

Высокодисперсные наполнители для порошково-активированных бетонов нового поколения

В.И. Калашников^a, Р.Н. Москвин^b, Е.А. Белякова^c, В.С. Белякова^d, А.В. Петухов^e

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Титова 28, Пенза, Россия
^akalashnikov_vi@mail.ru, ^bmoskva_in@mail.ru, ^cvar_lena@mail.ru, ^dvarya_bel@mail.ru, ^etechbeton@pguas.ru
Статья получена 18.03.2014, принята 19.05.2014

Представлены компоненты порошково-активированных бетонов нового поколения, в том числе высокопрочных песчаных с прочностью 120 МПа и общестроительного назначения – до 40 МПа. Отличительной особенностью порошково-активированных бетонов нового поколения является повышенное содержание суспензионных составляющих, количество которых для каждого вида бетона различно. Реакционно-порошковые и порошковые пластифицированные бетоны являются суспензионными и самоуплотняющимися, т. к. содержат лишь водно-дисперсно-тонкозернистую матрицу (вода, цемент и молотая каменная мука, микрокремнезем и тонкий песок фр. 0,16-0,63 мм). Благодаря этой матрице обеспечивается реологическое (разжиженное) состояние песчаных и щебеночных бетонных смесей в присутствии супер- и гиперпластификаторов. Увеличение доли водно-дисперсной матрицы достигается введением высокодисперсных микрометрических порошков из горных пород осадочного, вулканического и метаморфического происхождения. Показано, что тонкодисперсные наполнители в бетонных смесях для обычных, высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов различны по своему функциональному действию и делятся на реологически-активные, реакционно-активные и гидратационно-твердеющие, в зависимости от происхождения каменной муки и техногенных отходов. Особенно ценными являются добавки, проявляющие свойства самостоятельного твердения (металлургические шлаки и зола-унос ТЭЦ). Реологически-активные высокодисперсные наполнители для бетонов нового поколения целесообразно изготавливать из отходов камнедробления на карьерах, а реакционно-активные – это отходы производства ферросилиция, микрокремнеземы. Это позволяет не только получать экономический эффект в связи со снижением расхода цемента, но и решать весьма важную экологическую задачу.

Ключевые слова: тонкодисперсные наполнители, каменная мука, зола, прочность, самоуплотняющиеся бетоны.

High-dispersity fillers for powder-activated concretes of new generation

V.I. Kalashikov^a, R.N. Moskvina^b, E.A. Belyakova^c, V.S. Belyakova^d, A.V. Petukhov^e

Penza State University of Architecture and Construction; 28, G. Titova St., Penza, Russia
^akalashnikov_vi@mail.ru, ^bmoskva_in@mail.ru, ^cvar_lena@mail.ru, ^dvarya_bel@mail.ru, ^etechbeton@pguas.ru
Received 18.03.2014, accepted 19.05.2014

The components of powder-activated concretes of new generation have been presented in the article, including high-strength sand concrete with the strength of 120 MPa and concrete for general construction with the strength of up to 40 MPa. A distinctive feature of powder-activated concretes of new generation is the increased content of suspension components, the number of which for each type of concrete is different. Reactive-powder and powder plasticized concretes are suspension and self-sealing because they contain only water-dispersion-fine-grained matrix (water, cement and stone milled flour, silica fume and fine sand of 0,16-0,63 mm). Rheological (thin) condition of sand and gravel concrete mixes in the presence of super- and hyperplasticizers are provided by this matrix. Increase in the proportion of water-dispersed matrix is achieved by the introduction of highly dispersed powders of micrometer sedimentary stones of volcanic and metamorphic origin. It has been shown that fine fillers in concrete mixes for conventional, high-strength and ultra-high concretes differ in their functional effects and are divided into the rheologically active, reactive, and with hydration-hardening, depending on the origin of stone flour and industrial waste. Supplements showing the properties of self-hardening (metallurgical slag and fly ash) are especially valuable. Rheologically active high-dispersity fillers for concretes of new generation can be produced out of lithotripsy waste in quarries, and a reactive fillers are waste of ferrosilicon production, silica fume. This allows not only to receive an economic impact due to lower cement consumption but it also solves a very important environmental problem.

Keywords: fine fillers, stone powder, fly ash, strength, self-sealing concrete.

