

**Для цитирования:** Муртазаев С.-А.Ю., Омаров А.О., Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны на основе использования вторичных техногенных ресурсов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (1): 204-213. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-204-213

**For citation:** Murtazayev S.-A.Y., Omarov A.O., Salamanova M.Sh. High-strength concrete based on the use of secondary technogenic resources. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (1): 204-213. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-204-213

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-1-204-213

### ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ

**Муртазаев С.-А.Ю.<sup>1</sup>, Омаров А.О.<sup>3</sup>, Саламанова М.Ш.<sup>2</sup>**

<sup>1-2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика  
М.Д. Миллионщикова,

<sup>1-2</sup>364905, г. Грозный, пр-кт им. Х.А. Исаева, 100, Россия,

<sup>3</sup>Дагестанский государственный технический университет,  
367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

<sup>1</sup>e-mail: s.murtazayev@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: madina\_salamanova@mail.ru,

<sup>3</sup>e-mail: o.arif@mail.ru

**Резюме. Цель.** Вторичные сырьевые ресурсы являются ценным материалом, который аккумулирует в себе ранее осуществленные инвестиционные и энергетические затраты, к тому же этот продукт не требует средств на разработку карьера и переработку сырья, что в большинстве случаев оказывается намного дешевле, чем освоение природных ископаемых. Разработка новых эффективных композитов на основе вторичных ресурсов для высотного строительства является актуальной проблемой. **Методы.** В основу получения высокопрочных бетонов положены современные технологические приемы, способствующие улучшению технических и физико-механических свойств при комплексном применении техногенного сырья и эффективных химических добавок. **Результаты.** В данной работе приведены перспективы использования техногенного сырья ТЭЦ г. Грозного и отходов дробления горных пород. Изучена природная и техногенная сырьевая база Чеченской Республики и получены рецептуры зольных цементов и составы высокопрочных бетонов классов по прочности на сжатие В60 с комплексным использованием природного и техногенного сырья для внедрения в строительство высотных комплексов. **Вывод.** Использование зольного цемента и суперпластификатора Полипласт благоприятно сказывается на процессах формирования структуры и поровом пространстве цементного камня, расход добавки 1,6 % является наиболее оптимальным. Комплексное использование вторичных ресурсов позволило получить водостойкий и высокопрочный композит, обладающий существенно лучшими физико-механическими показателями в сравнении с традиционными бетонами. Разработанные рецептуры зольных вяжущих и бетонов на основе тонкодисперсных зольных микросфер и обогащенных искусственных заполнителей способствовали утилизации вторичного сырья и улучшению экологической обстановки в регионе.

**Ключевые слова:** техногенное сырье, зольное вяжущее, золошлаковые смеси, отходы дробления горных пород, суперпластификатор, зольные микросферы, высокопрочный бетон, фракционированный заполнитель

TECHNICAL SCIENCE  
BUILDING AND ARCHITECTURE

HIGH-STRENGTH CONCRETE BASED ON THE USE OF SECONDARY  
TECHNOGENIC RESOURCES

Side-Alvi Y. Murtazaev<sup>1</sup>, Arif O.Omarov<sup>3</sup>, Madina Sh. Salamanova<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>M.D.Millionshtchikov Grozny State Oil Technical University Academician,  
100 H.A. Isayev Ave., Grozny 364905, Russia,

<sup>3</sup>Daghestan State Technical University,  
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

<sup>1</sup>e-mail: s.murtazaev@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: madina\_salamanova@mail.ru,

<sup>3</sup>e-mail: o.arif@mail.ru

**Abstract Objectives.** Secondary raw materials comprise a valuable means of offsetting previously realised investment and energy costs; moreover, due to not requiring funds for quarrying and processing of raw materials, their use is typically more cost-effective than the development of primary natural resources. The development of new efficient composites based on secondary resources for high-rise construction is a relevant issue. **Methods.** The production of high-strength concrete is based on modern technological methods that improve the technical and physical-mechanical properties in the integrated use of technogenic raw materials and effective chemical additives. **Results.** In this paper, prospects for the use of technogenic raw materials generated by the CHP plant of the city of Grozny in combination with rock crushing waste are described. The natural and technogenic raw material base of the Chechen Republic has been studied and the formulations of ash cements and compositions of high-strength concrete V60 classes for compressive strength with complex use of natural and technogenic raw materials for introduction into the construction of high-rise complexes were obtained. **Conclusion.** The use of fly ash and Polyplast superplasticiser has a favourable effect on formation processes of the structure and porous space of cement stone with an optimal additive proportion of 1.6%. The complex use of secondary resources made it possible to obtain a waterproof and high-strength composite having significantly better physical and mechanical properties than traditional concrete. The developed formulations of ash binders and concretes based on fine-dispersed ash microspheres and enriched artificial aggregates promoted recycling of secondary raw materials and improvement of the ecological situation in the region.

**Keywords:** technogenic raw materials, ash binder, ash and slag mixtures, rock crushing waste, superplasticiser, fly ash microspheres, high-strength concrete, fractionated aggregate

**Введение.** Гигантски возрастающее из года в год промышленное производство в нашей стране и за рубежом влечет за собой накопление огромных объемов техногенных отходов, а их ликвидация и хранение давно уже экономически и экологически невыгодно.

