

Секция II  
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

УДК 691.328

**ОБЗОР ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЦЕПЛЕНИЯ  
СЕМИПРОВОЛОЧНЫХ АРМАТУРНЫХ КАНАТОВ  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫМ БЕТОНОМ**

**В.С. Пархоц**

Силезский технологический университет, Гливице, Республика Польша  
e-mail: vadzim.parkhats@polsl.pl

*Целью данной работы является обзор законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с преднапряженным бетоном, опубликованных различными учеными. Данный вопрос значительно менее изучен, чем связь между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием относительно бетона традиционной арматуры, и является особенно актуальным в моделировании предварительно натягиваемых бетонных конструкций.*

**Ключевые слова:** *зависимость касательных напряжений сцепления от проскальзывания, предварительно напряженный бетон, арматурный канат.*

**REVIEW OF BOND STRESS-SLIP RELATIONSHIPS  
FOR SEVENWIRE STRANDS IN PRESTRESSED CONCRETE**

**V. Parkhats**

Silesian University of Technology, Gliwice, Republic of Poland  
e-mail: vadzim.parkhats@polsl.pl

*The aim of this paper is to summarize bond stress-slip relationships for sevenwire strands in prestressed concrete published by different researchers. These relationships are considerably less studied than a bond stress-slip relationship for reinforcing steel and are particularly important in the modelling of pretensioned concrete structures.*

**Keywords:** *bond stress-slip relationship, prestressed concrete, strand.*

**Введение.** Значительное количество исследований проведено с целью описания связи между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры относительно бетона [1-4]. Результаты данных исследований систематизированы [5] и приведены в некоторых нормах по проектированию железобетонных конструкций. Работа Элигехаузена и др. [6] является основой закона распределения касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном, приведенного в Model Code 1990 [7]

и доработанного в Model Code 2010 [8]. Также связь между касательными напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры описывается в китайской норме GB 50010-2010 [9] на базе испытаний Ксу [10]. Значительно меньше исследований было посвящено распределению касательных напряжений сцепления арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном. В нормах проектирования железобетонных и предварительно напряженных конструкций нет общепринятых зависимостей по данному вопросу. В данной работе приведены эмпирические и аналитические законы распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном различных ученых. Проводится оценка применимости выведенных законов в моделировании предварительно напряженных конструкций посредством анализа в программном комплексе ATENA 3D [11] предварительно натягиваемой бетонной балки в момент отпуска напрягаемой арматуры.

**Обзор исследований.** В данном разделе описываются исследования закона распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном. Выведенные формулы собраны в таблице 1. Полученные зависимости графически показаны на рисунке 1.

Балазс [12] вывел закон распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном на основе серии исследований, проведенных в Будапештском технологическом университете [13-15]. Испытания проводились используя арматурные канаты Felten & Guillaume ST 1600/1800-F 100 с площадью поперечного сечения  $100 \text{ мм}^2$ , модуль упругости – 193700 МПа. Номинальный диаметр каната составлял 12,8 мм, при этом центральная проволока имела диаметр 4,35 мм, а наружная проволока – 4,22 мм. Прочность бетона в момент отпуска арматуры составляла 40 МПа. Во время испытаний была обеспечена плавная передача напряжения с арматуры на бетон. Полученные касательные напряжения сцепления Балазс [12] сравнивал с величинами, полученными в исследованиях Джокела и Тепферса [16], Эдвардса и Пикарда [17], и делал вывод, что его результаты им не противоречат. При оценке касательных напряжений сцепления Балазсом [12] было предложено выделять верхнюю и нижнюю границы напряжений, используя в расчетах коэффициенты  $\psi_{0.95} = 1,35$  и  $\psi_{0.05} = 0,65$ .

