

*Б.В. Гусев,
В.А. Загурский*

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОНОВ

**курсом
ускорения
научно-
технического
прогресса**



Стройиздат

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Свойства бетона и методы его разрушения	6
Механизация работ по разрушению железобетонных конструкций	11
Оборудование для переработки некондиционного бетона и железобетона	33
Установки первичного дробления	38
Установки вторичного дробления и фракционирования	45
Технологические линии по переработке некондиционного бетона и железобетона	47
Стационарные технологические линии	49
Мобильные технологические комплексы	59
Использование продуктов переработки бетона и железобетона	64
Основные характеристики заполнителей из дробленого бетона	68
Методы активации щебня из дробленого бетона	73
Физико-механические свойства бетона из продуктов дробления	77
Регенерация компонентов бетонной смеси	83
Технико-экономический анализ централизованной переработки некондиционного бетона и железобетона	88
Список литературы	95

**курсом
ускорения
научно-
технического
прогресса**

*Б.В. Гусев,
В.А. Загурский*

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОНОВ



*Москва
Стройиздат
1988*

ББК 38.39

Г 96

УДК 691.33

Печатается по решению секции литературы по строительным материалам редакционного совета Стройиздата

Рецензент — засл. деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф. А.В. Нехорошев (МИИЗ)

Гусев Б.В., Загурский В.А.

Вторичное использование бетонов. — М.: Стройиздат, 1988. — 96 с.: ил. — (Курсом ускорения науч.-техн. прогресса). — ISBN 5-274-00092-4

Рассмотрены вопросы использования продуктов переработки бетонного лома в строительном производстве. Даны характеристики их основных свойств. Приведена экономико-математическая модель выбора рациональных технологических схем производства по регенерации компонентов бетона. Освещен передовой отечественный и зарубежный опыт по созданию и эксплуатации технологического оборудования для разрушения и переработки бетонного лома.

Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

3203000000 — 232

Г ————— 122-88
047 (01) — 88

ББК 38.39

ISBN 5-274-00092-4

© Стройиздат, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 — 1990 годы и на период до 2000 года, принятых на XXVII съезде КПСС, указано на необходимость широкого вовлечения в производство вторичных ресурсов.

При этом следует добиваться удовлетворения прироста потребности в топливе, энергии, сырье и материалах в основном за счет их экономии.

Одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительной индустрии является использование отходов предприятий сборного железобетона и строительных объектов в виде бетонного лома.

Возрастающая роль реконструкции промышленных предприятий, жилого фонда, транспортных сооружений и автодорог в общем объеме капитального строительства в СССР ставит ряд важных научно-технических задач по разрушению и переработке отходов из бетона и железобетона.

В книге отражены результаты работ, проведенных в НИИЖБ, ЦНИИОМТП Госстроя СССР и Ворошиловградском филиале НИИСП Госстроя УССР по развитию технологии и средств механизации, используемых при разрушении строительных конструкций зданий и сооружений.

В связи с широким внедрением комплексов по разрушению некондиционных железобетонных изделий механическим способом и получению щебня из дробленого бетона несомненную актуальность приобретают вопросы его рационального применения в строительстве.

Ранее проведенными исследованиями показана принципиальная возможность использования дробленого бетона в виде заполнителя при производстве бетонных работ. Однако ряд нерешенных вопросов, связанных со структурными особенностями такого заполнителя, сдерживал его широкое применение.

Впервые изданные НИИЖБом в 1984 г. "Рекомендации по технологии разрушения некондиционных бетонных и железобетонных изделий механическим способом" и "Рекомендации по применению продуктов переработки некондиционных бетонных и железобетонных изделий" способствовали освоению ряда прогрессивных технологических и конструкторских разработок.

В книге рассмотрены материалы международного симпозиума РИЛЕМ и ЕДА "Разрушение и вторичное использование материалов", позволившие осветить результаты научных исследований и производственный опыт США, Японии, ФРГ, Великобритании, Нидерландов.

Применяемые зарубежными фирмами оборудование и технология разрушения, нормативные документы, а также организационные принципы сбора и переработки бетонного лома представляют большой интерес для отечественного строительства.

Важное значение для вовлечения в хозяйственный оборот отходов стройиндустрии имеет накопленный отечественный опыт создания технологического оборудования для их переработки. В книге впервые проанализированы эксплуатируемые и внедряемые технологические линии по переработке некондиционного бетона и железобетона и рекомендуемое оборудование для их оснащения. Рассмотрены вопросы разрабатываемой технологии по регенерации компонентов отходов бетонной смеси и повторное их использование.

Введение

Увеличение объемов применения бетона и железобетона в строительстве до 250 млн м³ в год, реконструкция городов вызвали появление новых видов отходов и некондиционной продукции.

Ежегодно в стране образуется около 6 млн т отходов бетона и железобетона (бетонного лома). В ближайшее время, по прогнозу Госснаба СССР, ежегодный прирост объема бетонного лома при разборке зданий, плит временных дорог, срезании оголовников свай, испытании конструкций и накоплении некондиционных железобетонных изделий достигнет 17 млн т в год. Количество бетонного лома существенно возрастает при планируемой замене жилого фонда, а также в случаях стихийных бедствий и чрезвычайных обстоятельств.

В крупных городах и промышленных районах страны после перехода на строительство новых серий домов и зданий скопились десятки миллионов кубических метров неиспользованных некондиционных железобетонных изделий и конструкций.

Некондиционная продукция промышленности сборного железобетона может быть частично использована в менее ответственных зданиях и сооружениях пониженной этажности, при строительстве временных дорог и в индивидуальных застройках. Однако основной объем некондиционной продукции остается на предприятиях-изготовителях, загромождая склады готовой продукции и захламывая территории заводов. При вывозе этих отходов на свалки имеют место серьезные трудности, связанные с дефицитностью территорий, выделенных для свалок, непроизводительной загрузкой автотранспорта и загрязненностью окружающей среды.

Таким образом, мертвым грузом в отвалах лежит дефицитное вторичное сырье, планомерная утилизация которого позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот более 1,2 млн т металла и около 40 млн т бетонного лома.

До недавнего времени отходы железобетона практически не утилизировались, так как отсутствовали экономичные способы их переработки, технологическое оборудование для разрушения крупногабаритных изделий и конструкций.

Первые разработки по использованию бетонного лома в качестве заполнителя были опубликованы в 1946 г. советским ученым П.И. Глужге. Им было установлено, что при одинаковых значениях прочности на сжатие прочность на изгиб бетона на дробленном заполнителе больше, чем на естественных заполнителях. При этом отмечено, что дробленый заполнитель характеризуется более низкой плотностью по сравнению с плотностью природных заполнителей, а бетон на его основе имеет более низкую прочность на сжатие [1].

В это же время в Англии и Германии начали применять при приготовлении бетонной смеси в качестве крупного заполнителя бетонный лом, образовавшийся после разрушения зданий и сооружений во время второй мировой войны.

Внимание к вопросу повторного использования бетона в строительном производстве усилилось в 70-е годы вновь ввиду повышения дефицитности природных заполнителей, необходимости охраны окружающей среды и увеличения количества старых, морально и физически изношенных зданий и сооружений из железобетона, подвергаемых сносу.

Работы советских ученых по данной проблеме получили широкое развитие после принятого Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О некоторых мерах по усилению экономики материальных ресурсов в строительстве".

На основе комплексных исследований НИИЖБ и ряда производственных организаций по повторному использованию бетона в строительной индустрии и строительстве в 1984 г. разработаны рекомендации [2, 3] и ряд нормативных документов.

В настоящее время в странах ЕЭС ежегодно подвергается разрушению около 50 млн т бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, в США — 60, в Японии — 12 млн т и т.д. [17].

По прогнозам Технического комитета № 37 РИЛЕМ, эти объемы к 2000 г. увеличатся более чем в три раза, т. е. только по странам ЕЭС, США и Японии ежегодный объем бетонного лома составит более 360 млн т.

В отдельных странах (Японии, ФРГ, Дании, Нидерландах, Люксембурге и др.) практически нет территорий для организации свалок или захоронения бетонного лома. В то же время ряд стран работает на привозном щебне.

С 1974 г. проводятся широкомасштабные эксперименты по изучению свойств вторичных заполнителей и бетонов на их основе в Японии [8].

Многолетний опыт переработки бетона имеется в США. Более десяти лет ежегодно перерабатывается свыше 20 млн т бетонных отходов. По данным ряда американских фирм, при получении щебня из бетона расход топлива в 8 раз меньше, чем при его добыче в природных условиях, а себестоимость бетона на вторичном щебне снижена до 25% [4].

Первые исследования по применению в строительстве отходов из бетонного лома в странах-членах ЕЭС были проведены в 1977 г. голландскими учеными. В дальнейшем эксперименты проводились совместно учеными Нидерландов, Бельгии и ФРГ, образовавших Научно-исследовательский комитет В 29 "Повторное использование бетонного и каменного лома".

