

# СЕКЦИЯ 3. ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СТРОИТЕЛЬСТВО И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 628.4.036

## БЕТОНЫ С ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ БЕТОННОГО ЛОМА

Р.Д. Абдунасыров, Ю.Ю. Курятников,  
В.И. Трофимов, Т.Б. Новиченкова

© Абдунасыров Р.Д., Курятников Ю.Ю.,  
Трофимов В.И., Новиченкова Т.Б., 2024

*Аннотация.* В статье рассмотрена проблема утилизации и повторного использования строительных отходов, образующихся при сносе домов, в качестве заполнителей для бетона.

*Ключевые слова:* бетонный лом, заполнитель, вторичный щебень, строительные отходы.

### Введение

При демонтаже зданий и сооружений образуется большое количество бетонного и железобетонного лома. Одним из целесообразных способов утилизации данного лома является его переработка для последующего использования в технологии бетона [1]. Кроме того, применение этого лома играет важную роль в обеспечении экологической безопасности и сокращении объема отходов [2].

Цели работы – изучение бетонного лома и исследование вопросов, связанных с его последующим использованием в качестве заполнителя для бетонов.

### Процесс получения и обработки бетонного лома для последующего использования

Повторное использование строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся после сноса зданий и сооружений, – актуальная задача, решение которой улучшит экологическую ситуацию.

Основные способы сноса зданий:

1. Взрывной. Он применяется при массовом сносе кварталов застройки или отдельных зданий при реконструкции городской застройки. Суть его заключается в создании динамических нагрузок, обеспечивающих разрушение несущих конструкций нижнего и вышележащих этажей, в результате чего достигаются потеря устойчивости здания и его обрушение.

2. Механизированный. При сносе 1–9-этажных зданий наиболее распространено использование специальной техники. До середины 1990-х гг. применялся метод ударного разрушения конструкций шар- или клин-молотом, подвешиваемым на тросах к стреле самоходного крана или экскаватора. В настоящее время появилась новая техника, при которой разрушение здания и сооружений реализуется при помощи экскаваторов на гусеничном ходу. Экскаваторы оснащены специализированным гидравлическим инструментом (гидроножницами, гидромолотом, грейферным захватом, мультипроцессором и гидроклином) для разрушения элементов из бетона. Описанный способ разрушения весьма эффективен. Он дает возможность снести любое здание, не повреждая окружающие строения и территорию, и при этом позволяет применять технику, которая лучше всего способствует решению соответствующих задач. Главный минус метода – образование огромных объемов строительных отходов, которые сложно использовать повторно в строительных конструкциях или переработать методом рециклинга из-за высокой трудоемкости при сортировке. По этой причине строительные отходы должны вывозиться на мусорные полигоны [3].

Использование бетонного и железобетонного лома является одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительства. Получение вторичных ресурсов можно осуществить путем переработки железобетонных конструкций. В отечественной строительной отрасли ежегодно образуется несколько миллионов тонн лома бетонных конструкций. Источником служат бетонные и железобетонные конструкции после разборки физически и морально устаревших зданий. Существуют технологические линии по переработке железобетонных конструкций. Они позволяют получать после дробления бетонного лома и извлечения арматуры вторичный заполнитель, соответствующий специально разработанным техническим условиям. Такой заполнитель можно применять в качестве крупного заполнителя для бетонов [4].

Отходы строительной промышленности дешевле природного сырья. Часто они почти сразу (после дробления в щековых дробилках или после термической обработки) [4] годятся для применения в качестве заполнителей. При переработке отходов бетона и железобетона используют дробильные установки, принцип действия которых достаточно прост. Установка, как правило, состоит из двух или трех конструктивных элементов. В первом осуществляются приемка и первичная переработка поступающих отходов. Для этого используют приемный бункер, пластинчатый транспортер, пост предварительной сортировки. Затем отходы поступают в дробилку, где измельчаются, а после этого – в магнитный сепаратор, где извлекаются все металлические включения. Полученная масса поступает на грохот и разделяется на фракции. Количество фракций зависит от числа ярусов грохота. Крупные обломки, не прошедшие грохот,

возвращаются обратно в дробилку или же подаются во вторую часть установки, которая по составу оборудования аналогична первой [5].

Из бетонного лома, полученного путем дробления, можно изготавливать широко распространенные бетоны классов В15–В30 и высокопрочные бетоны классов выше В70. Данные бетоны можно использовать для производства большинства конструкций современных зданий и сооружений [4]. Фундамент, выполненный из бетона на основе заполнителя из бетонного лома, обладает необходимой несущей способностью и минимальной осадкой. Из вышеизложенного следует, что бетонная смесь с щебнем из бетонного лома может применяться при возведении монолитных фундаментов в ходе малоэтажного строительства, при бетонировании дорожек, отмосток, подготовке под чистые полы, изготовлении бордюрных камней, тротуарных плиток. Повторное использование бетонного лома в большинстве случаев целесообразно и отвечает принципам концепции устойчивого развития, основные положения которой предусматривают экономию материалов и энергии, повышение долговечности конструкций и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозобновимых источников природных ресурсов [6].