Ох и др. [18] получили закон распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с бетоном на основе эмпирических исследований. Для испытаний они изготовили 24 балки, которые различались между собой номинальным диаметром использованных арматурных канатов (12,7 мм и 15,2 мм) и величиной нижнего защитного слоя бетона для арматуры (30 мм, 40 мм, 50 мм). Прочность бетона в момент отпуска арматуры составляла 32,71-35,50 МПа. Выведенная ими формула не учитывает изменение прочности бетона в момент отпуска арматуры, в связи с чем ее применимость в моделировании преднапряженных конструкций ограничена.

Лим и др. [19] использовали в своих испытаниях арматурные канаты диаметром 15,2 мм. Следует отметить, что представленная учеными эмпирическая формула по всей видимости содержит опечатку, поскольку полученные при ее использовании величины крайне противоречивы, а также не соответствуют графику, показанному авторами в своей статье.

Орр и др. [20] проводили исследования сил сцепления между бетоном и арматурой используя как преднапряженные канаты, так и канаты без предварительного напряжения. Методика испытаний была взята из работы Переры и др. [21] и базировалась на нормах BS 4449 [22] и ASTM A944 [23]. Испытания проводились с применением семипроволочных канатов Bridon диаметром 15,2 мм с площадью поперечного сечения 139 мм<sup>2</sup>. Средняя прочность бетона в момент испытаний составляла 54,2 МПа. При обработке зависимости между напряжениями сцепления и проскальзыванием арматуры относительно бетона за основу были взяты формулы из Model Code 2010 для гладкой арматуры (см. табл. 6.1-2 и формулы 6.1-1, 6.1-2, 6.1-3, 6.1-4 [8]), поскольку они наиболее точно описывали результаты эксперимента.

В отличие от описанных выше исследований, Кхалаф и Хуанг [24] вывели взаимосвязь касательных напряжений сцепления со смещением арматурных канатов относительно бетона аналитически. Полученный закон базируется на формулах из Model Code 2010 для рифленой арматуры (см. п. 6.1.1.1 [8]). Аналитическая модель разработана как для семипроволочных, так и для трехпроволочных арматурных канатов. Ее отличительной чертой является учет влияния повышенных температур. Достоверность полученной аналитической модели была проверена посредством сравнения ее результатов с многочисленными эмпирическими исследованиями [25-33].

Таблица 1. – Законы распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном

Исследование	Полученная зависимость	Параметры
Балазс [12]	$\tau = \psi c (f_{ci}')^{0,5} (s / d_b)^b$	$c = 2,055 \text{ МПа}^{0,5}; b = 0,25;$ коэффициент $\psi$ : $\psi_{0,95} = 1,35; \psi_m = 1,0; \psi_{0,05} = 0,65$
Лим и др. [19]		$c = 10,7 \text{ МПа}^{0,5}; b = 0,27; \psi = 1,0$
Ох и др. [18]	$\tau = C (s / d_b)^b$	для $d_b = 12,7 \text{ мм}$ : $C = 13,787 \text{ МПа}; b = 0,3301$
		для $d_b = 15,2 \text{ мм}$ : $C = 9,331 \text{ МПа}; b = 0,2688$
Орр и др. [20]	$\tau = \tau_{\max} (s / s_1)^\alpha$ для $0 \leq s \leq s_1$ ; $\tau = \tau_{\max}$ для $s_1 \leq s \leq s_2$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_f) (s - s_2) / (s_3 - s_2)$ для $s_2 \leq s \leq s_3$ ; $\tau = \tau_f$ для $s > s_3$	преднапряженный канат: $\tau_{\max} = \tau_f = \delta_1 \delta_2 0,70 (f_{cm})^{0,5};$ $\alpha = 0,5;$ $s_1 = s_2 = s_3 = 0,1 \text{ мм}$
		канат без предварительного напряжения: $\tau_{\max} = \tau_f = \delta_1 \delta_2 0,70 (f_{cm})^{0,5};$ $\alpha = 0,5;$ $s_1 = s_2 = s_3 = 2 \text{ мм}$
		канат с рифлениями: $\tau_{\max} = T_b / A_b = T_b / \pi d_b L_b;$ $\tau_f = 0,35 \tau_{\max};$ $s_1 = 1,0 \text{ мм}; s_2 = 3,5 \text{ мм}; s_3 = 6,0 \text{ мм}$
Кхалаф и Хуанг [24]	$\tau = \tau_{\max} (s / s_1)^\alpha$ для $0 \leq s \leq s_1$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_1) (s - s_1) / (s_2 - s_1)$ для $s_1 \leq s \leq s_2$ ; $\tau = \tau_1 + (\tau_{\max} - \tau_1) (s - s_2) / (s_3 - s_2)$ для $s_2 \leq s \leq s_3$ ; $\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_f) (s - s_3) / (s_4 - s_3)$ для $s_3 \leq s \leq s_4$ ; $\tau = \tau_f$ для $s > s_4$	гладкий канат: $\tau_{\max} = T_b / A_b = T_b / \pi d_b L_b;$ $\tau_1 = 0,75 \tau_{\max}; \tau_f = 0,35 \tau_{\max};$ $s_1 = 0,25 \text{ мм}; s_2 = 0,5 \text{ мм}; s_3 = 3,5 \text{ мм};$ $s_4 = 8,0 \text{ мм}$

