



УДК 624.072.14:691.328

**А. Л. БАЛУШКИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры строительства зданий и сооружений

### **ДЕФОРМАЦИЯ ВЗАИМНОГО СДВИГА КАК ИНДИКАТОР ЖИВУЧЕСТИ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»  
Россия, 150023, г. Ярославль, Московский пр., д. 88. Тел.: +79036381255;  
эл. почта: albalush@mail.ru

*Ключевые слова:* предварительно напряженный железобетонный элемент, деформация взаимного сдвига, составной стержень, жесткость сцепления, разгрузка.

---

*Объектом исследования являются сборные, изгибаемые преднапряженные железобетонные элементы, изготовленные по технологии натяжения арматуры на упоры. Для расчета взаимных сдвигов используется теория составных стержней, адаптированная для железобетонных элементов, имеющих предварительно напряженную арматуру. Расчетная модель позволяет учесть неупругую работу сцепления. Произведена оценка взаимных сдвигов на 3 характерных этапах жизненного цикла для железобетонной многослойной плиты, имеющей стержневую предварительно напряженную арматуру. Теоретически полученные данные сопоставлены с результатами проведенного натурного эксперимента.*

---

Живучесть предварительно напряженных железобетонных элементов (ПН ЖБЭ) должна обеспечиваться на всех стадиях жизненного цикла несмотря на возможные эксплуатационные повреждения. При наличии значимого уровня рисков проявления особых воздействий [1] конструкция ЖБЭ должна обладать адаптивными свойствами. Одним из элементов адаптивности ПН ЖБЭ следует рассматривать деформативность сцепления, характеризующуюся модулем деформации сцепления  $G_{con}$ . Данный параметр определяет жесткость связей взаимного сдвига между арматурным элементом и бетонной ветвью  $G_{bond}$  и нормируется по принятой зависимости «касательное напряжение – деформация взаимного сдвига»  $\tau_g - g_b$ .

Использование деформационной модели, рекомендованной нормами РФ [2], а также других стран [3, 4], для оценки параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) изгибаемых стержневых железобетонных элементов (ЖБЭ) на всех стадиях деформирования конструкции, предполагает осуществление расчетного контроля максимально возможных относительных деформаций бетона и арматуры. Процессы силового сопротивления обоих материалов взаимозависимы, поэтому в расчетах ЖБЭ по деформационной модели следует дополнительно ввести проверку деформаций взаимного сдвига  $g_{sp2}(x)$  по контакту бетона и арматуры  $A_{sp2}$  [5].



$$\begin{cases} |\varepsilon_{b,\max}(x_1)| < \varepsilon_{b,ult} \\ |\varepsilon_{s,\max}(x_2)| < \varepsilon_{s,ult} \\ |g_{s2,\max}(x_3)| < g_{s,ult} \end{cases} \quad (1)$$

Реализация каждого из условий системы (1) может иметь место в разных сечениях по длине элемента. Здесь  $x$  – текущая координата по длине элемента  $0 \leq x \leq L$ . У параметра  $g_{s2,\max}$  нижний индекс  $i = 2$  соответствует продольной арматуре  $A_{s2}$ , расположенной в растянутой при эксплуатации зоне сечения. Для участков изгибаемых элементов без трещин значения предельно допустимых сдвигов  $g_{s,ult}$  представлены в [6, 7], при этом методика расчетной оценки взаимных сдвигов отсутствует. Исследованию взаимных сдвигов между бетоном и арматурным элементом посвящены работы, которые в основном имели цель получить надежные оценки для ширины раскрытия трещин [8, 9]. Большинство таких работ касается железобетонных элементов, выполненных без предварительного напряжения арматуры.

Цель работы – осуществить верификацию расчетной модели составного стержня, адаптированную для расчетов стержневых ПН ЖБЭ с односторонней арматурой  $A_{sp2}$ , по значениям взаимных сдвигов  $g_{sp2}(x)$ .