На XXIX сессии исполкома РИЛЕМ в 1975 г. создан Технический комитет № 37-ДРК РИЛЕМ "Разрушение и повторное использование бетона", являющийся в настоящее время крупнейшей международной организацией по ресурсосберегающим технологиям в стройиндустрии и строительстве. В его состав вошли ведущие специалисты из Великобритании, Дании, Голландии, США, ФРГ, Швеции, Японии и др.

В задачи Технического комитета входит изучение технологии разрушения, совершенствование технологического оборудования по переработке некондиционного железобетона и исследования технико-экономических, социальных и природных аспектов повторного использования бетона.

С целью обобщения накопленного опыта переработки и повторного использования бетона Техническим комитетом № 37-ДРК РИЛЕМ и Европейской ассоциацией по разрушению (ЕДА) был проведен Первый международный симпозиум "Механизмы по разрушению железобетона и повторное использование материалов" (Нидерланды, 1985 г.).

Результаты исследований советских ученых [20] на Симпозиуме были высоко оценены зарубежными специалистами. НИИЖБ проведены глубокие исследования по повышению прочностных характеристик крупного вторичного заполнителя, обеспечивающих практически полную его регенерацию и возможность применения в бетонах прочностью до 40 МПа. Одновременно успешно решаются вопросы не только отделения растворной составляющей от заполнителя, но и эффективного использования ее на предприятиях промышленности строительных материалов.

Однако применение вторичного щебня из дробленого бетона в отечественном строительном производстве пока ограничено [15]. Связано это как с организационными причинами — ведомственной разобщенностью строительных министерств и ведомств, отсутствием должной заинтересованности в экономии топливно-энергетических и сырьевых ресурсов, охране окружающей среды, — так и технологическими причинами — отсутствием фракционирования при производстве вторичного щебня, его неоднородностью, наличием значительного количества слабых зерен [6].

Анализ накопленного опыта вторичного использования бетона в строительстве показывает, уже в ближайшее время за счет проведения организационных мероприятий, применения рациональных технологических схем переработки отходов бетона и железобетона, использования более современного оборудования и улучшения качества заполнителя из дробленого бетона может быть обеспечена его конкурентоспособность с природным щебнем.

СВОЙСТВА БЕТОНА И МЕТОДЫ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ

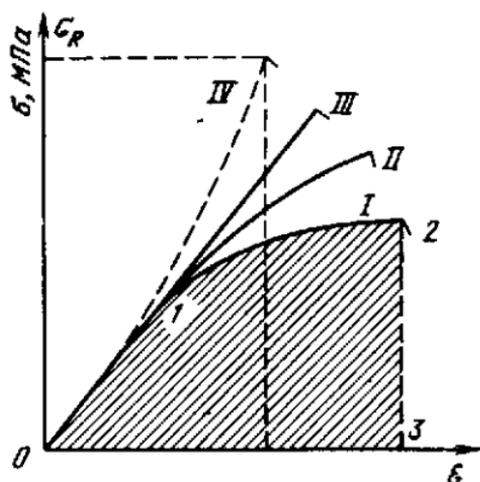
Свойства бетона как композиционного материала зависят от свойств составляющих, их количественного содержания и прочности сцепления составляющих в зоне контакта. Так как прочностные и деформативные свойства заполнителей и цементного камня различны, одной из причин разрушения такого материала может быть развитие трещин, особенно в зоне контактов между цементным камнем, мелким и крупным заполнителем. При этом одной из главных причин является низкое сопротивление бетона действию растягивающих напряжений.

Для композиционных материалов, в том числе и бетона, правомерны общие законы механики сплошной среды и твердых тел. Основы физики и механики разрушения твердых тел наиболее подробно изложены Финкелем В.М. и Екобори Т. [8, 9]. Для инженерных расчетов удобно пользоваться критериями разрушения, которые выражаются с помощью напряжений и деформаций. Указанное представление вполне приемлемо в условиях одноосного напряженного состояния. Для сложных напряженных состояний оно также дает правильные качественные представления при различных случаях разрушения (рис. 1).

На участке $0-1$ происходит упругое деформирование, на участке $1-2$ — упругопластическое, для специальных бетонов, например полимербетонов — пластическое. Упругие деформации протекают интенсивно со скоростью распространения звука в материале, упругопластические связаны прежде всего с процессом образования трещин и могут протекать более продолжительно, что важно учитывать при разработке оборудования и оценке его производительности.

При приложении нагрузок со значительными скоростями, которые в инженерном понимании близки к скоростям распространения звука в материале и выше, можно ожидать даже упрочнения материала не только как повышения его предела прочности σ_R (напряжение разрушения материала), но и изменения характера нелинейной возрастающей зависимости "напряжение — деформация" для условий $1У$. Очевидно, общее представление о прочности материала дает не только величина предела прочности σ_R , различная для различных скоростей нагружения $1-1У$, но и общая энергия разрушения, которая будет пропорциональна заштрихованной площади диаграммы $0-1-2-3$ для условий 1 .

Рис. 1. Зависимость между напряжением σ и деформацией ϵ при различных скоростях нагружения
 I, II, III, IV — возрастающие значения скоростей деформирования



С точки зрения физики разрушения как процесса образования и распространения трещин целесообразно остановиться на критериях Гриффита и В.В. Панасюка, которые для плоского напряженного состояния могут быть представлены следующим образом:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}} \quad \delta \sigma_0 = W,$$

где σ_0 — напряжение в зоне трещины; E — модуль упругости; γ — силы поверхностного сцепления материала в зоне трещины; l — длина трещины; σ — ширина раскрытия трещины; W — энергия разрушения.

Процесс разрушения зависит от предельных напряжений или предельной энергии деформирования материала.

Разрушение бетона при приложении внешней линейно распределенной нагрузки (рис. 2, а, б) происходит от действия растягивающих напряжений [7]. Решение Герца позволяет получить зависимость предельных растягивающих напряжений в бетоне σ_R в следующем виде:

$$\sigma_R = 2P / (\pi \cdot h \cdot L),$$

где P — разрушающая нагрузка; h — толщина изделия; L — длина изделия.

При разрушении железобетонных изделий (см. рис. 2, в, г) разрушающая нагрузка должна преодолеть не только предельные растягивающие напряжения в зоне разрушения бетона σ_R , но и условное напряжение сцепления с поверхностью арматуры. В этом случае общая разрушающая нагрузка P_0 будет равна нагруз-

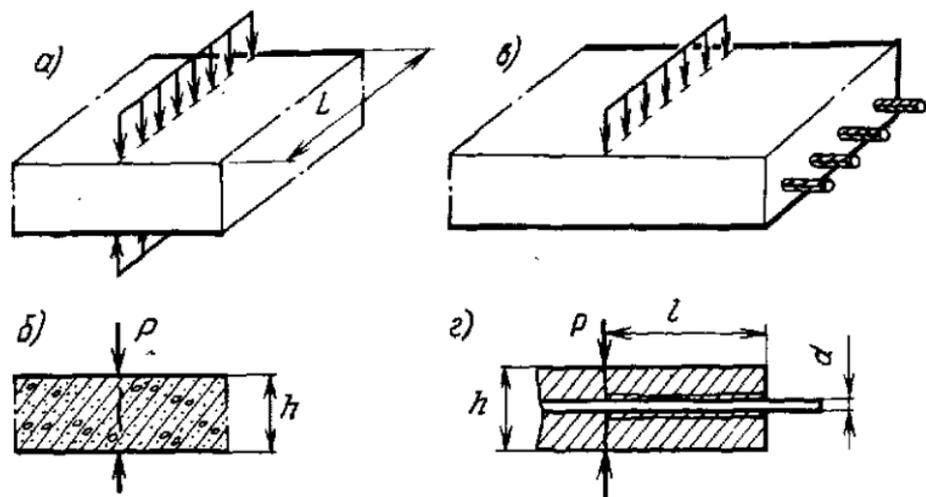


Рис. 2. Схемы загрузки бетонных и железобетонных изделий при разрушении

а, в — схемы приложения нагрузок; б, г — схемы разрушения бетона и железобетона

ке разрушения бетона P_B и нагрузке разрушения в зоне нарушения контактов бетона с арматурой P_A . Для одного стержня нагрузка разрушения бетона в зоне контакта с арматурой равна

$$P_{A1} = \tau_{сц} l u,$$

где P_{A1} — среднее условное напряжение сцепления арматуры с бетоном, МПа (2, 5–4 — для гладкой арматуры, 5–8 — для арматуры с периодическим профилем); l — зона контактного разрушения 20–30d (d — диаметр стержня); u — периметр стержня.

Таким образом

$$P_0 = P_B + P_{A1} n,$$

где n — количество стержней.

Хотя при статистических методах разрушения величина предела прочности минимальная, энергетические затраты (см. рис. 1, заштрихованная область) являются достаточно высокими. При динамических методах (ударные, вибрационные, взрывом и др.) удельные затраты энергии могут быть более низкими. Вопросам использования взрыва, в том числе и для разрушения бетона, посвящено большое количество работ. Поэтому целесообразно остановиться на использовании электрического взрыва для разрушения бетона.

