

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Ядыкина В.В., Траутвайн А.И.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
Белгород, e-mail: rector@intbel.ru

В статье исследована возможность повышения качества строительных материалов на основе неорганического вяжущего путем введения механоактивированных наполнителей. На основе полученных ранее результатов дан анализ зависимости между временем помола в различных мельницах, удельной поверхностью исследуемых материалов и концентрацией обменных центров. Представлены результаты по влиянию механоактивации на прочностные характеристики системы «цемент – тонкодисперсный наполнитель». Использование в составе образцов отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице, привело к росту предела прочности при сжатии на 72%, кварцевого песка – 60%; при помоле в вибрационном истирателе изменение составило 18% в обоих случаях. Предел прочности при изгибе увеличился на 43 и 37% соответственно для шаровой планетарной мельницы; на 12 и 13% для вибрационного истирателя. Полученные результаты дают основание полагать, что применение активных наполнителей в цементных системах позволит заменить часть вяжущего вещества без потери прочности и корректировок водоцементного отношения, что является одним из аспектов создания энерго- и ресурсосберегающей технологии в области строительного материаловедения.

**Ключевые слова:** механоактивация, тонкодисперсный наполнитель, измельчение, удельная поверхность, концентрация обменных центров, прочность, цементный композит

## THE INFLUENCE OF THE ACTIVE FILLER BASED ON THE TECHNOGENIC SILICEOUS RAW MATERIALS ON THE STRENGTH CEMENT SYSTEMS

Yadykina V.V., Trautvain A.I.

Belgorod Shukhov state technological university, Belgorod, e-mail: rector@intbel.ru

The paper investigated the possibility of improving the quality of building materials based on inorganic binder by introducing mechanically activated fillers. On the basis of previous results, the analysis of the relationship between the beating time in different mills, the specific surface of the material and the concentration of exchangeable sites. Presented results on the influence of mechanical activation on the strength characteristics of the «cement – fine filler». Use of the composition of the waste of the wet magnetic separation, crushed in a ball mill, planetary, led to an increase in compressive strength at 72% quartz sand – 60%; when grinding in an attritor vibration change by 18% in both cases. Flexural strength increased by 43 and 37%, respectively, for a planetary ball mill; 12 and 13% for a vibratory eraser. The results obtained suggest that the use of active fillers in cement systems will replace part of the binder, without loss of strength and adjustments water-cement ratio, which is one of the aspects of the creation of energy-saving technologies in the field of building materials.

**Keywords:** mechanoactivation, finely divided excipient, milling, the specific surface area, the concentration of the exchangeable sites, the strength, cement composite

Необходимым элементом получения высококачественных материалов и изделий является управление сложными физико-химическими процессами, происходящими в зоне контакта при формировании структуры композиционных материалов [2].

К характерным особенностям бетонов нового поколения следует отнести введение в их состав дисперсных наполнителей и высокоактивных минеральных добавок [2–3, 5].

Исследованию различных видов наполнителей и физико-химическому взаимодействию их с цементом посвящено множество работ [1, 4, 6–8, 11]. Установлено, что при использовании определенных наполнителей возможно снижение расхода цемента без ухудшения морозостойкости и водонепроницаемости бетона [1, 4]. В работах [6, 8]

показано, что микронаполнитель оказывает влияние на структуру и свойства цементных систем, на характер кристаллизации новообразований. Использование в качестве наполнителя термообработанного при 660 °С молотого кремнеземсодержащего песка повышает прочность бетона, а при введении молотого диабазы можно заменить до 50% цемента без снижения прочности за счет повышения степени гидратации алита [11]. В работе [7] отмечается, что свойства микроструктуры определяются явлениями, протекающими на контакте твердых и жидких фаз, и зависят от объемного содержания наполнителей, соотношения дисперсности вяжущего и наполнителей, физико-химической активности поверхностей контактирующих фаз, концентрации вяжущего

вещества, количества опасных для данной структуры дефектов и других факторов.

