

УДК 691.33

**Красникова Н.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [knm0104@mail.ru](mailto:knm0104@mail.ru)

**Морозов Н.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [nikola\\_535@mail.ru](mailto:nikola_535@mail.ru)

**Казанцева А.С.** – студент

E-mail: [kazantseva.a.s@gmail.com](mailto:kazantseva.a.s@gmail.com)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## **О возможности использования шлама переработки бетонных отходов<sup>1</sup>**

### **Аннотация**

Одним из путей повышения физико-механических характеристик цементных бетонов является использование ультра- и нанодисперсных минеральных добавок. Для получения таких добавок используются различные способы и материалы. В работе предложен вариант обработки уже имеющегося шлама рециклинговых установок переработки бетона, с целью получения из него наноразмерного продукта. Был изучен гранулометрический состав частиц до и после обработки в лабораторной диспергирующей установке. Обработку шлама для увеличения его дисперсности проводили в присутствии суперпластификаторов. Применение обработанного шлама в мелкозернистых бетонах позволило увеличить прочность как в первые сутки твердения так и в последующие.

**Ключевые слова:** шлам, диспергация, мелкозернистый бетон, прочность, интенсификатор помола.

Одним из способов получения высокопрочных материалов (бетонов и др.) является модифицирование его структуры, в том числе, наноразмерными частицами различной формы [1-3]. Известно, что одним из эффективных модификаторов является нанодисперсный кремнезем, объединяющий в себе разновидности дисперсного кремнезема (золи, гели, суспензии, пасты). Наиболее интересными и важными представителями нанодисперсного кремнезема являются золи (ультрамикрогетерогенные дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой и твердой дисперсной фазой). Следует отметить, что добавки, полученные по золь-гель методу, эффективны при введении небольших дозировок золя, позволяющие получать бетон с высокими физико-механическими свойствами [4, 5].

Литературный анализ [6-8] показал, что существуют несколько методов получения золя:

- ионного обмена (применяют для поглощения, как анионов, так и катионов; используют динамический и статический режимы процесса);
- диализа (извлечение из раствора низкомолекулярных веществ чистым растворителем через полупроницаемую перегородку (мембрану), не пропускающую коллоидные частицы);
- электродиализа (процесс переноса катионов и анионов через полупроницаемую мембрану под воздействием электрического поля);
- экстракции (удаление электролитов из водных фаз, что приводит к образованию золь);
- диспергации (первоначально получают осадок малорастворимого соединения, который измельчают механическими методами);
- пептизации (заключается в дезагрегации частиц).

В работе исследовалась возможность получения золя методами диспергации и пептизации. По определению, золь – высокодисперсная коллоидная система (коллоидный раствор) с жидкой (лиозоль) или газообразной (аэрозоль) дисперсионной средой, в объеме которой распределена дисперсная фаза в виде капелек жидкости, пузырьков газа или мелких твердых частиц, размер которых лежит в нанометровом диапазоне.

<sup>1</sup> Работа выполнена по заданию № 7.1955.2014/К в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации.

В качестве объекта исследования, исходя из определения золя, выбрали цементный шлам, получаемый после переработки бетонных отходов в рециклинговой установке. Применение отходов от производства бетона является эффективным способом модификации вяжущих веществ и используются такие отходы достаточно широко [9, 10]. В случае использования шлама от промывки бетоносмесителей была выдвинута гипотеза, что обработанные прогидратированные частицы цемент (кристаллогидраты гидросиликатов кальция) могут иметь наноразмерный уровень и быть центрами кристаллизации новообразований в цементном бетоне.

Для исследования были использованы два вида шлама: «А» – шлам, образующийся сразу после отделения заполнителя фракцией 20-0,2 мм, «В» – шлам, образующаяся после отстоя шлама «А» в шлам-бассейне после откачки воды. Гранулометрический состав шлама «А» и «В» определяли на лазерном анализаторе крупности частиц «Horiba», результаты представлены на рис. 1-2.

