

## Влияние добавки молотого бетонного лома на кинетику изменения прочности цементно-песчаного раствора

*А.В. Павлов, В.Ф. Коровяков*

*Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** В статье рассматривается применение одного из самых распространённых отходов строительной индустрии, образующихся в результате сноса зданий и сооружений, бетонного лома. В данный момент в Москве с 2018 года осуществляется программа реновации, предусматривающая снос старого жилья, в результате которого образуется по подсчетам специалистов объем бетонного лома более 14 млн. м<sup>3</sup>. Наиболее эффективным способом утилизации является применение переработанного бетонного лома, включая отсеы дробления, в производстве бетонов. В результате исследований определен химический и минералогический составы проб молотого бетонного лома. Рассмотрена возможность применения молотого бетонного лома (МБЛ) с удельной поверхностью до 500 м<sup>2</sup>/кг в качестве активной минеральной добавки (АМД) и микронаполнителя для производства цементно-песчаных растворов и бетонов. Благодаря значительному содержанию в этих отходах кремнезема в кристаллической и аморфной форме, данные отходы можно отнести к кремнеземсодержащим. Была исследована кинетика твердения цементно-песчаных растворов с использованием молотого бетонного лома, построены гистограммы и сформулированы выводы.

**Ключевые слова:** отходы, бетонный лом, утилизация, активная минеральная добавка, минералогический состав, цементно-песчаный раствор, кинетика твердения.

### Введение

Решение проблемы утилизации строительных отходов, а именно бетонного лома, особо актуально и востребовано в настоящее время. В результате выполнения программы реновации жилищного фонда в городе Москве, предусматривающей расселение и снос устаревшего жилья, которое является ветхим, построенного в 1956—1968 годах, образуется огромное количество бетонного лома, подлежащего утилизации. Данная программа будет длиться 15 лет, по результатам голосования москвичей в неё войдёт более 5 тысяч домов [1-3].

Бетонный лом вывозится на специальные полигоны, где он хранится и частично перерабатывается в бетонный щебень. Отходы от дробления, называемые отсевами, практически не используются, создавая проблемы с загрязнением окружающей среды. Каждый год во всем мире, в том числе и в

Российской федерации, образуется огромное количество данных отходов [4,5].

Каждый год в европейских странах образуется 330-560 млн.т бетонного лома, в США – 220-330 млн.т, и в Москве - 50-60 млн.т. [6,7].

Бетонный лом, после извлечения стальной арматуры, перерабатывается в бетонный щебень, который является заполнителем для производства различных бетонных смесей или в качестве засыпок (подсыпок). Введение продуктов переработки бетонного лома в производство бетонных и растворных смесей - одно из перспективных направлений утилизации отходов, способствующее уменьшению потребления природных минеральных ресурсов [8-10].

Имеется многолетний опыт использования дробленого бетонного лома в виде щебня в качестве крупного заполнителя для бетонных смесей и для засыпки дорожных оснований. Однако, при переработке бетонного лома в щебень, помимо крупного заполнителя различных фракций (5 – 20, 20 – 40 мм) образуются отсеvy дробленого бетонного лома, объемы которых составляют около 30 % от переработанного бетона. Отсевы от дробления бетонного лома представляют собой частицы размером от 0 до 10 мм. На дробильно-сортировочных площадках образуются огромные отвалы данного отсева, которые либо выбрасываются на загородные полигоны, либо остаются в отвалах на данной площадке, тем самым загрязняя окружающую среду.

Рациональным решением такой важной экологической проблемы будет являться утилизация отсева бетонного лома путем использования молотых отсевов бетонного лома в качестве мелких заполнителей и активных микрозаполнителей для получения эффективных бетонов, в том числе и дорожных.

---

К тому же, использование тонкомолотого бетонного лома из отсевов дробления бетонного лома может способствовать уменьшению расхода цемента в бетонных смесях.

Авторами настоящей статьи было проведено исследование основных характеристик используемых материалов. Определено влияние добавок молотых отсевов дробления бетонного лома на кинетику твердения цементно-песчаных растворов. Ниже приведены характеристики используемых материалов и результаты, полученные экспериментальным путем.

### **Материалы для исследования**

В данной работе основным вяжущим являлся портландцемент производства ООО «HeidelbergCement», ЦЕМ I 42,5Н со следующими характеристиками: начало схватывания – 135 мин.; конец схватывания – 245 мин.; истинная плотность – 3100 кг/м<sup>3</sup>; нормальная густота цементного теста – 28,0.