Таким образом, можно заключить, что контактная зона на границе «вяжущее – заполнитель» не только не является дефектным местом структуры бетона, но, наоборот, может способствовать ее упрочнению. Пути упрочнения зоны контакта согласно [12] являются: улучшение геометрии контакта между вяжущим и заполнителем за счет очистки поверхности; выбор портландцемента с учетом его адгезионных свойств, наиболее благоприятных для данного заполнителя и условий твердения бетона; интенсификация взаимодействия между вяжущим и кварцевым заполнителем в нормальных условиях за счет активизации его поверхности.

Исходя из того, что поверхность дисперсных материалов отличается от объема повышенным энергетическим потенциалом и наличием избыточной поверхностной энергии, многие процессы протекают самопроизвольно именно на ее активных центрах [11]. Геометрия расположения и энергетические особенности этих центров обычно не требуют больших значений энергии активации реакций, протекающих на них. Поэтому активные центры поверхности заполнителей и наполнителей в первую очередь будут обуславливать их реакционную способность и участвовать во взаимодействии с гидратирующимся цементом. Установлено [12], что концентрацию активных поверхностных центров можно увеличить путем физико-химической обработки наполнителей.

Традиционные наполнители для строительных материалов получают путем помола, и только небольшой процент сырья может применяться в существующем состоянии, поэтому значительный интерес представляет анализ получения реакционно-способных наполнителей с учетом влияния помольного оборудования.

Технологическое развитие аппаратов для измельчения и активации связано с появлением новых конструкционных материалов, повышением требований к дисперсности и форме частиц измельчаемых материалов и появлением материалов, нуждающихся в измельчении, с самыми разнообразными физико-механическими свойствами, а также необходимостью снижения энергоемкости процесса помола. Номенклатура помольных агрегатов, отличающихся конструктивными особенностями, производится постоянно увеличивается.

**Целью данного исследования** явилось выявление наиболее рационального помольного агрегата не только с точки зрения увеличения дисперсности получаемого материала, но и повышения его реакционной способно-

сти. Практический интерес также представляет изучение влияния поверхностных свойств измельчаемых материалов на физико-механические свойства конечного композита.

### Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали дисперсное техногенное сырье Курской магнитной аномалии (КМА) из кварцитопесчаника и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС). Для сравнения был использован рядовой кварцевый песок и отсев дробления гранита Павловского карьера. Размер частиц диспергируемого сырья не превышал 1,25 мм. Измельчение производили в четырех лабораторных помольных агрегатах: шаровой и шаровой планетарной мельницах, вибромельнице, вибрационном истирателе.

При выполнении работы применяли комплекс современных методов исследований. Величину удельной поверхности исследовали на приборе Товарава и методом БЭТ (Брунауэра – Эммета – Теллера). Гранулометрический анализ распределения частиц проводили на лазерном анализаторе частиц Microsizer.

Активирующая способность помольных агрегатов оценивалась по концентрации активных кислотных центров Бренстеда на поверхности размальваемого материала, которую определяли аналитически с помощью титрования щелочного раствора кислотой. Согласно современным работам в области химии поверхности и строительного материаловедения, именно кислотные центры Бренстеда оказывают существенное влияние на взаимодействие с вяжущими материалами.

### Результаты исследования и их обсуждение

Одним из основных параметров, влияющих на эффективность помола, отличающих мельницы друг от друга, является способ воздействия мелющих тел на материал: раздавливание (сжатие куска), излом (изгиб), раскалывание (эквивалентно растяжению), истирание и удар. Можно предположить, что принцип измельчения материалов в различных мельницах может по-разному влиять на дисперсность, гранулометрический состав, форму и шероховатость поверхности частиц, а также на концентрацию активных поверхностных центров минеральных наполнителей.