Обозначения:

$\tau$  – касательное напряжение сцепления (МПа);

$s$  – проскальзывание арматуры относительно бетона (мм);

$d_b$  – диаметр арматурного каната (мм);

$f_{ci}'$  – прочность бетона в момент отпуска арматуры (МПа);

$f_{cm}$  – среднее значение цилиндрической прочности бетона на сжатие (МПа);

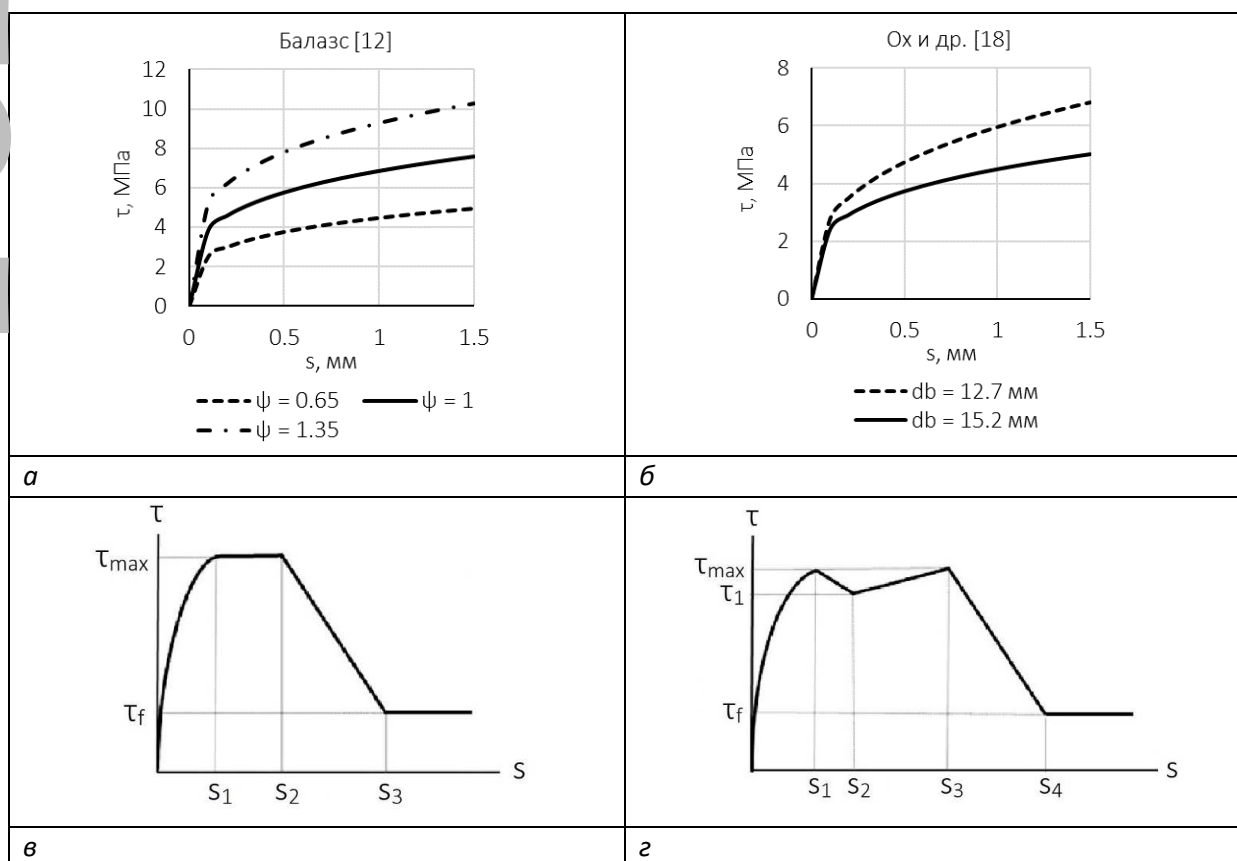
$\delta_1$  – коэффициент, зависящий от величины защитного слоя бетона для преднапряженной арматуры (см. [20]);