Поэтому ресурсосберегающие технологии приобретают особое значение, а сам термин «техногенные отходы» считается условным, так как они становятся ценным и можно сказать дефицитным сырьем, представляющим значительный практический интерес в производстве строительных материалов, позволяющий до 40% удовлетворять потребности в сырье [1,2,16-21].

Проведенные в этом направлении научно-теоретические исследования [3-5, 8-9], доказывают, что использование шламовых, шлаковых, зольных отходов горно-обогатительных комбинатов и нефтепереработки и т.д. дает возможность получать не только традиционные, но и новые эффективные строительные материалы, обладающие широким спектром улучшенных технических показателей.

Особенно большое количество вторичных техногенных отходов в виде золы и шлаков, а также их смесей образуется при сжигании твердых сортов топлива. В зависимости от происхождения топлива количество образуемых отходов составляет: в каменных углях – до 40%, в

бурых углях – до 15%, антраците и топливном торфе – до 30%, горючих сланцах – до 60% [1-2,10].

Область использования золошлакового сырья в производстве строительных материалов имеет весьма широкий диапазон: дорожное строительство, производство композиционных вяжущих, микронаполнителей, различных видов бетонов, заполнителей и т.д.

**Постановка задачи.** В Чеченской Республике с середины прошлого столетия и до наших лет функционируют ТЭЦ и за многие годы их эксплуатации накоплены тысячи тонн золошлаковых отходов, к тому же интенсивно продвигается строительство новой более мощной ТЭЦ и эксплуатация ее повлечет образование новых объемов отходов, которые и так уже занимают огромные сотни гектары территории, и загрязняют экологическую обстановку в регионе (рис. 1).

Поэтому разработка мероприятий по использованию этого техногенного сырья будет актуальна во все времена.

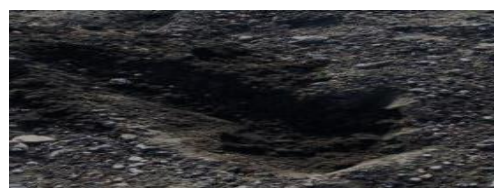
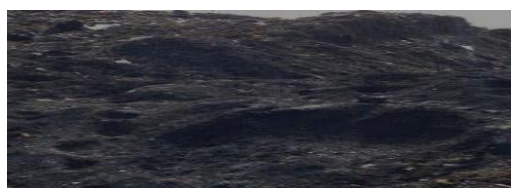


Рис. 1. Золошлаковые отходы г. Грозного  
Fig. 1. Ash-and-slag wastes of Grozny

**Методы исследования.** В данной работе же приводятся результаты по исследованию свойств золы-уноса ТЭЦ г. Грозного и разработке зольных вяжущих и высококачественных бетонов на их основе.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве основного вяжущего применялся портландцемент ГУП «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5 Н, основные свойства исследуемого цемента приведены в табл. 1, химический анализ в % по массе:  $\text{SiO}_2 = 17,45$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,88$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3,72$ ;  $\text{MgO} = 1,12$ ;  $\text{CaO} = 71,56$ ;  $\text{SO}_3 = 0,76$ ;  $\text{TiO}_2 = 0,33$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 1,07$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0,11$ .

Таблица 1. Основные свойства цемента  
Table 1. Basic properties of cement

| Завод-изготовитель и марка<br>Manufacturer and brand        | Удельная поверхность, $\text{m}^2/\text{kg}$<br>Specific surface, $\text{m}^2/\text{kg}$ | НГ, % | Плотность, $\text{kg}/\text{m}^3$<br>Density, $\text{kg}/\text{m}^3$ | Сроки схватывания, час - мин.<br>Setting time, hour - min. |              | Активность, МПа, 28сут Activity, MPa, 28day |               |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------|---------------|
|                                                             |                                                                                          |       |                                                                      | начало<br>Start                                            | конец<br>end | сжатие<br>compression                       | изгиб<br>bend |
| Чеченцемент<br>ЦЕМ I42,5 Н<br>Chechen Cement<br>CEM I42.5 H | 330                                                                                      | 25    | 3100                                                                 | 2-15                                                       | 3-40         | 52,6                                        | 6,2           |

Для получения зольного цемента были исследованы золошлаковые отходы ТЭЦ, установлено, что они удовлетворяют требованиям ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» и основным компонентом их являются зольные микросферы.

Изучение зольных микросфер сканирующим электронным микроскопом (рис. 2) показало, что они представляют собой мелкодисперсные частицы серого цвета, сферической формы и блестящей гладкой поверхности, так же обнаружены неровности различной структуры и размеров, установлены закрытые пористые оболочки отдельных микросфер.

Химический анализ зольных микросфер в % по массе:  $\text{MgO} = 1,49$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 23,89$ ;  $\text{SiO}_2 = 62,88$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,48$ ;  $\text{CaO} = 1,7$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 7,95$ ;  $\text{TiO}_2 = 0,11$ ;  $\text{SO}_3 = 0,06$ ;  $\text{ppp} = 0,9$ .