С целью исключения влияния примесей, содержащихся в природном песке в исследованиях, использовался стандартный монофракционный песок, соответствующий ГОСТ 6139 – 2003 для испытаний цемента по ГОСТ 310.4 - 81 производства ООО «ЦЕМСЭНД» с содержанием оксида кремния SiO<sub>2</sub> = 98 %, содержанием глинистых и илистых примесей 0,4%. Фракционный состав: 0,9 мм – 0,4 %; 0,5 мм – 97,7%.

В качестве тонкодисперсной добавки (микронаполнителя) использовались молотые отходы отсева бетонного лома, взятые на дробильно-сортировочном комплексе в городе Москва «САТОРИ». Помол отсевов при дроблении бетонного лома до определенной удельной поверхности, производился в лабораторных условиях в шаровой мельнице. При помолу каждые 10 минут производилось определение удельной

---

поверхности проб на приборе «Т-3 (Товарова)». Помол производился до удельной поверхности  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Основные характеристики полученного молотого бетонного лoma: истинная плотность  $\rho_{ист} = 2590 \text{ кг/м}^3$ , удельная поверхность -  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Был исследован минералогический состав молотого бетонного лoma, результаты приведены на рисунке 1. Исследование минералогического состава молотого бетонного лoma производилось рентгенофазовым анализом на рентгеновском дифрактометре фирмы ARL X'TRA (Thermo Scientific). По минеральному составу МБЛ можно считать кремнеземистой добавкой.

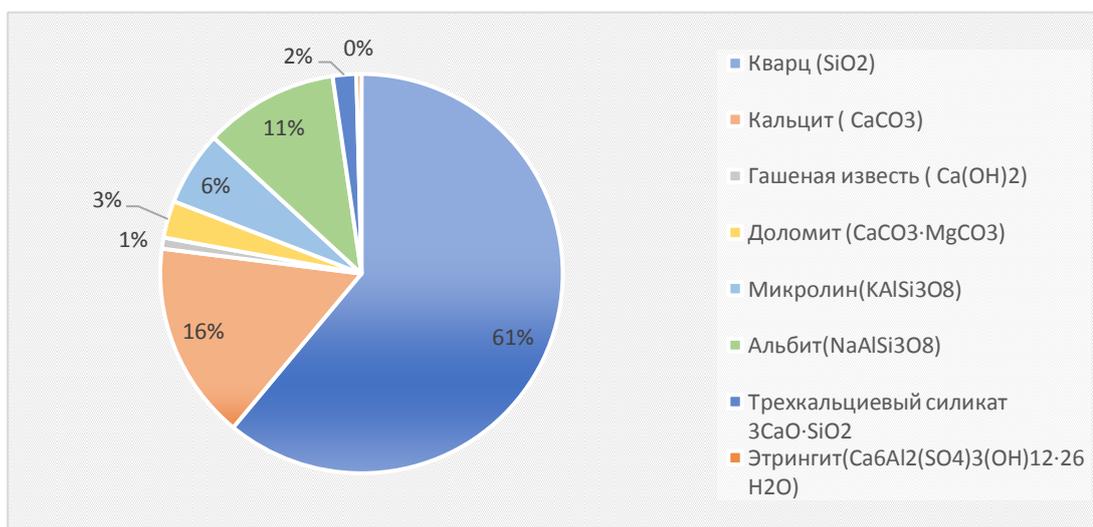


Рис. 1. – Минералогический состав бетонного лoma

### Методы исследования

При выполнении работы применялись стандартные методики для испытаний цементных вяжущих.

Определение положительного эффекта при использовании молотого бетонного лoma проводилось по методике, схожей с ГОСТ 310.4 – 81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

Принцип данной методики заключался в частичной замене песка молотым бетонным ломом в определенных процентах от массы цемента.

### Основная часть

Основной целью исследования являлось изучение влияния добавки молотого бетонного лома (МБЛ) на кинетику твердения цементно-песчаного раствора и определение проявления гидравлической активности МБЛ при взаимодействии с портландцементом. Были произведены замесы согласно методике, приведенной в разделе «Методы исследования». Составы для исследований следующие: 1 – контрольный – без МБЛ; 2 – 10 % МБЛ от массы цемента взамен такой же части песка; 3 – то же, но 20 % МБЛ; 4 – то же, но 40 % МБЛ; 5 – то же, но 10 % МБЛ взамен такой же доли портландцемента. Для каждого из составов была исследована кинетика твердения цементно-песчаной смеси во времени от 1 до 28 сут. и получены результаты, приведённые в таблице 1.