Процедура вычисления сдвигающего усилия  $T_{sp}(x)$ , касательных напряжений в зоне непосредственного контакта бетона с арматурным элементом  $\tau_{sp}(x) = T'_{sp}(x) / \Sigma u_{sp}$ , а также деформации взаимного сдвига  $g_{sp}(x) = \tau_{sp}(x) G_{link}^{-1}$  для элементов, с преднапряженной арматурой  $A_{sp2}$ , расположенной только в нижней части сечения, и случай с армированием  $A_{sp1}$  и  $A_{sp2}$  в обеих зонах сечения представлен в [5].

$\Sigma u_{sp,2} = \pi d_{s2} n_{s2}$  – суммарный периметр боковой поверхности всех элементов  $n_{s2}$ , имеющих диаметр  $d_{s2}$ , составляющих арматуру  $A_{sp,2}$ .

$G_{link,2}$  – жесткость связей продольного сдвига между бетоном и арматурным элементом в ПН ЖБЭ.

Прогнозирование взаимных сдвигов  $g_{sp2}(x)$  арматурных элементов  $A_{sp2}$  следует проводить для 3 характерных этапов деформирования ПН ЖБЭ.

Наибольшее практическое значение имеют максимальные сдвиги, реализующиеся по концам элемента  $g_{sp2}(0)$  и  $g_{sp2}(L)$ .

**I Этап.** Взаимный сдвиг  $g_{sp2}^{(1)}(x)$  при передаче усилия предварительного обжатия  $P_0$  на бетон. Определяется  $T_{sp2,p}^{(1)}(x)$  – сдвигающее усилие в момент передачи предварительного обжатия  $P_0 = P_{01}$ . На этапе I поперечная нагрузка не

учитывается  $q = 0$ , поэтому взаимный сдвиг  $g_{sp2}(x)$  при упругой работе сцепления определяется как

$$g_{sp2}(x) = \tau_{sp2,P}(x)G_{link,2}^{-1} = T'_{sp2,P}(x)G_{link,2}^{-1}. \quad (2)$$

Процесс обжата бетона осуществляется, когда бетон приобрел необходимую передаточную прочность  $B(\tau) = R_{bp}$ ,  $R_{bp} \leq B_{des}$ ; здесь  $B_{des}$  – проектный класс бетона. Деформативные характеристики бетона:  $E_b, G_b$ , а также модуль деформации сцепления  $G_{con,2}$  следует определять по параметру  $R_{bp}$ . При расчете компоненты жесткости связей  $G_{link,2}$ , жесткости в зоне непосредственного контакта  $G_{bond,2}$  модуль деформации сцепления  $G_{con,2}$  должен определяться по диаграмме  $(\tau_g - g_b)^{in}$  при вдавливании арматуры в бетон. Полученные в расчетах на этапе (I) деформации  $g_{sp2}^{(1)}(0)$  превышают значение взаимных сдвигов при упругой работе сцепления  $g_{s,el} \leq 0.050$  мм [10].

В таком случае в контактной зоне проявляются неупругие деформации сдвига. Зоны неупругих деформаций, по данным расчетов, сосредоточены только у концов элемента и занимают участки по длине  $0 < x < 0.02L$  и  $0.098L < x < L$  [5]. Для описания работы сцепления принята диаграмма Прандтля (рис. 1). Связи сдвига стержневой арматуры приняты односторонние.

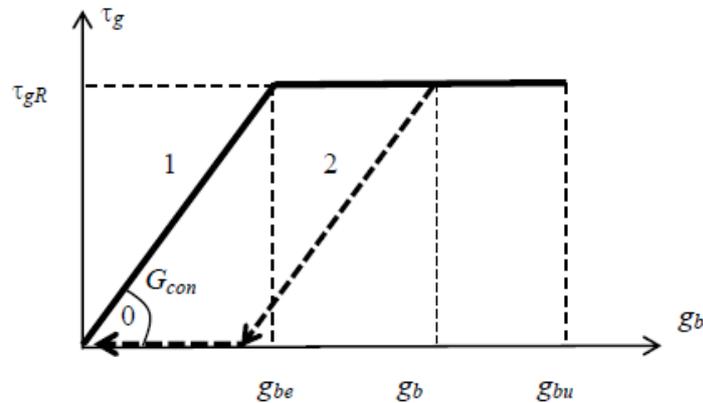


Рис. 1. Диаграмма сцепления  $\tau_g - g_b$ , принятая для расчетов взаимных сдвигов  $g_{sp2}$  предварительно напряженной арматуры  $A_{sp2}$ : 1 – ветвь нагрузки, 2 – ветвь разгрузки для односторонних контактных связей сцепления – связей сдвига