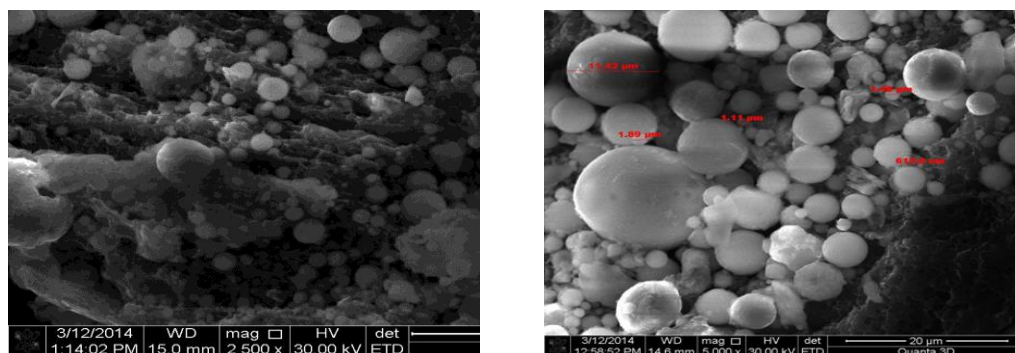


Рис. 2. Микрофотография зольных микросфер золошлаковых отходов ТЭЦ г. Грозного  
Fig. 2. Microphotography of ash microspheres of ash and slag wastes of the thermal power station in Grozny

**Обсуждение результатов.** Анализ проведенных исследований показал, что модуль основности золы  $K$  является важным показателем, определяющим процессы структурообразования и формирования прочности цементного камня, и представляет собой отношение суммы содержания оксидов алюминия и железа к содержанию оксида кремния [12-13]:

$$K = \frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3}{SiO_2} \quad (1)$$

Для получения вяжущих с улучшенными свойствами предпочтительны золы, имеющие коэффициент  $K$  меньше 0,8, для исследуемой золы он составляет 0,5. Данный показатель свидетельствует о наличии стекловидных алюмосиликатных фаз активизирующих процесс гидратации зольного стекла в щелочной среде [1-2].

Далее были разработаны рецептуры зольных вяжущих, но перед их приготовлением золу ТЭЦ подвергали механоактивации в течение 40 минут.

Процесс тонкого измельчения в мельнице способствует разрушению стекловидной фазы оболочки вокруг зольных микросфер и вскрывает активные центры кристаллизации на поверхностях, способных к пуццоланической реакции, а также обеспечивает более высокую степень гомогенизации всех компонентов получаемого цемента. Удельная поверхность составила  $S_{уд} = 920 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Степень насыщения вяжущего тонкодисперсным порошком золы определялась экспериментальным путем, и наиболее оптимальным оказалось соотношение 30 % зольные микросферы (ЗМ) и 70 % портландцемент (ПЦ). Активность полученного зольного вяжущего составила 72 МПа, на рис. 3 показана кинетика набора прочности разработанных цементов.

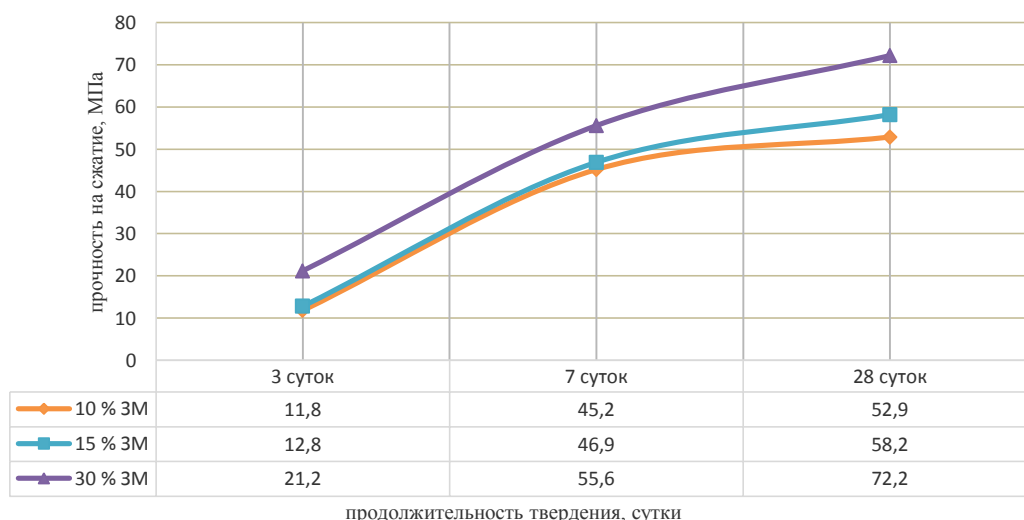


Рис. 3. Кинетика набора прочности зольных вяжущих  
Fig. 3. Kinetics of the strength of ash binders