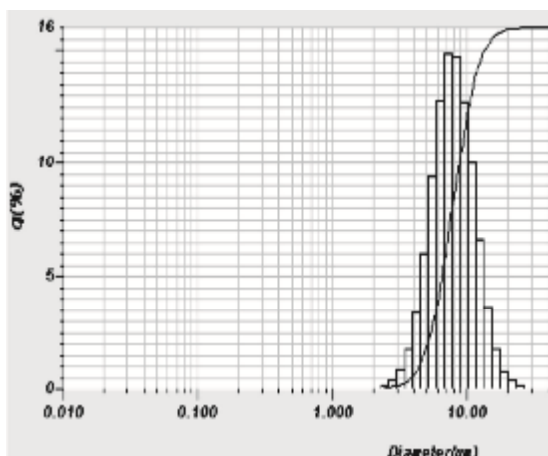


Рис. 1. Дисперсный состав шлама А, образующегося сразу после рециклинговой установки

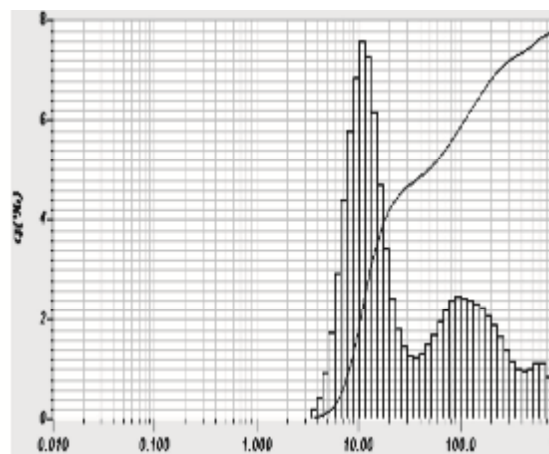


Рис. 2. Дисперсный состав шлама В, образующегося после его отстоя в шлам-бассейне

Из рис. 1 видно, кривая распределения частиц по размерам (РЧР) имеет ярко выраженный одномодальный характер, средний размер частиц шлама «А» находится в интервале 5-15 мкм, а выход фракций меньше 10 мкм составляет 64 %. Из рис. 2 видно, кривая распределения частиц по размерам имеет бимодальный характер, причем кривая смещена в сторону «правого плеча», средний размер частиц шлама «В» находится в интервале  $129 \pm 10$  мкм. Анализ рис. 1 и рис. 2 показал, что после отстоя смеси в шлам-бассейне происходит агломерация твердых частиц шлама.

Далее была произведена оценка рН и нерастворимого остатка всех вариантов отходов рециклинга (табл. 1).

Таблица 1

#### Свойства шлама

Вид шлама	А	В
рН	12,5	12,8
Нерастворимый остаток, %	2,0-11	47

Как видно из табл. 1, все продукты переработки рециклинговых установок имеют одинаковую щелочную среду, равную  $12,5 \pm 0,3$ . Шлам «А», представляет собой суспензию (с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой) с содержанием твердой фазы не более 15 %. Непостоянство содержания твердой фазы в шламе А, объясняется ее зависимостью от состава промываемых остатков бетонной смеси. Шлам «В» содержит твердую фазу более 45 %. Следует отметить, что образование шлама «В» (паста) потребует дополнительно не только время, но и дополнительные площади для его отстаивания, при этом шлам В во времени цементируется. Поэтому для дальнейших исследований оставили шлам «А». Из данных РЧР возможно предположить, что дезагрегируя шлам «А» (средний

размер частиц шлама «А» находится в интервале 5-15 мкм) можно получить наноразмерный продукт, и учитывая присутствие ПАВ (суперпластификаторы, воздухововлекающие добавки и др.) в остатках бетонных смесей можно также предположить, что они будут дополнительными интенсификаторами процесса [11, 12].

Шлам в присутствии интенсификатора помола (суперпластификатор Melflux) пропускали через лабораторную диспергирующую установку (рис. 3) и исследовали зависимости изменения среднего диаметра частиц от времени обработки (рис. 4) и влияние полученной добавки на свойства цемента. Диспергирующая установка по принципу действия представляет собой систему ротор-статор. Такой тип диспергирующих установок позволяет измельчать субстанции за счет механического воздействия. Диспергаторы данного типа имеют диспергирующие элементы, состоящие из двух частей: неподвижного статора и вращающегося ротора. К статору и ротору присоединяется насадка с зубцами различной формы, которая подбирается в зависимости от решаемой задачи. Продукт попадает в центр диспергирующего элемента и за счёт высоких окружных скоростей отбрасывается к периферии и измельчается, проходя через зубцы. Степень измельчения зависит от нескольких факторов:

- свойств среды (вязкость жидкости; твёрдость и размер частиц твердой фазы и пр.);
- типа диспергирующего элемента (нами был использован погружной диспергатор);
- окружной скорости.