Значение сдвига на концах ПН ЖБЭ с учетом развития неупругих деформаций сцепления для I и III этапов расчета оценивалось по формуле

$$g_{sp2}^{(1)}(0) = g_{bR} + \Delta_{20}(x_{pl})x_{pl} - \gamma(-T_{sp20}x_{pl} + 0.5\tau_{bR}x_{pl}^2), \quad (3)$$

где  $T_{sp20} = -P_{01}$  – сдвигающее усилие на границе упругого и пластического участков;  $x_{pl} = (L - l_{el})/2$  – длина участка контактной зоны по концам

конструкции, в пределах которого появились неупругие деформации сцепления;  $l_{el}$  – длина участка, где связи сдвига работают упруго;  $\tau_{bR} = \tau_{gR} u_{sp2} = T'_{sp2R}$  – касательное напряжение, характеризующее переход связей сдвига к упругопластической стадии деформирования. При этом деформация сдвига  $g_{bR} = \tau_{bR} G_{link,2}^{-1}$ .

Параметр  $l_{el}$  определяется из решения трансцендентного уравнения

$$\tau_{bR} \left( \frac{1}{\lambda} \operatorname{cth} \left( \frac{\lambda l_{el}}{2} \right) + x_{pl} \right) = \left( \frac{\Delta_{20P}}{\gamma} - T_{sp20} \right) - \frac{q(m_0 - a_{p2})}{2B_e \gamma} \left\{ \left( \frac{L}{2} \right)^2 - \left( \frac{l_{el}}{2} \right)^2 + \frac{2}{\lambda^2} \left( \frac{\lambda l_{el}}{2} \operatorname{cth} \left( \frac{\lambda l_{el}}{2} \right) - 1 \right) \right\}. \quad (4)$$

$$\Delta_{20P} = P_{01(02)} \left( A_e^{-1} + (m_0 - a_{p2})^2 B_e^{-1} \right). \quad (5)$$

Параметры, входящие в (4) и (5), представлены в [5].

**II Этап.** В расчете на этапе (II) учитывается поперечная распределенная нагрузка от собственного веса элемента  $q = g_w$ , что вызывает дополнительное сдвигающее усилие  $T_{sp2,q}$ . Взаимный сдвиг для этапа II при упругой работе сцепления определяется как

$$g_{sp2}^{(2)}(x) = \tau_{sp2}(x) G_{link,2}^{-1} = \left( T'_{sp2,P}(x) + T'_{sp2,q}(x) \right) G_{link,2}^{-1}. \quad (6)$$

Второй этап деформирования сопровождается процессом повышения прочности бетона  $R_{bp} < B(\tau) < B_{des}$ . Основные деформационные характеристики бетона:  $E_b(\tau)$ ,  $G_b(\tau)$  и модуль сцепления  $G_{con2}(\tau)$  для второго этапа имеют переменные по времени  $\tau$  значения. Распалубка активизирует развитие деформаций усадки  $\varepsilon_{b,shr}(\tau)$ , действие усилия предварительного обжатия с интенсивностью:  $P_0 = P_{01}$  вызывает деформации ползучести  $\varepsilon_{b,cr}(\tau)$  бетона. Оба указанных фактора вызывают вторые потери предварительного напряжения  $\sigma_{loss2}$ , приводящие к снижению усилия предварительного обжатия  $P_{01} > P_o(\tau) \geq P_{02}$ . Поэтому, на этапе 2 сдвигающее усилие  $T_{sp2,P}$  и касательное напряжение в шве  $T'_{sp2,P}$  уменьшаются – имеет место разгрузка системы. Закон разгрузки принимается в зависимости от характера взаимодействия в контактной зоне, где могут иметь место односторонние или двусторонние связи сдвига. С учетом отмеченных выше факторов разгрузка сцепления на этапе II происходит по нелинейной траектории. Наибольшие деформации сдвига, проявляющиеся на пластических участках работы сцепления, если  $0 \leq x \leq x_{pl}$  и  $L - x_{pl} \leq x \leq L$  на этапе II определяются как



$$g_{sp2}^{(2)}(x, \tau) = g_{sp2}^{(1)}(x) - \frac{T_{sp2}'^{(1e)}(x) - T_{sp2}'^{(2e)}(x)}{G_{link,2}^{(1-2)}(\tau)}, \quad (7)$$

