tau}$ находим из условия, в соответствии с которым (рис.

3) при $z = 0,5l$, $\tau = 0$:

$$C_{2,\tau} = P\eta \cdot e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m} \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right]. \quad (43)$$

$$\tau_2 = -P\eta \cdot e^{\gamma \xi_m z} \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right] +$$

$$+ P\eta \cdot e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m} \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right].$$

$$\tau_2 = (e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m} - e^{\gamma \xi_m z}) P\eta \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right].$$

Обозначим $a_1 = -P\eta \xi_m \left[2a(e^{-\gamma \xi_m a} - 1) - \frac{a}{e^{\gamma \xi_m a}} - \frac{1}{\gamma \xi_m \cdot e^{\gamma \xi_m a}} + \frac{1}{\gamma \xi_m} \right]$, тогда

$$\tau_2 = a_1 (e^{\gamma \xi_m z} - e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m}). \quad (44)$$

Постоянную интегрирования $C_{1,\tau}$ находим из условия, в соответствии с которым (рис.

3) при $z = a$, $\tau_1(a) = \tau_2(a)$:

$$C_{1,\tau} = a_1 (e^{\gamma \xi_m a} - e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m}) + \frac{P \cdot \eta}{\gamma} (1 - e^{\gamma \xi_m a}). \quad (45)$$

Подставляя (45) в (41), получим:

$$\tau_1 = -\frac{P \cdot \eta}{\gamma} (1 - e^{\gamma \xi_m z}) + a_1 (e^{\gamma \xi_m a} - e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m}) + \frac{P \cdot \eta}{\gamma} (1 - e^{\gamma \xi_m a}) \quad (46)$$

Анализ зависимости (46) показывает, что сдвигающие напряжения в шве достигают своих наибольших значений при $z = 0$:

$$\tau_{1,\max} = a_1 (e^{\gamma \xi_m a} - e^{0,5l \cdot \gamma \xi_m}) + \frac{P \cdot \eta}{\gamma} (1 - e^{\gamma \xi_m a}). \quad (47)$$

Аналогично решается задача и при других схемах нагрузки и опорных закреплениях. При этом изменяется лишь параметр $\Delta(z)$, определяемый из зависимости (12). Теперь, располагая значениями касательных напряжений, легко можно определить деформации относительно сосредоточенного сдвига ε_{qm} , накапливаемого в зонах, прилегающих к шву составных железобетонных конструкций из формулы (5).

Таким образом, получена полная картина напряженно-деформированного состояния в составном железобетонном стержне при несовместных сосредоточенных деформациях в зоне шва, в том числе и при наличии трещин в железобетонных составных конструкциях. Предложенные зависимости позволяют на порядок упростить дифференциальные уравнения, полученные в работе [1], без снижения строгости и точности решения.

Кстати, возможность упрощения уравнений была предсказана и в самой работе [1], но со снижением точности решения. Так, анализ уравнений, выполненный в этой работе, показывает, что при больших значениях $\lambda = \sqrt{\gamma \xi_{\Delta}}$ или λz , значения $sh\lambda z$ и $ch\lambda z$ можно заменить на $0,5e^{\lambda z}$ (т.е. на функции, полученные строго в предлагаемом нами решении), а значениями $e^{-\lambda z}$ по сравнению с ними можно пренебречь. При этом значение $\lambda z = 4$ считается бесконечно большим. Отмечено, что общее решение дает достаточно большое значение напряжений лишь в зонах, близко расположенных к точкам приложения сосредоточенных сил. В остальных точках основную роль играет частное решение. Чрезвычайно полезным для приближенной оценки напряжений в составном стержне является и вывод о том, что они всегда являются средними между значениями напряжений, определяемыми для монолитной балки и для балки, лишенной связей сдвига.

Таким образом, на основании анализа накопленных экспериментальных данных о сопротивлении составных железобетонных конструкций сформулирована рабочая предпосылка о сосредоточенной податливости шва, которая позволила получить полную картину напряженно-деформированного состояния в составном железобетонном стержне при несовместных сосредоточенных деформациях в зоне шва, в том числе и при наличии трещин. При этом предложенные зависимости значительно упрощены за счет появившейся возможности снижения порядка дифференциальных уравнений составных стержней (без снижения строгости решения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / Р.Р. Алексей. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
2. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Баширов, Х.З. Расчетная модель для оценки деформаций железобетонных составных конструкций / Х.З. Баширов, И.С. Горностаев, Вл.И. Колчунов, И.А. Яковенко // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. – №6.
4. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84*. – [Введены в действие с 1986-01-01]. – М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СП 63.13330.2012. – [Введены в действие с 2013-01-01]. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. – 156 с.

Баширов Хамит Закирович

ОАО «Центротранстрой», г. Москва
Кандидат технических наук
Тел.: +7 (495) 681-43-81

Горностаев Иван Сергеевич

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Колчунов Владимир Иванович

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина
Доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных технологий строительства
Тел.: +38 (099)-555-35-14
E-mail: vikolchunov@mail.ru

Яковенко Игорь Анатольевич

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

H. BASHIROV, I. GORNOSTAEV, VI. KOLCHUNOV, I. YAKOVENKO

**STRESS-DEFORMATION CONDITION
OF REINFORCED CONCRETE COMPOSITE CONSTRUCTIONS
IN THE NORMAL CRACKS ZONE**

Proposed the computational model & working hypotheses, allowing an order to simplify the differential equations reinforced composite rods for different schemes of loading, including the presence of cracks, without sacrificing rigor & accuracy of their solutions. The solution of this differential equation & concluded that the design formulas for determining the stress-strain state of reinforced concrete composite constructions for yielding seam at fittings & between the concrete in the form of conditional concentrated shear & effect of discontinuity.

Keywords: reinforced concrete composite constructions, stress-strain state, yielding seam between different concretes, conditional centered shear, the effect of discontinuity

BIBLIOGRAPHY

1. Rzhanicyn, A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki [Tekst] / R.R. Aleksej. – M.: Stroizdat, 1986. – 316 s.
2. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona: monografija / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 c.
3. Bashirov, H.Z. Raschetnaja model' dlja ocenki deformacij zhelezobetonnyh sostavnyh konstrukcij / H.Z. Bashirov, I.S. Gornostaev, VI.I. Kolchunov, I.A. Jakovenko // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK, 2013. – №6.
4. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii: SNiP 2.03.01-84*. – [Vvedeny v dejstvie s 1986-01-01]. – M.: CTIP Gosstroja SSSR, 1989. – 88 s.
5. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija: SP 63.13330.2012. – [Vvedeny v dejstvie s 2013-01-01]. – M.: Ministerstvo regional'nogo razvitija RF, 2012. – 156 s.

Hamit Bashirov

«Centrootransstroj», Moskow
Candidate of technical science
Ph.: +7 (495) 681-43-81

Ivan Gornostaev

State university – educational-science-production complex, Orel
Post-graduate student of department «Road construction»

Vladimir Kolchunov

National aviation university, Kiev, Ukraine
Doctor of technical sciences, professor of computer technology building department
Ph.: +38 (099)-555-35-14
E-mail: vikolchunov@mail.ru

Igor Yakovenko

National aviation university, Kiev, Ukraine
Candidate of technical sciences, senior lecturer of computer technology building department
Ph.: +38 (067) 440-19-39

Адрес учредителя журнала

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 14.03.2013 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 7,06.
Тираж 400 экз.
Заказ №179/13П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.