Строительные материалы и изделия

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-15>
УДК 691.327.333:666.982.24

К.С. Котова

КОТОВА КРИСТИНА СЕРГЕЕВНА – старший преподаватель
кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого, AuthorID: 978811,
SPIN: 9278-2688, ORCID: 0000-0003-0032-7989, e-mail: kottova-k@yandex.ru
Воронежский государственный технический университет
20-летия Октября ул., 84, Воронеж, Россия, 394006

Влияние характеристик макропористой структуры пенобетона на параметры его сцепления с арматурой

Аннотация: Макропористая структура пенобетона может повлиять не только на возникновение коррозии у металлической арматуры, но и на прочность сцепления – характеристику надежной работы конструкции. Автор предлагаемой статьи проводит оценку структурных характеристик пенобетона и степени их влияния на величину прочности сцепления с различными видами арматуры, что необходимо для проектирования конструктивных элементов из пенобетона. Представлены результаты исследований структуры пенобетона в диапазоне средней плотности от 1200 до 1600 кг/м³ методом морфометрической идентификации. Получены количественные данные о влиянии структурных характеристик пенобетона на ранее экспериментально определенные параметры сцепления методом выдергивания арматурного стержня из бетонного куба. Установлено, что с увеличением средней плотности пенобетона в диапазоне 1200–1600 кг/м³ площадь зоны контакта на границе пенобетон–арматура увеличивается с 0,64 до 0,74 м²/м². В результате прирост прочности сцепления при увеличении средней плотности бетонов в исследованном диапазоне плотности составил с 21 до 66% в зависимости от вида и диаметра арматуры. Показатель прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с пенобетоном любой средней плотности в диапазоне от 1200 до 1600 кг/м³ выше на 20–45% по сравнению с базальтокомпозитной и металлической арматурой. При увеличении диаметра арматурного стержня прочность сцепления пенобетона со всеми видами арматуры снижается, так как увеличение диаметра арматуры сопровождается уменьшением относительной площади зоны контакта пенобетон–арматурный стержень. Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании конструктивных элементов из пенобетона.

Ключевые слова: конструкционный пенобетон, композитная арматура, металлическая арматура, параметры сцепления, структурные характеристики пенобетона.

Введение

Цементный пенобетон в качестве конструкционного материала может иметь определенные преимущества перед тяжелыми бетонами из-за его пониженной плотности, обеспечивающей повышение теплоэффективности конструкций и снижение их материалоемкости. Технология изготовления обеспечивает получение пенобетона плотности в диапазоне $\rho = 800\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$, непосредственно на строительной площадке, что делает его перспектив-

ным материалом для применения в монолитном строительстве жилых домов индивидуальной застройки в областях с неразвитой производственной инфраструктурой. Но прежде чем использовать его как материал для несущих сжатых и изгибаемых элементов зданий, необходимо исследовать параметры его совместной работы с арматурой.

Параметры сцепления плотных цементных и силикатных бетонов со стальной арматурой довольно полно изучены [1–3, 5, 6, 8, 10]. Получены комплексные данные о влиянии на прочность сцепления поверхности профиля, диаметра, длины заделки арматуры в бетоне и расположения ее в сечении различных конструктивных элементов, коэффициента армирования, определяющего направление действия усилия в арматурном стержне. Одновременно установлено, что прочность сцепления зависит от класса и возраста бетона, характеристик его состава и структуры. Исходя из этого можно утверждать, что параметры сцепления в системе «бетон–арматура» определяются, с одной стороны, структурными характеристиками бетона, с другой – параметрами арматуры. Именно они определяют площадь и силу контактного взаимодействия. Главным отличием структуры цементных плотных и макропористых бетонов является отличие по объему и размеру пор, что закономерно влияет на площадь контакта с арматурой. Поэтому отсутствие данных о взаимосвязи параметров структуры пенобетона с прочностью сцепления в системе «пенобетон–арматура» является препятствием для прогнозирования надежной работы конструктивных элементов из пенобетона.

Цель статьи – получить количественные данные о влиянии параметров структуры конструкционного пенобетона на величину его сцепления с различными видами арматурных элементов при изменении средней плотности пенобетона в диапазоне 1200–1600 кг/м³.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) теоретически обосновать факторы, определяющие параметры сцепления в системе «пенобетон–арматура»;
- 2) экспериментально определить параметры макроструктуры пенобетона;
- 3) экспериментально определить параметры сцепления пенобетона с различными видами арматуры;
- 4) установить количественную взаимосвязь характеристик системы «пенобетон–арматура» с параметрами сцепления.