Исследования, проведенные с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer, показали [17], что порошки, измельченные в шаровой планетарной, шаровой и вибромельнице, имеют довольно широкий диапазон распределения частиц, причем отмечаются максимумы и минимумы в аналогичных областях размерного распределения. В то время как тонкомолотые наполнители, измельченные в вибрационном истирателе, в которой реализуется в основном лишь один способ воздействия мелющих тел на материал (ударный и истирающий соответственно), характеризуются довольно узкой гранулометрией.

В работах [10, 13–16] установлено, что раз- мол кремнеземсодержащего сырья происходит по-разному. Самой высокой размолоспособ- ностью, установленной при помоле отходов ММС и кварцитопесчаника, обладает шаровая планетарная мельница, а минимальная раз- мoloпригодность установлена для кварцевого песка и гранита при использовании вибраци- онного истирателя и шаровой мельницы.

Анализ рассматриваемого помольного оборудования показал, что наибольшей ак- тивирующей способностью обладает ша- ровая планетарная мельница, в которой ре- ализуется ударный принцип измельчения. В результате помола в ней концентрация протонодонорных центров увеличивается в 4,4–2,1 раза, в то время как использо- вание вибрационного истирателя и шаровой мельницы дает увеличение активности лишь в 2,4–1,6 раза. Из исследуемых материалов максимальное значение величины концен- трации активных центров, 79 мк-экв/г, до- стигается на поверхности отходов ММС при помоле в шаровой планетарной мельнице против 23 мк-экв/г для кварцевого песка, из- мельченного в вибрационном истирателе.

В работе [9] установлено, что при хра- нении свежеизмельченных минеральных по- рошков происходит падение концентрации активных центров, причем стабильно низкое

их количество достигается через сутки. При этом процесс потери активности поверхности происходит за счет адсорбции молекул воды и в значительной степени зависит от влажно- сти окружающей среды, поэтому необходимо вводить механоактивированный наполнитель в бетонную смесь с минимально возможным временным интервалом после помола.

Для подтверждения гипотезы относи- тельно положительного влияния механо- активации наполнителей на усиление их адгезии к цементу и повышения структуро- образующей роли были изготовлены образ- цы – балочки размером 25×25×100 мм при соотношении цемент:наполнитель – 1:3. Удельная поверхность каждого наполните- ля при этом подбиралась экспериментально и составляла 350 м<sup>2</sup>/кг.

Испытания проводились на свежераз- молотом материале и для сравнения выдер- жанном на воздухе в течение недели после помола (стабильное состояние). Абсолют- ные значения пределов прочности при сжа- тии и изгибе образцов-балочек на различ- ных наполнителях представлены в таблице. Прирост прочности образцов со свежераз- молотыми наполнителями из кварцитопес- чаника, песка, гранита и отходов ММС по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии представлен на рис. 1–2.

Показатели предела прочности при сжатии и изгибе образцов со свежеразмолотым материалом и выдержанным на воздухе после помола

Наименование материала	Свежеразмолотый		В стабильном состоянии	
	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа
Шаровая планетарная мельница				
Песок	2,89	1,26	1,88	0,92
Гранит	3,26	1,49	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	4,10	1,64	2,74	1,25
Отходы ММС	5,04	1,80	2,92	1,25
Вибромельница				
Песок	2,65	1,11	1,88	0,92
Гранит	3,08	1,36	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,52	1,41	2,74	1,25
Отходы ММС	4,32	1,54	2,92	1,25
Вибрационный истиратель				
Песок	2,22	1,04	1,88	0,92
Гранит	2,56	1,24	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,15	1,37	2,74	1,25
Отходы ММС	3,46	1,39	2,92	1,25
Шаровая мельница				
Песок	2,48	1,04	1,88	0,92
Гранит	3,12	1,42	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,45	1,38	2,74	1,25
Отходы ММС	3,82	1,42	2,92	1,25

