

2.1 Переработка бетонного лома

2.1 Особенности технологии переработки бетонного лома

Производство бетона не относится к технологиям, которые наносят значительный вред естественной окружающей среде. Главное негативное воздействие его производства на природную среду связано с объемами производства бетона, который является самым распространенным искусственным материалом в современном мире. Для обеспечения сырьем производства бетонных и железобетонных конструкций из литосферы извлекается колоссальное количество горных пород. При этом производство бетона рассматривается в качестве перспективной технологии утилизации крупнотоннажных отходов различных отраслей, из которых наиболее значимыми являются металлургические шлаки, зола сжигания угля, отходы горнодобывающей промышленности. Это является дополнительным стимулом развития технологии бетона.

В последние годы повышается интерес к разработке эффективных технологий утилизации бетонного лома. Это связано, прежде всего, с ростом объемов отходов, образующихся при сносе физически и морально устаревших зданий, а также с увеличением доли бетона в отходах сноса.

Увеличение объемов отходов сноса самая значительная, но не единственная составляющая возрастающего количества бетонного лома (рис. 1). В связи с увеличением объемов строительства растет производство бетона. Этот рост происходит также в результате постепенного вытеснения железобетоном других конструктивных строительных материалов.

Кроме того потребность в новых, более эффективных технологиях утилизации бетонного лома соответствует научно-технической политике направленной на ресурсосбережение в производстве и потреблении.



Рисунок 1. Источники бетонного лома

Бетонный лом, полученный из разных источников, может иметь значительные отличия по составу и свойствам. Отходы заводов сборного железобетона характеризуются в основной массе высокой прочностью, однако в их составе встречаются плохо уплотненные и малопрочные остатки бетонной смеси. Отходы сноса обычно засорены примесями различного происхождения – полимерами, древесиной, керамическими, теплоизоляционными, гидроизоляционными и другими материалами. Они могут быть в значительной степени разрушены в результате действия различных видов коррозии. Строительные отходы также содержат засоряющие примеси и малопрочные остатки бетонной смеси. В бетонном ломе, полученном при рекультивации свалок, содержатся почва и растительные остатки. В связи с этим поступающий на переработку бетонный лом из различных источников должен складироваться и перерабатываться отдельно. Опыт переработки бетонного лома показал, что характеристики вторичного заполнителя значительно уступают природному крупному и мелкому заполнителю. Рециклированный заполнитель имеет более высокую водопотребность и пониженную прочность в связи с наличием в его составе более пористой и менее прочной растворной составляющей бетона, первичного дробления бетонного лома не в виде отдельных частиц, а в зернах с конгломератной структурой.

В связи с отсутствием эффективных технологий переработки бетонного лома, вторичный заполнитель используется в основном для производства низкомарочных бетонов, строительства малонагруженных дорог, пешеходных дорожек, автостоянок, фундаментов под складские и производственные помещения. Способы снижения негативного влияния растворной составляющей и цементного камня во вторичном щебне на характеристики бетона можно разделить на три группы. К первой группе относятся методы, основанные на снижении негативного влияния вторичного заполнителя на свойства бетона за счет рецептурных факторов. К числу таких методов относятся:

- снижение водопотребности заполнителя за счет предварительного насыщения его водой;

- использование пластифицирующих или органоминеральных добавок, в том числе приготовленных с применением отсевов дробления бетона.

К этой группе методов можно также отнести использование продуктов дробления бетона в смеси с природным заполнителем. Существует мнение, что при использовании вторичного заполнителя за счет подбора рационального состава могут быть получены более дешевые бетоны, не уступающие по техническим характеристикам бетонам, приготовленным на природных заполнителях. В то же время в большинстве научных публикаций отмечается невозможность пучения качественного бетона на вторичном заполнителе и необходимость совершенствования технологии его переработки. Ко второй группе относятся методы, снижающие пористость и повышающие прочность растворной составляющей в дробленном бетоне за счет его предварительной пропитки полимерными составами, жидким стеклом, цементной суспензией при двухстадийном приготовлении смеси. Недостатком таких методов является значительно усложнение технологии, повышение стоимости вторичного заполнителя. Пропитка заполнителя позволяет значительно снизить его водопоглощение, однако упрочнение растворной составляющей вторичного заполнителя происходит