Известно, что взрыв — крайне быстрое выделение энергии, связанное с образованием ударной или взрывной волны. В том случае, когда начальным видом энергии является электрическая энергия, можно классифицировать явление как электровзрыв.

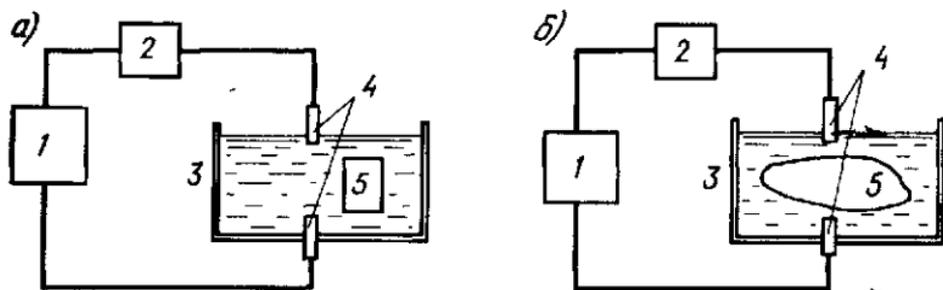


Рис. 3. Схемы устройств для электровзрыва
а — электрогидравлическая технология; *б* — электроимпульсная технология; 1 — генератор высоковольтных импульсов ГВИ; 2 — коммутатор К; 3 — разрядная камера, заполненная жидкостью; 4 — электродная система; 5 — объект технологического воздействия

Для описания явлений, сопровождающих расширение искрового канала в жидкостях, пользуются термином "электрогидравлический эффект", в твердом диэлектрике "электроимпульсный метод". На рис. 3 приведены схемы устройства, характерные для электрогидравлической (*а*) и электроимпульсной (*б*) технологии [10].

При электрическом пробое системы протекают следующие процессы: накопление электрической энергии в накопителях ГВИ, ее коммутация и формирование канала сквозной проводимости, расширение искрового канала с образованием газовой полости, в которой происходит несколько затухающих пульсаций. При этом в жидкости или газовой среде образуются переменные во времени и пространстве поля давлений, создающие в материале переменное напряжение состояния, приводящее к пластическому течению или разрушению материала. Электрооборудование должно обеспечить напряжение от десятков киловольт при пробое технической воды, до 200 — 300 кВ при пробое диэлектрических жидкостей (электрическая прочность).

Для создания электрической формы искрового пробоя в жидкости необходимо обеспечить минимальные величины экспозиции напряжений, взаимосвязанные с различной электрической проводимостью i (табл. 1).

С ростом удельной электрической проводимости от 10^{-4} См/см обеспечивается неполный пробой и возрастает объем жидкости, подвергаемой только фазовому превращению. В таких случаях электрический пробой по схеме рис. 4, *а* возможен либо при резком снижении экспозиции до 10^{-7} — 10^{-6} с, что требует очень больших средних рабочих градиентов напряжения 100 кВ/см, либо за счет снижения КПД установки при больших удельных расходах энергии.

При разрушении диэлектриков по схеме рис. 3, *б* единственным возможным случаем обеспечения электрического пробоя являет-

Т а б л и ц а 1. Предельная экспозиция напряжений

Жидкости	Удельная электрическая проводимость, См/см	Предельная экспозиция напряжений, с
Диэлектрические спектрально чистые	$10^{-14} - 10^{-18}$	Любая
Электрические технически чистые	$10^{-9} - 10^{-13}$	$(5-10) 10^{-4}$
Очищенная вода	$10^{-5} - 10^{-7}$	$(1-10) 10^{-5}$
Водные электролиты	$10^{-2} - 10^{-4}$	$(0,5-5) 10^{-7}$

ся также использование импульсов с весьма малой экспозицией ($10^{-7} - 10^{-6}$ с). В этом случае электрический взрыв локализуется в диэлектрике. При электровзрыве происходит быстрое выделение электрической энергии, что ведет к сильному разогреву вещества диэлектрика, его диссоциации, ионизации. В результате в канале электропробоя образуется плотная низкотемпературная газообразная плазма с давлением $(1-5) 10^3$ МПа.

По схеме, распределенной на рис. 3, б, работает опытная электроимпульсная установка в НИИЖБе Госстроя СССР и комплектуется промышленная установка на комбинате ЖБК в г. Жуковском.

Повторное использование бетона в качестве заполнителя ставит проблему обеспечения допустимых прочностных и деформативных характеристик бетона. Решение вопроса получения бетонов допустимых технических свойств связано также с представлениями о нем как о композиционном материале. Зависимость вероятной средней прочности может быть представлена в следующем виде [7].

$$R_{cp} = R_{min} \cdot A / V^{1/m},$$

где R_{min} — минимальное значение прочности; V — объем конструкции; m — константа материала, учитывающая характер распределения дефектов; A — константа, зависящая от природы материала.

Величины m и A для бетона на дробленном заполнителе из бетона несколько хуже аналогичных констант для обычных заполнителей, больше дефектов за счет наличия цементного камня на заполнителях, пониженные свойства дробленного щебня.

Деформативные характеристики зависят от свойств и концентрации составляющих, а также от условий работы конструкции (схема "цепи" или "каната") [7, 11, 12]. На основе теоретических исследований Зазимко В.Г. предельные величины модуля деформации бетона будут находиться в пределах $2E_{min}$ и

$0,5E_{max}$, где E_{min} , E_{max} — модули деформации самого плохого и хорошего составляющих, что для дробленых бетонов также приведет к отрицательным явлениям. Поэтому прочность бетона на заполнителях из дробленого бетона обычно ниже, чем прочность бетона на естественных заполнителях.

Для устранения этого негативного явления следует стремиться максимально очистить заполнители от цементного камня, как это имеет место при электроимпульсном способе дробления или механических методах активации.

МЕХАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО РАЗРУШЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Увеличение объемов реконструкции зданий и сооружений, инженерных коммуникаций и дорог сопровождается существенным прогрессом в области технологии разрушения строительных конструкций.

Наметилась тенденция сокращения использования ручных механизмов для разрушения строительных конструкций.

Наибольшие результаты достигнуты в совершенствовании технологии разрушения строительных конструкций ударными методами, раскалыванием, резкой, дроблением и расширением (табл. 2).

Технология разрушения ударными методами. В настоящее время из средств разрушения ударными методами широкое распространение получили гидравлические и пневматические молоты.

Этому благоприятствовало развитие самодходных установок, обеспечивающих подвеску молотов и их дистанционное управление. Основные преимущества таких машин, оснащенных гидравлическими и пневматическими молотами, заключаются в их высокой производительности, мобильности, возможности точной концентрации энергии удара и расширения зоны разрушения.

В гидравлических молотах ударная энергия создается с помощью жидкости, нагнетаемой под очень высоким давлением (13–15 МПа). Так как гидравлическая жидкость несжимаема, давление не может преобразовываться без передаточного рабочего элемента. Для выполнения этих условий, обеспечивающих движение, гидравлические молоты снабжаются азотной камерой. Требуемое преобразование давления в движение осуществляется посредством сжимаемого азота, отделенного от гидравлической жидкости диафрагмой. При этом поршень молота быстро перемещается к наковальне, а отработавшая гидравлическая жидкость под малым давлением возвращается в масляный резервуар.

Гидравлические молоты по сравнению с пневматическими имеют меньший уровень шума, вибрации и пылеобразования при работе, однако конструктивно пока менее разнообразны, и, как правило, не пригодны для работы под водой.

Т а б л и ц а 2. Технические показатели средств механизации (для разрушения строительных конструкций)

Показатель	Навесные гидравлические и пневматические молоты	Навесной клин-молот	Отбойные молотки и бетоноломы (пневматические, электрические)	Гидроклиновые установки	Бетонорезущие машины с алмазными отрезными кругами	Экскаватор со сменным рабочим органом-гидравлическим бетоноломом
Производительность при разрушении или разборке бетона: м ³ /ч см ² /мин	1,5 ... 3,5	11 ... 30	0,04 ... 0,2	0,45	200	60
Толщина разрушаемого материала, мм	500	300	700	400 x 100	400	700 ... 1200
Масса оборудования, кг	432	До 3000	20 ... 32	30 ... 60	До 1550	4000 ... 4500
Трудоемкость, чел.-ч/м ³	2,7 ... 2,98	0,03 ... 0,09	133,3	3,41	—	—

Т а б л и ц а 3. Технические показатели гидравлических и гидропневматических молотов

Показатель	СП-62	СП-71	ГПМ-120	ГПМ-300
Базовый экскаватор	ЭО-4121А	ЭО-3322Б	ЭО-2621А	ЭО-4321
Энергия единичного удара, Дж	9000	3000	1200	3000
Максимальная частота, ударов в 1 мин	160	120	240	180
Масса, кг	2250	750	275	960

В пневматических молотах ударная энергия возникает за счет расширения сжатого воздуха в цилиндре молота и быстрого перемещения поршня к наковальне, которая передает высвобождающуюся ударную энергию к зубилу. Такая конструкция молота основана на способности воздуха сжиматься и сообщать движение при расширении. Подача сжатого воздуха обеспечивается компрессором при рабочем давлении 600 – 700 кПа.