Результаты исследования свойств полученного зольного цемента приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Физико-механические свойства зольного цемента (30 % ЗМ и 70 % ПЦ)**  
**Table 2. Physical and Mechanical Properties of Ash Cement (30% ЗМ and 70% PC)**

| Характеристики<br>Characteristics                                                                                                          | Требования (ГОСТ 31108-2003)<br>Requirements (GOST 31108-2003) | Фактически<br>Actually |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| Прочность в возрасте 28 суток, МПа<br>Strength at the age of 28 days, MPa                                                                  |                                                                |                        |
| - изгиб<br>- Bending                                                                                                                       | не нормируется<br>Not standardized                             | 8,7                    |
| - сжатие-<br>- Compression                                                                                                                 | не менее 42,5<br>not less than 42,5                            | 72,0                   |
| Прочность в возрасте 3 суток, МПа<br>Strength at the age of 3 days, MPa                                                                    |                                                                |                        |
| - изгиб<br>- Bending                                                                                                                       | не нормируется<br>Not standardized                             | 4,55                   |
| - сжатие<br>- Compression                                                                                                                  | не менее 20,0<br>not less than 20,0                            | 21,0                   |
| Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг<br>Specific surface, m <sup>2</sup> / kg                                                          | не нормируется<br>Not standardized                             | 520                    |
| Содержание оксида серы (VI) SO <sub>3</sub> , %<br>The content of sulfur oxide (VI) SO <sub>3</sub> , %                                    | не более 4,0<br>not more than 4,0                              | 3,5                    |
| Нормальная густота цементного теста, %<br>Normal density of cement paste, %                                                                | не нормируется<br>Not standardized                             | 26,0                   |
| Сроки схватывания (час:мин)<br>Setting time (hour: min)                                                                                    |                                                                |                        |
| - начало Start                                                                                                                             | не ранее 60 мин                                                | 2:50                   |
| - конец End                                                                                                                                | не нормируется<br>Not standardized                             | 4:10                   |
| Равномерность изменения объема<br>(расширение), мм<br>Uniformity of volume change<br>(expansion), mm                                       | не более 10,0<br>not more than 10,0                            | 1,5                    |
| Удельная эффективная активность<br>естественных радионуклидов, Бк/кг<br>Specific effective activity of natural radionu-<br>clides, Bq / kg | не более 370<br>not more than 370                              | 73                     |

Изученные свойства полученного зольного вяжущего подтвердили эффективность разработанного цемента, и на следующем этапе проектировались высокопрочные бетоны с его использованием.

Из-за отсутствия в регионе качественных крупных песков, в работе применялись фракционированные мелкие заполнители, полученные смешиванием мелкого песка Червленского месторождения  $M_{кр} = 1,7$  и отсеков дробления горных пород Аргунского карьера  $M_{кр} = 3,2$  в соотношении 1:1. (соотношение определялось экспериментальным путем).

По приблизительным статистическим данным на комбинатах нерудных стройматериалов региона образуется и скапливается до 350 тыс.м<sup>3</sup> в год отходов в виде каменной дисперсной пыли, крошки, отсеков камнедробления (рис. 4) [1-2,14-16].

Данные продукты отличаются остроугольной формой и рельефной поверхностью частиц, а зерновой состав отходов камнедробления представлен преимущественно фракциями 2,5-1,25 мм и частичками менее 0,16 мм, что обеспечивает более качественное сцепление в зоне контакта искусственных песков с цементной составляющей и положительно влияет на прочность бетона.

А если учитывать экономическую сторону, то стоимость заполнителя из отходов дробления, значительно ниже (до 6-10 раз), чем природных песков, и их применение снижает себестоимость 1 м<sup>3</sup> бетонов на 10 %[1, 5-7].

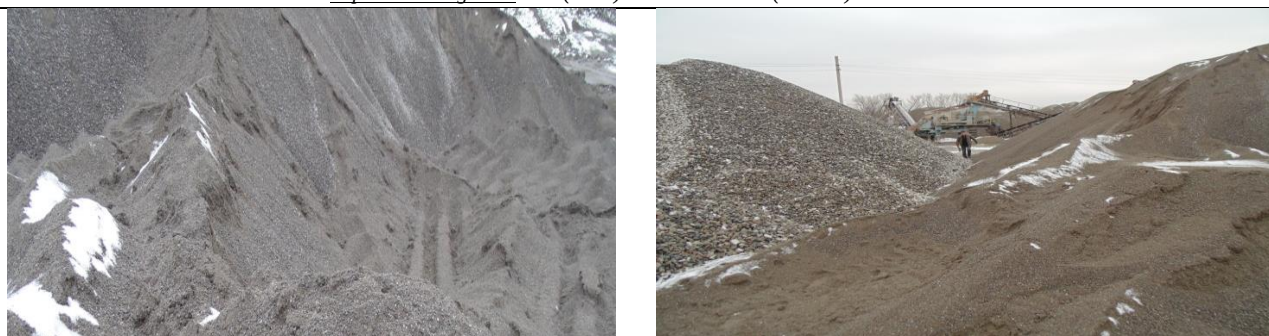


Рис. 4. Отходы камнедробления Аргунского месторождения (ЧР)

Fig. 4. Wastes of stone crushing of the Argun deposit (CR)

Основные свойства фракционированного заполнителя приведены в табл.3, на рис. 5 показана кривая просеивания полученных песков.