где  $T_{sp2}'^{(1e)}(x), T_{sp2}'^{(2e)}(x)$  – касательные напряжения, рассчитанные при упругой работе сцепления при действии  $P_{01}$  и  $P_{02}$  и  $q = g_w$ ;

$G_{link,2}^{(1-2)}(\tau)$  – жесткость связей сдвига, рассчитанная с учетом изменения  $E_b(\tau), (\nu_{b,p}(\tau))$  – коэффициент Пуассона),  $G_{con,2}(\tau)$ .

Для этапа II вычислялось абсолютное значение деформации сдвига  $g_{sp2}^{(2)}(0)$  и приращение деформаций сдвига  $\Delta g_{sp2}^{(1-2)}(0)$ . Для этапа (II) приращение сдвига  $\Delta g_{sp2}^{(1-2)}(0)$  имеет наибольшее практическое значение, поскольку используется для оценки сдвига на III этапе при действии полезной нагрузки. Приращение взаимного сдвига  $\Delta g_{sp2}^{(1-2)}(0)$  определяется как

$$\Delta g_{sp2}^{(1-2)}(0) = g_{sp2}^{(1)}(0) - g_{sp2}^{(2)}(0) = \frac{T_{sp2}'^{(1e)}(0) - T_{sp2}'^{(2e)}(0)}{G_{link,2}^{(1-2)}}. \quad (8)$$

Значение жесткости  $G_{link,2}^{(1-2)}$  вычислялось по средним значениям соответствующих деформативных характеристик для этапа II.

**III Этап.** Определение сдвига для этапа III  $g_{sp2}^{(3)}(0)$  производится при усилии обжатия  $P_0 = P_{02}$ . Деформативные характеристики бетона  $E_b, G_b$  и сцепления  $G_{con2}$  нормируются по проектной прочности бетона  $B = B_{des}$ . Модуль деформации сцепления  $G_{con}(\tau)$  определяется на основании данных диаграммы  $(\tau_g - g_b)^{out}$ ; сцепление работает не упруго. Внешняя поперечная распределенная нагрузка  $q = g_w + p$  – собственный вес конструкции и заданная полезная нагрузка.

Деформация сдвига на этапе III  $g_{sp2}^{(3)}(0)$  определяется по формулам (3)–(4). Расчетное значение приращения взаимного сдвига для этапа (III) при действии полезной нагрузки в стадии эксплуатации можно оценить по формуле

$$\Delta g_{sp2}^{(theor)}(0) = g_{sp2}^{(3)}(0) - (g_{sp2}^{(1)}(0) - \Delta g_{sp2}^{(1-2)}(0)), \quad (9)$$

где  $\Delta g_{sp2}^{(theor)}(0)$  – расчетное значение приращения деформации сдвига арматуры  $A_{sp2}$  при действии приращения внешней нагрузки:  $\Delta q = p$ .

Измеряемый при проведении испытаний сдвиг (втягивание) ПН арматуры  $g_{sp2}^{exp}(0)$  представляет собой приращение взаимного сдвига, вызываемое действием только внешней полезной нагрузки  $\Delta q = p$ .

$$\Delta g_{sp2}^{exp}(0) = g_{sp2}^{(3)}(0) - g_{sp2}^{(2)}(0). \quad (10)$$

Схема расчета взаимных сдвигов представлена на рис. 2.

Для верификации расчетной модели определения взаимных сдвигов были проведены численные исследования, результаты которых были представлены в [5]. Выводы, основанные на проведенных численных расчетах, были подвергнуты экспериментальной проверке в процессе осуществленных натурных испытаний, выполненных с многпустотной плитой ПК63.15-8 [11]. В нижней части сечения плиты установлена стержневая предварительно напрягаемая арматура  $A_{sp2}$  (4Ø14 А800). Совместно с плитой были изготовлены стандартные образцы – кубы и призмы. До испытания плиты по стандартным методикам были определены основные физико-механические характеристики бетона. Испытание плиты (рис. 3, 4) выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 8829-2018 [7].