Пневматические и гидравлические молоты, устанавливаемые на экскаватор и на другие передвижные средства, по данным ВФ НИИСП, необходимо применять при энергии удара от 700 до 800 Дж – для разрушения асфальтового покрытия и бетонных дорожных плит небольшой толщины; от 800 до 1400 Дж – для разрушения бетона в бетонных и железобетонных конструкциях от 1500 до 2000 Дж – для разрушения бетона в массивных бетонных и железобетонных конструкциях, жестких дорожных покрытиях; более 2000 Дж – для разрушения бетонных и железобетонных конструкций, футеровки печей и агрегатов.

В СССР серийно изготавливаются заводами Минстройдормаша гидравлические молоты СП-62 и гидропневматические СП-71, ГПИ-300, ГПМ-120 к экскаваторам ЭО-4121А, ЭО-3322Б, ЭО-4321 и ЭО-262А (табл. 3). Отечественные молоты характеризуются более высокой производительностью, чем зарубежные, но имеют гораздо меньший по номенклатуре типоразмерный ряд.

За рубежом проектированием, изготовлением и производством гидромолотов занимается "Кент Айте Еуропа" (Нидерланды), работающая в содружестве с фирмами Японии, "Крупп" (ФРГ) и "Атлас Копко" (Швеция).

В настоящее время для производства работ по разрушению строительных конструкций данными фирмами разработаны параметрические ряды и налажено массовое производство гидромолотов на экскаваторы или самоходные тележки различных типоразмерных групп (рис. 4, 5). Число ударов рабочего наконечника гидромолотов колеблется в пределах 300–1100 в 1 мин, а масса наконечников при их различной форме, диаметре и длине изменяется от 9,5 до 210 кг (табл. 4).



Рис. 4. Гидравлический молот НМ 900 фирмы "Крупп" (ФРГ)

Рис. 5. Гидравлический молот ТХ 200Н фирмы "Атлас Копко" (Швеция)



Новым в технологии разрушения строительных конструкций при сносе зданий и сооружений, а также некондиционных сборных бетонных и железобетонных изделий являются созданные фирмами "Атлас Копко" и "Крупп" специальные манипуляторы с навесными гидравлическими молотами (табл. 5).

Однако технологическому оборудованию, гидравлическим и пневматическим молотам, смонтированным на экскаваторы, присущи определенные недостатки: ограниченные моторесурсы, отрицательное влияние динамики работы молотов на систему механизмов экскаватора и на человека, необходимость соответствующих площадок для подъезда и стоянки, ограничение высотой стрелы рабочей зоны и сложность разрушения густоармированных железобетонных конструкций.

Вместе с тем следует отметить, что увеличение энергетической мощности и производительности гидравлических и пневматических молотов повышает уровень шума и вибрации столь существенно, что ограничивает область их применения ввиду нежелательного влияния на окружающие строения и конструкции.

Технология разрушения раскалыванием. Технология ведения работ по разрушению бетонных и железобетонных конструкций гидроклиньями допускает их применение при реконструкции действующих предприятий и не противоречит требованиям взрывоопасности, пожароопасности и санитарии. Эта технология не связана с вредными воздействиями вибраций, шума на оператора и работающих в зоне производства работ по реконструкции. При разрушении конструкций гидроклиньями отсутствует разбрасывание отдельных кусков бетона и образование пыли.

Т а б л и ц а 4. Технические характеристики гидравлических молотов зарубежного производства

Тип	Масса без рабочего наконечника, кг	Общая длина, мм	Расход масла, л/мин	Число ударов в 1 мин	Давление масла, МПа	Диаметр шлангов, мм	Рабочий наконечник		
							Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, кг
Фирма "Кент Айе Еуропа" (Нидерланды)									
H-08X	110	984	15-25	450-750	8-10	12,7	45	484	9,5
H-1XA	140	1150	25-35	590-820	9-11	12,7	57	580	10
H-3XA	400	1364	45-65	500-730	9-11	12,7	75	685	21
H-4X	500	1644	50-80	400-550	9-11	12,7	90	780	32
H-5X	1000	1750	30-50	300-500	19-21	19	96	862	41
H-7X	950	1781	90-140	400-570	12-14	19	106	921	58
H-8X	1000	1872	90-140	400-570	14-16	19	106	809	50
H-10XB	1400	2156	160-200	400-500	12-14	25,4	126	1110	96
H-12X	1750	2276	170-210	400-500	12-14	25,4	136	1198	114
H-16X	2100	2535	175-225	350-450	13-15	25,4	146	1295	145
H-20X	3100	2663	205-260	350-450	15-17	25,4	156	1367	179
H-25X	4200	3000	200-250	300-380	18-20	31,7	165	1400	210
Фирма "Крупп" (ФРГ)									
HM-51	91	—	28	1100	12	—	45	—	—
HM-61	133	—	20-40	500-1000	10-13	—	55	—	—
HM-110	180	—	50	1000	10-13	—	65	—	—
HM-200	395	—	55	650	15	—	80	—	—
HM-301	345	—	45-85	550-1000	12-15	—	80	—	—
HM-551	730	—	50-110	350-750	13-17	—	100	—	—
HM-600	925	—	85	500	15	—	100	—	—
HM-701	1210	—	120	550-1100	17	—	115	—	—
HM-702	1210	—	170	550-1100	12	—	115	—	—
HM-800	1480	—	120	450-900	18	—	135	—	—

Тип	Масса без рабочего наконечника, кг	Общая длина, мм	Расход масла, л/мин	Число ударов в 1 мин	Давление масла, МПа	Диаметр шлангов, мм	Рабочий наконечник		
							Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, мм
HM-901	1480	—	140	475—950	17	—	135	—	—
HM-902	1480	—	180	450—900	13,5	—	135	—	—
HM-1301	1830	—	165	400—800	18	—	150	—	—
Фирма "Атлас Копко" (Швеция)									
TEX-100H	110	—	15—35	480—1260	10—15	—	45	250—500	5—8
TEX-200H	215	—	25—70	300—900	10—15	—	65	300—1200	14—39
TEX-250H	275	—	25—70	300—900	10—15	—	65	300—1200	14—39
TEX-250HS	290	—	70	900	10	—	65	300—120	14—39

Т а б л и ц а 5. Технические характеристики манипуляторов для разрушения строительных конструкций гидромолотами

Показатель	Фирма "Крупп" (ФРГ)	Фирма "Атлас Копко" (Швеция)
Тип	1810Ж	Брокк-80
Тип применяемого гидромолота	HM-600	ТЕХ-100Н
Вылет стрелы, м	5,5	5
Угол поворота стрелы, град	180	270
Угол поворота гидромолота, град	150	—
Энергия удара, Н	1900	—
Напряжение электропривода насосной станции, В	380	380/200
Мощность электропривода, кВт	—	7,5
Масса, кг	4500	920
Давление масла, МПа	—	15
Расход масла, л/мин	—	27

Работы по разрушению бетона и железобетона гидроклинными можно выполнять с помощью комплекта оборудования конструкции ЦНИИОМТП. Устройство гнезд для установки гидроклиньев осуществляется серийно изготавливаемыми сверлильными станками Одесского завода СОМ ИЭ-1801А, ИЭ-1805 и перфораторами ИЭ-4707 Даугавпилсского завода "Электроинструмент", а разрушение — с помощью комплекта гидроклиньев с автономной гидростанцией конструкции ЦНИИОМТП или гидроклиньев с ручным гидроприводом.

В комплект оборудования для разрушения бетона и железобетона входят автономная передвижная насосная станция, четыре сверлильных устройства с алмазными кольцевыми сверлами и четыре гидроклина. Насосная станция представляет собой тележку, несущей конструкцией которой является бак-рама. Электрооборудование, обеспечивающее работу насосной станции, состоит из электродвигателя привода гидравлического насоса; электромагнитов управления гидравлическими золотниками; шкафа управления с электрическими аппаратами и приборами, обеспечивающими включение и защиту электродвигателя и электромагнитов гидравлических золотников.

Сверлильное устройство предназначено для сверления технологических отверстий в бетонных и железобетонных конструкциях. Оно состоит из станины, стойки, гидродвигателя, распорной стойки. Приводной гидродвигатель соединен с рабочим валом. Вал вращается на двух радиальных и одном упорном шарикоподшипниках. В нижней части корпуса механизма сверления установлены манжеты. Вода через отверстие в валу и кольцевое алмазное сверло попадает в зону резания. Алмазное кольцевое сверло прикрепляется к механизму сверления с помощью двух конусных втулок, разрезного цангового кольца и стяжного винта. Для

предохранения вытекания воды при горизонтальном сверлении между конусной втулкой и удлинителем кольцевого алмазного сверла установлено резиновое уплотнительное кольцо.