Факторы, влияющие на силу контактного взаимодействия в системе «пенобетон–арматура», представлены на рис. 1. Применительно к арматуре к ним отнесены геометрия стержня (диаметр и параметры навивки), химический состав (свойства поверхности) и механические свойства. Свойства поверхности определяет краевой угол смачивания, его величина является характеристикой, определяющей меру взаимодействия частиц поверхности твердого тела с жидкостью, в данном случае арматуры с цементным тестом. Следует отметить, что в химический состав стеклянного волокна, используемого при производстве стеклокомпозитной арматуры, входит окись кремния SiO₂, тот же компонент присутствует в составе портландцемента. Поэтому необходимо учитывать родство химико-минералогического состава.

Весь комплекс перечисленных факторов влияет на механическое зацепление арматуры за бетон и адгезию. Применительно к пенобетону – к факторам, определяющим силу сцепления, относятся его плотность, химико-минералогический состав и механические свойства. Ввиду макропористой структуры пенобетона соотношение площади твердой фазы и площади порового пространства влияет на сцепление по площади контакта. Теоретический анализ представлений о совместной работе в системе «пенобетон–арматура» показал, что структурные характеристики пенобетона, в частности площадь твердой фазы $S_{\text{тв.ф.}}$, определяют истинную площадь контакта.

Рис. 1. Параметры сцепления в системе «пенобетон–арматура».

Таким образом, параметры сцепления в системе «пенобетон–арматура» определяются:

- площадью зоны контакта, зависящей от площади межпорового пространства и от геометрических характеристик арматурного стержня;
- силой адгезионного взаимодействия в контактной зоне «пенобетон–арматура», зависящей от родства химико-минералогического состава пенобетона и химического состава арматуры, а также от угла смачивания на границе раздела «арматурный стержень–цементное тесто».

Следовательно, можно считать критериальными характеристиками пенобетона, определяющими параметры сцепления в системе «пенобетон–арматура», соотношение площади пор и межпоровых перегородок в зоне сцепления (коэффициент пористости), зависящее от плотности материала.

Для оценки вероятного изменения площади контакта в зависимости от средней плотности предлагается оценивать следующие параметры:

- площадь твердой фазы пенобетона;
- число и размер пор.

Критериальными характеристиками арматуры, определяющими параметры сцепления в системе «пенобетон–арматура», являются площадь боковой поверхности и химический состав.

Характеристики материалов

Исследование параметров структуры пенобетона проводилось для составов (табл. 1), оптимизованных на предыдущих этапах работы [7, 9]. Для пенобетонов средней плотности 1200; 1400; 1600 кг/м³ оценивались параметры сцепления с несколькими типами арматуры (табл. 2) по химическому составу и диаметрам.

Таблица 1

Характеристика составов пенобетона при соотношении Ц:П = 1:1,75

Средняя плотность, кг/м ³	В/Ц	Дозировка пенообразователя, % от массы цемента	Дозировка суперпластификатора, % от массы цемента
1200	0,30	0,05	0,5
1400	0,30	0,04	0,4
1600	0,31	0,05	0,5

Таблица 2

Характеристика арматуры

Вид арматуры	Номинальный диаметр d, мм	Модуль упругости, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Расчетное сопротивление сжатию, МПа	Относительное удлинение, %
Стекло-композитная	6; 8; 10	50000	800	300	2,2
Базальто-композитная	6; 8; 10	50000	800	300	2,2
Металлическая профильная	8; 10	200000	600	350	Не менее 14

Методика проведения испытаний

Экспериментальные исследования проводились в два этапа:

оценка совместной работы арматуры с пенобетоном методом осевого выдергивания арматурного стержня из бетонного куба;

количественная оценка параметров структуры пенобетонов средней плотности 1200; 1400; 1600 кг/м³ методом оптической микроскопии и морфометрического анализа.