Таблица № 1

Составы цементно-песчаного раствора на замес и результаты испытаний

№	Цемент, г	Песок, г	МБЛ, г (% от массы цемента)	Вода, мл	Прочностные характеристики, МПа (изгиб/ сжатие)			
					1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.
1	500	1500	-	210	1,6/7,0	5,3/27,7	6,6/44,5	7,9/58,1
2	500	1450	50 (10%)	210	2,3/9,9	5,7/32,8	7,0/49,0	8,1/62,9
3	500	1400	100 (20%)	220	2,5/13,3	5,9/36,4	6,9/56,8	8,1/63,5
4	500	1300	200 (40%)	225	2,3/16,6	5,8/37,1	6,5/54,4	8,0/62,2
5	450	1500	50 (10%)	210	1,5/6,5	5,2/25,3	6,5/43,9	7,9/57,2

Исходя из полученных результатов, были построены гистограммы (рис. 2-3) для наглядного сравнения основных прочностных характеристик составов цементно-песчаных растворов, а также сформулированы выводы.

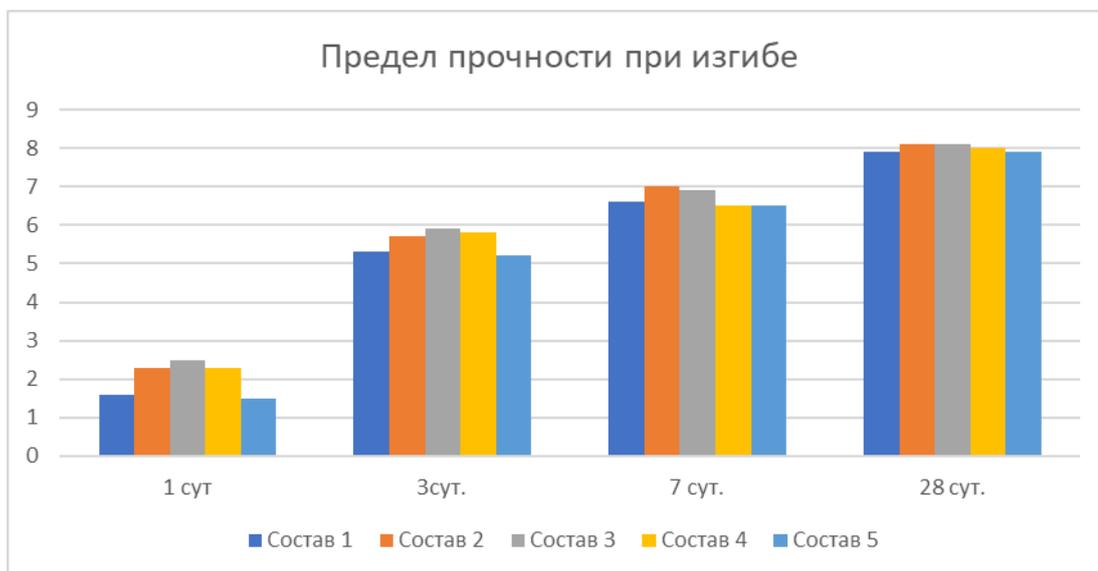


Рис. 2. – Кинетика твердения растворяемых образцов (предел прочности при изгибе)