Таблица 3 Основные физико-механические характеристики фракционированного  
мелкого заполнителя  
Table 3. Basic physical and mechanical characteristics of the fractionated fine filler  
characteristics

|                                                                                                |       |      |      |      |       |      |                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|-------|------|-----------------------------------------------------------------|
| Размер сит, мм<br>Sieve size, mm                                                               | 5     | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | Остаток на дне сит<br>The remainder at the bottom of the sieves |
| Частные остатки, %<br>Private balances,%                                                       | 4,7   | 10,9 | 7,3  | 12,0 | 50,8  | 12,6 | 1,7                                                             |
| Полные остатки, %<br>Total balances,%                                                          | 4,7   | 15,6 | 22,9 | 34,9 | 85,7  | 98,3 |                                                                 |
| Модуль крупности<br>The size module                                                            | 2,621 |      |      |      |       |      |                                                                 |
| Содержание пылевидных и глинистых частиц, %<br>Content of pulverized and clay particles,%      | 2,4   |      |      |      |       |      |                                                                 |
| Истинная плотность зерен, г/см <sup>3</sup><br>The true density of grains, g / cm <sup>3</sup> | 2,56  |      |      |      |       |      |                                                                 |
| Средняя насыпная плотность, г/см <sup>3</sup><br>Average bulk density, g / cm <sup>3</sup>     | 1,528 |      |      |      |       |      |                                                                 |
| Пустотность песка, %<br>The emptiness of sand,%                                                | 99,94 |      |      |      |       |      |                                                                 |

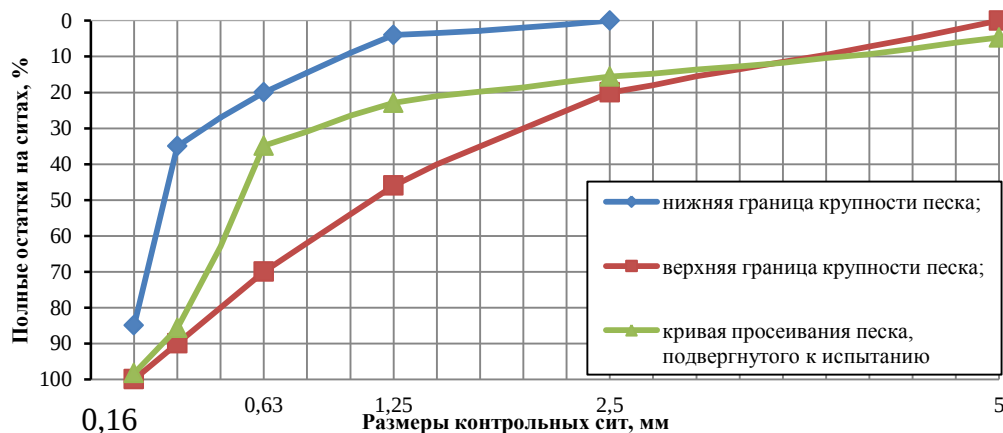


Рис. 5. Кривая просеивания фракционированного песка

Fig. 5. Sieving sand fraction curve

Физико-механические свойства крупного заполнителя приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Основные свойства крупного заполнителя**  
**Table 4. Basic properties of coarse aggregate**

| Щебень Алагирского месторождения фракции 5-20 мм<br>Crushed stone of Alagir deposit of fraction 5-20 mm                                                   |                                           |                                     |     |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----|------|------|------|
| Наименование показателя Indicator name                                                                                                                    |                                           | Значение показателя Indicator value |     |      |      |      |
| Зерновой состав щебня<br>Grain crushed stone composition                                                                                                  | Размер сит, мм Sieve size, mm             | 12,5                                | 10  | 7,5  | 5    | <5   |
|                                                                                                                                                           | Частные остатки, %<br>Private balances, % | 0,0                                 | 9,2 | 38,6 | 42,5 | 9,3  |
|                                                                                                                                                           | Полные остатки, %<br>Total balances, %    | 0,0                                 | 9,2 | 47,8 | 90,3 | 99,6 |
| Определение прочности щебня<br>Determination of crushed stone strength                                                                                    |                                           | M1200                               |     |      |      |      |
| Содержание пылевидных и глинистых частиц, %<br>Content of pulverized and clay particles, %                                                                |                                           | 0,8                                 |     |      |      |      |
| Истинная плотность зерен, кг/м <sup>3</sup><br>True density of grains, kg / m <sup>3</sup>                                                                |                                           | 2700                                |     |      |      |      |
| Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup><br>Bulk density, kg / m <sup>3</sup>                                                                                |                                           | 1450                                |     |      |      |      |
| Содержание дробленых зерен, %<br>Content of crushed grains, %                                                                                             |                                           | 85,2                                |     |      |      |      |
| Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, %<br>Determination of grain content of lamellar (bream) and needle-shaped forms, % |                                           | 12,2                                |     |      |      |      |
| Пустотность щебня, %<br>Voidness of crushed stone, %                                                                                                      |                                           | 44,9                                |     |      |      |      |