На первом этапе испытаний для изготовления образцов в параллельных гранях металлических форм с отверстиями по центру устанавливали арматурный стержень. Согласно методике испытаний [4], каждый стержень имел зону отсутствия сцепления длиной 5d. Затем пенобетон изготавливался и укладывался в форму с кратковременным вибрированием. Количество образцов-кубов с гранью 100 мм составляло 6 штук для каждой средней плотности. В процессе проведения испытаний на выдергивание фиксировалась величина прилагаемой нагрузки при показаниях индикатора величин 0,05; 0,10 и 0,25 мм, а также значение величины смещения стержня при максимальной нагрузке. По результатам испытаний для каждого вида и диаметра стержня рассчитывалось среднее значение прочности сцепления с пенобетоном различной средней плотности.

Для комплексного анализа полученных результатов и определения взаимосвязи характеристик структуры пенобетона с прочностью сцепления нами произведена оценка параметров структуры конструкционного пенобетона $\rho=1200-1600$ кг/м³. Для второго этапа испытаний образцы принимались из числа испытанных на прочность сцепления образцов-кубов, которые раскалывались на две части. Поверхность полученных образцов (шлифы) –12 для каждой средней плотности пенобетона – подготавливалась к испытанию: шлифы зачищались и обеспыливались. После этого мы получали изображения контактного слоя для каждого образца с помощью оптического стереомикроскопа MEIGI RZ. Цифровые изображения структуры с одинаковым разрешением без искажения при увеличении приводились к единому масштабу.

Далее полученная серия изображений загружалась и обрабатывалась в приложении MORFO программного комплекса Matlab, с помощью которого производилась морфологическая идентификация параметров макроструктуры пенобетона: относительная площадь поверхности межпоровых перегородок, $S_{м.п.}$; минимальные и максимальные диаметры пор $D_{ср}$; коэффициент пористости $K_{пор}$.

Результаты и обсуждение экспериментов

На первом этапе комплексного испытания для каждой средней плотности пенобетона в диапазоне 1200–1600 кг/м³ получены значения прочности сцепления (табл. 3) с принятыми типами арматуры – композитной (стеклокомпозитная, базальтокомпозитная) и стальной периодического профиля диаметром 6; 8 и 10 мм – в качестве базы для сравнения. С увеличением средней плотности пенобетона прочность сцепления всех видов арматуры закономерно возрастала.

Установлено следующее:

1) для стеклокомпозитной арматуры при изменении средней плотности пенобетона в диапазоне 1200–1600 кг/м³ прочность сцепления возросла для стержней диаметром 6; 8 и 10 мм соответственно в 1,4; 2,2 и 2,3 раза;

2) для базальтокомпозитной арматуры, аналогично, – в 1,7; 1,3 и 1,1 раза;

3) для металлической арматуры увеличение для диаметров 8 и 10 мм – в 2,6 и 2,9 раз соответственно.

Таким образом, прирост прочности сцепления при изменении средней плотности бетонов в исследованном диапазоне плотности составил от 21 до 66%.

При этом самые высокие значения предела прочности сцепления с пенобетоном зафиксированы: для стеклокомпозитной арматуры – в 1,3–1,8 раза выше базальтокомпозитной и в 1,2–1,9 раза выше – для металлической.

Таблица 3

**Результаты испытаний по определению величины сцепления
арматурных стержней с пенобетоном**

Марка по плотности	Вид арматуры	Диаметр, мм	Смещение арматуры при максимальном усилии выдергивания, мм	Предел прочности сцепления с бетоном, МПа
D 1200	Стеклокомпозитная	6	1,03	6,55
		8	2,2	4,07
		10	1,95	3,04
	Базальтокомпозитная	6	1,0	4,69
		8	1,1	3,95
		10	1,9	3,81
	Металлическая	8	0,93	2,34
		10	0,27	2,02
D 1400	Стеклокомпозитная	6	3,28	7,21
		8	2,55	5,36
		10	1,63	5,36
	Базальтокомпозитная	6	1,40	3,08
		8	1,55	4,05
		10	1,88	3,81
	Металлическая	8	0,85	2,80
		10	0,35	3,36
D 1600	Стеклокомпозитная	6	2,80	9,12
		8	2,93	8,98
		10	1,38	7,19
	Базальтокомпозитная	6	3,30	5,12
		8	2,20	5,04
		10	1,80	4,84
	Металлическая	8	0,48	6,11
		10	0,33	5,97

Самые высокие значения прочности сцепления зарегистрированы для меньших диаметров стержней: для композитной арматуры – 6 мм, металлической – 8 мм. С увеличением диаметра стержня происходило снижение показателя предела прочности сцепления.