преимущественно в его поверхностном слое, что незначительно способствует повышению его прочности. К методам второй группы, позволяющим повысить характеристики вторичного заполнителя, условно можно отнести предварительное интенсивное сухое перемешивание крупного заполнителя в бетоносмесительных устройствах, что по данным обеспечивает отделение слабосвязанного с исходным заполнителем растворного компонента и частичное разрушение его малопрочных дефектных зерен. Методы третьей группы повышения характеристик вторичного заполнителя включают технологии отделения растворной составляющей от природного заполнителя. Для этого может использоваться электроимпульсное измельчение, разрушающее в большей степени цементный камень. Кроме того, для очистки вторичного щебня от цементного камня применяется обработка соляной кислотой. Наиболее производительные методы повышения качества вторичного щебня основаны на механическом воздействии на бетонный лом специальными дробильными ковшами или многостадийном дроблении по «мягкому» режиму в обычных щековых дробилках. Большую перспективу имеют усовершенствованные щековые дробилки, в которых, также как и при многостадийном «мягком» дроблении в обычных дробилках, измельчение происходит за счет самоизмельчения зерен бетонного лома, что обеспечивает преимущественное разрушение растворной составляющей бетонного лома. Растворение соляной кислотой позволяет получить крупный и мелкий заполнитель, очищенный от цементного камня. Однако этот способ требует значительных объемов кислоты. В результате такой обработки может быть получен заполнитель высокого качества, но при этом образуется большое количество шлама с высоким содержанием хлорида кальция. Этот способ не может быть использован для обработки бетона, произведенного с применением известнякового щебня. При отделении растворной составляющей от природного крупного заполнителя при его дроблении по «мягкому» режиму или в усовершенствованной щековой дробилке образуется большое количество мелких фракций, которые не могут быть

использованы для полноценной замены природного песка из-за низкой прочности и повышенной пористости. Эти фракции целесообразно подвергать помолу для получения инертной минеральной добавки. С учетом того, что в измельчаемом материале в некоторых случаях может содержаться до 50 % негидратированного клинкера, он может быть использован в качестве активной минеральной добавки.

Результаты некоторых исследований показали, что измельченный отсев дробления бетонного лома может быть использован в качестве компонента органоминеральной добавки, многокомпонентного вяжущего, «вторичного» вяжущего. Повышение характеристик вторичного заполнителя за счет уменьшения содержания в нем растворной составляющей, неизбежно приведет к повышению дисперсности продуктов дробления. Соотношение образующихся при этом фракций заполнителя соответствует в большей степени зерновому составу заполнителей нетрадиционных, а самоуплотняющихся бетонов. Исследования показали, что на основе продуктов многостадийного дробления бетонного лома с пониженным содержанием растворной составляющей во вторичном щебне возможно получение самоуплотняющихся бетонов с прочностью до 50 МПа. В связи с тем, что практически весь объем переработанного бетонного лома, включающего крупный и мелкий заполнитель, а также дисперсную составляющую, может соответствовать требованиям к зерновому составу заполнителя самоуплотняющегося бетона, наиболее рациональной областью использования рециклированного заполнителя можно считать эту высокотехнологичную разновидность бетона. В ближайшие годы произойдет обострение проблемы утилизации бетонного лома. Это связано, прежде всего, с увеличением количества отходов сноса физически и морально устаревающих зданий, построенных с применением железобетона. Кроме того, прогнозируемый рост объемов строительства, увеличение количества строительных отходов и доли бетона в этих отходах также приведет к значительному повышению количества бетонного лома. В связи с этим, а

также исчерпанием свободных площадей для организации новых полигонов и свалок, на которых традиционно складировался бетонный лом, возрастет потребность в разработке эффективных технологий рециклинга этих отходов. Дробление бетонного лома не позволяет получить качественный вторичный заполнитель бетона, что связано с наличием в нем пористой и малопрочной растворной составляющей. Разрабатываемые технологии, позволяющие повысить характеристики вторичного заполнителя за счет отделения этого компонента вторичного заполнителя от природного крупного заполнителя в перерабатываемом бетоне, приводят к образованию большого количества мелких и тонких фракций. Характеристики этих материалов не позволят эффективно использовать их в традиционной технологии бетона. В связи с этим, при разработке технологий переработки бетонного лома должна учитываться не только необходимость повышения качества вторичного щебня. Разрабатываемые методы переработки бетонного лома должны быть оптимизированы для получения заполнителей, в том числе инертных минеральных добавок (тонких заполнителей), для самоуплотняющихся бетонов, в рецептуре которых дисперсный наполнитель является одним из ключевых компонентов.