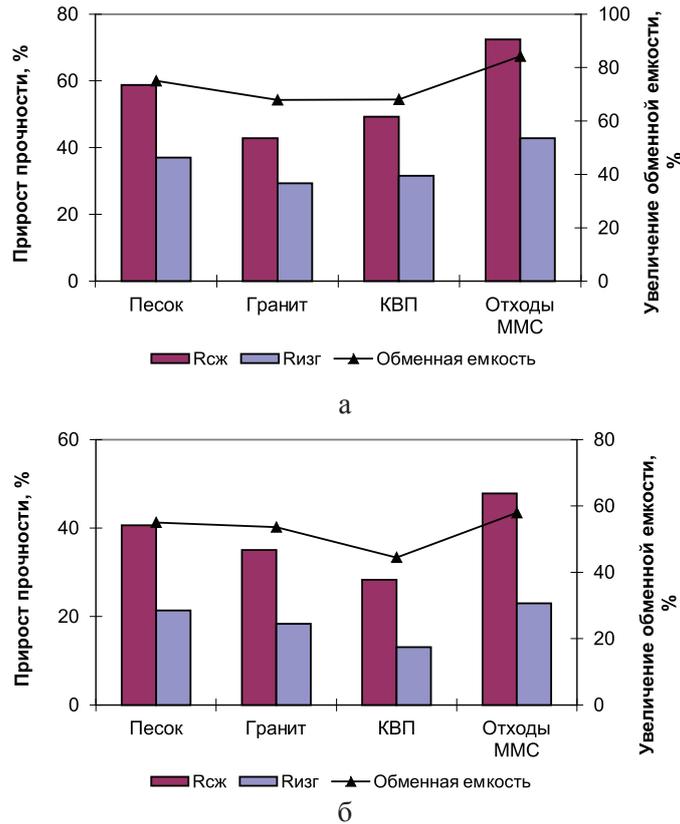


Рис. 1. Прирост прочности образцов на свежеразмолотых наполнителях по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии, измельченных в различных мельницах: а – шаровая планетарная мельница; б – вибромельница

Анализ представленных результатов показал, что образцы на свежеразмолотом наполнителе имеют более высокие значения прочности по сравнению с образцами из контрольной серии, при этом увеличение прочности наблюдается для композитов с использованием наполнителей из всех исследуемых материалов. Наибольшая прочность отмечена у образцов с применением кварцитопесчаника и отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице. Прочность на растяжение при изгибе составила 1,64 и 1,80 МПа, при сжатии – 4,10 и 5,04 МПа соответственно. Гранит, кварцевый песок обеспечивают прочность при изгибе 1,49 и 1,26 МПа, при сжатии – 3,26 и 2,89 МПа соответственно. При измельчении наполнителя в вибро- и шаровой мельницах наблюдается аналогичное распределение прочностей при их меньшем численном увеличении.

Использование вибрационного истрателя эффективно только для кварцитопесчаника и отходов ММС, так как пределы прочности при сжатии образцов с наполнителем из кварцевого песка или гранита, как в свежеразмолотом, так и в стабильном состоянии, примерно равны и составляют

2,22 и 1,88 МПа для кварцевого песка; 2,56 и 2,28 МПа для гранита. Схожая тенденция наблюдается с величиной предела прочности при изгибе. Данный показатель для образцов на кварцевом песке в активном и стабильном состоянии составляет 1,04 и 0,92 МПа соответственно, для образцов на граните – 1,24 и 1,15 МПа.

Из данных, представленных на рис. 1–2, видно, что, максимальный прирост прочности на свежеразмолотом наполнителе в сравнении с наполнителем в стабильном состоянии, отмечается при использовании вибро- и шаровой планетарной мельниц для кварцевого песка и отходов ММС. Наименьший активирующий эффект на данных наполнителях демонстрирует помол в вибрационном истрателе.