В результате оценки параметров макроструктуры пенобетона в исследуемом диапазоне средней плотности установлено следующее. В процессе выполнения морфометрического анализа изображений шлифов пенобетона, были получены фотографии каждого исследуемого образца с контрастным выделением пор (рис. 2). Разновидность пор классифицирована по размерам: синим цветом выделены бездефектные поры от 0,1 до 3 мм, желтым – дефектные поры от 0,1 до 3 мм и красным – более 3 мм, черным закрашена площадь межпорового пространства.

Рис. 2. Диаграммы распределения числа пор по группам диаметров и фото макроструктуры пенобетона:
а – плотность 1200 кг/м³; б – плотность 1400 кг/м³; в – плотность 1600 кг/м³

Данные программного анализа структуры показывают, что бездефектные поры в образцах $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$ составляют 8,5%, а для средней плотности 1400 и 1600 кг/м^3 – 7,6% и 7,1% соответственно. Дефектные поры в диапазоне от 0,1 до 3 мм составляют 13,3% для 1200 кг/м^3 , 12% – для 1400 кг/м^3 и 11,7% – для 1600 кг/м^3 . Дефектные поры размером более 3 мм составляют 14,2% для 1200 кг/м^3 , 11,1% – для 1400 кг/м^3 и 6,9% – для 1600 кг/м^3 . По данным морфометрического анализа, макроструктура исследуемой средней плотность 1600 кг/м^3 (рис. 2,в) является менее дефектной.

Произведенная оценка структуры пенобетона позволяет утверждать, что с увеличением средней плотности относительная площадь поверхности межпоровых перегородок увеличивается. В образцах пенобетона средней плотностью 1600 кг/м^3 площадь межпоровых перегородок на 6,8% больше, чем в образцах плотностью 1400 кг/м^3 , и на 13,5% больше, чем в образцах плотностью 1200 кг/м^3 .

По результатам расчета параметров макроструктуры пенобетона (табл. 4) установлено следующее:

1. При изменении плотности пенобетона в диапазоне $1200\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$ относительная площадь поверхности межпоровых перегородок $S_{м.п.}$ закономерно возрастает от 0,64 до 0,74 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Площадь твердой фазы в образцах средней плотностью 1600 кг/м^3 составляет 74,2%, что в 1,08 раза выше значений плотности 1400 кг/м^3 и в 1,16 раза – плотности 1200 кг/м^3 .

2. Полученные значения диаметров макропор $D_{ср}$ в диапазоне $1200\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$ – от 0,31 до 9,4 мм. Пенобетон плотностью 1600 кг/м^3 характеризуется наименьшим диаметром макропор и минимальными значениями средней толщины перегородок.

3. Максимальное значение коэффициента пористости $K_{пор}$ пенобетона, составляющее 0,36, характерно для пенобетона плотностью 1200 кг/м^3 . Коэффициент пористости для плотности 1600 кг/м^3 на 16% ниже его значений для плотности 1400 кг/м^3 и на 28% – для плотности 1200 кг/м^3 . Снижение коэффициента пористости с увеличением средней плотности пенобетона в диапазоне $1200\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$ составляет 27,7%.

Таблица 4

Показатели свойств макропористой структуры пенобетона

Марка по плотности	Диаметр макропор, $D_{ср}$ мм		Средняя толщина перегородок, мм	Коэффициент пористости, $K_{пор}$	Относительная площадь поверхности межпоровых перегородок, $S_{м.п.} \text{ м}^2/\text{м}^2$
	min	max			
D 1200	0,31	8,9	0,69	0,36	0,64
D 1400		9,4	0,7	0,31	0,69
D 1600		5,9	0,61	0,26	0,74

При сопоставлении оцениваемых параметров макроструктуры с экспериментально полученными значениями прочности сцепления для каждой средней плотности их взаимосвязь очевидна. Проведенный первый этап экспериментальных исследований позволил выявить, что пенобетон $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ обладает самыми высокими значениями предела прочности сцепления со всеми видами исследуемых стержней, что может быть обеспечено возросшей (с увеличением средней плотности) площадью межпорового пространства.