При сносе зданий процесс переработки бетонных и железобетонных изделий для получения бетонного лома может быть организован двумя способами:

транспортировкой на стационарные полигоны, оснащенные дробильно-сортировочным оборудованием;

установкой мобильных комплексов на месте демонтажа (если объем демонтируемых конструкций значительный).

Можно использовать введение бетонного лома как части крупного заполнителя до 40 %. Это позволит интенсивнее задействовать вторичные отходы (бетонный лом) в строительной отрасли, сократить их накопление и улучшить экологическую обстановку [2]. Кроме того, стоит добавить, что технология поэлементной разборки зданий, полученная на основании опыта строительства малоэтажных зданий с помощью современного оборудования и техники и при дальнейшем повторном использовании строительных материалов, изделий и конструкций, является эффективной и экологичной [3].

Экономический эффект от утилизации отходов складывается из многих факторов, часто специфических для того или иного вида отходов. Однако существующая система переработки отходов требует дальнейшего развития. Имеющиеся мощности по своим показателям и составу оборудования не могут в полной мере обеспечить переработку всех строительных отходов, образующихся в городе. По поводу использования отходов следует сказать, что они могут быть огромным богатством или, если их не использовать, большой проблемой [5].

### **Применение бетонного лома в различных составах**

Вторичный щебень (или щебень из дробленого бетона) содержит значительное количество растворной составляющей. Кроме того, контактная зона между исходным зерном щебня и раствором, которая является наименее прочным и наиболее пористым звеном в бетоне, значительно снижает физико-механические показатели. Получается, что вторичный щебень, который до дробления (во время эксплуатации) имел морозостойкость 200 циклов, изменяется до морозостойкости в 15 циклов. Однако на вторичном щебне получают бетоны прочностью до 200 и морозостойкостью выше 100 циклов. Улучшить характеристики вторичного щебня позволяет его активация, которая заключается в разрушении слабых зерен щебня или удалении остатков цементного камня, что приводит к повышению технических характеристик бетонов за счет улучшения качества контактной зоны. В качестве методов активации в основном используются механические и химические.

Механические методы – самоизмельчение при перемешивании щебня в смесительных установках или его обработка в шаровых мельницах с металлическими шарами. Более высокие показатели были достигнуты в результате обработки дробленого бетона со стальными шарами после предварительного низкотемпературного обжига при температуре 600–800 °С. В этом случае был получен практически свободный от растворной составляющей щебень с показателями (дробимости, морозостойкости и т.п.), близкими к аналогичным показателям исходного (натурального) щебня. Удаление части ослабленных зерен, полученных в процессе дробления отходов из бетона и железобетона, может производиться предварительным интенсивным сухим перемешиванием крупного заполнителя в бетоносмесительных устройствах.

Химический метод заключается в «вымывании» из вторичного щебня остатков цементного камня при помощи безводных и гидратированных оксидов, что тоже способствует повышению качества щебня из дробленого бетона [5].

Добавка тонкомолотого бетонного лома оказывает положительное влияние на начальные этапы гидратации цементного камня благодаря более мелким размерам частиц по сравнению с частицами портланд-цемента. За счет этого «старые» гидросиликаты могут играть роль центров кристаллизации. С помощью термогравиметрического анализа было также доказано, что использование тонкомолотого бетонного лома в качестве добавки стимулирует увеличение количества продуктов гидратации (гидратов) и тем самым способствует переходу слабосвязанной воды в химически связанную. Была доказана эффективность применения тонкомолотых отсевов бетонного лома по сравнению с другими минеральными добавками при производстве бетонных и растворных смесей [7].

Полученные помолом из бетонного лома композиционные вяжущие, имеющие различные показатели гранулометрического состава, будут, безусловно, обладать отличительными физико-механическими и технологическими свойствами. Анализ результатов определения нормальной плотности и сроков схватывания композиционных вяжущих свидетельствует о влиянии увеличения удельной поверхности на эти свойства. Сравнение композиционного вяжущего по срокам схватывания показывает, что начало срока составило 90 мин, а конец – 255 мин, продолжительность периода была 165 мин. Это еще раз говорит о разнообразии гидратационных процессов в системе, что отражается на процессах структурообразования цементного камня [8].

Применение молотого бетонного лома в качестве добавки микронаполнителя в растворные и бетонные смеси играет двойную роль: способствует уплотнению структуры твердеющего бетона и активизирует твердение цемента. Все 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. На основе вышеизложенного 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 этого бетона. Таким образом, по результатам анализа полученных данных можно сделать вывод, что была доказана возможность применения добавки молотого бетонного лома взамен части мелкого заполнителя при производстве цементно-песчаных растворов и бетона. Такая замена положительно влияет на кинетику твердения и прочностные характеристики цементно-песчаных растворов [9].