При прогнозировании сдвигов  $g_{sp2}(x)$  основное влияние имеют модуль сдвига бетона  $G_b$  и модуль деформации сцепления  $G_{con,2}$ .

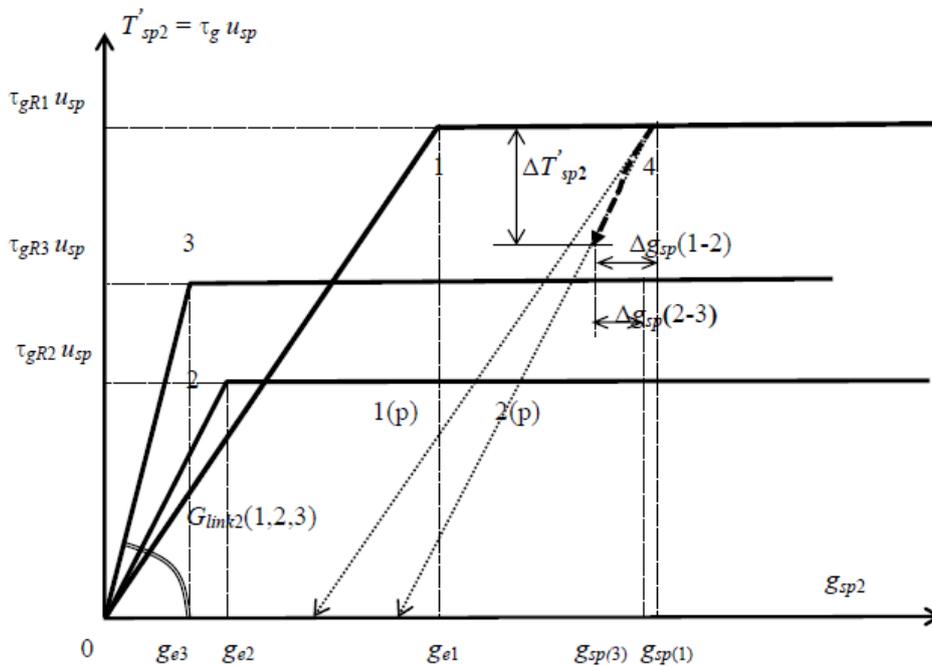


Рис. 2. Схема к расчету взаимных сдвигов с учетом изменения деформативных параметров сцепления в процессе изготовления ЖБЭ: 1, 2, 3 – внешний вид зависимостей  $T'_{sp2} - g_{sp2}$ , построенных для разных этапов работы железобетонного элемента; 1(p), 2(p) – траектории разгрузки, принятые с учетом односторонних связей сдвига; 4 – зависимость  $T'_{sp2} - g_{sp2}$  на ветви разгрузки вследствие проявления вторых потерь и продолжения процесса твердения бетона;  $g_{e,i} = (\tau_{gR,i} u_{sp}) G_{link2,i}^{-1}$ ,  $i = 1, 2, 3$  – максимальные деформации взаимного сдвига при упругой работе связей сдвига;  $G_{link2,i}(1, 2, 3)$  – жесткости связей сдвига соответственно на 1, 2 и 3 этапах;  $\Delta g_{sp}(2-3)$  – расчетное значение приращения деформаций сдвига, которое контролируется экспериментально.

Результаты расчета взаимных сдвигов для  $A_{sp2}$  представлены в таблице. Расчет  $g_{sp2}^{(1)}(0)$  – выполнен с учетом данных диаграммы  $(\tau_g - g_b)^{in}$ . Для расчета



$g_{sp2}^{(2)}(0)$  и  $g_{sp2}^{(3)}(0)$  приняты параметры диаграммы  $(\tau_g - g_b)^{out}$  [10]. Для расчета  $g_{sp2}^{(3)}(0)$  параметры закона сцепления экстраполировались для прочности бетона  $R = 40$  МПа.