2.2 Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона

В отечественной строительной отрасли ежегодно образуется несколько млн. т. лома бетонных конструкций. Источником бетонного лома являются: бетонные и железобетонные конструкции после разборки физически и морально устаревших зданий; брак и технологические отходы на заводах сборного железобетона и строительных площадках; рекультивация промышленных и стихийных свалок. В крупных городах работают технологические линии по переработке железобетонных конструкций. Они позволяют получать после дробления бетонного лома и извлечения арматуры так называемый «вторичный щебень». Однако по существующим

технологиям невозможно производить из лома бетонных конструкций качественный заполнитель для бетона. Вторичный щебень из-за его низких характеристик используется обычно для производства низкомарочных бетонов и в дорожном строительстве.

Причина низкой прочности вторичного щебня, получаемого по традиционной технологии, – содержание в его составе значительного объема цементного камня, который имеет прочность на порядок ниже, чем крупный и мелкий заполнители. Повышение прочностных и других характеристик вторичного щебня возможно при дроблении по режимам, обеспечивающим разрушение преимущественно цементного камня. Для обеспечения такого режима измельчения создается специальное оборудование, например виброщечковые или конусные инерционные дробилки. Повышение характеристик вторичного щебня возможно и за счет различных технологических приемов, в частности механической обработки в бетоносмесителе, пропитки упрочняющими полимерными растворами. Для повышения характеристик заполнителя может быть использовано многостадийное измельчение бетонного лома по «мягкому» режиму в обычных щековых дробилках. Для обеспечения такого режима разгрузочное отверстие дробилки должно быть открыто до максимально возможной ширины, а дробление должно вестись при максимальном заполнении рабочего пространства дробилки в режиме «завала». При таком режиме разрушение бетонного лома происходит за счет контактного взаимодействия дробимого материала между собой в отличие от традиционного режима дробления, при котором разрушение материала происходит в результате «жесткого» воздействия на него подвижной щеки дробилки. Измельчение по «мягкому» режиму обеспечивает разрушение преимущественно менее прочных частиц цементного камня и растворной составляющей бетона, а также отделение этих компонентов бетона от зерен крупного заполнителя. В таком режиме степень измельчения материала снижается, поэтому он должен подвергаться двух- или трехкратному дроблению.

Испытания характеристик вторичного щебня показали высокую эффективность многостадийного способа измельчения. Как видно на рис. 1, после измельчения в 3-4 стадии по «мягкому» режиму значительно улучшаются характеристики щебня фракции 5-10 мм – водопоглощение (W), пустотность (П) и средняя толщина зерен (b)