Введение. Под порошково-активированными бетонами нового поколения (термин «порошково-активированные бетоны» введен нами и охарактеризован в работах [8, 9]) понимаются сверхпрочные, высокопрочные бетоны и бетоны с традиционной прочностью. Они включают 7-9 компонентов и имеют низкий удельный расход цемента на единицу прочности при сжатии, не превышающем

$C_{Rc}^{уд} = 3,5-6$ кг/МПа. Бетонные смеси таких бетонов состоят из набора сухих компонентов с непрерывной гранулометрией частиц от макро- до пикомасштабного уровней.

В порошково-активированных песчаных и щебеночных бетонах нового поколения наиболее важными компонентами, определяющими реологию, являются реологически-активные дисперсные добавки, цемент и

каменная мука с частицами близкого микрометрического масштабного размера. Для более прочных бетонов используют нанометрические добавки (рис. 1). Таким образом, водная дисперсия данных компонентов бетона под действием супер- и гиперпластификаторов формирует реологические матрицы бетонной смеси.



Рис. 1. Компоненты порошково-активированных щебеночных бетонов нового поколения с микро- и наномасштабными наполнителями

Реологические матрицы. Тонкодисперсные матрицы в бетонных смесях для обычных, высокопрочных и особовысокопрочных бетонов по функциональному действию можно разделить на следующие виды.

1. Матрица будет реологически-активной, если в результате ее применения произойдет усиление реологического действия СП в цементно-водно-минеральной суспензии или его сохранение по сравнению с цементно-водной. Данный эффект обуславливается повышенным водоредуцирующим действием СП на цементную матрицу, наполненную каменной мукой (известняк, мрамор, доломит), и, как следствие, снижением расхода воды. При этом она уменьшается в объеме, становится более плотной и более прочной, сопоставимой с прочностью крупного заполнителя (гранита, плотного известняка и т. п.). Снижение расхода цемента в традиционных бетонах марок М200-500 и уменьшение его роли в формировании прочности бетона компенсируется повышением плотности, и, как следствие, увеличением прочности. Если же такие матрицы получают значительным наполнением бетона каменной мукой, усиливающей реологическое действие СП, и объем матрицы заметно возрастает, то прочность бетона существенно увеличивается.

2. Реакционно-активная матрица также состоит из водной дисперсии цемента, каменной муки и СП,

однако ее действие делает возможным реализовать реакционно-химическое взаимодействие очень тонких фракций микрометрической муки с гидролизной известью и другими продуктами гидратации портландцемента или, в некоторых случаях, твердеть самостоятельно. При этом реотехнологические показатели при использовании некоторых пористых пород могут быть ухудшены, т. к. происходит поглощение воды и загущение системы. Например, при введении обожженного и природного диатомита в количестве 10-20 % от массы цемента в цементно-минеральную суспензию водотвердое отношение увеличится на 15-30 % при сохранении подвижности [2, 13]. Другими пористыми реакционно-активными породами являются опоки, трепелы, вулканические туфы.

3. Реологически- и реакционно-активная матрица также состоит из водной дисперсии цемента, каменной муки и СП, однако ее действие позволяет усиливать не только реологическое и водоредуцирующее действие СП, но и дает возможность реализовать реакционно-химическое взаимодействие очень тонких фракций микрометрической муки с гидролизной известью портландцемента. Некоторые техногенные отходы (шлак, зола) твердеют самостоятельно. К горным породам, обладающим реакционно-химической способностью, относятся кремень, халцедон, андезит, базальт, дацит, некоторые вулканические пеплы и

стекла, трассы, молотый гравий и другие. К искусственным материалам относятся отходы от производства некоторых видов керамики, кварцевого стекла, МК, микрокаолин, некоторые золы и шлаки и др. Все эти компоненты являются незаменимыми в составе высокопрочных бетонов. И эффективность от их применения обуславливается не только видом каменной муки, т. е. ее реакционной активностью, но и дисперсностью, которая должна быть на субмикроразмерном уровне.

Обоснование решения. Исходя из анализа проведенных исследований [1, 4], установлено, что порошково-активированные песчаные или щебеночные бетоны могут быть изготовлены без этих реакционно-активных добавок, если не требуется высокая прочность. Основную функцию выполняют реологически-активные наполнители: цемент, каменная мука и тонкий песок, которые дают возможность получить большой объем цементно-минерально-водной суспензии, определяющей течение бетонных смесей.