Использование в составе образцов отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице, привело к росту предела прочности при сжатии на 72%, кварцевого песка – 60%; при помолу в вибрационном истрателе изменение составило 18% в обоих случаях. Предел прочности при изгибе увеличился на 43 и 37% соответственно для шаровой планетарной мельницы; на 12 и 13% для вибрационного истрателя.

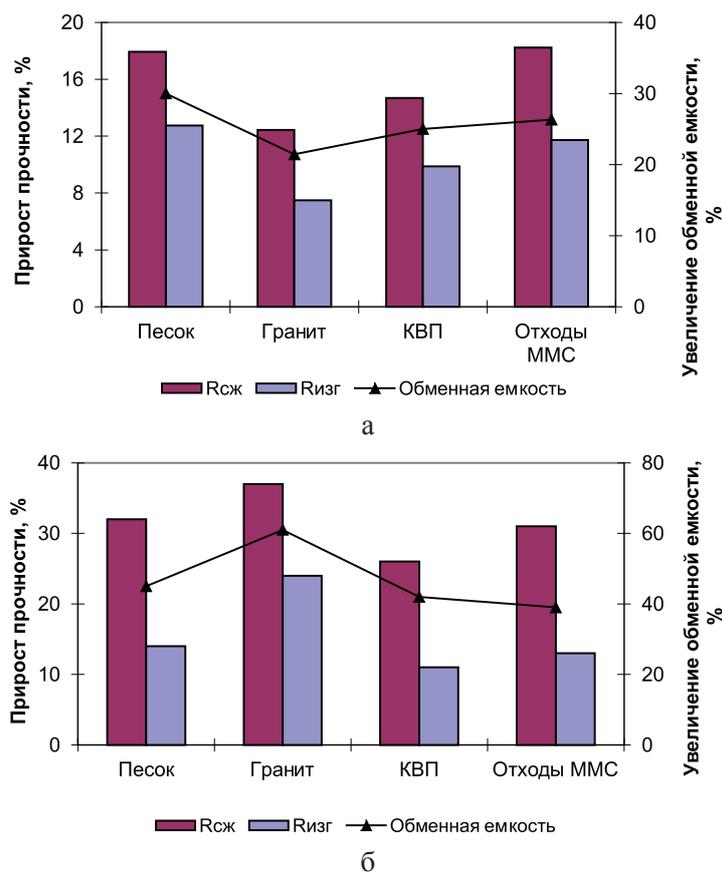


Рис. 2. Прирост прочности образцов на свежеразмолотых наполнителях по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии, измельченных в различных мельницах: а – вибрационный истиратель; б – шаровая мельница

Следует отметить, что полученные значения пределов прочности при обеих схемах нагружения образцов коррелируют с изменением концентрации активных адсорбционных центров на поверхности наполнителей, получаемых при помоле в различных мельницах. Так, например, применение шаровой планетарной мельницы (рис. 1, а) позволило достичь повышения обменной емкости до 84% для отходов ММС по сравнению с 68% при измельчении гранита. Применение наполнителя с более высокой обменной емкостью привело к увеличению предела прочности образцов при сжатии на 72%, предела прочности при растяжении при изгибе – на 43% по сравнению с 43 и 29% соответственно для наполнителя из гранита.

Можно заключить, что повышение физико-механических показателей образцов с использованием механоактивированных наполнителей является следствием ряда причин: изменения гранулометрического состава, морфологии частиц и структуры поверхности, количества активных адсорбционных центров. Очевидно, что удельная поверхность порошков и их гранулометрия не изменяются при хранении после помола,

а форма частиц оказывает влияние лишь на механическое сцепление на границе раздела фаз. Вместе с тем количество активных центров поверхности в значительной степени зависит от времени, условий хранения наполнителя и типа помольного оборудования, что отчетливо отражается на показателях свойств цементного композита. Наиболее реакционноспособными являются материалы, измельченные в шаровой планетарной мельнице, наименее – в вибрационном истиратель.