$\delta_2$  – коэффициент, учитывающий ограничение поперечным армированием или защитным слоем бетона (см. [20]);

$T_b$  – максимальная сила сцепления (Н) (процедура расчета описана в [24]);

$A_b$  – площадь контакта арматурного каната с бетоном (мм<sup>2</sup>);

$L_b$  – длина замоноличенной в бетоне части арматурного каната (мм).



**а** – зависимость Балазса [12] для верхней ( $\psi_{0.95} = 1,35$ ), нижней границы ( $\psi_{0.05} = 0,65$ ) и средней величины ( $\psi_m = 1,0$ ) напряжений сцепления;

**б** – зависимость Оха и др. [18] для канатов диаметром  $d_b = 12,7$  мм и  $d_b = 15,2$  мм;

**в** – зависимость из Model Code 2010 [8] для традиционной арматуры (с измененными параметрами используется в исследованиях Орра и др. [20], Кхалафа и Хуанга [24]);

**г** – зависимость Кхалафа и Хуанга [24] для гладких семипроволочных арматурных канатов

Рисунок 1. – Законы сцепления между семипроволочными арматурными канатами и преднапряженным бетоном

**Использование законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с предварительно напряженным бетоном в моделировании конструкций.** В Силезском технологическом университете в сотрудничестве фирмой Consolis Polska были проведены исследования [34, 35], дающие возможность оценить применимость законов распределения касательных напряжений сцепления семипроволочных арматурных канатов с бетоном из предыдущего раздела в моделировании предварительно натягиваемых бетонных конструкций.

Опорная зона преднапряженной балки сканировалась в момент отпуска нагружаемой арматуры бесконтактной измерительной системой ARAMIS [36], работающей по принципу корреляции цифровых изображений (DIC) [37]. Целью данного эксперимента было определение распределения деформаций в опорной части элемента. Следует заметить, что использование бесконтактных измерительных систем в отношении преднапряженных конструкций по-прежнему остается ограниченным [38-41], большая часть подобных исследований проводится с использованием съемных механических тензометров [42-44].