Техническая характеристика сверлильного устройства

Глубина сверления, мм	380
Диаметр сверления, мм	20, 60, 100, 160
Габариты, мм	520x260x830
Масса, кг	30,2

Гидроклин состоит из гидроцилиндра и расклинивающего устройства, вставляемого в заранее высверленное с помощью сверлильного устройства или электроперфоратора отверстие глубиной 250—300 мм, диаметром 50—80 мм.

На расклинивающее устройство от насосной станции через гидроцилиндр подается давление. За счет работы устройства в скважине возникает расклинивающее усилие, в несколько раз превышающее сопротивление бетона и железобетона раскалыванию.

Техническая характеристика гидроклина

Усилие расклинивания, номинальное, кг	130 000
Диаметр, мм:	
гидроцилиндра	125
штока	30
Давление в гидравлической системе, МПа	12
Масса, кг	16

В отечественной строительной практике гидроклинья различных модификаций применяются на Жетелевском гранитном карьере УССР при разработке скальных грунтов и разрушении различных строительных конструкций на строительных объектах комбината "Ялтаспецстрой" в ГСМО-1 Главмоспромстроя, в карьерах объединений Саянмрамор, Росмраморгранит, Ташкентмрамор. Техничко-экономическая целесообразность применения гидроклиньев вместо электрических и пневматических ручных молотков и скалоломов не вызывает сомнений. Производительность ручных молотков (отбойных молотков) не превышает 0,1 — 0,12 м³/ч при разрушении армированного бетона, в то время как средняя производительность гидроклиньев колеблется в пределах 0,5 — 1,2 м³/ч на одного рабочего.

В зарубежной практике при производстве работ по разрушению бетонных и железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий широкое распространение получили гидроклиновые установки "Дарда" фирмы "Порсфельд" (ФРГ).

В комплект установок входят гидроклиновые раскалывающие устройства и гидравлическая насосная станция. В зависимости от типа установки насосная станция комплектуется электродвигателем мощностью 1,5; 2,2 и 4 кВт или дизельным двигате-

лем 3 — 4,5 кВт. Насосные станции установок "Дарда" обеспечивают питание гидравлических расклинивающих устройств маслом при давлении 50 МПа с расходом 2,2 — 5,4 л/мин. Для разрушения конструкций предварительно электроперфораторами или сверлильными станками с алмазными кольцевыми сверлами устраиваются глухие отверстия (шпур) диаметром 20—45 мм, глубиной 210—800 мм, в которые для последующего разрушения вставляются гидравлические расклинивающие устройства (гидроклинья).

Гидроклиновые установки "Дарда" успешно используются для разрушения железобетонных, кирпичных и каменных строительных конструкций, разделки монолитов на блоки, разработки траншей и тоннелей в скальных породах и промышленной добычи твердых пород природного камня.

Технология разрушения резкой. В строительной практике, наряду с рассмотренными средствами разрушения, находят применение способы резки, позволяющие расчленить сооружение или конструкцию на отдельные элементы (блоки, плиты, колонны и др.), пригодные для повторного использования. К этим способам относятся пиление с использованием алмазных отрезных кругов и термическая резка с применением кислородного копья, порошково-кислородного резака, оборудования плазменной резки и установок электродугового плавления.

За последнее десятилетие разработан ряд машин для пиления бетона и железобетона на глубину 175—400 мм алмазными отрезными кругами по техническим требованиям ЦНИИОМТП (руководитель работ канд. техн. наук Жадановский Б.В.) типа УРБ-175, УРБ-300, УРТ-2М (Минэнерго СССР), НШ-1628, НШ-1835 (ЦНИИОМТП), СМ-356 (ПКБ Минтяжстроя УССР), а также конструкции треста "Оргтехстрой" Минстроя Латвийской ССР, ВНИИнеруд и ДФ НИИСП Госстроя УССР, которые прошли производственные испытания на строительных объектах страны.

Результаты испытаний показали, что от правильного выбора режимов пиления бетона и железобетона с различными физико-механическими свойствами зависят производительность и энергоемкость процесса, а также расход алмазного инструмента, которые в основном и определяют стоимость работ.

Для облегчения задачи выбора оптимальных режимов пиления и параметров алмазного инструмента ЦНИИОМТП разработал "Методические рекомендации по механической обработке неметаллических материалов и железобетона при строительстве и реконструкции зданий и сооружений."

В развитых капиталистических странах конструированием и производством машин с алмазными инструментами для пиления бетона и резания природного камня занимаются более пятидесяти специализированных фирм.

Ведущей фирмой по производству машин с алмазными инструментами является американская фирма "Кристенсен" и ее западногерманский филиал. Производственную программу этой

фирмы составляют машины для фрезерования, резания и сверления бетона.

Фирма выпускает большое число модификаций машин для резания бетона при устройстве монолитных бетонных конструкций в промышленном и дорожном строительстве. Машины оснащаются дизельными двигателями, пневмо-, электро- и гидродвигателями.

Среди машин для резания бетона необходимо отметить машины СК-5, СК-9, СК-15, СК-27 (для резки бетона на глубину до 18 см), СК-40 (для резки бетона на глубину до 40 см) с дизельными двигателями мощностью от 3,7 до 37 кВт. Механическая скорость подачи при работе этих машин до 2 м/мин. Типичной машиной этого ряда является машина для нарезки швов СК-15. Машина может быть использована для нарезки пазов при прокладке трубопроводов и кабелей, поперечных и продольных швов, глубоких прорезей до 180 мм в бетоне, разборки и сноса сооружений.

Привод осуществляется от двухцилиндрового дизельного двигателя с электропуском, а передача крутящего момента от дизельного двигателя на алмазный круг — через клиноременную передачу.

Монтаж алмазного круга может быть осуществлен слева или справа от привода. Регулировка скорости подачи бесступенчатая. Имеется гидравлический привод регулирования глубины резания, подъема и опускания алмазного круга, а также специальный насос для подачи охлаждающей жидкости в зону резания.

Техническая характеристика машины СК-15

Тип двигателя	Хату Дизель Е-950
Мощность двигателя, кВт	11,1 при 50 об/с
Частота вращения алмазного круга, об/с	38
Максимальная глубина резания, мм	155
Габариты, мм:	
длина	1350
ширина	880
высота	1220
Масса, кг	390
Потребление охлаждающей жидкости, л/ч	800—1200

Машина может быть использована для работы на строительстве промышленных объектов в открытых зданиях и на открытых площадках.

Машина СН-14, так называемая гидравлическая пила для стен, предназначена для работы в закрытых помещениях и на открытых площадках на вертикальных и горизонтальных плоскостях бетонных, железобетонных и каменных конструкций. Машиной можно нарезать вертикальные температурно-усадочные швы, прорезать отверстия для вентиляционных коробов, монтажные отверстия в перекрытиях, производить разборку стен и перегородок

при реконструкции предприятий, нарезать монтажные каналы для проводки радио, электросети, водопровода и т.д.

Универсальные рельсовые направляющие и конструкция рабочей головки позволяют осуществлять прорезы с любым наклоном в любом направлении. Привод алмазного отрезного круга осуществляется непосредственно от гидравлического двигателя. Подача рабочего органа также осуществляется от гидравлического двигателя с редуктором и регулируется бесступенчато от 0,05 до 1,7 м/мин. Глубина резания регулируется с помощью специальной механической системы.

Техническая характеристика машин СН-14

Мощность двигателя алмазного круга Вольво, кВт	10,3
Мощность двигателя подачи алмазного круга, кВт	1,5
Частота вращения рабочего вала, об/с	10—28
Максимальный диаметр алмазного круга, мм	900
Максимальная глубина резания, мм	380
Диаметр рабочего вала, мм	35
Габариты, мм:	
длина	560
ширина	450
высота	700
Масса, кг	48

Техническая характеристика гидравлического агрегата СС-14

Мощность электродвигателя привода, кВт	10,5
Рабочее напряжение, В	380
Сила тока, А	25
Гидравлический регулируемый насос	Вольво
Емкость для гидравлической жидкости, л	40, Шель—Теллус
	127
Длина питающих шлангов, мм	10
Габариты, мм:	
длина	1100
ширина	750
высота	770
Масса, кг	240

Преимуществами этой модели перед отечественными машинами являются: возможность резания на вертикальной плоскости; относительно небольшая масса рабочей головки машины (48 кг); бесступенчатое регулирование скорости подачи рабочего органа; оптимальные усилия резания; наличие контрольно-измерительных приборов; отсутствие двигателя внутреннего сгорания; возможность резания под любым углом; возможность применения машин в стесненных условиях.

Фирмой "Кристенсен" разработана для высотного строительства машина С-1-9 с приводом рабочего инструмента от пневмодвигателя.