Реакционно-активный микрокремнезем (МК) в количестве 10-15 % от массы цемента повышает прочность бетонов на 15-25 % и в основном играет роль компонента, связывающего выделяющуюся в бетоне известь – портландит и повышающего долю гидросиликатного цементирующего вещества. Он в количестве до 25 %, имея высокую дисперсность (2500-5000 м²/кг по прибору ПСХ), в смеси с цементом практически не загущает цементно-минеральных пластифицированных суспензий и позволяет получить прирост прочности, незначительно увеличивая содержание водно-дисперсной суспензии. Повышенное содержание МК свыше 25 % приводит к потере агрегативной устойчивости с ухудшением реологических свойств.

Так, при рассмотрении бетонов переходного поколения, состоящих из цемента, песка-заполнителя, щебня и воды с добавлением суперпластификатора, реологической матрицей будет являться водно-цементная или водно-дисперсная суспензия ($V_{ВД}$). В бетонной смеси состава: цемента 310 кг/м³ ($\rho = 3,1$ г/см³), щебня 1200 кг/м³ ($\rho = 2,7$ г/см³), песка-заполнителя 830 кг/м³ ($\rho = 2,65$ г/см³), СП 1 % от Ц и воды в количестве 140 л объем цементной суспензии составит:

$$V_{ВД} = \frac{310}{3,1} + 140 = 240 \text{ л,}$$

что занимает 24 % от объема бетонной смеси. При добавлении микрокремнезема ($\rho = 2,3$ г/см³) в количестве 10 % от массы цемента, уменьшении расхода песка для сохранения объема бетонной смеси 1000 л объем $V_{ВД}$, как было сказано выше, изменится незначительно:

$$V_{ВД} = \frac{310}{3,1} + \frac{31}{2,3} + 140 = 253,5 \text{ л,}$$

или 25,4 %, т. е. произойдет увеличение объема дисперсной реологической матрицы на 1,4 %. При дальнейшем увеличении количества МК до 25 % необходимо увеличение количества воды до 150 л на 1 м³ при сохранении заданной подвижности смеси. Тогда $V_{ВД}$ увеличится:

$$V_{ВД} = \frac{310}{3,1} + \frac{77,5}{2,3} + 150 = 283,7 \text{ л,}$$

или 28,4 % от общего объема бетонной смеси.

Как видно, в бетонах переходного поколения объем водно-дисперсной реологической матрицы в данном случае может составлять от 24 до 28 %, что является недостаточным для обеспечения высоких реотехнологических показателей бетонных смесей. Высокопластичные бетонные смеси с маркой П4 получить без их расслоения невозможно. Для увеличения текучести необходимо увеличить объем дисперсной суспензии $V_{ВД}$. Это достигалось повышением расхода цемента до 500 кг на 1 м³ и получением марок бетонной смеси по пластичности П5 с осадкой конуса 20-22 см.

Для получения высокопластичных бетонных смесей старого и переходного поколений с расходом цемента до 200-250 кг/м³ существовал и существует реологический «запрет», связанный с низкой эффективностью суперпластификаторов, вне зависимости от их дозировки, и невозможностью получить подвижные бетонные смеси без дальнейшей расшлаиваемости.

Рассмотрим реологические возможности щебеночных бетонов нового поколения без использования реакционно-активных наноконструктивных компонентов. Определим объемы реологических матриц различного уровня при аналогичном расходе цемента в щебеночном бетоне нового поколения следующего состава на 1 м³:

цемент – 310 кг,
 микрометрический наполнитель – 220 кг,
 тонкий песок фр. 0,16-0,63 мм – 360 кг,
 песок-заполнитель фр. 0,63-5,0 мм – 450 кг,
 щебень фр. 5-10 мм – 1000 кг,
 гиперпластификатор – 0,8 % от Ц – 2,5 кг,
 вода – 150 л.

Как известно из работ профессора В.И. Калашникова [7, 10], в бетонах нового поколения присутствуют реологические матрицы нескольких уровней. Матрица I уровня представляет собой водную суспензию цемента и микрометрического наполнителя; объем ее в бетонной смеси без использования МК составляет:

$$V_{ВД} = \frac{310}{3,1} + \frac{220}{2,65} + 150 = 333 \text{ л,}$$

или 33,3 % объема бетонной смеси, что на 47 % больше, чем у бетона старого поколения.