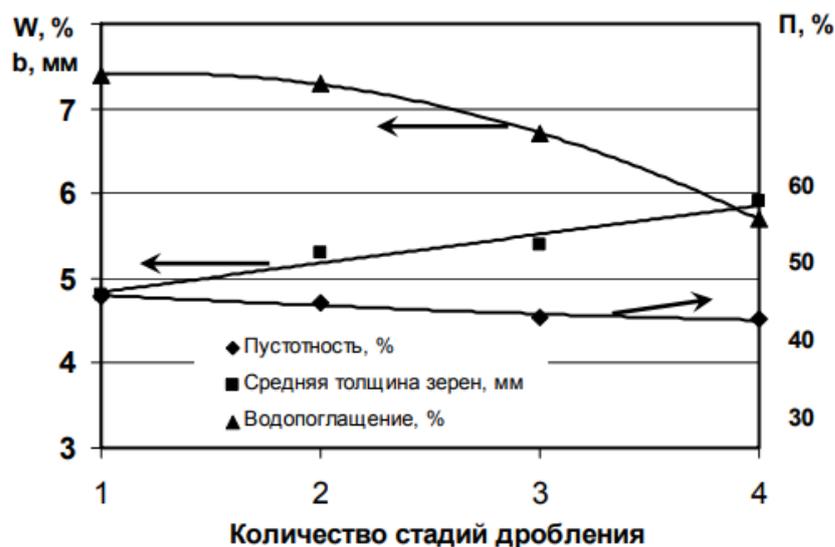


Рисунок 2. Влияние дробления на свойства вторичного щебня

Повышение характеристик вторичного щебня обеспечивается за счет постепенного уменьшения содержания во вторичном щебне цементного камня, что подтверждается снижением водопоглощения и повышением плотности вторичного щебня. Кроме того, дробление в 2-3 стадии позволяет снизить межзерновую пустотность щебня за счет улучшения формы зерен, которая характеризовалась в эксперименте средней толщиной зерен b . Результаты определения прочности щебня по дробимости в цилиндре также показывают эффективность многостадийного дробления бетонного лома (рис. 2). Двух- и трехстадийное дробление вторичного щебня существенно повышает его прочность и другие характеристики, однако приводит к образованию значительных объемов мелкой и тонкой фракций продуктов дробления. Эти фракции, так же, как и щебень после однократного дробления, имели низкую прочность; поэтому их применение в качестве мелкого и тонкого заполнителя взамен природного песка приводит к снижению прочности бетонов и строительных растворов. Для повышения

прочностных свойств этих фракций они подвергались в ходе эксперимента помолу в лабораторной шаровой мельнице в течение 2 минут. Это привело к увеличению доли мелких и тонких фракций в заполнителе, но позволило повысить прочность мелкозернистого бетона более чем в два раза. При определении прочностных характеристик зерновой состав заполнителя до и после помола был одинаков.

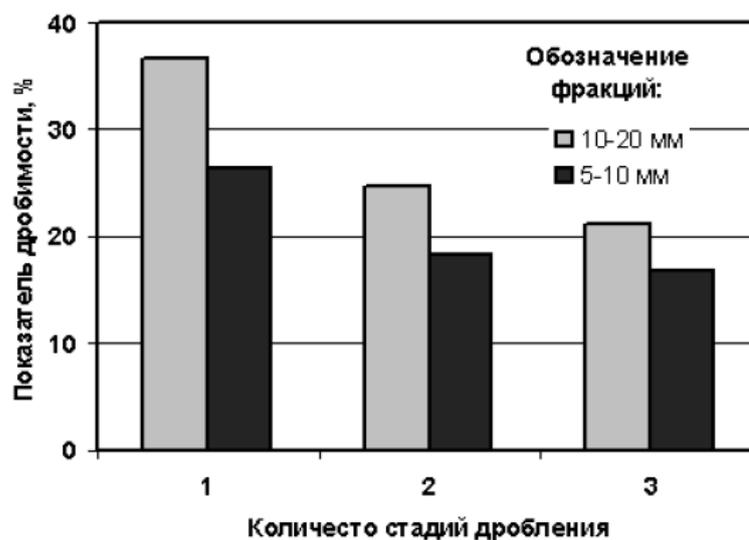


Рисунок 3. Влияние повторного дробления на прочность различных фракций вторичного щебня

Многостадийное дробление позволяет повысить характеристики заполнителя, однако приводит к образованию большого объема мелких фракций, состоящих преимущественно из частиц цементного камня.

Гранулометрический состав полученного крупного и мелкого заполнителей не позволяет их использовать для производства традиционных бетонов без отсева тонких и мелких фракций. Очевидно, что такая технологическая операция приведет к образованию большого объема материала, который также нельзя использовать в традиционной технологии бетона.

С учетом зернового состава продуктов многостадийного дробления наиболее перспективной областью применения этого материала является самоуплотняющийся бетон, так как его технология позволяет использовать большие объемы мелкой и тонкой фракции, образующиеся при дроблении бетонного лома. Это связано с тем, что один из ключевых элементов

технологии самоуплотняющегося бетона – использование тонкого наполнителя. Кроме того, в самоуплотняющемся бетоне ограничиваются содержание крупного заполнителя и его максимальная крупность, что является еще одним аргументом в пользу применения продуктов дробления бетонного лома в этой технологии. Следует отметить, что применение различных дисперсных минеральных отходов в качестве тонкого наполнителя рассматривается как один из путей снижения стоимости и увеличения объемов использования самоуплотняющегося бетона.