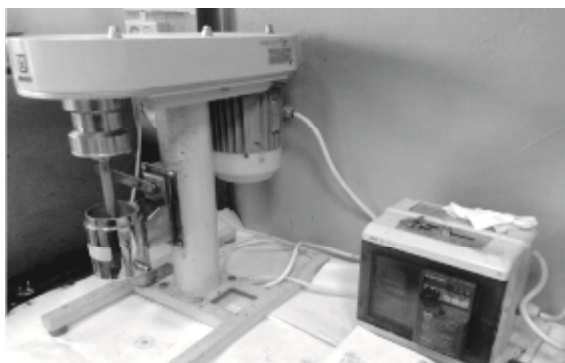


Рис. 3. Лабораторная диспергирующая установка

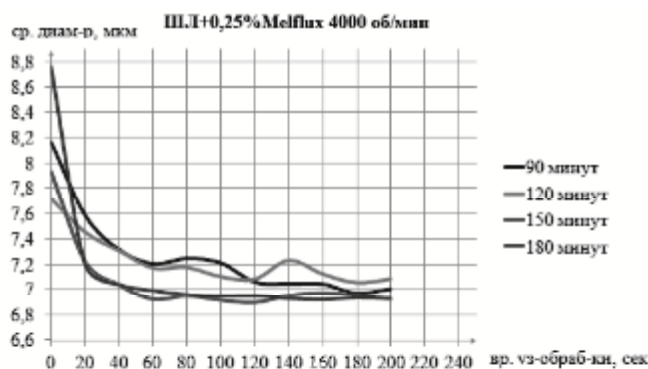


Рис. 4. Зависимости изменения среднего диаметра частиц от времени обработки на диспергирующей установке

Из рис. 4 видно, что наименьший средний диаметр частиц 6,9 мкм был получен после 2,5 часов прокручивания в установке при 4000 об/мин и 2 минут обработки ультразвуком (рис. 5). Но полученный результат входит в область дисперсионных материалов разной крупности, а не в область наночастиц. Также были использованы другие режимы обработки при 1200, 1300, 2500 об/мин продолжительностью до 7 часов, но получить частицы меньшего диаметра не удалось.

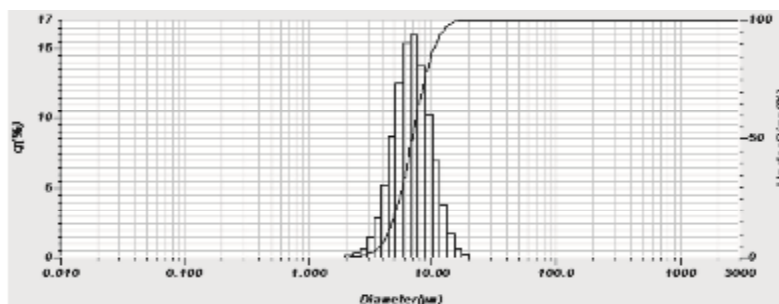


Рис. 5. РЧР распределения частиц в растворе ШЛ+0,25% Melflux после 150 минут измельчения при 4000 об/мин и 120 сек обработки

График зависимости оседания частиц от времени показывает (рис. 6), что исследуемая система (обработанный шлам) обладает большей стабильностью в первые часы по сравнению с контрольным составом.