В матрице II уровня в объем водно-дисперсной суспензии добавляется тонкий песок. В этом случае объем водно-дисперсной суспензии $V_{ВДГ}$ составит:

$$V_{ВДГ} = \frac{310}{3,1} + \frac{220}{2,65} + \frac{360}{2,65} + 150 = 469 \text{ л,}$$

что составляет 47 % от объема бетонной смеси.

Как видно, объем реологической матрицы в бетонах нового поколения без микрокремнезема в 1,5-2,0 раза больше, чем в бетонах старого и переходного поколений. Это позволяет получать бетонные смеси с расходами цемента 200-350 кг/м³, осадкой стандартного конуса 25-26 см и прочностью при сжатии 40-120 МПа по сравнению с 15-40 МПа для бетонов переходного поколения, изготовленных из малопластичных бетонных смесей [2 – 5, 8, 7, 14].

Сырьевая база. Анализ технической литературы и внедрений результатов диссертационных работ по порошково-активированным бетонам нового поколения [1, 3, 4, 6, 14, 15] показал, что многие проведенные исследования преследовали цель использования при проектировании составов бетонов в качестве тонкодисперсных минеральных добавок кварцевые пески как наиболее распространенные во многих регионах России. В связи с тем, что в большинстве областей страны, кроме кварцевых песков, имеются месторождения осадочных пород, таких, как известняки, доломитизированные известняки, доломиты, песчаники, использование их в качестве дисперсных наполнителей является весьма актуальным. При дроблении щебня известняковые или доломитовые отсева на карьерах часто размалываются, и каменная мука используется в качестве раскислителей почвы или дисперсного наполнителя в асфальтобетонах. Применение их является также чрезвычайно важным с позиции энерго- и

Отдельно нужно отметить группу добавок, проявляющих свойства самостоятельного твердения, например, металлургические шлаки, золы ТЭЦ и др. Способность тонкомолотых металлургических шлаков образовывать твердеющие структуры при затворении водой зависит от степени их основности и стеклования при остывании. Наиболее пригодными являются стекловидные гранулированные шлаки, получаемые охлаждением жидкого расплавленного шлака водой.

В свою очередь активность зол зависит от состава, температурного режима сжигания топлива, а также от размера его частиц и продолжительности пребывания в зоне высоких температур.

Нормативная база. При производстве современных бетонов минеральные наполнители получили широкое распространение. Их классификация и применение регламентируются соответствующими стандартами. Так, в России согласно ГОСТ 24211-2008 минеральной добавкой считается дисперсная неорганическая добавка природного или техногенного происхождения, вводимая в смеси в процессе их приготовления с целью

материалосбережения. Эти отходы содержат овеществленный труд: на них затрачена энергия на добычу и дробление. Если взять регионы с месторождениями вулканических пород, например, гранитами, диабазами и базальтами, то на карьерах отходы камнедробления накапливаются в значительно большем количестве. Они редко используются в качестве дисперсных минеральных добавок при изготовлении асфальтобетона [15, 11, 16] и совершенно не используются для улучшения почв, т. к. являются кислыми. Для таких регионов применение отходов для производства бетонов решает не только весьма важную экологическую задачу – уменьшение площади отчуждаемых земель под хранение отходов, но и техническую задачу – утилизации их в производстве строительных материалов [12].

На современном этапе развития технологии бетона решающую роль сыграли выявленные в результате многочисленных исследований и подтвержденные практикой научные основы модифицирования бетонов микрометрическими реологически-активными добавками. Они кардинально изменяют структуру бетонных смесей, их реологические свойства, плотность, прочность и проницаемость затвердевшего бетона, а вместе с тем уменьшают негативные воздействия различных агрессивных сред. Реакционно-химическая активность дисперсных наполнителей из многих горных пород вулканического происхождения в настоящее время практически не выяснена, по крайней мере, в ранний период твердения. Естественно, что глубинные кварцсодержащие породы, включающие в своем составе свободный кварц, будут потенциально реакционно-активными в длительные сроки твердения, что требует изучения изменений физико-технических свойств во времени.

направленного регулирования их технологических свойств и/или строительно-технических свойств бетонов и растворов, и/или придания им новых свойств.

Минеральные добавки в зависимости от характера взаимодействия с продуктами гидратации цемента подразделяют на типы [5]:

- тип I – активные минеральные;
- тип II – инертные минеральные.