С учетом того, что пески с содержанием частиц менее 0,63 мм широко распространены и достаточно дешевы, эту фракцию продуктов дробления бетонного лома, характеризующуюся высокой пористостью и низкой прочностью, целесообразно измельчать в мельницах до дисперсности, сопоставимой с дисперсностью цемента. Это позволит получить достаточные объемы тонкого наполнителя самоуплотняющегося бетона.

Для оценки возможности использования заполнителя, полученного при дроблении бетонного лома в технологии самоуплотняющегося бетона, было исследовано два состава. В первом применялись доломитовый щебень марки 1200 с плотностью 2880 кг/м³ и отсев его дробления, который использовался для оптимизации зернового состава мелкого заполнителя [9], а также доломитовая мука с $S_{уд} = 340$ м²/кг в качестве тонкого заполнителя.

Во втором составе в качестве крупного заполнителя использовался вторичный щебень фракций 5-10 и 10-20 мм. Отсев дробления бетона фракции 0,63-5 мм применялся для оптимизации гранулометрического состава мелкого заполнителя на основе кварцевого песка. Для получения тонкого заполнителя отсев дробления менее 0,63 мм измельчался в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд} = 334$ м²/кг.

В качестве мелкого заполнителя в обоих составах использовался песок сурского месторождения. В связи с тем, что содержание в этом песке зерен менее 0,63 мм более 90 %, природный песок обогащался отсевами дробления щебня или бетонного лома.

Как видно из данных, приведенных в таблице, у бетонной смеси, приготовленной с применением продуктов дробления бетонного лома, несмотря на более высокий расход воды, расплыв заметно меньше, что свидетельствует о высокой водопотребности вторичного заполнителя. Замена качественного заполнителя на бетонный лом приводит к снижению прочности бетона в возрасте 1 суток в 2 раза. Это связано с более высоким расходом воды в составе с вторичным заполнителем, что вызывает более продолжительный блокирующий эффект пластифицирующей добавки. Через 28 суток прочность бетона на дробленном ломе также ниже, но снижение составляет всего 8 %.

При хранении образцов, изготовленных с применением бетонного лома, в течение года в воздушно-сухих условиях бетон достиг прочности 73,8 МПа, а призменная прочность составила 57,5 МПа. При этом модуль упругости составил всего 24,3 МПа, что в 1,6 раза ниже значения, указанного в нормативном документе (СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения), регламентирующем этот показатель для бетона класса В55. Столь низкое значение модуля упругости исследованного бетона объясняется особенностью его состава и структуры.

Во-первых, в самоуплотняющемся бетоне меньше, чем в обычном бетоне, содержание заполнителей, характеризующихся высокими значениями модуля упругости, и больше – низко модульного цементного камня. Отмечается, что модуль упругости самоуплотняющихся бетонов на 15 % ниже, чем модуль у обычных бетонов.

Во-вторых, вторичные заполнители содержат низко модульные включения растворной составляющей бетона, которые также снижают модуль упругости изготовленного с применением продуктов дробления бетона. Установлено, что модуль упругости у таких бетонов на 7...18% ниже, чем у бетонов на природных заполнителях.

Двух- и трехстадийное дробление вторичного щебня существенно повышает его прочность и другие характеристики, однако приводит к