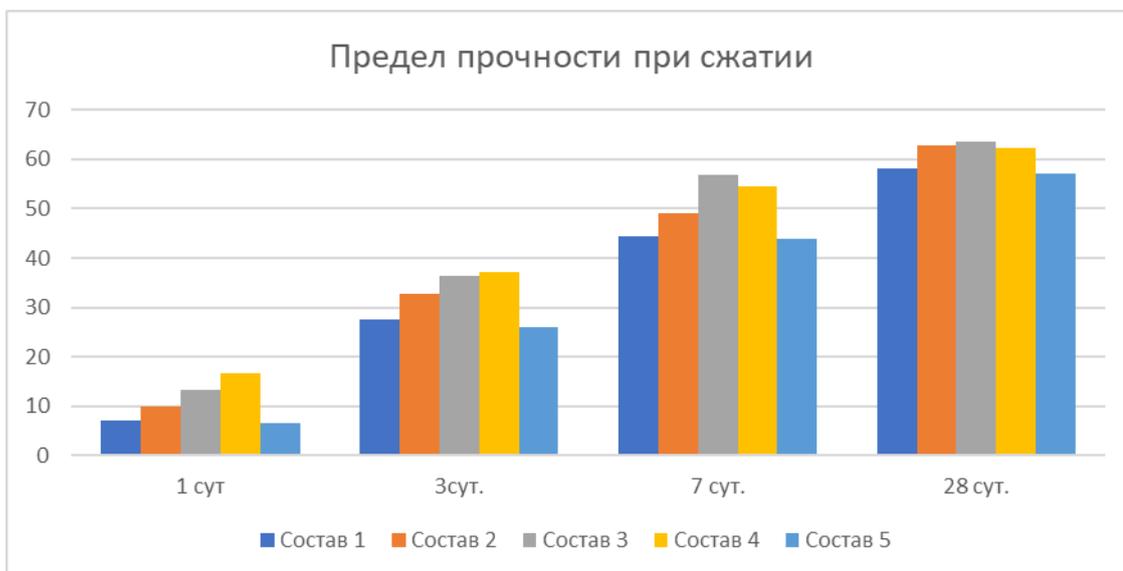


Рис. 3. – Кинетика твердения растворяемых образцов (предел прочности при сжатии)

Как видно из полученных результатов (рис. 2, 3), при добавлении молотого бетонного лома в количестве 10 %, 20 %, 40 % от массы цемента, взамен части песка (состав № 2, 3, 4), происходит прирост прочности на 1, 3, 7 и 28 сутки по сравнению с контрольным составом (состав № 1). Из представленных результатов следует, что добавка МБЛ в количестве 10 и 20 % является наиболее эффективной с точки зрения влияния на рост прочности раствора. При добавлении бетонного лома в количестве 20 и 40 % от массы цемента (составы № 3 и 4) происходит некоторое повышение водопотребности цементно-песчаной смеси показанная на рис. 4, что потребует применения пластифицирующей добавки для устранения этого недостатка.

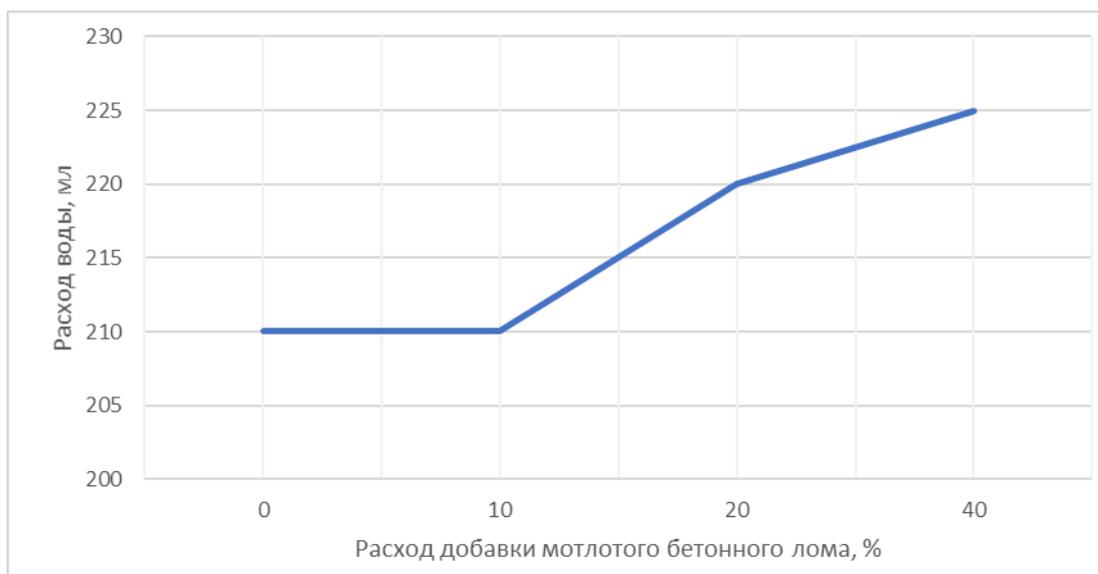


Рис. 4. – График изменения водопотребности в зависимости от количества молотого бетонного лома

В составе № 5 было произведено замещение доли портландцемента молотым бетонным ломом в количестве 10 %. Видно, что значения прочности снижаются по сравнению с контрольным составом (состав № 1) в следующих величинах: 1 сутки – 6%, 3 сутки – 5,7 %, 7 сутки – 1,3 %, 28