Активные минеральные добавки подразделяют на следующие группы:

- обладающие вяжущими свойствами;
- обладающие пуццолановой активностью;
- обладающие одновременно вяжущими свойствами и пуццолановой активностью.

В соответствии с классификацией по Европейскому стандарту EN 206-1 [17] минеральные добавки бывают:

- инертные (или почти инертные), не вступающие в реакцию с гидролизной известью, которая выделяется портландцементом в процессе гидратации. Они в этом случае могут быть просто наполнителями. Минеральные наполнители должны отвечать требованиям EN 1260;

– пуццоланические, или с замедленной пуццоланической реакцией (активные добавки). Они связывают гидролизную известь портландцемента в гидросиликаты кальция (зола-унос EN 450, и микрокремнезем – EN 13263).

В конце 80-х годов комитет 73-SBC RILEM представил вариант классификации минеральных добавок техногенного происхождения, которая выполнена по таким критериям, как пуццолановая активность и вяжущие свойства. Эта классификация позволяет оценить материалы с точки зрения их воздействия на цементные системы, поэтому представляется более объективной, чем обычная классификация минеральных добавок по их происхождению.

Заключение

По нашему мнению, в порошково-активированных бетонах нового поколения с СП не может быть инертных добавок. В соответствии с этим добавки делятся на реакционно-активные, реологически-активные и гидратационно-твердеющие. Некоторые реологически-активные добавки могут обладать замедленной (латентной) реакционной активностью в зависимости от тонкости помола. Однако не все добавки можно четко отнести к той или иной группе. Все кварцсодержащие породы: гранит, диабаз, базальт вулканического происхождения могут содержать кварц как в кристаллическом, так и в стекловидном состоянии. Есть породы, которые нельзя отнести к реакционно-активным горным породам (известняк и доломит). Но они являются хорошей подложкой в виде центров кристаллизации. Эпитаксиальное наращивание делает эти породы, хотя и не реакционно-способными в плане образования новой фазы, но хорошими подложками для кристаллизации гидросиликатов кальция вследствие значительного разнообразия габитусов кристаллов. Таким образом, предлагаемая рецептура порошково-активированных пластифицированных бетонов нового поколения открывает большие возможности прогресса в технике и технологии бетонов. Однократный помол дисперсных наполнителей в разы экономичнее, чем двукратное дробление, двукратный помол (сырья и клинкера), высокотемпературный обжиг при производстве цемента. Важно то, что неиспользуемые отсеvy горных пород фр. 5-10 мм имеются лишь в некоторых регионах, а пески и известняки – в большинстве, и они децентрализованы, в отличие от централизованных производств портландцемента. До тех пор, пока в России не будет налажен выпуск дисперсных наполнителей, не будет развиваться и производство высокоэффективных порошково-активированных бетонов нового поколения

Литература

1. Ананьев С.В. Состав, топологическая структура и реотехнологические свойства реологических матриц для производства бетонов нового поколения: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2011. 148 с.
2. Белякова Е.А. Порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2013. 190 с.
3. Валиев Д.М. Пропариваемые песчаные бетоны нового поколения на реакционно-порошковой связке: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2013. 167 с.
4. Володин В.М. Порошково-активированный высокопрочный песчаный бетон и фибробетон с низким удельным расходом цемента на единицу прочности: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. 160 с.
5. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.
6. Гуляева Е.В. Реотехнологические характеристики пластифицированных цементно-минеральных дисперсных суспензий и бетонных смесей для производства эффективных бетонов: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. 178 с.
7. Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов // Технологии бетонов. 2007. № 5. С. 8-10; 2007. № 6. С. 8-11; 2008. № 1. С. 22-26.
8. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 103-106.
9. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 70-72.
10. Калашников В.И. Бетоны: макро-, нано- и пикомасштабные сырьевые компоненты. Реальные нанотехнологии бетонов // Дни современного бетона. От теории к практике: сб. докл. конф. Запорожье, 2012. С. 38-50.
11. Калашников В.И., Троянов И.Ю., Мороз М.Н., Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Суздальцев О.В., Каледа В.Н. Трехслойные крупноформатные стеновые блоки из высокопрочного реакционно-порошкового бетона // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. ст. между. науч.-технич. конф. Пенза: ПДЗ, 2013. С. 39-42.
12. Калашников В.И., Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Мороз М.Н., Ибрагимов Р.А. Приоритетные направления в технологии бетонов // Там же. С. 34-38.
13. Калашников В.И., Тараканов О.В., Москвин Р.Н., Мороз М.Н., Белякова Е.А., Тростянский В.М. Стабилизация водной суспензии высокодисперсного биокремнезема для использования в производстве растворов и бетонов // Там же. С. 21-24.
14. Калашников С.В. Тонкозернистые реакционно-порошковые дисперсно-армированные бетоны с использованием горных пород: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2006. 163 с.
15. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон: справ. пособие. М.: Стройиздат, 1988. 286 с.
16. Хозин В.Г., Морозов Н.М., Степанов С.В., Боровских И.В. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 15-17.
17. DIN EN 206-1 Norm, 2001-07. Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Deutsche Fassung EN 206-1:2000, Beuth Verlag, Berlin. 72 p.