### Заключение

Полученные результаты дают основание полагать, что применение активных наполнителей в цементных системах позволит заменить часть вяжущего вещества без потери прочности и корректировок водоцементного отношения, что является одним из аспектов создания энерго- и ресурсосберегающей технологии в области строительного материаловедения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова № 2011-ПР-146.

**Список литературы**

1. Асирян А.М. Некоторые особенности взаимодействия компонентов в высокопрочных бетонах // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 6. – С. 37–40.
2. Баженов Ю.М. Новому веку – новые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 2. – С. 10–11.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Эффективность цемента с минеральными добавками в бетонах // Цемент. – 2002. – № 2. – С. 41–43.
4. Демьянова В.С., Калашников В.И., Вернигорова В.Н., Ильина И.Е. Высокодисперсные органо-минеральные модификаторы цементного камня и бетона // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 49–53.
5. Каприелов С.С. Модифицированные бетоны нового поколения в практике современного транспортного строительства // Дороги России XXI века. – М., 2003. – № 1. – С. 62–65.
6. Королев Е.В., Очкина Н.А., Баженов Ю.М. и др. Реологические свойства радиационно-защитных строительных растворов на основе высокоглиноземистого цемента // Строительные материалы. – М.: Изд-во Наука, 2004. – № 3. – С. 8–11.
7. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59–64.
8. Соломатов В.И., Грдзешвили Н.Д., Казанский В.М. и др. Микроструктура и свойства цементного камня с тонкомолотыми пористыми наполнителями // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – № 2. – С. 35–41.
9. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В. Получение реакционноспособных наполнителей из техногенного сырья: монография. – Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 217 с.
10. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Особенности механоактивированных минеральных порошков // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 32–34.
11. Шангина Н.Н. Прогнозирование физико-механических характеристик бетонов с учётом донорно-акцепторных свойств поверхности наполнителей и заполнителей: автореф. дис... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург, – 1998. – 45 с.
12. Ядыкина В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья: монография. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 374 с.
13. Ядыкина В.В., Траутвайн А.И., Гридчин А.М. Анализ регрессивных зависимостей влияния природы материалов и режимов их измельчения на свойства асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4. – С. 26–29.
14. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Preparation of the silica-reactive filler material // Middle-East Journal of Scientific Research 18 (10): 1499–1504, 2013. ([http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18\(10\)13/19.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18(10)13/19.pdf)).
15. Yadykina V., Gridchin A., Trautvain A. Concrete road with fillers, modified mechanical activation. – 18 ibausil, Weimar (Deutsch.), 2012. – pp. 2–0568 – 2–0577.
16. Yadykina, V.V., Trautvain A.I. Increased activity of mineral powder, resulting in various grinding mill // in Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Alexandra D. Markova. Vol. J11307 (Kupriyenko SV, Odessa, 2013) – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J11307.pdf> (date: may 2013) – J11307–174.
17. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. Mechanical activation of mineral powder for asphalt // «Time and Space – coordinate system of human development»: materials digest of the VIII-th International Scientific and Practical Conference, Odessa, London, August 25 – September 1, 2011. – Odessa: In Press, 2011. – P. 42–44.

**References**

1. Asiryani A.M. *Nekotoryye osobennosti vzaimodeystviya komponentov v vysokoprochnykh betonakh. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* (Proceedings of the universities. Building). 2002. no. 6. pp. 37–40.
2. Bazhenov Y.M. *Novomu veku – novyye betony. Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* (Building materials, equipment, technologies of XXI century). 2000. no. 2. pp. 10–11.

3. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Effektivnost tsementov s mineralnyimi dobavkami v betonakh. Tsement* (Cement). 2002. no. 2. pp. 41–43.
4. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Vernigorova V.N., Ilyina I.Ye. *Vysokodispersnyye organo-mineralnyye modifikatory tsementnogo kamnya i betona. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* (Proceedings of the universities. Building). 2003. no. 3. pp. 49–53.
5. Kapriyelov S.S. *Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya v praktike sovremennogo transportnogo stroitelstva. Dorogi Rossii XXI veka* (Roads of Russia of the XXI century). 2003. no. 1. pp. 62–65.
6. Korolev Ye.V., Ochkina N.A., Bazhenov YU.M. i dr. *Reologicheskiye svoystva radiatsionno-zashchitnykh stroitelnykh rastvorov na osnove vysokoglynozemizistogo tsementa. Stroitelnyye materialy* (Building Materials). M.: Izd-vo Nauka, 2004. no. 3. pp. 8–11.
7. Solomatov V.I., Vyrovoy V.N. *Fizicheskiye osobennosti formirovaniya struktury kompozitsionnykh stroitelnykh materialov. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura* (Proceedings of the universities. Construction and architecture). 1984. no. 8. pp. 59–64.
8. Solomatov V.I., Grdzeshvili N.D., Kazanskiy V.M. i dr. *Mikrostruktura i svoystva tsementnogo kamnya s tonkomolotymi poristymi napolnityelnyami. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura* (Proceedings of the universities. Construction and architecture). 1991. no. 2. pp. 35–41.
9. Trautvain A.I., Yadykina V.V. *Polucheniye reaktivnykh napolniteley iz tekhnogenno go syrja: monografiya. Germaniya: Izd-vo LAP LAMBERT Academic Publishing* (Germany: Publishing House of the LAP LAMBERT Academic Publishing). 2014. 217 p.
10. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. *Osobennosti mekhanoaktivirovannykh mineralnykh poroshkov. Stroitelnyye materialy* (Building materials). 2011. no. 11. pp. 32–34.
11. Shangina N.N. *Prognozirovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik betonov s uchotom donorno-akseptornykh svoystv poverkhnosti napolniteley i zapolniteley: avtoref. dis... dokt. tekhn. Nauk* (the thesis abstract on Dr. tehnechnicheskikh Sciences. – Publisher: Saint-Petersburg). 1998. 45 p.
12. Yadykina V.V. *Upravleniye protsessami formirovaniya i kachestvom stroitelnykh kompozitov s uchotom sostoyaniya poverkhnosti dispersnogo syrja: monografiya. M.: Izd-vo ASV* (a monograph. M.: Publishing House of the ASV), 2009. 374 p.
13. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. *Analiz regressivnykh zavisimostey vliyaniya prirody materialov i rezhimov ikh izmelcheniya na svoystva asfaltobetona. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otasli* (Science and Technology in the road sector). 2014. no. 4. pp. 26–29.
14. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Preparation of the silica-reactive filler material // Middle-East Journal of Scientific Research 18 (10): 1499–1504, 2013. ([http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18\(10\)13/19.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18(10)13/19.pdf)).
15. Yadykina V., Gridchin A., Trautvain A. Concrete road with fillers, modified mechanical activation. 18 ibausil. Weimar (Deutsch.), 2012. pp. 2–0568 – 2–0577.
16. Yadykina, V.V., Trautvain A.I. Increased activity of mineral powder, resulting in various grinding mill // in Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Alexandra D. Markova. Vol. J11307 (Kupriyenko SV, Odessa, 2013) – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J11307.pdf> (date: may 2013) – J11307–174.
17. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. Mechanical activation of mineral powder for asphalt. «Time and Space – coordinate system of human development»: materials digest of the VIII-th International Scientific and Practical Conference, Odessa, London, August 25 – September 1, 2011. Odessa: In Press, 2011. pp. 42–44.

**Рецензенты:**

Череватова А.В., д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технология материалов», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород;  
 Котлярский Э.В., д.т.н., профессор, зам. зав. кафедрой «Дорожно-строительные материалы», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», г. Москва.