К сожалению, в связи с обширной областью сканирования и недостаточно высоким оптическим разрешением системы ARAMIS, читаемые результаты удалось получить только для продольных деформаций, в то время как графики поперечных деформаций характеризовались значительными колебаниями. Помимо эмпирических испытаний, в программном комплексе ATENA 3D была создана модель преднапряженной балки. По умолчанию в программе можно выбрать только между двумя законами распределения касательных напряжений сцепления арматуры с бетоном [45, 46]: представленным в Model Code 1990 [7] и выведенным в работе Бигай [47]. Оба закона касаются традиционной арматуры, а не арматурных канатов, в связи с чем было принято решение использовать законы из предыдущего раздела данной статьи. Было проведено сравнение продольных деформаций в выбранных точках на боковой поверхности балки в момент отпуска нагружаемой арматуры, полученных с помощью измерений системой ARAMIS и в моделях элемента в программе ATENA 3D. Распределения продольных деформаций в моделях балки, в которых были применены законы Балазса [12], Оха и др. [18], а также Орра и др. [20] для преднапряженных канатов, были близки к полученным с помощью системы ARAMIS. Невысокая согласованность с результатами системы ARAMIS была получена при использовании законов Орра и др. [20] для канатов без предварительного напряжения и Кхалафа и Хуанга [24]. Помимо этого, попытка использования закона из Model Code 2010 [8] для традиционной арматуры также привела к несогласованности с результатами измерений системы ARAMIS, что, в данном случае, было ожидаемо.

Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что полученные эмпирические закономерности [12], [18], [20] могут успешно применяться в моделировании преднапряженных конструкций. Тем не менее, для точной оценки области их применения следует провести большее количество испытаний на различных предварительно натягиваемых бетонных элементах.

**Заключение.** В данной статье произведен обзор законов сцепления между семи-проволочными арматурными канатами и преднапряженным бетоном [12, 18-20, 24]. На основе исследований [34, 35] делается вывод, что использование в моделировании предварительно натягиваемых элементов законов Орра и др. [20] для преднапряженных канатов, Балазса [12] и Оха и др. [18] приводит к результатам близким к полученным в эмпирических испытаниях.

**Благодарность.** Статья была создана в рамках реализации проекта ВКМ-587/RB6/2019 на кафедре строительной инженерии RB-6 Силезского технологического университета.

Научные руководители – prof. dr hab. inż. **J. Kubica**, dr inż. **R. Krzywoń**, кафедра строительной инженерии RB-6, Силезский технологический университет, Гливице, Польша.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Haskett, M. Local and global bond characteristics of steel reinforcing bars / M. Haskett, D. J. Oehlers, M. S. Mohamed Ali // Eng. Struct. – 2008. – Vol. 30, iss. 2. – P. 376-383.
2. Maree, A. F. Analytical and experimental investigation for bond behaviour of newly developed polystyrene foam particles' lightweight concrete / A. F. Maree, K. H. Riad // Eng. Struct. – 2014. – Vol. 58. – P. 1-11.
3. Tang, C.-W. Local bond stress-slip behavior of reinforcing bars embedded in lightweight aggregate concrete / C.-W. Tang // Computers and Concrete. – 2015. - Vol. 16, iss. 3. – P. 449-466.
4. Metelli, G. Influence of the relative rib area on bond behaviour / G. Metelli, G. Plizzari // Mag. Concr. Res. – 2014. – Vol. 66, iss. 2. – P. 77-94.
5. fib Bulletin No. 10 – Bond of reinforcement in concrete. – Lausanne : fib, 2000. – 434 p.
6. Eligehausen, R. Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations / R. Eligehausen, E. P. Popov, V. V. Bertero // 7th European Conference on Earthquake Engineering. – Athens, 1982. – P. 69–80.
7. CEB-FIP Model Code 1990. – London : Thomas Telford Ltd., 1993. – 460 p.
8. fib Model Code for Concrete Structures 2010. – Berlin : Ernst & Sohn, 2013. – 432 p.
9. Code for Design of Concrete Structures: GB 50010-2010 (In Chinese). – Beijing : China Architecture & Building Press, 2015.
10. Xu, Y. L. Experimental study of anchorage properties for deformed bars in concrete : PhD thesis (In Chinese) / Y. L. Xu. – Beijing : Tsinghua University, 1990.
11. Cervenka, V. ATENA Program Documentation – Part 2-2 – User's Manual for ATENA 3D / V. Cervenka, J. Cervenka. – Prague, 2017. – 140 p.
12. Balazs, G. Transfer Control of Prestressing Strands / G. Balazs // PCI Journal. – 1992. - Vol. 37. – P. 60-71.
13. Tassi, G. Reliability of the Stress State due to Prestressing in Factory Made Elements / G. Tassi, L. Erdelyi, I. Bodi // Inzenyrske Stavby. – 1958. – Iss. 8.
14. Tassi, G. Bond Properties of Prestressing Strands / G. Tassi, L. G. Balazs, I. Bodi // Proceedings of the FIP Symposium. – Jerusalem, 1988. – P. 121-128.
15. Windisch, A. Characterization of the Bond Properties of Steel Bars – Research Report No. 232.019/1981 (in Hungarian) / A. Windisch, L. G. Balazs. – Budapest : Budapest University of Technology, 1983.