образованию значительных объемов мелкой и тонкой фракций продуктов дробления. Эти фракции, так же, как и щебень после однократного дробления, имели низкую прочность; поэтому их применение в качестве мелкого и тонкого заполнителя взамен природного песка приводит к снижению прочности бетонов и строительных растворов. Для повышения прочностных свойств этих фракций они подвергались в ходе эксперимента помолу в лабораторной шаровой мельнице в течение 2 минут. Это привело к увеличению доли мелких и тонких фракций в заполнителе, но позволило повысить прочность мелкозернистого бетона более чем в два раза. При определении прочностных характеристик зерновой состав заполнителя до и после помола был одинаков. Многостадийное дробление позволяет повысить характеристики заполнителя, однако приводит к образованию большого объема мелких фракций, состоящих преимущественно из частиц цементного камня. Гранулометрический состав полученного крупного и мелкого заполнителей не позволяет их использовать для производства традиционных бетонов без отсева тонких и мелких фракций. Очевидно, что такая технологическая операция приведет к образованию большого объема материала, который также нельзя использовать в традиционной технологии бетона. С учетом зернового состава продуктов многостадийного дробления наиболее перспективной областью применения этого материала является самоуплотняющийся бетон, так как его технология позволяет использовать большие объемы мелкой и тонкой фракции, образующиеся при дроблении бетонного лома. Это связано с тем, что один из ключевых элементов технологии самоуплотняющегося бетона – использование тонкого наполнителя. Кроме того, в самоуплотняющемся бетоне ограничиваются содержание крупного заполнителя и его максимальная крупность, что является еще одним аргументом в пользу применения продуктов дробления бетонного лома в этой технологии. Следует отметить, что применение различных дисперсных минеральных отходов в качестве тонкого наполнителя рассматривается как один из путей снижения стоимости и

увеличения объемов использования самоуплотняющегося бетона. С учетом того, что пески с содержанием частиц менее 0,63 мм широко распространены и достаточно дешевы, эту фракцию продуктов дробления бетонного лома, характеризующуюся высокой пористостью и низкой прочностью, целесообразно измельчать в мельницах до дисперсности, сопоставимой с дисперсностью цемента. Это позволит получить достаточные объемы тонкого наполнителя самоуплотняющегося бетона. Для оценки возможности использования заполнителя, полученного при дроблении бетонного лома в технологии самоуплотняющегося бетона, было исследовано два состава. В первом применялись доломитовый щебень марки 1200 с плотностью 2880 кг/м³ и отсев его дробления, который использовался для оптимизации зернового состава мелкого заполнителя, а также доломитовая мука с $S_{уд} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ в качестве тонкого заполнителя.

Во втором составе в качестве крупного заполнителя использовался вторичный щебень фракций 5-10 и 10-20 мм. Отсев дробления бетона фракции 0,63-5 мм применялся для оптимизации гранулометрического состава мелкого заполнителя на основе кварцевого песка. Для получения тонкого заполнителя отсев дробления менее 0,63 мм измельчался в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд} = 334 \text{ м}^2/\text{кг}$. В качестве мелкого заполнителя в обоих составах использовался песок Сурского месторождения. В связи с тем, что содержание в этом песке зерен менее 0,63 мм более 90 %, природный песок обогащался отсевами дробления щебня или бетонного лома. Составы исследованных бетонов, их прочность приведены в таблице.

Как видно из данных, приведенных в таблице, у бетонной смеси, приготовленной с применением продуктов дробления бетонного лома, несмотря на более высокий расход воды, расплыв заметно меньше, что свидетельствует о высокой водопотребности вторичного заполнителя. Замена качественного заполнителя на бетонный лом приводит к снижению прочности бетона в возрасте 1 суток в 2 раза. Это связано с более высоким

расходом воды в составе с вторичным заполнителем, что вызывает более продолжительный блокирующий эффект пластифицирующей добавки. Через 28 суток прочность бетона на дробленом ломе также ниже, но снижение составляет всего 8 %. При хранении образцов, изготовленных с применением бетонного лома, в течение года в воздушно-сухих условиях бетон достиг прочности 73,8 МПа, а призмная прочность составила 57,5 МПа. При этом модуль упругости составил всего 24,3 МПа, что в 1,6 раза ниже значения, указанного в нормативном документе (СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения), регламентирующем этот показатель для бетона класса В55. Столь низкое значение модуля упругости исследованного бетона объясняется особенностью его состава и структуры. Во-первых, в самоуплотняющемся бетоне меньше, чем в обычном бетоне, содержание заполнителей, характеризующихся высокими значениями модуля упругости, и больше – низко модульного цементного камня. Отмечается, что модуль упругости самоуплотняющихся бетонов на 15 % ниже, чем модуль у обычных бетонов. Во-вторых, вторичные заполнители содержат низко модульные включения растворной составляющей бетона, которые также снижают модуль упругости изготовленного с применением продуктов дробления бетона. Установлено, что модуль упругости у таких бетонов на 7...18% ниже, чем у бетонов на природных заполнителях [11].