Основными принципами грамотной переработки строительных отходов являются их сортировка и дифференцированное складирование. Чтобы получать сырьевые материалы из бетонного лома для бетонов, отличающихся удовлетворительным качеством и невысоким коэффициентом вариации свойств, необходимо перерабатывать отдельные железобетонные элементы, имеющие схожие первоначальные характеристики (вид, предприятие-изготовитель, год выпуска и т.д.). Для получения самоуплотняющихся бетонных смесей повышенного качества на материалах из бетонного лома дополнительно рекомендуется в качестве исходного перерабатываемого сырья применять однослойные (однородные по составу бетона) железобетонные элементы зданий и сооружений – плиты перекрытий, бетонные перегородочные панели, лестничные марши

и т.п. Чтобы получать из бетонного лома качественные сырьевые материалы для самоуплотняющегося бетона, требуется организация поэтапного демонтажа зданий, а также сортировка строительных отходов [10].

### **Заключение**

Несмотря на значительное число исследований, посвященных получению и применению вторичного заполнителя на основе бетонного лома, объемы использования этого материала в технологии бетона в России небольшие. Данное явление связано с экономическим фактором, который обусловлен достаточно крупными запасами каменных горных пород и относительно низкой стоимостью щебня. Кроме того, для рентабельной работы предприятий по производству вторичного заполнителя важным фактором являются стабильные поставки лома железобетонных конструкций, что часто не удается обеспечить при незначительных объемах сноса.

### **Библиографический список**

1. Разработка составов самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома с использованием структурных характеристик / В.В. Наруть [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 8–15.
2. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. С. 444–454.
3. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий / С.А. Колодяжный [и др.] // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 271–293.
4. Магсумов А.Н., Шарипянов Н.М. Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей // Символ науки. 2018. № 6. С. 29–32.
5. Фахратов М.А., Кужин М.Ф. Организация переработки отходов бетона и вторичное использование бетонов в строительстве // Системные технологии. 2018. № 26. С. 100–103.
6. Физико-механические особенности материалов на основе бетонного лома / Д.С. Денисевич [и др.] // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-mehanicheskie-osobennosti-materialov-na-osnove-betonnogo-loma/viewer> (дата обращения: 10.02.2024).
7. Павлов А.В., Коровяков В.Ф. Формирование структуры цементно-песчаных растворов с добавкой тонкомолотого кремнеземсодержащего бетонного лома // Экономика строительства. 2023. № 2. С. 115–123.
8. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома / Р.В. Левосовик [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18.

9. Павлов А.В., Коровяков В.Ф. Влияние добавки молотого бетонного лома на кинетику изменения прочности цементно-песчаного раствора // Инженерный вестник Дона. 2021. № 3. С. 387–397.

10. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона // Строительство и реконструкция. 2020. № 2. URL: <https://construction.elpub.ru/jour/article/view/269> (дата обращения: 11.02.2024).

## CONCRETE WITH AGGREGATES FROM CRUSHING WASTE OF CONCRETE SCRAP

R.D. Abdunasyrov, Yu.Yu. Kuryatnikov,  
V.I. Trofimov, T.B. Novichenkova

***Abstract.** The article considers the problem of utilisation and reuse of construction waste generated during the demolition of houses as aggregates for concrete.*

***Keywords:** concrete scrap, aggregate, recycled crushed stone, construction waste.*

Об авторах:

АБДУНАСЫРОВ Рэм Дамирович – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [abdunasyrov.rem@list.ru](mailto:abdunasyrov.rem@list.ru)

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [yuriy-@yandex.ru](mailto:yuriy-@yandex.ru)

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [vitrofa@mail.ru](mailto:vitrofa@mail.ru)

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [tanovi.69@mail.ru](mailto:tanovi.69@mail.ru)

About the authors:

ABDUNASYROV Rem Damirovich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [abdunasyrov.rem@list.ru](mailto:abdunasyrov.rem@list.ru)

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [yuriy-k@yandex.ru](mailto:yuriy-k@yandex.ru)

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

**УДК 691.62**

## **ОБЛЕГЧЕННЫЕ КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ**

**И.В. Гордейко, В.Б. Петропавловская,  
М.А. Смирнов, В.В. Белов**

© Гордейко И.В., Петропавловская В.Б.,  
Смирнов М.А., Белов В.В., 2024

***Аннотация.** В статье приведены новые подходы к повышению эффективности сухих теплоизоляционных смесей с учетом закона сродства структур, который предусматривает проектирование композитов с использованием наполнителей и композиционных вяжущих пониженной плотности.*

***Ключевые слова:** цементно-полимерные композиции, модификация строительных растворов, водорастворимые полимеры, алюмосиликатные полые микросферы, кладочные растворы, прочность.*

### ***Введение***

Газобетон представляет собой строительный материал, который часто используют многие потребители. При возведении малоэтажных зданий, как правило, применяются газобетонные элементы [1]. Обычно это блоки разного размера. Для изготовления газобетона используют такие материалы, как вода, газообразователь и цемент. Их производство осуществляется с помощью технологии автоклавного пропаривания и твердения блоков. За счет такой последовательности получают строительные конструкции высокого качества с небольшой себестоимостью. Облегченные и ячеистые типы блоков легко обрабатываются при помощи специальных инструментов, которые придают им нужные формы и размеры. После этого блоки доставляются на стройку в спецконтейнерах или на поддонах.