Техническая характеристика машины С-1-9

Пневмодвигатель	3	типа 91 РМ2-9
Расход воздуха, м ³		7

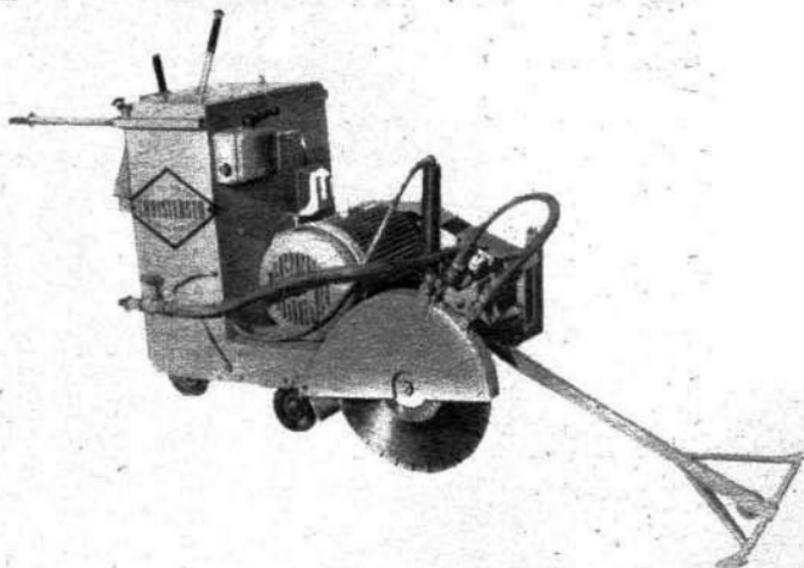


Рис. 6. Машина СК 30Е с электроприводом для резания бетона и железобетона фирмы "Кристенсен" (США)

Давление сжатого воздуха, МПа	0,7
Частота вращения двигателя, об/с	27
Максимальный диаметр алмазного круга, мм	900
Максимальная глубина резания, мм	380
Диаметр рабочего вала, мм	35
Габариты, мм:	
длина	530
ширина	450
высота	700
Масса, кг	42
Длина направляющих, мм	1200 и 600
Расход охлаждающей жидкости, л	1500

Учитывая, что в последнее время за рубежом делаются попытки охлаждения рабочего инструмента сжатым воздухом, конструктивное решение этой машины представляет значительный интерес.

Среди машин для резания бетона с приводом от электродвигателя представляет интерес для промышленного строительства машина той же фирмы СК 30Е (рис. 6). Этот резчик отличается от резчиков с дизельными двигателями меньшей массой и габаритами.

Техническая характеристика машины

Тип электродвигателя	АЕС-АМ
Мощность электродвигателя, кВт	22 или 15
Напряжение, В	380
Сила тока, А	45 или 32
Частота вращения, об/с	24/40

Максимальный диаметр алмазного отрезного круга, м	900
Диаметр рабочего вала, мм	25,4
Глубина резания, мм	340
Габариты, мм:	
длина	1240
ширина	880
высота	1220
Масса, кг	480
Расход охлаждающей жидкости, л/ч	от 800 до 1200

Аналогичные машины разработаны в ФРГ (СН-14) и Англии (Нортон).

Бельгийская фирма "Диамант Бор" осуществляет серийное производство машины "Диамюр" для резания вертикальных каменных, бетонных и железобетонных конструкций. Машина оснащена алмазным отрезным кругом диаметром 700 мм, глубина резания 285 мм, мощность электродвигателя 5 кВт, масса машины 70 кг. В конструкции машины применены направляющие из антикоррозионной стали длиной 1 и 1,5 м. В транспортном положении рабочая головка и направляющие крепятся на раме гидравлического агрегата. Перемещается машина вручную одним человеком в пределах строительной площадки.

Из зарубежных машин для пиления бетона и железобетона алмазными отрезными кругами в отечественной практике используются ВС-110, ВС-10 и Диасоль 15 ЕС фирмы "Диамант Бор" (табл. 6, 7).

Из других методов резки бетонных и железобетонных конструкций в последние годы получает распространение технология, основанная на воспламенении материала при высокой температуре и последующем поддержании горения или использовании высокотемпературного расплавления материала.

Термическая резка кислородным копьем, представляющим собой толстостенную стальную, цельнотянутую трубку с наружным диаметром до 25 мм или газовую трубку диаметром 6, 8, 12 мм и длиной от 3 до 5 м, с установленной во внутренней полости низкоуглеродистой проволокой или круглым стальным стержнем определенного химического состава, используется для разделения бетонных и железобетонных конструкций на отдельные блоки, для устройства проемов в них, однако наиболее эффективна для прожигания в бетоне отверстий диаметром от 30 до 120 мм и глубиной до 4 м. При использовании кислородного копья следует учитывать, что бетон теряет прочность на расстоянии от 60 до 200 мм от кромки разреза или отверстия.

В комплект оборудования входят копьё с держателем и источник кислорода с давлением до 900 кПа. Кислород подается через трубку. При горении трубки и внутренних металлических стержней вместе с кислородом достигается температура около 3200°C.

К достоинствам кислородного копья относятся большая скорость прожигания отверстий (в 4 раза больше, чем пробивка их пневмоинструментами) и уменьшение до 20% стоимости работ.

Т а б л и ц а 6. Технические характеристики зарубежных машин для пиления бетона и железобетона алмазными отрезными кругами, используемые в отечественной промышленности

Показатель	BC-110	BC-10	Диасоль 15 EC
Мощность двигателя, кВт	7,5	7,5	11
Наибольший диаметр диска, мм	800	800	1100
Наибольшая глубина пропила, мм	320	500	630
Габариты, мм:			
длина	1500	700	1500
ширина	750	500	800
высота	1120	820	110
Масса (без отрезного круга), кг	220	140	400

Т а б л и ц а 7. Технические показатели средств разрушения строительных конструкций методами термического воздействия

Показатель	Кислородное копые	Порошково-кислородный резак	Оборудование плазменной резки	Установка электродугового плавения
Производительность, мм/мин	10—40	10—40	10—40	30—80
Толщина разрезаемого бетона, мм	3500	400	100	1000
Трудоемкость, чел.-ч/мин	0,2—0,7	0,27—0,7	—	0,6—1
Расход ресурсов:				
кислорода, м ³ /ч	4—22	40—80	—	—
воздуха, м ³ /ч	—	—	100	—
электроэнергии, кВт.-ч/м ³	—	—	—	128
Масса, кг	До 15	—	—	60

К недостаткам — большое газовыделение, значительный разлет искр и раскаленных частиц, большой расход кислорода, высокая температура копыя и расплавленного материала, что требует сложных мер защиты оператора и окружающих. Необходимость применения кислородных баллонов делает кислородное копые громоздким и тяжелым, ограничивающим область применения в пожароопасных зонах.

Порошковая резка осуществляется с помощью порошково-кислородного резака, имеющего штуцеры: для кислорода, порошка-флюса и другого газа (пропан-бутановая смесь, ацетилен и т.п.) для поддержания горения флюса. В резаке используется порошок железа или алюминия, либо смесь двух порошков. В комплект оборудования входит распределитель порошка с устройством для установки оптимального соотношения порошка и сжатого воздуха, подаваемых в резак.

При порошковой резке достигается температура свыше 6000°C . Данная технология применяется для резки бетона и железобетона толщиной до 400 мм, а при значительном увеличении удельного расхода кислорода и флюса возможна резка бетона и железобетона большей толщины.

Плазменная резка основана на ионизации инертных газов при подводе энергии, в результате чего они становятся электропроводными и называются "плазмой". Отличие этой технологии от технологии резки кислородным копьем заключается в том, что разрезаемый материал не сжигается, а расплавляется и уносится из разреза. При этом достигается температура более 6000°C , использование порошкового копия при плазменной резке увеличивает температуру до $10\ 000 - 25\ 000^{\circ}\text{C}$.

В комплект оборудования входят газовые баллоны с дозирующими устройствами, переносной трансформатор с устройством для управления, штуцер для шланга резки и электрический кабель с заземлением.

Это оборудование применяется для резки бетона и железобетона толщиной до 100 мм. Недостатки плазменной резки — сложность и большие габариты оборудования, малая толщина резки и потребность в рабочих высокой квалификации.

Установки электродугового плавления, состоящие из угольных или графитовых электродов, электродвигателей, закрепленных на специальных стойках, рамах или каретках, применяются для разрушения строительных конструкций, а также для образования проемов, борозд и шурфов в бетоне и железобетоне.

Имеется два типа установок — на основе использования зависимой и независимой электрической дуги в ручном (ток дуги до 1000 А) и стационарном (ток дуги более 1000 А) исполнении. Установки комплектуются серийными сварочными трансформаторами.

Разрушение строительных конструкций или образование проемов осуществляется последовательным проплавлением отдельных отверстий. Максимальная глубина проплавления железобетона электрической дугой достигает 1 м. Наибольшая производительность работ обеспечивается при плавлении в потолочном и вертикальном положении.

Недостатком установок является выделение газов, сильный нагрев деталей и сравнительно низкая производительность при разрушении крупногабаритных, слабоармированных железобетонных конструкций.

Заслуживает внимания применение робота по резке железобетона фирмы "Атлас Копко" (Швеция). С помощью высоконапорной водной струи удаляется недоброкачественный бетон с железобетонных покрытий при ремонте площадок, дорог, мостов и аэродромов (рис. 7).