**Параметры расчетной модели для оценки  $g_{sp2}(0)$  для разных этапов деформирования железобетонной плиты**

Расчетные параметры модели	Этапы деформирования ПН железобетонной плиты		
	I	II	III
	Передача усилия предварительного обжатия	Проявление вторых потерь (разгрузка сцепления)	Приложение полезной внешней нагрузки
1. Класс бетона В, МПа	B27.5	B27.5-B40*	B40
2. Начальный модуль упругости бетона $E_b \cdot 10^{-4}$ , МПа	2.750	2.750 – 3.0454*	3.0454
3. Коэффициент Пуассона $\nu_{b,p}$	0.2	0.2 – 0.154*	0.154
4. Модуль сдвига бетона $G_b \cdot 10^{-4}$ , МПа	1.1458	1.1458 – 1.3195*	1.3195
5. Касательное напряжение, соответствующее наступлению неупругой стадии работы сцепления $\tau_{gR}$ , МПа	23.52**	23.52–10.15–15.31	15.31
6. Модуль деформации сцепления $G_{con2}$ , $N/mm^3$	419.240**	419.24–544.41– –1642.89	1642.89
7. Интенсивность внешней поперечной распределенной нагрузки $q = g + p$ , $N/mm$	0	4.455	4.455+12.459 = =16.914
8. Расчетное значение сдвига $g_{sp2}(0)$ , мм	0.2653		0.2587
9. Приращение сдвига (расчет) $\Delta g_{sp2}^{theor}(0)$ , мм	(0)–(1) 0.2653	(1)–(2) 0.0241–0.0192	(2)–(3) <b>0.0175</b>
10. Экспериментальное значение приращение сдвига $\Delta g_{sp2}^{exp}(0)$ , мм			(2)–(3) <b>0.0160</b>

Примечания:

\* для этапа (II) – проявления вторых потерь с учетом процесса набора прочности бетона в расчете были приняты средние значения параметров из указанного диапазона;

\*\* параметр принят по зависимости  $(\tau_g - g_b)^{in}$ .



Рис. 3. Плита ПК63.15-8 во время испытания



Рис. 4. Установка индикатора (цена деления 0.001 мм) для измерения взаимного сдвига продольной стержневой предварительно напряженной арматуры

Для достоверной оценки деформаций сдвига требуются данные диаграмм  $(\tau_s - g_s)^{in(out)}$  – при внедрении и при извлечении арматуры из бетона, также следует учитывать возможность неупругой работы контактной зоны между бетоном и арматурным элементом и режимность нагружения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2017 г. № 1105/пр : дата введения 4 февраля 2018 г. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 28 с. – Текст : непосредственный.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003 : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. № 832/пр : дата введения 20 июня 2019 г. – Москва : Минстрой России, 2019. – 150 с. – Текст : непосредственный.
3. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 191 с. – Текст : непосредственный.
4. BS 8110-1:1997. Structural use of concrete – Part 1: Code of practice for design and construction. – URL: <https://regbar.com/wp-content/uploads/2019/09/BS-8110-1-1997.pdf>.
5. Balushkin, A. L. The role of mutual shear deformations in ensuring the safety of prestressed reinforced concrete elements / A. L. Balushkin // AlfaBuild. – 22 Article. – № 2200. – doi: 10.57728/ALF.22.0.



6. Руководящие технологические материалы по заводскому производству сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций : РТМ 75-95 / Г. И. Бердичевский [и др.]. – Москва : НИИЖБ, 1995. – 287 с. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости : издание официальное : дата введения 2019-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 21 с. – Текст : непосредственный.

8. Deformabilità a breve termine, nell'esercizio di travi inflesse in conglomerato armato / A. P. Fantilli, D. Ferretti, I. Iori, P. Vallini / Studi e Ricerche Politecnico di Milano. – Milan, 1997. – Vol.18. – P. 213–241.

9. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – Москва : АСВ, 2004. – 472 с. – ISBN 5-93093-279-4. – Текст : непосредственный.

10. Холмянский, М. М. Контакт арматуры с бетоном / М. М. Холмянский. – Москва : Стройиздат, 1981. – 184 с. : ил. – Текст : непосредственный.