References

1. Ananyev S.V. Composition, structure and reotechnological properties of reological matrices for the production of the concrete of new generation: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. M., 1998. P. 186.
2. Belyakova Ye.A. Powder and powder-activated concretes with the use of rock formations and ashes of CHP: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Penza, 2013. 190 p.
3. Valiyev D.M. Steamed sand concretes of new generation on reactive powder connection: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Penza, 2013. 167 p.
4. Volodin V.M. Powder-activated high-strength sand concrete and fiber concrete with a low specific cement consumption per unit of strength:

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Penza, 2012. 160 p.

5. GOST 24211-2008. «Additives for concrete and mortar of cement. General specifications». M.: Standartinform, 2010. 16 p.

6. Gulyaeva Ye.V. Reotechnological characteristics of plasticized cement-mineral dispersed suspensions and concrete mixes to produce efficient concretes: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Penza, 2012. 178 p.

7. Kalashnikov V.I. Through rational rheology to the future of concrete // *Tekhnologii betonov*. 2007. № 5. P. 8-10; 2007. № 6. P. 8-11; 2008. № 1. P. 22-26.

8. Kalashnikov V.I. Terminology of the concrete science of the new generation // *Stroitelnyye materialy*. 2011. № 3. P. 103-106.

9. Kalashnikov V.I. What is powder-activated concrete of new generation // *Stroitel'nye materialy*. 2012. № 10. P. 70-72.

10. Kalashnikov V.I. Concrete: macro-, nano- and top-scaled raw components. Real concrete nanotechnology // *Dni sovremennogo betona. Ot teorii k praktike*: sb. dokladov konf. Zaporozhye. 2012. P. 38-50.

11. Kalashnikov V.I., Troyanov I.Yu., Moroz M.N., Belyakova Ye.A., Moskvina R.N., Suzdaltsev O.V., Kaleda V.N. Three-layer large-scale building blocks of high-strength powder-reactive concrete // *Kompozitsionnyye*

stroitelnyye materialy. Teoriya i praktika: sb. st. mezhdun. nauch.-tekhnich. konf. Penza: PDZ. 2013. P. 39-42.

12. Kalashnikov V.I., Belyakova Ye.A., Moskvina R.N., Moroz M.N., Ibragimov R.A. Priorities in concrete technology // *Kompozitsionnyye stroitelnyye materialy. Teoriya i praktika*: sb. st. mezhdun. nauch.-tekhnich. konf. Penza: PDZ. 2013. P. 34-38.

13. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Moskvina R.N., Moroz M.N., Belyakova Ye.A., Trostyansky V.M. Stabilization of aqueous suspension of finely biomicrosilica for using in mortars and concretes // *Kompozitsionnyye stroitelnyye materialy. Teoriya i praktika*: sb. st. mezhdun. nauch.-tekhnich. konf. Penza: PDZ. 2013. P. 103-107.

14. Kalashnikov S.V. Fine-grained reactive powder fiber concrete with rock formations: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Penza, 2006. 163 p.

15. Ramachandran V.S., Feldman R.F., Kollepardi M. Concrete additives: reference book. M.: Stroyizdat, 1988. 286 p.

16. Khozin V.G., Morozov N.M., Stepanov S.V., Borovskikh I.V. High-strength cement concrete for road building // *Stroitelnyye materialy*. 2009. № 11. P. 15-17.

17. DIN EN 206-1 Norm, 2001-07. Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Deutsche Fassung EN 206-1:2000, Beuth Verlag. Berlin. 72 p.