

## ЗЕРНОВОЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ДРОБЛЕНИЯ БЕТОННОГО ЛОМА РАЗЛИЧНОЙ ТОНКОСТИ ПОМОЛА

*Ключевые слова:* бетонный лом, композиционное вяжущее, минеральная добавка, строительный раствор, цементный камень, удельная поверхность, гранулометрический состав.

*Исследован зерновой состав продуктов дробления бетонного лома различной тонкости помола, применяемых в качестве минеральных добавок в составе композиционных вяжущих*

*Keywords:* C&D waste, blended binder, mineral admixture, mortar, cement paste, specific surface area, granulometric composition.

*Granulometric composition of ground C&D waste of different fineness applying as mineral admixtures to mineral binders is studied.*

### 1. Введение

Современные проблемы обеспечения дальнейшего устойчивого развития земной цивилизации связаны с решением задач сохранения природных сырьевых ресурсов, энергосбережения и охраны окружающей среды. Решение этих задач в определенной мере связано с повышением объемов использования отходов и попутных продуктов промышленности в производстве продукции [1].

Бетонный лом является одной из крупнотоннажных разновидностей отходов, образующийся при сносе зданий и на предприятиях производства бетона, бетонных и железобетонных изделий. Ежегодно его образуется в европейских странах 340-570 млн.т[2,3], в США – 200-300 млн.т[4] и только в Москве 50-60 млн.т[5]. Бетонный лом подвергается дроблению, продукты которого преимущественно применяют при устройстве дорожных насыпей, откосов и покрытий и в качестве щебня для бетонов. Вместе с тем, бетонный лом утилизируется во всем мире в ограниченных объемах, а совершенно неудовлетворительно утилизируются продукты отсева дробления бетонного лома при дроблении. Вместе с тем, молотые продукты дробления бетонного лома, как крупных фракций, так и отсева могут быть эффективно использованы в качестве минеральных добавок при производстве различных минеральных вяжущих [6,7]. Свойства композиционных вяжущих в значительной мере зависят от плотности упаковки зерен его компонентов, которая в свою очередь зависит от их дисперсности и гранулометрического состава [8].

Авторами настоящей статьи исследована эффективность добавок молотых продуктов дробления бетонного лома при получении композиционных шлакощелочных вяжущих [7,9,10]. Ниже приведены результаты исследований гранулометрического состава молотых модельных продуктов дробления бетонного лома при их различной удельной поверхности.

### 2. Объекты и методы исследований

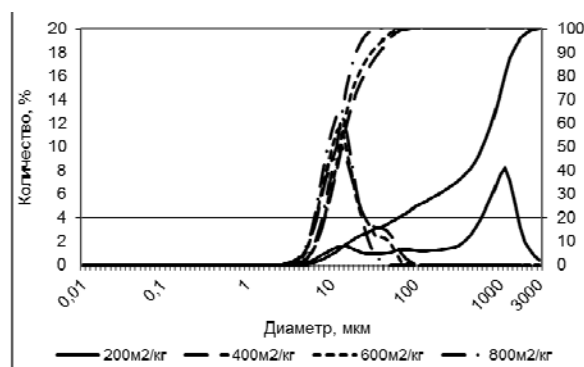
Объектами исследований явились молотые камни твердевших в течении 28 сут в нормально-влажностных условиях портландцемента Ульяновского цементного завода ЦЕМ I 32,5Н и цементно-

песчаных растворов с различным соотношением содержания кварцевого песка и того же цемента. Цементный камень рассматривался как модельный аналог цементной матрицы цементно-песчаного раствора, который в свою очередь рассматривался как модельный аналог матрицы бетона с крупным заполнителем. Молотые продукты получали дроблением и последующим помолом в лабораторной мельницу МПЛ-1 после высушивания исходных материалов в сушильном шкафу до влажности 1%. Удельная поверхность (Суд) продуктов помола определялась по методу Казеина-Кармана по воздухопроницаемости при атмосферном давлении на приборе ПСХ-9, а их фракционный состав определялся методом лазерной дифракции объекта на приборе «LA-250» (Horiba Instruments Inc).

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Анализ гранулометрического состава продуктов помола портландцементного камня (ПЦК) с различной удельной поверхностью

На рис.1, 2 представлены дифференциальные интегральные кривые, гистограммы распределения частиц по размерам образцов молотого портландцементного камня (ПЦК) до Суд 200-800 м<sup>2</sup>/кг. Анализ представленных данных показывает,



**Рис. 1 - Дифференциальные и интегральные кривые распределения частиц по размерам образцов ПЦК при Суд 200–800 м<sup>2</sup>/кг**

что наибольшие изменения в гранулометрическом составе, заключающиеся в резком увеличении содержания тонких частиц, происходят при увеличении Суд с 200 до 400 м<sup>2</sup>/кг. В образце ПЦК с Суд 200 м<sup>2</sup>/кг преобладают частицы с размером >100 мкм -

75,5%, а в пробах с Суд 400-800 м<sup>2</sup>/кг частицы размером 5-10 мкм – 29,8-36,6% и 10-30 мкм – 54,4-60,6%. При этом с увеличением Суд с 400 до 800 м<sup>2</sup>/кг содержание фракций размером <5, 5-10 и 10-30 мкм возрастает с 1,3 до 1,7, с 29 до 36,6 и с 54,4 до 60,6%, соответственно, а частиц с размером >30 мкм снижается.