Площадь твердой фазы в образцах пенобетона плотностью 1600 кг/м^3 больше в 1,08 и 1,16 раз площади плотности пенобетона 1400 и 1200 кг/м^3 соответственно. С изменением диаметра арматурного стержня с 6 до 10 мм увеличивается площадь его боковой поверхности, контактирующая с твердой фазой бетона (рис. 3), но относительная площадь контакта применительно к диаметру стержня уменьшается (рис. 4). Поэтому прочность сцепления уменьшается с увеличением диаметра арматуры.

Рис. 3. Диаграммы зависимости площади зоны контакта от различных диаметров арматурных стержней и средней плотности пенобетона.

Рис. 4. Зависимость площади зоны контакта от диаметра арматуры.

Таким образом, можно утверждать, что более плотная структура бетона обеспечивает лучшее сцепление с арматурой. При проектировании изгибаемых элементов конструкций из пенобетона неавтоклавного твердения величина средней плотности является ключевой характеристикой, определяющей площадь контакта и силу контактного взаимодействия. Согласно полученным данным, прочность сцепления арматуры возросла: стеклокомпозитной – на 28–57% в зависимости от диаметра, базальтокомпозитной – на 21–40%, стальных стержней – на 60–66%. Критериальная характеристика структуры пенобетона – площадь поверхности межпоровых перегородок оказывает наибольшее влияние на величину предела прочности сцепления для стержней стеклокомпозитной и металлической арматуры.

Заключение

Установлено, что с увеличением средней плотности пенобетона в диапазоне 1200–1600 кг/м³ площадь зоны контакта на границе «пенобетон–арматура» увеличивается с 0,64 до 0,74 м²/м². В результате прирост прочности сцепления при увеличении средней плотности бетонов в исследованном диапазоне плотности составил 20–65%, существенно различаясь в зависимости от вида и диаметра арматуры.

Самыми высокими значениями прочности сцепления обладает стеклокомпозитная арматура. Прочность сцепления данного вида арматуры с конструкционным пенобетоном на 20–45% больше полученных значений прочности сцепления стержней базальтокомпозитной и стальной арматуры для всего исследованного диапазона плотности пенобетона.

При увеличении диаметра арматурного стержня прочность сцепления пенобетона со всеми видами арматуры снижается на 20–40%, так как увеличение диаметра арматуры сопровождается уменьшением относительной площади зоны контакта «пенобетон–арматурный стержень».

Отсюда мы наметили следующие направления исследований: 1) разработка предложений по применению конструкционного пенобетона и композитной арматуры в конструктивных элементах зданий; 2) технико-экономическое обоснование эффективности применения изгибаемых элементов из конструкционного пенобетона, армированных композитной арматурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов В.А., Ярцев В.П. Влияние поверхности композитной арматуры на прочность сцепления с бетоном. Сравнение с металлической арматурой // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. тр. конф., Пенза, 23 июня 2017. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 122–124.
2. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Расчет геометрических параметров профиля арматуры для железобетонных конструкций // Науч. тр. Третьей всерос. (II Международ.) конф. бетону и железобетону, Москва, 12–16 мая 2014. М.: Национальный исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, 2014. С. 204–214.
3. Веселов А.А. Проблемы сцепления арматуры периодического профиля с бетоном // Сб. тр. Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова, Москва, 19–20 апреля 2016. М.: Национальный исследоват. Моск. гос. строит. ун-т., 2016. С. 77–80.
4. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций.
5. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Прочность сцепления арматуры с бетоном, содержащим добавку С-3 и ее модификации // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 22–25.
6. Муртазаев С.-А.Ю., Хадисов В.Х., Сайдумов М.С. Сцепление стальной арматуры с бетонной матрицей на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя // Экология и промышленность России. 2014. № 11. С. 38–41.
7. Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 26–31.
8. Семченков А.С., Мешков В.З., Квасников А.А., Белоусов А.Э., Савохин Е.С. Особенности сцепления стержневой арматуры с цементным бетоном // БСТ Экспертиза. 2008. № 8. С. 58–62.
9. Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 20–24.
10. Судаков Г.Н. Сравнительная оценка некоторых опытных и расчетных результатов определения совместной работы стержневой арматуры с бетоном // Науч. тр. 2-й Междунар. конф. по бетону и железобетону, Москва, 5–9 сентября 2005. Т. 5. М.: Науч.-исследоват. проектно-конструкторский и технологич. Ин-т бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева, 2005. С. 483–485.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-15>

Kotova K.