**Таблица 5. Составы и свойства высокопрочных бетонов**  
**Table 5. Compositions and properties of high-strength concretes**

| №                                                                          | Расход, кг на 1м <sup>3</sup><br>Consumption, kg per 1m <sup>3</sup> |     |              |               |     | В/Ц  | Плотность бетона,<br>кг/м <sup>3</sup><br>Density of concrete,<br>kg / m <sup>3</sup> | Водопоглощение, %<br>Water absorption, % | Коэф.<br>размягчения<br>к <sub>р</sub><br>Coefficient.<br>softening<br>C <sub>r</sub> | Прочность на сжатие в воз-<br>расте, сут., МПа<br>Compression<br>strength at the<br>age, days, MPa |      |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|--------------|---------------|-----|------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                            | ЗЦ                                                                   | ФЗ  | Щ<br>5-10 мм | Щ<br>10-20 мм | В   |      |                                                                                       |                                          |                                                                                       | 7                                                                                                  | 28   |
|                                                                            |                                                                      |     |              |               |     |      |                                                                                       |                                          |                                                                                       |                                                                                                    |      |
| Расход добавки Полипласт, 1,3% Consumption of the additive Polyplast, 1,3% |                                                                      |     |              |               |     |      |                                                                                       |                                          |                                                                                       |                                                                                                    |      |
| 1                                                                          | 460                                                                  | 870 | 617          | 265           | 170 | 0,37 | 2320                                                                                  | 7,1                                      | 0,77                                                                                  | 20,8                                                                                               | 41,1 |
| 2                                                                          | 480                                                                  | 870 | 600          | 252           | 178 | 0,37 | 2350                                                                                  | 6,5                                      | 0,83                                                                                  | 22,5                                                                                               | 63,4 |
| 3                                                                          | 500                                                                  | 840 | 610          | 262           | 185 | 0,37 | 2390                                                                                  | 6,3                                      | 0,81                                                                                  | 25,1                                                                                               | 64,2 |
| 4                                                                          | 520                                                                  | 860 | 600          | 270           | 192 | 0,37 | 2380                                                                                  | 6,1                                      | 0,85                                                                                  | 29,7                                                                                               | 65,0 |
| 5                                                                          | 520                                                                  | 810 | 600          | 300           | 192 | 0,37 | 2400                                                                                  | 5,2                                      | 0,88                                                                                  | 40,9                                                                                               | 66,8 |
| Расход добавки Полипласт, 1,6% Consumption of the additive Polyplast, 1,6% |                                                                      |     |              |               |     |      |                                                                                       |                                          |                                                                                       |                                                                                                    |      |
| 6                                                                          | 460                                                                  | 870 | 617          | 265           | 161 | 0,35 | 2310                                                                                  | 6,1                                      | 0,78                                                                                  | 22,1                                                                                               | 42,3 |
| 7                                                                          | 480                                                                  | 870 | 600          | 252           | 168 | 0,35 | 2330                                                                                  | 5,8                                      | 0,84                                                                                  | 25,6                                                                                               | 66,2 |
| 8                                                                          | 500                                                                  | 840 | 610          | 262           | 175 | 0,35 | 2370                                                                                  | 5,5                                      | 0,83                                                                                  | 26,8                                                                                               | 64,7 |
| 9                                                                          | 520                                                                  | 860 | 600          | 270           | 182 | 0,35 | 2360                                                                                  | 5,3                                      | 0,87                                                                                  | 30,1                                                                                               | 67,3 |
| 10                                                                         | 520                                                                  | 810 | 600          | 300           | 182 | 0,35 | 2380                                                                                  | 4,1                                      | 0,89                                                                                  | 43,6                                                                                               | 70,7 |
| Контрольный образец Control sample                                         |                                                                      |     |              |               |     |      |                                                                                       |                                          |                                                                                       |                                                                                                    |      |
| 11                                                                         | 500                                                                  | 840 | 610          | 262           | 285 | 0,57 | 2410                                                                                  | 9,5                                      | 0,63                                                                                  | 16,3                                                                                               | 40,2 |

Примечание: ЗЦ – зольный цемент (30 % – зольные микросферы ТЭЦ; 70 % – ПЩ); ФЗ – фракционированный мелкий заполнитель; Щ – щебень фракций 5-10 мм и 10-20 мм; В – вода

Ну и последний компонент, применяемый для получения бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками – это суперпластификатор от российских производителей Полипласт СП-1 на основе поликарбоксилатных эфиров, добавка вводилась с водой затворения в

различных дозировках, но марка бетонной смеси по подвижности оставалась постоянной П4 [4, 6, 13].

Из исследованных компонентов была получена бетонная смесь с осадкой конуса от 16 до 20 см, что соответствует марке по подвижности П4. Из бетонной смеси каждого состава формовалось 6 образцов-кубов с ребром 10 см, которые набирали прочность в камере выдерживания с относительной влажностью 90 % при температуре  $20 \pm 2$  °С и в определенные сроки подвергались испытанию.

В табл.5 приведены экспериментальные составы исследуемых бетонов и результаты испытаний.

**Вывод.** Таким образом, использование золы ТЭЦ в количестве 30 % от массы портланд-цемента не значительно влияет на первые сроки твердения, но на 28 сутки и более поздние сроки прочность равномерно увеличивается.

Использование зольного цемента и суперпластификатора Полипласт благоприятно сказывается на процессах формирования структуры и поровом пространстве цементного камня, расход добавки 1,6 % является наиболее оптимальным.

Комплексное использование вторичных ресурсов позволило получить водостойкий и высокопрочный композит, обладающий существенно лучшими физико-механическими показателями в сравнении с традиционными бетонами.