Робот имеет дистанционный пульт управления. Масса 850 кг. Управление рабочими процессами осуществляется с помощью

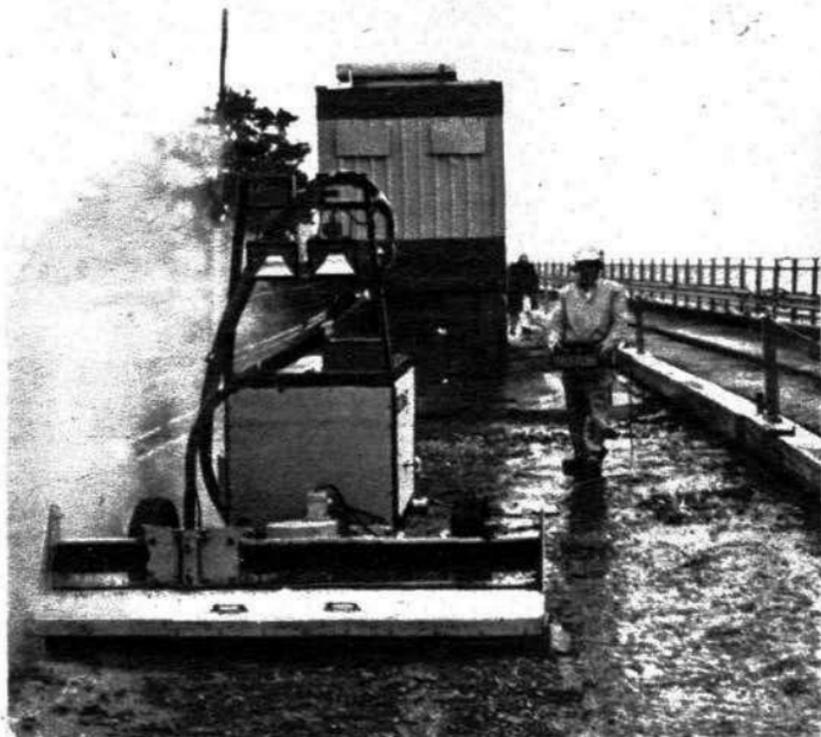


Рис. 7. Установка для разрушения бетона высоконапорной водной струей

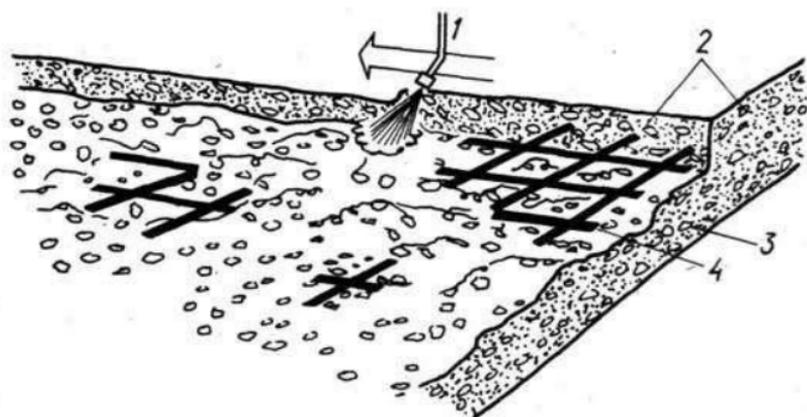


Рис. 8. Резка бетона водной струей

1 — высоконапорная водная струя; 2 — разрушаемый слой бетона;
3 — сохраняемый бетон; 4 — арматура

микрокомпьютера. Вода при давлении 100–120 МПа подается к роботу от звукоизолированного контейнера, в котором установлены гидронасос высокого давления, дизельный двигатель для привода гидронасоса и водяной бак вместимостью 400 л.

Ширина полосы разрушения бетона составляет до 1600 мм. При этом образовывается разрез глубиной до 100 мм неправильной формы ввиду сужения ширины разреза от верхней части книзу.

К недостаткам метода следует отнести высокую трудоемкость, большой расход воды и необходимость проведения работ по обеспечению ее удаления, ограниченную глубину разреза и отсутствие воздействия на арматуру в бетоне (рис. 8).

Технология разрушения дроблением. Дробление осуществляется с помощью прямых или изогнутых зубьев, которые могут перемещаться по прямой линии или дуге, увеличивая тем самым изгибающее усилие до разрушения материала. При этом зубья разрушающего механизма могут быть расположены таким образом, чтобы подвижными были оба зуба или двигался один зуб, а другой оставался неподвижным. Зубья устанавливаются на бетоноломе или отдельно крепятся на экскаваторе.

Бетонолом может быть подвешен на экскаваторе вместо ковша, однако, чтобы получить максимальное разрушающее усилие, желательно использовать параллелограммную подвеску, в которой цилиндр ковша крепится параллельно стреле, но внутри нее. Большинство бетоноломов способны легко разрушать железобетон. Арматурные стержни могут разрезаться ножами, находящимися внутри зубьев (рис. 9).

Сменные рабочие органы к манипуляторам на 3–5 группу экскаваторов разработаны ЦНИИОМТП. Рабочие органы обеспечивают захватывание, расшатывание, разламывание, отрывание, обрушение и дробление конструктивных элементов зданий и сооружений; разрушение и расчленение железобетонных конструкций с одновременной резкой арматуры и дроблением бетона; разрушение и резку металлических конструкций и элементов из профильной стали. Сменное рабочее оборудование позволяет разрушать здания и сооружения до 18 м, дробить железобетонные конструкции толщиной до 700 мм и фундаментов — до 1200 мм, перерезать двутавровую сталь сечением до 175x175x6x9, швеллерную 180x75x12 мм и угловую 150x150x15 мм, производить работы при нормальной стреле на высоте не менее 10 м и глубине не менее 8 м при радиусе действия не менее 11 м и при удлиненной стреле на высоте не менее 18 м при радиусе действия не менее 16 м (табл. 8).

В зарубежной практике наибольшее распространение получили бетоноломы, используемые в качестве навесного рабочего оборудования на гидравлические экскаваторы (рис. 10, табл. 9).

С их помощью можно не только разрушить железобетонную конструкцию, но и перерезать арматуру любого диаметра, а при

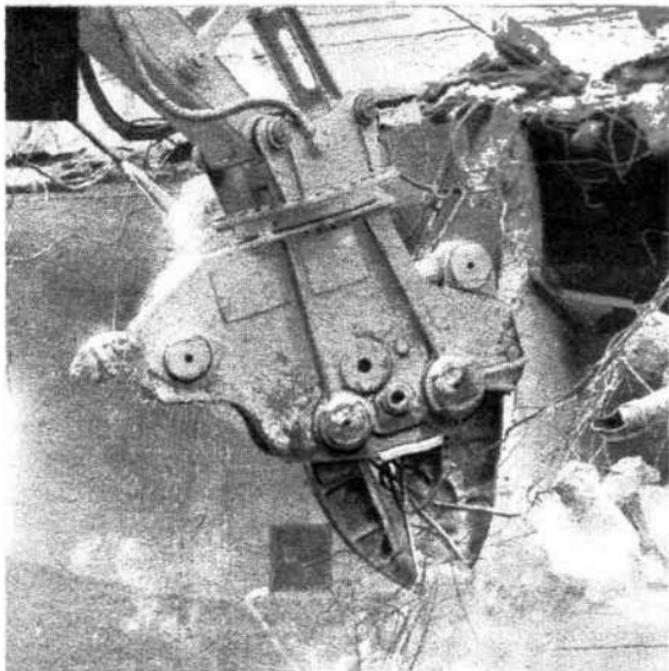


Рис. 9. Перерезание арматурных стержней бетоноломом

разборке металлических конструкций — швеллеры, двутавры и конструкции из листового металла значительной толщины.

Технология разрушения с использованием энергии взрыва и расширения. Технология направленного взрыва широко используется для сноса крупногабаритных конструкций, снятия секций с существующих конструкций, разрезки конструктивных элементов с помощью зарядов специальной формы. Взрывчатые вещества эффективно применяются для разрушения железобетона.

Разрушение строительных конструкций происходит в результате резкого расширения в замкнутом пространстве взрывчатых веществ, детонационная скорость которых изменяется в диапазоне от 2000 до 9000 м/с, а давление от 10 000 до 50 000 МПа.

В зависимости от условий объекта и прочности разрушаемого материала возникает необходимость в применении взрывчатых веществ с высокой и низкой детонационной скоростью. Использование их осуществляется различными способами в виде заряда, находящегося внутри или снаружи материала.