16. Jokela, J. Bond of Bundled Prestressing Strands – Nordic Concrete Research / J. Jokela, R. Tøppers. – Oslo, 1982. – 19 p.
17. Edwards, A. D. Bonding Properties of 1/2 in. Diameter Strands / A. D. Edwards, A. Picard // ACI Journal. – 1972. – Vol. 69, iss. 11. – P. 684-689.
18. Oh, B.-H. Derivation of Development Length in Pretensioned Prestressed Concrete Members / B.-H. Oh, E.-S. Kim, Y.-C. Choi // J. of Korea Conc. Ins. – 2000. – Vol. 12, iss. 6. – P. 3-11.
19. Lim, S. N. Bond Characteristics and Transfer Length of Prestressing Strand in Pretensioned Concrete Structures / S. N. Lim, Y. C. Choi, B. H. Oh, J. S. Kim, S. Shin, M. K. Lee // FraMCoS-8. – Toledo, 2013. – P. 1-8.
20. Orr, J. J. Anchorage and Residual Bond Characteristics of 7-wire Strand / J. J. Orr, A. Darby, T. Ibell, N. Thoday, P. Valerio // Engineering Structures. – 2017. – Vol. 138. – P. 1-16.
21. Perera, K. Bond characteristics of near surface mounted CFRP bars / K. Perera, T. Ibell, A. Darby // Construct Build Mater. – 2013. – Vol. 43. – P. 58-68.
22. BS 4449:2005+A3:2016. Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification. – London : BSI, 2016.
23. ASTM A944-10. Standard test method for comparing bond strength of steel reinforcing bars to concrete using beam-end specimens. – West Conshohocken, PA : ASTM International, 2015.
24. Khalaf, J. Analysis of the Bond Behaviour between Prestressed Strands and Concrete in Fire / J. Khalaf, Z. Huang // Construct Build Mater. – 2016. – Vol. 128. – P. 12-23.
25. Abrishami, H. H. Bond characteristic of pretensioned strand / H. H. Abrishami, D. Mitchell // ACI Mater. J. – 1993. – Vol. 90, iss. 3. – P. 228-235.
26. Vazquez-Herrero, C. Evaluation of strand bond properties along the transfer length of prestressed lightweight concrete members / C. Vazquez-Herrero, I. Martinez-Lage, G. Aguilar // Eng. Struct. – 2013. – Vol. 49. – P. 1048-1058.
27. Lundgren, K. Steel-Encased Pull-Through Tests of Seven-Wire Strands – Report No. 02:13 / K. Lundgren. – Gothenburg : Chalmers University of Technology, 2002.
28. Gustavson, R. Experimental studies of the bond response of three-wire strands and some influencing parameters / R. Gustavson // Mater. Struct. – 2004. – Vol. 37. – P. 96-106.
29. Moore, W. L. Performance of Fire-Damaged Prestressed Concrete Bridges : Master thesis / W. L. Moore. – Missouri : Missouri University of Science and Technology, 2008.
30. Cowen, H. S. End Support on Ultimate Flexural Bond in Pretensioned Beams. Bond in Prestressed Concrete – Progress Report No. 3 / H. S. Cowen, A. D. VanHorn. – Bethlehem : Lehigh University, 1967.
31. Tadros, M. K. Impact of Large 0.7 in. Strand on NU-I Girders – Final Reports Technical Briefs from Mid-America Transportation Centre / M. K. Tadros, G. Morcou. – 2011. – 48 p.
32. Bailey, C. G. Fire tests on bonded post-tensioned concrete slabs / C. G. Bailey, E. Ellobody // Eng. Struct. – 2009. – Vol. 31. – P. 686-696.
33. Zheng, W. Experiment and analysis on the mechanical behaviour of PC simply-supported slabs subjected to fire / W. Zheng, X. Hou // Adv. Struct. Eng. – 2008. – Vol. 11, iss. 1. – P. 71-89.
34. Krzywoń, R. Strains and stresses in the end zone of pre-tensioned concrete beams / R. Krzywoń, J. Hulimka, W. Mazur, K. Czarnota, V. Parkhats, P. Kaprzyk // Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures - Proceedings of the fib Symposium 2019. – Kraków, 2019. – P. 1127-1134.
35. Parkhats, V. Analiza zależności "naprężenie przyczepności - poślizg" dla ciągów sprężających w strunobetonie / V. Parkhats // Ujęcie aktualnych problemów inżynierii lądowej. Monografia nr 793. – Gliwice, 2019. – P. 211-218.
36. ARAMIS User Manual. – Braunschweig : GOM mbH, 2008.