KRISTINA KOTOVA, Senior Lecturer, AuthorID: 978811, SPIN: 9278-2688,

ORCID: 0000-0003-0032-7989, e-mail: kottova-k@yandex.ru

Department of Design of Buildings and Constructions

Voronezh State Technical University

84, 20-letiya Oktyabrya St., Voronezh, Russia, 394006,

The influence of the characteristics of the foam concrete macroporous structure on the parameters of its adhesion to reinforcement

Abstract: Foam concrete has a macroporous structure, which can affect not only the occurrence of corrosion in metal reinforcement, but also the cohesion strength – a characteristic of reliable operation of constructive elements. For the purpose of designing the foam concrete structural elements, the assessment of foam concrete structural characteristics and the degree of their influence on the cohesion strength with various types of reinforcement has been carried out. The article presents the study results of the foam concrete structure in the range of its average density from 1200 to 1600 kg/m³ by morphometric identification method. Quantitative data on the influence of foam concrete structural characteristics on the previously experimentally determined cohesion parameters by the pull-out test of the bar from a concrete cube was obtained. It was established that with an increase in the average density of foam concrete in the range of 1200–1600 kg / m³, the area of the contact zone at the foam concrete – reinforcement boundary increases from 0.64 to 0.74 m²/m². As a result, the increase of cohesion strength with an increase in the average density of concrete in the density range studied was from 21 to 66%, depending on the type and diameter of the reinforcement. Therefore, the criterion characteristic of the foam concrete macroporous structure is the surface area of the interstitial partitions $S_{i,p}$, because when it increases, the cohesion strength values of composite bars and metal reinforcement increase from 21 till 66%. It has been established that the glass composite fittings cohesion strength with foam concrete of average density from 1200 to 1600 kg/m³ is 20–45% higher than the cohesion strength values obtained for basalt composite fittings and metal reinforcement. Increasing the diameter of the reinforcing bar leads to a decrease of the side surface area ratio from 9.7 to 4.6%, as a result the cohesion strength value is reduced.

Keywords: foam concrete, composite fittings, reinforcement, cohesion parameters, structural characteristics of foam concrete.

REFERENCES

1. Agafonov V.A., Yartsev V.P. The effect of the composite reinforcement on the bond strength with concrete. Compared with metal reinforcement. Modern technologies: current issues, achievements and innovations, Porc. Conferences, 2017. Penza, Publishing House *Science and Education*, 2017, p. 122–124.
2. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. Calculation of geometric parameters of the profile reinforcement for concrete structures. Proc. II Intern. Conf. on Concrete and Reinforced Concrete. 2014, p. 204–214.
3. Veselov A.A. Problems of cohesion of periodic profile reinforcement with concrete. Proc. international scientific conf. dedicated to the 85th anniversary of the department of reinforced concrete

- structures and the 100th anniversary of the birth of N.N. Popov. M., National Research Publishing House. Mosk. State Builds. Univ., 2016, p. 77–80.
4. GOST 31938-2012. Fibre-reinforced polymer bar for concrete reinforcement. General specifications.
 5. Lenovich S.N., Poleiko N.L. Bonded strength of reinforcement with concrete modified by superplasticizer S-3. *Building Materials*. 2014;3:22–25.
 6. Murtazaev S.-A.Y., Hadisov V.H., Saydumov M.S. Steel reinforcement cohesion with concrete matrix on secondary aggregates made of ceramic brick battle. *Ecology and Industry of Russia*. 2014;11:38–41.
 7. Novikov M.V., Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Mechanical properties of cement porous concrete at uniaxial compression with due regard for regularities of its creep. *Building Materials*. 016;11:26–31.
 8. Semchenkov A.S., Meshkov V.Z., Kvasnikov A.A., Belousov A.E., Savohin E.S. Cohesion features of rod fittings with cement concrete. *BST Expertise*. 2008;8:58–62.
 9. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Novikov M.V. Thermal efficient foam concretes of a new generation for low-rise construction. *Building Materials*. 2017;7:20–24.
 10. Sudakov G.N. Comparative evaluation of some experimental and calculated results of determining the joint work of bar reinforcement with concrete. 2nd Intern. conf. on concrete and reinforced concrete, Moscow, September 5–9, 2005. V. 5. M., Publishing house Scientific-Researched. Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete, 2005, p. 483–485.