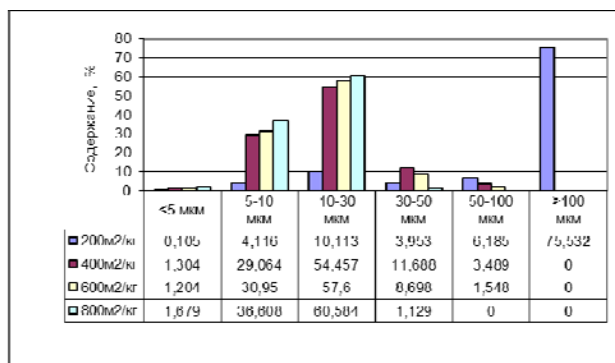
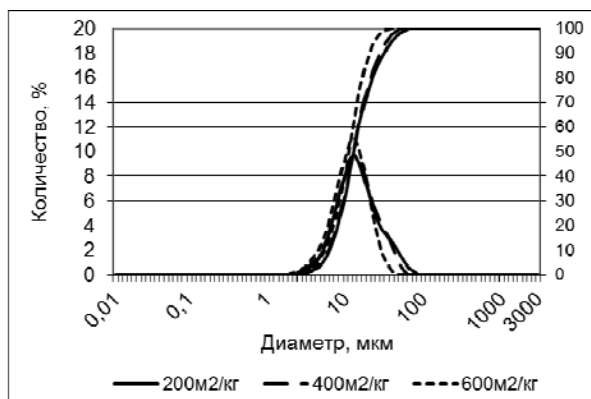


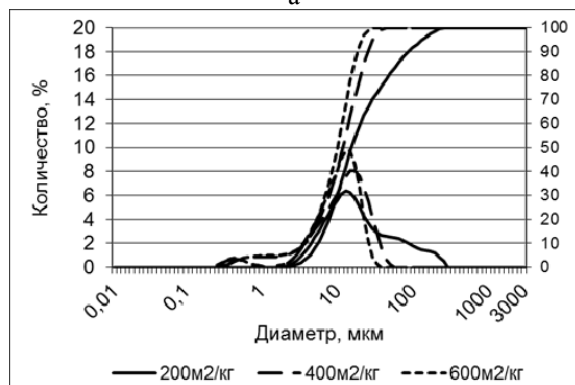
Рис. 2 - Гистограммы распределения частиц по размерам образцов ПЦК при распределении частиц с Суд 200–800 м<sup>2</sup>/кг

### 3.2. Анализ гранулометрического состава камня цементно-песчаного раствора (ЦПР) в зависимости от удельной поверхности и соотношения цемент:песок (Ц:П)

На рис. 3 и 4 представлены дифференциальные кривые и гистограммы распределения частиц ЦПР по размерам при Суд от 200 до 600 м<sup>2</sup>/кг и соотношении Ц:П=1:(1-3).

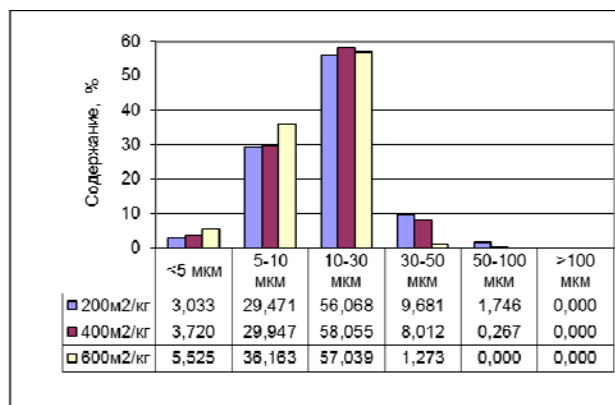


а

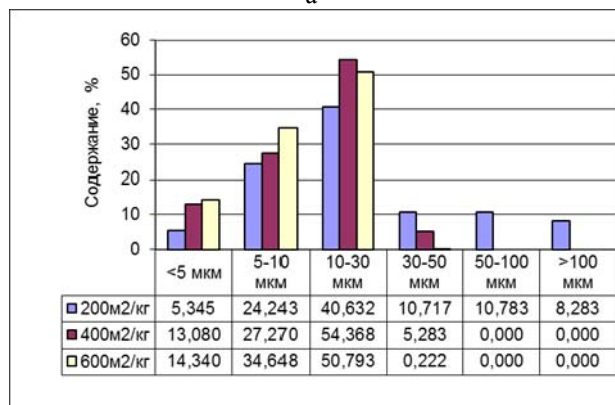


б

Рис. 3 - Дифференциальные и интегральные кривые гранулометрических составов добавок: а) ЦПР1:1; б) ЦПР1:3