#### Библиографический список:

1. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, И. А. Пашков. — Киев: Выща шк., 1989. — 210 с.
2. Муртазаев С.-А.Ю. Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны с использованием фракционированных заполнителей из отходов переработки горных пород // Журнал «Устойчивое развитие горных территорий». 2015. — № 1(23). С.23-28.
3. Hillemeier B., Buchenau G., Herr, R., Huttel R., Klubendorf St., Schubert K.: Spezialbetone, Betonkalender, Ernst & Sohn, 2006. -№1. — С.534-549.
4. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II / С.С. Каприелов [и др.] // Строительные материалы. - 2008. - №3. — С.9-13.
5. Бисултанов Р.Г, Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш. /Цементы низкой водопотребности на основе активной минеральной добавки различного происхождения// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.— 2016. — №1(40).— С.98-107.
6. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г, Муртазаева Т.С.-А. / Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента// Строительные материалы.— 2016.— № 8.— С.74-80.
7. Лесовик В.С. Техногенный метасаматоз в строительном материаловедении / В.С. Лесовик // Международный сборник научных трудов «Строительные материалы – 4С: состав. структура. состояние. свойства.» Новосибирск. 2015. с. 26-30.
8. Агеева М.С., Шаповалов С.М., Боцман А.Н., Ищенко А.В. К вопросу использования промышленных отходов в производстве вяжущих веществ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 58-62.
9. Garg N. Pozzolan reactivity of an interstratified illite/smectite (70/30) clay / N. Garg, J. Skibsted // Cement and Concrete Research. — 2016. — № 79. — P. 101-111.
10. Zhang S. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars / S. Zhang, D. Lu, Z. Xu // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China 13-16.11.2015. — 320 p.
11. Nocun-Wczelik W. Hydration of Portland cement with Dolomite / Nocun- W. Wczelik, M. Szybilski, E. Zugaj // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China 13-16.11.2015. — 320 p.
12. Tironi A. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay / A. Tironi, A.N. Scian, E.F. Irassar // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China, 2015. — 320 p.
13. Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Николаенко А.Н., Мацаенко А.А., Тужикова М.Ю. Повышение экологической безопасности декоративного мелкозернистого бетона на основе использования техногенного глауконитового песка //Строительство и реконструкция. 2014. № 1 (51). С. 79-84.
14. Jeknavorian A., Roberts L., Jardine L. Et al. "Condensed Polyacrylic Acid-Aminated Polyether Polymers as Superplasticizers for concrete." Proceedings Fifth CANMET//ACI Int. Conference. Rome, Italy, 1997, SP 173-4.
15. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. "Fluidizing Mechanism and application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers." Proceedings Fifth CANMET//ACI Int. Conference. Rome, Italy, 1997, SP 173-19.
16. Dosho, Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System «Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method» // Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute. Scientific paper. — 2007. - Vol. 5. - №1. - P.27-42.
17. Yanagibashi, K. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. / K. Yanagibashi, T. Yonezawa, T. Iwashimizu, D. Tsuji, K. Arakawa, M. Yamada. Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo. - 2004. - P.137-143.
18. Батраков, В.Г., Модификаторы бетона новые возможности // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. М., 2001. С. 184-197.
19. Комохов, П.Г. Шангина, Н.Н. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства // Цемент. 2002. — №1-2. — С. 43-46.
20. Монолитное строительство на территории России: история внедрения и перспективы развития. Сайт ООО «НПО «АНТАРЕС трейд». Санкт-Петербург, 2015. URL:

[http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe\\_stroitelstvo\\_na\\_territorii\\_rossii/](http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/)  
21. Баженов, Ю.М., Демьянова, В.С., Калашников, В.И.

Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.