11. ГОСТ 9561-2016. Плиты перекрытий железобетонные многопустотные для зданий и сооружений. Технические условия : издание официальное : дата введения 2017-06-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 23 с. – Текст : непосредственный.

**BALUSHKIN Alexandr Leonidovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction of Buildings and Structures**

### MUTUAL SHEAR DEFORMATION AS AN INDICATOR OF THE SURVIVABILITY OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Yaroslavl State Technical University

88, Moskovsky Ave, Yaroslavl, 150023, Russia. Tel.: +7 9036381255;

e-mail: albalush@mail.ru

*Key words:* prestressed reinforced concrete element, mutual shear deformation, built-up bar, bond stiffness, unloading.

---

*The object of the study is prefabricated, bendable, prestressed reinforced concrete elements. To calculate mutual shears, the theory of built-up bars is used, adapted for reinforced concrete elements with prestressed reinforcement. The calculation model allows taking into account the inelastic work of the bond. An assessment was made of mutual displacements at 3 characteristic stages of the life cycle for a reinforced concrete hollow-core slab with prestressed rod reinforcement. The theoretically obtained data are compared with the results of a full-scale experiment.*

---

### REFERENCES

1. SP 296.1325800.2017. Zdaniya i sooruzheniya. Osobyje vozdeystviya [Buildings and constructions. Special Impacts]. svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhden i vveden v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khozyaystva RF ot 3 avgusta 2017 g. № 1105/pr : data vved. : 2018-02-04. – Moscow : Standartinform, 2017. – 28 p.

2. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya SNIp 52-01-2003 [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions of SNIp 52-01-2003]. svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhden i vveden v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommun. khozyaystva RF ot 19 dekabrya 2018 g. № 832/pr : data vved. : 2019-06-20. – Moscow : Minstroy Rossii, 2019. – 150 p.



3. Evrokod 2. Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy. Ch.1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy [Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings]. – Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus, 2010. – 191 p.
4. BS 8110-1:1997. Structural use of concrete — Part 1: Code of practice for design and construction. – URL: <https://regbar.com/wp-content/uploads/2019/09/BS-8110-1-1997.pdf>.
5. Balushkin, A. L. The role of mutual shear deformations in ensuring the safety of prestressed reinforced concrete elements / A. L. Balushkin // AlfaBuild 22 Article No 2200. doi: 10.57728/ALF.22.0.
6. Rukovodyashchie tekhnologicheskie materialy po zavodskomu proizvodstvu sbornykh predva-ritelno napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy [Guiding technological materials for the factory production of prefabricated pre-stressed reinforced concrete structures] (RTM75-95)/ G.I. Berdichevskiy et al. – Moscow : NIIZhB, 1995. – 287 p.
7. GOST 8829-2018. Izdeliya stroitelnye zhelezobetonnye i betonnye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniy nagruzheniem. Pravila otsenki prochnosti, zhestkosti i treshchinostoykosti [Prefabricated reinforced concrete and concrete building products. Load test methods. Rules for assessing strength, stiffness and crack resistance] Izdanie oficialnoe data vved. : 2019-09-01. – Moscow : Standartinform, 2019. – 21 p.
8. Fantilli A. P., Ferretti D., Iori I., Vallini P. Deformabilita, a breve termine, nell'esercizio di travi inflesse in conglomerate armato / Studi e Ricerche Politecnico di Milano. Vol.18 – Milan, 1997. – P. 213–241.
9. Bondarenko V. M., Kolchunov V. I. Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona [Calculation models of force resistance of reinforced concrete]. – Moscow: ASV, 2004. – 472 p.
10. Kholmyanskiy M. M. Kontakt armatury s betonom [Contact of reinforcement with concrete]. – Moscow: Stroyizdat, 1981. – 184 p. : il.
11. GOST 9561-2016. Plity perekrytiy zhelezobetonnye mnogopustotnye dlya zdaniy i sooruzheniy. Texnicheskie usloviya [Reinforced concrete hollow-core floor slabs for buildings and structures. Technical specifications] : izdanie ofitsialnoe: data vved. 2017-06-01. Moscow: Standartinform, 2016. – 23 p.

© **Балушкин А. Л., 2024**

Получено: 01.07.2024 г.