а



б

Рис. 4 - Гистограммы распределения частиц по размерам: а) ЦПР1:1; б) ЦПР1:3

В ЦПР с Суд=200 м<sup>2</sup>/кг содержание фракций от <5 мкм возрастает при увеличении Ц:П от 1:1 до 1:2 с 3,0 до 11,302%, при Ц:П=1:3 составляет 5,345%. Последнее объясняется значительным уменьшением содержания цементного компонента, который отличается более высокой размалываемостью, чем кварцевый песок. Меньшей размалываемостью кварцевого песка объясняется и повышенное содержание фракций 5-100 мкм и >100 мкм, нарастающее с увеличением П:Ц.

Содержание фракций 5-10 мкм и 30-50 мкм при увеличении Ц:П от 1:1 до 1:3 меняется незначительно и составляет в пределах соответственно 40,6-56 и 10,0-11,4%.

При помоле ЦПР до 400-600 м<sup>2</sup>/кг содержание фракций <5 мкм возрастает по мере увеличения Суд и соотношения Ц:П от 1:1 до 1:3 от 3,72 до 14,34%.

Содержание фракций 5-10 мкм и 10-30 мкм колеблется соответственно в пределах 27,274 до 36,163% и 50,793% до 58,055%. При этом содержание фракций 50-100 мкм не зафиксировано.

### Заключение

В молотых продуктах дробления бетонного лома гранулометрический состав состоит из зерен от менее 5 мкм до 100 мкм и более. В молотом цементном камне с удельной поверхностью 200 м<sup>2</sup>/кг частицы с размером более 100 мкм составляют 75,5%, а при удельной поверхности 400-800 м<sup>2</sup>/кг содержание частиц менее 5 мкм возрастает с 1,3 до 1,7%, частиц 5-10 мкм с 29 до 36,6%, частиц 10-30 мкм с 54,4 до

60,6%. Содержание частиц 50-100 мкм и более 100 мкм уменьшается от 3,4% до нуля. Подобные закономерности изменения гранулометрического состава и молотого камня цементно-песчаного раствора до удельной поверхности от 200 до 600 м<sup>2</sup>/кг. Однако при этом содержание фракций менее 5 мкм возрастает с 3 до 14,3% в зависимости от соотношения содержания цемента и кварцевого песка.

### Литература

1. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. 2009. №12. с.8-11.
2. De Belie, N. Robeyns, N. Recycling of construction materials. In: Ksshino, N., Van Gemert, D. &Imamoto, K. (eds.) Environment-conscious construction materials and systems. State of the art report of TC 192-ECM.Bagneux: RILEM Publications S.A.R.L. 2007. 22-37 pp.
3. Fisher, C. &Werge, M. 2009. EU as a Recycling Society.ETC/SCP working paper 2/2009 [Online]. Available: [http://scp.eionet.europa.eu/publications/wp2009\\_2](http://scp.eionet.europa.eu/publications/wp2009_2) [Accessed September 2, 2010].
4. Meyer, C. The greening of the concrete industry // Cement and Concrete Composites. 2009. № 31(8).p.601-605.
5. Соломин И.А., Олейник С.П., Харитонов С.Е. Анализ состава и объемов строительных отходов, образованных при сносе ветхого жилищного фонда в Москве // Промышленное и гражданское строительство.2007. №12. с.55-56.
6. Assal H.H. Utilization of demolished concrete in building materials // Silicat. ind.2002.№9-10. p. 115-120.
7. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З., Хамитова Р.Ф. Композиционные шлакощелочные вяжущие с добавками молотого отсева дробления бетонного лома // Техника и технология силикатов. 2013. т.20. №3. с.9-15.
8. Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р., Халиуллин Р.З., Стоянов О.В. Плотность упаковки зерен композиционного гипсового вяжущего в зависимости от дисперсности и гранулометрического состава // Вестник Казанского технологического университета. 2013. т.16. №7. с.129-131.
9. Rakhimova N., Rakhimov R., Fatykhov G. // 18 InternationaleBaustofftagung, Tagungsbericht. – Band 1. – Weimar, 2012. – p.1-1054-1060.
10. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З., Стоянов О.В. Композиционные вяжущие для иммобилизации токсичных и радиоактивных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16. №4. с.145-182.

---

© **Н. Р. Рахимова** – канд. техн. наук, доц. КГАСУ; **Р. З. Рахимов** – д.т.н., проф. КГАСУ; **О. В. Стоянов** - д.т.н., проф., зав. каф. технологии пластических масс КНИТУ, [ov\\_stoyanov@mail.ru](mailto:ov_stoyanov@mail.ru).