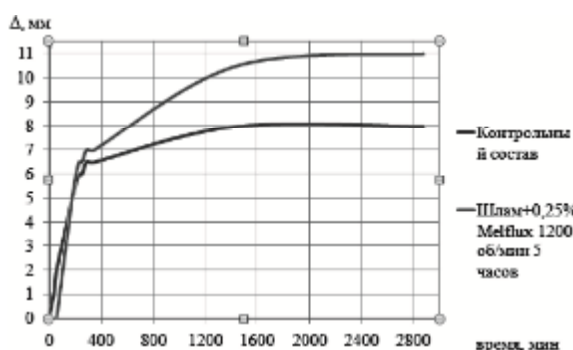


Рис. 6. Зависимость оседания частиц от времени

Введение ультрадисперсных минеральных добавок позволяет управлять структурообразованием цементных систем [13]. Влияние обработанного шлама на сроки схватывания цементного теста при замене им части воды показано в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что происходит ускорение схватывания. При замене шламом воды на 100 % начало схватывания сокращается на 50 мин. По нашему мнению, это можно объяснить ускоренным течением гидратации. При этом состав с 20 % содержанием шлама имеет меньшее время конца схватывания, благодаря большей скорости роста новообразований. В табл. 3 показана прочность мелкозернистого бетона при замене шламом воды на 100 %.

Таблица 2

**Сроки схватывания цементного теста**

№	Количество обработанного шлама, %	Начало схватывания, мин/Δ, мин	Конец схватывания, мин/Δ, мин
1	0 – контрольный	150/ 0	225/ 0
2	20	130/ -20	190/ -35
3	40	130/ -20	210/ - 15
4	60	110/ -40	210/ -15
5	100	100/ -50	215/ -10

Таблица 3

**Состав и свойства мелкозернистого бетона со шламом**

Состав и свойства бетона	1	2	3
Цемент, кг	450	450	450
Песок, кг	1600	1600	1600
Шлам А, кг	-	210	-
Шлам А обработанный УЗ, кг	-	-	210
Вода, кг	220	-	-
Прочность при изгибе, МПа в возрасте 1 суток	1,35	1,82	1,64
Прочность на сжатие, МПа в возрасте 1 суток	9,3	12,4	12,9
Прочность на сжатие, МПа в возрасте 14 суток	22,9	24,8	25,1

Как видно из табл. 3 при ведении шлама А прочность на сжатие мелкозернистого бетона в возрасте 1 суток нормального твердения увеличивается на 30 %, а в возрасте 14 суток на 8 %. При использовании обработанного ультразвуком шлама А прочность бетона в раннем возрасте также увеличивается, и к 14 суткам становится равной прочности состава 2. Стоит отметить что при введении шлама А снижается расход воды затворения при заданной подвижности, что вызвано наличием остатков пластифицирующих добавок в шламе. Также из табл. 3 видно что при использовании шламов ускоряется твердение бетона.

Таким образом, введение шлама позволяет повысить физико-механические свойства бетона и решить проблему его утилизации на предприятиях производителей бетонных смесей. Однако, можно сделать вывод о нецелесообразности выбранного метода (диспергирования) для получения нанопродукта из шлама, т.к. агломераты кристаллогидратов разбить до наноуровня механическим способом невозможно.

### Список библиографических ссылок

1. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Сулейманов Н.М., Тогулев П.Н. Влияние добавки наномодификатора на основе углеродных нанотрубок на прочность цементного камня // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 185-189.
2. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона // Строительные материалы, 2010, № 10. – С. 34-35.
3. Пименов А.И., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Физико-механические свойства цементных композитов, модифицированных нанодобавкой // Вестник Казанского технологического университета, 2015, Т. 18, № 1. – С. 128-130.
4. Хозин В.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // Строительные материалы, 2015, № 2. – С. 25-33.
5. Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Елисеева Н.Н. Повышение качества неавтоклавного пенобетона добавками наноразмера // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал, 2011, № 1. – С. 50-62.
6. Брыков А.С. Образование концентрированных полисиликатных растворов из стабилизированных кремнезольей // Коллоидный журнал, 2004, Т. 66, вып. 4. – С. 481-486.
7. Bergna H.E. The colloid chemistry of silica. Am. Chem. Soc., 1994. – 718 p.
8. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. – М.: Академкнига, 2004. – 208 с.
9. Rakhimova N.R., Rachimov R.Z. Characterisation of ground hydrated Portland cement-based mortar as an additive to alkali-activated slag cement // Cement and Concrete Composites, 2015, 57 (3). – P. 55-63.
10. Кальгин А.А., Фахратов М.А., Сохряков В.И. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // Строительные материалы, 2010, № 6. – С. 32-33.
11. Хохряков О.В., Байшев Д.И., Хозин В.Г. Изучение дисперсного состава минеральных компонентов цементов низкой водопотребности после их получения // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С. 252-256.
12. Красиникова Н.М., Хозина Е.В., Хозин В.Г., Морозов Н.М. Исследование размолосопособности сухих смесей для пенобетона // Вестник Казанского технологического университета, 2015, Т. 18, № 8. – С. 187-190.
13. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиционном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 233-237.