37. Sutton, M. A. Image correlation for shape, motion and deformation measurements. Basic concepts, theory and applications / M. A. Sutton, J. J. Orteu, H. W. Schreier. – 2009.
38. Lecompte, D. Crack detection in a concrete beam using two different camera techniques / D. Lecompte, J. Vantomme, H. Sol // *Struct. Health Monit.* – 2006. – Vol. 5, iss. 1. – P. 59-68.
39. Gencturk, B. Use of digital image correlation technique in full-scale testing of prestressed concrete structures / B. Gencturk, K. Hossain, A. Kapadia, E. Labib, Y.-L. Mo // *Measurement.* – 2014. – Vol. 47. – P. 505-515.
40. De Wildera, K. Experimental investigation on the shear capacity of prestressed concrete beams using digital image correlation / K. De Wildera, P. Lavab, D. Debruyneb, Y. Wangb, G. De Roecka, L. Vandewalle // *Engineering Structures.* – 2015. – Vol. 82. – P. 82-92.
41. Soetens, T. Shear behaviour of prestressed precast SFRC girders / T. Soetens, S. Matthys, S. Heretele, W. De Waele // *Engineering Structures.* – 2017. – Vol. 142. – P. 20-35.
42. Russel, B. W. Measured Transfer Lengths of 0.5 and 0.6 in. Strands in Pretensioned Concrete / B. W. Russel, N. H. Burns // *PCI Journal.* – 1996. – Vol. 41, iss. 5. – P. 44-65.
43. Marti-Vargas, J. R. Measuring specific parameters in pretensioned concrete members using a single testing technique / J. R. Marti-Vargas, E. Garcia-Taengua, L. A. Caro, P. Serna // *Measurement.* – 2014. – Vol. 49. – P. 421-432.
44. van Meirvenne, K. Numerical and experimental analysis of the transfer length and its influence on the anchorage zone design of pretensioned concrete members / K. van Meirvenne, W. de Corte, V. Boel, L. Taerwe // *Proc. 9th International Concrete Conference.* – Dundee, 2016.
45. Cervenka, V. ATENA Program Documentation – Part 1 – Theory / V. Cervenka, L. Jendele, J. Cervenka. – Prague, 2018. – 334 p.
46. Jendele, L. Finite element modeling of reinforcement with bond / L. Jendele, J. Cervenka // *Computers & Structures.* – 2006. – Vol. 84, iss. 28. – P. 1780-1791.
47. Bigaj, A. J. Structural dependence of rotation capacity of plastic hinges in RC beams and slabs : PhD thesis / A. J. Bigaj. – Delft University of Technology, 1999.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>