сутки – 3%. Это понижение незначительно и позволяет рекомендовать замену 10 % портландцемента на молотый бетонный лом.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что применение молотого бетонного лома в качестве добавки микронаполнителя в растворные и бетонные смеси играет двоякую роль, а именно: способствует уплотнению структуры твердеющего бетона и активизирует твердение цемента. Это происходит благодаря содержанию в молотом бетонном ломе гидросиликатов кальция, портландита и других кальциевых гидратов, которые в данном случае являются локальными центрами кристаллизации гидросиликатов кальция портландцемента в бетоне (растворе). Такое комплексное влияние добавки молотого бетонного лома способствует увеличению прочности раствора как в начальные сроки твердения, так и в контрольном возрасте. В связи с вышеизложенным, можно рекомендовать молотый бетонный лом в качестве не только наполнителя, но и активной минеральной добавки в количестве 10...20 % массы цемента с одновременным уменьшением расхода цемента на 10 %, что положительно скажется на технико-экономических показателях конструкций из такого бетона.

### **Выводы**

Таким образом, в результате анализа полученных данных по кинетике набора прочности цементно-песчаных растворов, можно сделать вывод, что доказана возможность применения добавки молотого бетонного лома взамен части мелкого заполнителя в производстве цементно-песчаных растворов и бетона. При этом такая замена положительно влияет на кинетику твердения и прочностные характеристики цементно-песчаных растворов. Выявлена гидравлическая активность молотого бетонного лома. Это позволяет рекомендовать использование молотого бетонного лома в качестве не только

---

микронаполнителя, но и активной минеральной добавки при производстве цементно-песчаных растворов и бетонов.

Также следует отметить, что применение бетонного лома, образующегося в результате сноса старых и ветхих зданий и сооружений, способствует снижению стоимости производимых бетонных и растворных смесей за счет экономии цемента и природного песка, а также улучшению экологической ситуации природной среды за счет снижения площадей, занимаемых отвалами бетонного лома.

### Литература

1. Маслов М.В. Перспективные направления утилизации строительных отходов в московском регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 1. С. 272 – 277.
2. Владимиров С.Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 19. С. 101 – 105.
3. Головин Н.Г., Алимов Л.А., Воронин В.В. Проблема утилизации железобетона и поиск эффективных путей ее решения // Вестник МГСУ. 2011. № 1 – 2. С. 65 – 71.
4. Воронин В.В., Алимов Л.Н., Балакшин А.С. Малоцебечные бетоны на щебне из бетонного лома // Технология бетонов. 2010. № 3 – 4. С. 28-30.
5. Ефименко А.З. Бетонные отходы – сырье для производства эффективных строительных материалов // Технологии бетонов. 2014. № 2. С. 17-21.
6. Florea M.V.A., Brouwers H.J.H. Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use // Cement and Concrete Research. 2013. №. 52. pp. 11-21.

7. Meyer, C. The greening of the concrete industry // Cement and Concrete Composites. 2009. № 31(8). pp. 601 – 605.
8. Олейник С.П., Соломин И.А., 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.
9. Коровкин М.О., Шестерин А.И., Ерошкина Н.А. Использование дробленного бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090/).
10. Коровкин М.О., Шестерин А.И., Ерошкина Н.А. Проблемы и перспективы применения бетонного лома в качестве сырья в технологии бетона// Молодежный научный вестник, 2017. № 10(23). С. 65 – 69.

### References

1. Maslov M. V. Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten', 2008. № 1. pp. 272 – 277.
  2. Vladimirov S. N. Sistemnye tekhnologii. 2016. №. 2. pp. 101 – 105.
  3. Golovin N. G., Alimov L. A., Voronin V. V. Vestnik MGSU. 2011. № 1 – 2. pp. 65-71.
  4. Voronin V.V., Alimov L.N., Balakshin A.S. Tekhnologiya betonov. 2010. № 3 – 4. pp. 28 – 30.
  5. Efimenko A. Z. Tekhnologiya betonov. 2014. № 2. pp. 17 – 21.
  6. Florea M. V. A., Brouwers H. J. H. Cement and Concrete Research. 2013. № 52. pp. 11 – 21.
  7. Meyer. C. Cement and Concrete Composites. 2009. № 31(8). pp. 601 – 605.
-



8. Oleinik S. P., Solomin I. A., Kharitonov S. E. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. № 12. pp. 55 – 56.
9. Korovkin M. O., Shestin A. I., Eroshkina N. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090/).
10. Korovkin M. O., Shestin A. I., Eroshkina N. A. Molodezhnyj nauchnyy vestnik. 2017. № 10(23). pp. 65 – 69.