Причиной снижения модуля упругости самоуплотняющегося бетона, изготовленного с применением бетонного лома, – использование в качестве тонкого наполнителя измельченного цементного камня. Исследования усадки самоуплотняющегося бетона на основе продуктов переработки бетонного лома, показали, что эта характеристика находится в пределах 0,3...0,34 мм/м (рис. 3), что не подтверждает данные о значительно более высокой усадке самоуплотняющихся бетонов/

Причиной снижения модуля упругости самоуплотняющегося бетона, изготовленного с применением бетонного лома, – использование в качестве тонкого наполнителя измельченного цементного камня. Эта особенность

исследованного материала должна учитываться при выборе области его применения.

Исследования усадки самоуплотняющегося бетона на основе продуктов переработки бетонного лома, проводившиеся в течение одного года, показали, что эта характеристика находится в пределах 0,3...0,34 мм/м, что не подтверждает данные о значительно более высокой усадке самоуплотняющихся бетонов.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- бетонный лом после многостадийного дробления по «мягкому» режиму может быть использован в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона;

- замена высококачественных заполнителей на продукты дробления бетонного лома в самоуплотняющемся бетоне приводит к снижению прочности на 8-10 %. Однако свойства полученного бетона, в частности прочность более 50 МПа после 28 суток нормального твердения, позволяют использовать его для производства большинства конструкций современных зданий и сооружений;

- самоуплотняющийся бетон, полученный на основе продуктов дробления бетонного лома, имеет пониженный модуль упругости, что необходимо учитывать при выборе области применения этого бетона.

- предлагаемая технология переработки бетонного лома дает возможность получать недорогой заполнитель с гранулометрическим составом, необходимым для производства новой высокоэффективной разновидности бетона – самоуплотняющегося бетона.

2.3 Способы переработки бетонного лома для получения вторичного щебня в качестве минерального сырья

По существующим технологиям невозможно производить из лома бетонных конструкций качественный минеральный заполнитель для бетона из-за его низких физико-механических свойств. Улучшить характеристики

вторичного щебня позволяет его активация, которая состоит в разрушении слабых зерен щебня и 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.

Механический метод заключается в самоизмельчении при перемешивании щебня в смесительных установках или его обработка в шаровых мельницах с металлическими шарами. 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 также ведет к повышению качества щебня из дробленого бетона. Переработка бетонного лома по технологии многостадийного дробления позволяет значительно повысить характеристики вторичного заполнителя бетона, в частности дробимость, водопоглощение и пустотность. Это достигается за счет снижения содержания во вторичном щебне цементного камня. Повышение прочностных и других характеристик вторичного щебня возможно за счет применения эффективных виброщечковых или конусных инерционных дробилок и пропитки упрочняющими полимерными растворами. Повысить прочностные характеристики щебня из дробленного бетонного лома можно путем отдельного перемешивания и поличастотного виброуплотнения смеси. В табл. 1 сведены основные технологические приемы получения и оптимизации вторичного щебня и его области применения. Анализ литературных источников показал, что применяя оптимальные способы переработки и активации бетонного лома, можно изготовить бетоны разных видов: тяжелые, мелкозернистые, самоуплотняющиеся, а также растворы в

широком диапазоне сфер применения с классами по прочности от В7,5 до В40.

Таблица 1.

Область применения вторичного щебня и дробленого бетона

Вид заполнителя	Технология получения	Область применения
Вторичный щебень фракции 5-20 мм	Одностадийное дробление	Бетон класса до В30
Вторичный щебень фракции 5-10 мм и 10-20 мм	Многостадийное дробление по мягкому режиму с разделением по фракциям	Самоуплотняющийся бетон класса В40 включительно
Отсев дробления бетонного лома фракции до 5мм	Механоактивация смеси	Мелкозернистый бетон до В25 включительно
Вторичный щебень фракции 0-20 мм и 0-40 мм	Одностадийное дробление с разделением по фракциям	Фундаментные стеновые блоки и мелкоштучные изделия
Вторичный щебень фракции 5-10 мм, 10-20 мм и 5-20 мм	Одностадийное дробление с разделением по фракциям	Дорожные плиты, плиты ленточных фундаментов

В исследованиях применяли вторичный щебень, полученный путем переработки железобетонных изделий, которые не соответствуют стандартам и техническим характеристикам (рис. 4). Такие изделия измельчали гидромолотом, отделяли арматурный лом, дробили в специальном дробильном ковше, отбирали фракцию 0–60 мм. Вторичный щебень фракции 5–20 мм получали путем двухстадийного дробления и отсева частиц менее 5 мм.