**Krasnikova N.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [knm0104@mail.ru](mailto:knm0104@mail.ru)

**Morozov N.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [nikola\\_535@mail.ru](mailto:nikola_535@mail.ru)

**Kazantseva A.S.** – student

E-mail: [kazantseva.a.s@gmail.com](mailto:kazantseva.a.s@gmail.com)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **On the possibility of the use of sludge produced from concrete waste recycling**

#### **Resume**

To improve the quality of building materials various types of modifiers are used. Modern trend of modification of cement concrete is the use of nanoscale additives. There are different types and methods of obtaining the nano-additives, but they are quite expensive. To reduce the cost on receipt of such additives sludge of various industries can be used. In this work an attempt was made to obtain nanomodifiers from the sludge obtained after the recycling of the concrete mix. The main component of the sludge are prohydrated cement particles. Additional treatment of the sludge in laboratory installation of dispersing has reduced the size of the particles, but the particle diameter less than 100 nm in the end did not happen. The treated sludge can reduce the setting time of the cement paste, to increase the strength of concrete on the first day and subsequent stages of hardening.

**Keywords:** the sludge, dispersion, fine-grained concrete, strength, grinding aids.

#### **Reference list**

1. Gabidullin M.G., Huzin A.F., Syleimanov N.M., Togulev P.N. The influence of nano-modifier additives based on carbon nanotubes for strength of cement stone // *Izvestiya KGASU*, 2011, № 2. – P. 185-189.
2. Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B., Hakimullin Y.N., Khozin V.G. Nanomodified bituminous binders for asphalt concrete // *Stroitel'nye Materialy*, 2010, № 10. – P. 34-35.
3. Pimenov A.I., Ibragimov R.A., Izotov V.S. Physico-mechanical properties of cement composites modified by nontobacco // *Vestnik of the Kazan Technological University*, 2015, № 1. – P. 128-130.
4. Khozin V.G., Abdrachmanova L.A., Nizamov R.K. General concentration pattern of effects nanomodification building materials // *Stroitelnye Materialy*, 2015, № 2. – P. 25-33.
5. Svatovskaya L.B., Sychev A.M., Eliseeva N.N. Improving the quality of autoclaved aerated concrete of nanoscale additives // *Nanotechnology in construction: a scientific Internet-journal*, 2011, № 1. – P. 50-62.
6. Brykov F.S. Education concentrated polysilicate solutions of stabilized silica Sol // *Colloid journal*, 2004, T. 66. – P. 481-486.
7. Bergna H. E. The colloid chemistry of silica. Am. Chem. Soc., 1994. – 718 p.
8. Shabanov N.A., Sarkisov P.D. Fundamentals of Sol-gel technology of nanodispersed silica. – M.: Academkniga, 2004. – 208 p.
9. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Characterisation of ground hydrated Portland cement-based mortar as an additive to alkali-activated slag cement // *Cement and Concrete Composites*, 2015, 57 (3). – P. 55-63.
10. Kalgina A.A., Fahratov M.A., Sohryakov V.I. Experience using crushed concrete waste in the production of concrete products // *Stroitelnye Materialy*, 2010, № 6. – P. 32-33.
11. Khokhryakov O.V., Baishev D.I., Khozin V.G. The study of disperse composition of mineral components of cement with low water demand after receiving them // *Izvestiya KGASU*, 2013, № 4. – P. 252-256.
12. Krasnikova N.M., Khozina E.V., Khozin V.G., Morozov N.M. Study on the grinding of dry mixes for concrete blocks // *Vestnik of the Kazan Technological University*, 2015, № 8. – P. 187-190.
13. Borovskih I.V., Khozin V.G. The change of the lengths of basalt fibers in its distribution in a composite binder high-strength bazaltconcrete // *Izvestiya KGASU*, 2009, № 2. – P. 233-237.