### References

1. Dvorkin L.I., Pashkov I.A. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti. Kiev: Vyshcha shk.; 1989. 210 s. [Dvorkin L.I., Pashkov I.A. Building materials from industrial waste. Kiev: Vyshcha shk.; 1989. 210 p. (in Russ.)]
2. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh. Vysokoprochnye betony s ispol'zovaniem fraktsionirovannykh zapolnitelei iz otkhodov pererabotki gornykh porod. Ustoichivoe razvitie gornykh territorii. 2015;1(23):23-28. [Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh. High-strength concrete with fractionated aggregates from rock processing waste. Sustainable Development of Mountain Territories. 2015;1(23):23-28. (in Russ.)]
3. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Huttel R., Klubendorf St., Schubert K. Spezialbetone. Betonkalender. Ernst & Sohn; 2006;1:534-549.
4. Kaprielov S.S. Modifitsirovannye vysokoprochnye betony klassov V80 i V90 v monolitnykh konstruktivnykh. Ch. II. Stroitel'nye materialy. 2008;3:9-13. [Kaprielov S.S. Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures. Part II. Stroitel'nye materialy. 2008;3:9-13. (in Russ.)]
5. Bisultanov R.G., Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh. Tsementy nizkoi vodopotrebnosti na osnove aktivnoi mineral'noi dobavki razlichnogo proiskhozhdeniya. Vestnik Daghestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016;1(40):98-107. [Bisultanov R.G., Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh. Cements of low water demand on the basis of active mineral additives of different origin. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;1(40):98-107. (in Russ.)]
6. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Murtazaeva T.S-A. Vysokokachestvennye modifitsirovannye betony s ispol'zovaniem vyazhushchego na osnove reaktsionno-aktivnogo mineral'nogo komponenta. Stroitel'nye materialy. 2016;8:74-80. [Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Murtazaeva T.S-A. High-quality modified concrete with the use of a binder based on a reactive mineral component. Stroitel'nye materialy. 2016;8:74-80. (in Russ.)]
7. Lesovik V.S. Tekhnogennyi metasamatoz v stroitel'nom materialovedenii. Mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh trudov "Stroitel'nye materialy – 4S: sostav, struktura, sostoyanie, svoystva". Novosibirsk; 2015. C. 26-30. [Lesovik V.S. Technogenic metasomatism in building materials science. International collection of scientific papers "Building Materials – 4S: Composition. Structure. State. Properties". Novosibirsk; 2015. C. 26-30. (in Russ.)]
8. Ageeva M.S., Shapovalov S.M., Botsman A.N., Ishchenko A.V. K voprosu ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov v proizvodstve vyazhushchikh veshchestv. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016;9:58-62. [Ageeva M.S., Shapovalov S.M., Botsman A.N., Ishchenko A.V. On the use of industrial waste in the production of binders. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016;9:58-62. (in Russ.)]
9. Garg N., Skibsted J. Pozzolanic reactivity of an interstratified illite/smectite (70/30) clay. Cement and Concrete Research. 2016;79:101-111.
10. Zhang S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars. Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China 13-16.11.2015. 320 p.
11. Nocun-Wcelik W., Szybilski M., Zugaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite. Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China 13-16.11.2015. 320 p.
12. Tironi A., Scian A.N., Irassar E.F. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay. Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China. 2015. 320 p.
13. Lukutsova N.P., Postnikova O.A., Nikolaenko A.N., Matsaenko A.A., Tuzhikova M.Yu. Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti dekorativnogo melkozernistogo betona na osnove ispol'zovaniya tekhnogennogo glaukonitovogo peska. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2014;1(51):79-84. [Lukutsova N.P., Postnikova O.A., Nikolaenko A.N., Matsaenko A.A., Tuzhikova M.Yu. Increase of ecological safety of decorative fine-grained concrete on the basis of the use of technogenic glauconite sand. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2014;1(51):79-84. (in Russ.)]
14. Jeknavorian A., Roberts L., Jardine L. et al. Condensed Polyacrylic Acid-Aminated Polyether Polymers as Superplasticizers for concrete. Proceedings of the Fifth CANMET. ACI Int. Conference. Rome, Italy. 1997. SP 173-4.
15. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing Mechanism and application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers. Proceedings of the Fifth CANMET. ACI Int. Conference. Rome, Italy, 1997. SP 173-19.
16. Dosho Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System. Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute. Scientific paper. 2007;5(1):27-42.
17. Yanagibashi K., Yonezawa T., Iwashimizu D., Tsuji K., Arakawa M., Yamada T. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo. 2004. R.137-143.
18. Batrakov V.G. Modifikatory betona: novye vozmozhnosti. Materialy I Vserossiiskoi konferentsii po betonu i zhelezobetonu. M.; 2001. S. 184-197. [Batrakov V.G. Modifiers of concrete: new possibilities. Materials of the 1st All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete. M.; 2001. P. 184-197. (in Russ.)]
19. Komokhov P.G., Shangina N.N. Modifitsirovannyy tsementnyi beton, ego struktura i svoystva. Tsement. 2002;1-2:43-46. [Komokhov P.G., Shangina N.N. Modified cement concrete, its structure and properties. Cement. 2002;1-2:43-46. (in Russ.)]
20. Monolitnoe stroitel'stvo na territorii Rossii: istoriya vnedreniya i perspektivy razvitiya. Sait OOO "ANTARES treid". Sankt-Peterburg, 2015. URL: [http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe\\_stroitelstvo\\_na\\_territorii\\_rossii/](http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/) [Monolithic construction on the territory of Russia: the history of implementation and prospects for development. Website of OOO "NPO "ANTARES treid". Saint-Petersburg, 2015. URL: [http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe\\_stroitelstvo\\_na\\_territorii\\_rossii/](http://antares-stroy.ru/encyclopedia/monolitnoe_stroitelstvo_na_territorii_rossii/) (in Russ.)]
21. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova B.C., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2006. 368 s. [Bazhenov Yu.M., Dem'yanova B.C., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete. M.: Publishing house of the Association of Construction Universities; 2006. 368 p. (in Russ.)]

**Сведения об авторах:**

**Муртазаев Сайд-Альви Юсупович** – доктор технических наук, профессор, кафедра технологии строительного производства.

**Омаров Ариф Омарович** – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных материалов и инженерных сетей.

**Саламанова Мадина Шахидовна** – кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии строительного производства.

**Information about the authors.**

**Side-Alvi Y. Murtazaev**– Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Technology of Building production.

**Arif O.Omarov** – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Head of the Department of Building Materials and Utilities.

**Madina S. Salamanova** – Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Department of Technology of Building production.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила в редакцию** 15.01.2018.

**Принята в печать** 16.02.2018.

**Conflict of interest.**

The authors declare no conflict of interest.

**Received** 15.01.2018.

**Accepted for publication** 16.02.2018.