Рисунок 4. Бетонный лом

Дробильный ковш устанавливается на экскаватор. Оборудование состоит из металлической рамы с двумя дробящими щеками, одна из которых подвижная, а вторая неподвижная. Подвижная щека, соединенная к

эксцентриковому валу и маховику, и коленчатый рычаг в верхнем положении создают четырехнаправленное движение таким образом, что подвижная щека смыкается с неподвижной и в то же время создает вертикально-маятниковое движение, способствуя разрушению материала. Вторичный щебень представлен на рис.5.



Рисунок 5. Вторичный бетонный щебень

Производительность ковша зависит от максимальной крупности щебня и представлена на рис. 6.

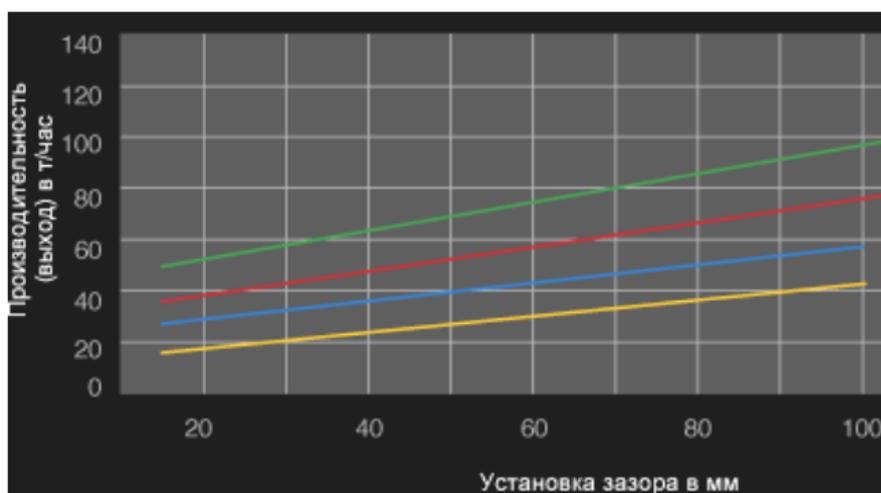


Рисунок 6. Производительность в зависимости от крупности щебня

Исследования физико-механических характеристик вторичного щебня показали, что по дробимости он имеет марку 400–600, то есть ниже, чем у щебня из гравия и гравия. Насыпная плотность вторичного щебня несколько ниже, содержание пылевидных частиц выше, что свидетельствует о более

пористой структуре вторичного щебня и подтверждается данными его водопоглощения. Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм вторичного щебня соответствует щебню из гравия и гравия. Содержание зерен слабых пород во вторичном щебне фракции 5–20 мм меньше, чем у вторичной щебеночно-песчаной смеси фракции 0–60 мм, что подтверждает эффективность многостадийного измельчения бетонного лома со снижением количества цементного камня на зернах щебня.

Анализ физико-механических свойств щебеночно-песчаной смеси фракции 0–60 мм, полученной одностадийным дроблением в дробильном ковше, установленным на экскаватор, и вторичного щебня фракции 5–20 мм, полученного двухстадийным дроблением и отсевом частиц менее 5 мм, показал, что они могут быть использованы для изготовления бетонов классов по прочности от В7,5 до В22,5. Щебеночно-песчаная смесь из дробленого бетона по зерновому составу соответствует требованиям ГОСТ 25607-2009 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» для смесей оснований номер С4; по показателям «содержание пылевидных частиц», «содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм», «содержание слабых зерен, прочностью менее 20 МПа» соответствует требованиям ГОСТ 32495-2013 «Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия» для смесей из дробленого бетона для дорожного строительства.