При выполнении взрывных работ применяют детонационные устройства различных типов, например детонаторы мгновенного действия с задержкой порядка миллисекунд или более, а также детонирующие шнуры. Применение этих средств позволяет ограничить вибрации, возникающие при взрыве, и количество выбрасываемого материала. Снижению образования быстролетящих

Т а б л и ц а 8. Сменные рабочие органы к гидравлическому экскаватору ЭО-5122А (ЦНИИОМТП)

Показатель	Тип рабочего органа			
	клещевой	комбини- рованный захват	захват- резак	захват челюстной
Усиление дробления, Н	До 600	—	—	До 1200
Развиваемое усилие, кН:				
резания (секция А)	—	До 600	До 800	—
разрушения (секция В)	—	" 550	" 450	—
разрушения (секция С)	—	" 300	" 300	—
разрушения (секция Д)	—	" 500	—	—
Величина открытия зева, мм	750	—	—	1200
В том числе секций:				
А	—	400	—	—
В	—	300	—	—
С	—	750	—	—
Д	—	От 60 до 450	—	—
Толщина разрушаемого железобетонного фундамента, мм	—	—	—	До 1200
Сечения перерезаемой стали, мм:				
секцией А:				
двутавровой	—	—	До 175x x175x6x9	—
швеллерной	—	—	" 180x x75x12	—
угловой	—	—	" 150x x150x15	—
секцией В:				
двутавровой	—	—	" 125x x125x7	—
швеллерной	—	—	" 150x x75x6,5	—
угловой	—	—	" 100x x100x13	—
Масса захвата, т	1	1,5	1,5	4; 5

осколков способствуют взрывчатые вещества, имеющие скорость детонации лишь 60 м/с.

Разрушение строительных конструкций с применением взрывчатых веществ в стесненных условиях реконструкции выполняется специализированными участками буровзрывных работ, создаваемыми на реконструируемых предприятиях.

Недостатком применения взрывчатых веществ является необходимость применения защитных средств от разлета осколков.



Рис. 10. Разрушение железобетонных конструкций бетоноломом

Радиус опасной зоны при применении защитных средств составляет до 50 м, а без них — 200 м.

Технология взрыва с использованием углекислого газа высокого давления, первоначально предназначавшаяся для горных работ, оказалась полезной при разрушении железобетонных конструкций в тех случаях, когда предъявляются высокие требования к снижению уровня вибрации или существует возможность возникновения пожара.

Технологией более безопасной для окружающей среды является использование патрона жидкой углекислоты (кардокса) для разрушения строительных конструкций. Применение в качестве агента жидкого углекислого газа препятствует уменьшению шума, пыли и вибрации.

Т а б л и ц а 9. Технические характеристики гидравлических бетоноломов зарубежного производства

Тип	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Максимальная ширина раскрытия "челюстей", мм	Минимальное расстояние между закрытыми "челюстями", мм	Давление в гидросистеме, МПа	Характеристика базовой машины, (емкость ковша экскаватора), м ³	Разрушающее усилие, кг
Фирма "Санжо Хеви Индистрис ЛТД" (Япония)								
ТС-500	500	1350	1240	450	50	15	0,2—0,4	40 000
ТС-650	1300	1980	1500	650	40	17,5	0,45—0,7	70 000
ТС-800	2250	2200	1900	880	40	25	0,7	120 000
ТС-1500	2500	2570	2270	1450	280	25	1	170 000
Фирма "Ниппон Пневматик МФЖ. КО. ЛТД" (Япония)								
C-20RA	2300	2090	—	750	—	—	0,7—1	120 000
Фирма "Ла Баунти" (Нидерланды)								
МСД-200	1000—2400	—	—	—	—	—	0,2	150 000
МСД-210	4000—7000	—	—	—	—	—	0,5	800 000
МСД-220	11 000—14 000	—	—	—	—	—	0,5—1	900 000
МСД-230	18 500—200 000	—	—	—	—	—	1	120 000
Фирма "Кент АЙе Еуропа" (Нидерланды)								
90 R	750	1450	—	220	—	16,8	—	92 000
150 R	2750	3100	—	380	—	22,5	—	340 000
275 R/S	4250	4000	—	480	—	30	—	610 000
250 R	6250	4300	—	530	—	32	—	950 000
500 R	11 500	5800	—	810	—	42	—	1 200 000

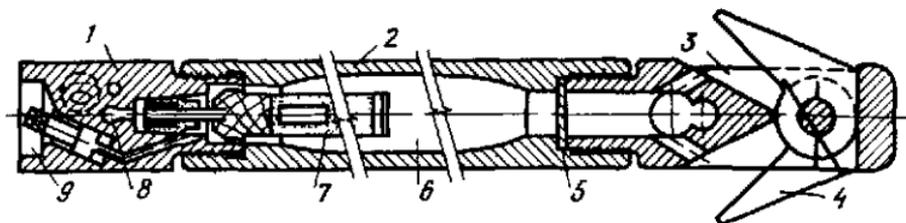


Рис. 11. Поперечное сечение оболочки Кардокс

1 -- активационная головка; 2 -- оболочка, заряженная жидким двуоксидом углерода; 3 -- разрядная головка; 4 -- стопорные собачки; 5 -- спусковой диск; 6 -- заряд двуоксида углерода; 7 -- химический активизатор; 8 -- электрические соединения; 9 -- клапан заполнения

Действие кардокса (рис. 11) основано на увеличении объема в результате перехода углекислого газа из жидкого в газообразное состояние. Испарение жидкого углекислого газа происходит в течение 0,02–0,04 с, т.е. гораздо медленнее, чем при использовании обычных взрывчатых веществ. Развиваемое давление изменяется в диапазоне 125–275 МПа в зависимости от типа патронов.

Заряд жидкого углекислого газа содержится в круглой металлической трубке, а выход его происходит только на нижнем конце трубки путем поворота диска. Трубка может быть повторно заполнена углекислым газом на месте производства работ с помощью специального оборудования и баллона с углекислым газом.

Благодаря пламягасящим свойствам углекислого газа применение патрона кардокса рекомендуется при работе с легковоспламеняемыми материалами и на взрывоопасных производствах.

В течение последних лет в качестве альтернативной технологии взрыву во все большей степени используются химические реактивы для статического расширения. Поскольку действие расширяющих реактивов основано на химическом процессе, они в течение 10–12 ч способны создать необходимые разрушающие усилия. Однако новейшие технологии позволяют уменьшить это время до 30 мин. Это достигается за счет помещения в отверстие вместе с расширяющим реактивом нагревательного элемента.

Преимущество использования расширяющихся реактивов заключается в отсутствии шума, вибрации и летящего мусора. К сожалению, при необходимости образования трещины точно вдоль конструкции расстояния между отверстиями для зарядов должны быть уменьшены. Недавно началось применение отверстий с надрезами для образования трещины в нужном направлении.

В институте ВНИИстром им. П.П. Будникова Минстройматериалов СССР разработано и выпускается невзрывчатое разрушающее средство (НРС-1), представляющее собой негорючий невзрывоопасный порошок с усилием разрушения более 30 МПа.

Разрушение конструкций происходит в результате расширения залитой в пробуренные шпурфы смеси порошка с водой и роста

давления кристаллизации. Развитие напряжений по всей глубине шпура проводит в момент превышения прочности при растяжении материала к образованию в нем направленных трещин.

Применение НРС-1 обеспечивает бесшумное направленное разрушение бетона без вибрации и выброса твердых и газообразных продуктов реакции.

Используется и невзрывчатое разрушающее средство "Бризант", разработанное Киевским политехническим институтом.

В зарубежной практике в качестве реактива для расширения главным образом применяют известь. Ряд реактивов на ее основе для статического расширения материала, например "Бристар", "Симик", "Чемикс", "Калмайт" производятся соответственно японскими фирмами "Онода Семент", "Сумитомо Семент", "Денки Кагану Когто" и "Нихон Семент".

Твердение данных реактивов после смешивания их с водой сопровождается значительным увеличением объема.

Для разрушения бетона смесь помещается в заранее просверленные отверстия диаметром 38 . . . 80 мм с расстоянием между ними, превышающим в 8 раз диаметр отверстия. Количество реактива, требующегося для 1 м просверленного отверстия, зависит от диаметра отверстия. Например, для отверстия диаметром 35 мм — 1,6 кг, для отверстия диаметром 51 мм — 3,3 кг. При твердении смеси через 24 . . . 48 ч достигается давление до 30 МПа, через 72 ч — 40 МПа.

Развиваемые реактивами давления значительно ниже возникающих при использовании взрывчатых веществ и кардокса. С помощью этих реактивов могут быть разрушены легкие железобетонные конструкции.

Технология разрушения с использованием реактивов для статического расширения бетона не вызывает образования шума, выброса материала, возникновения пыли и вибрации и является совершенно безопасной при производстве работ на строительных объектах.

Оборудование для переработки некондиционного бетона и железобетона

В мировой практике организация производства и использования вторичного заполнителя из бетонного лома осуществляется по трем вариантам:

1. Бетонный лом с места демонтажных работ транспортируется на завод по производству заполнителей и полученный заполнитель направляется на бетонный завод (две транспортные операции).

2. Оборудование для получения заполнителя из бетонного лома устанавливают непосредственно на месте демонтажных работ и полученный заполнитель отправляется на бетонный завод или строительный объект (одна транспортная операция).

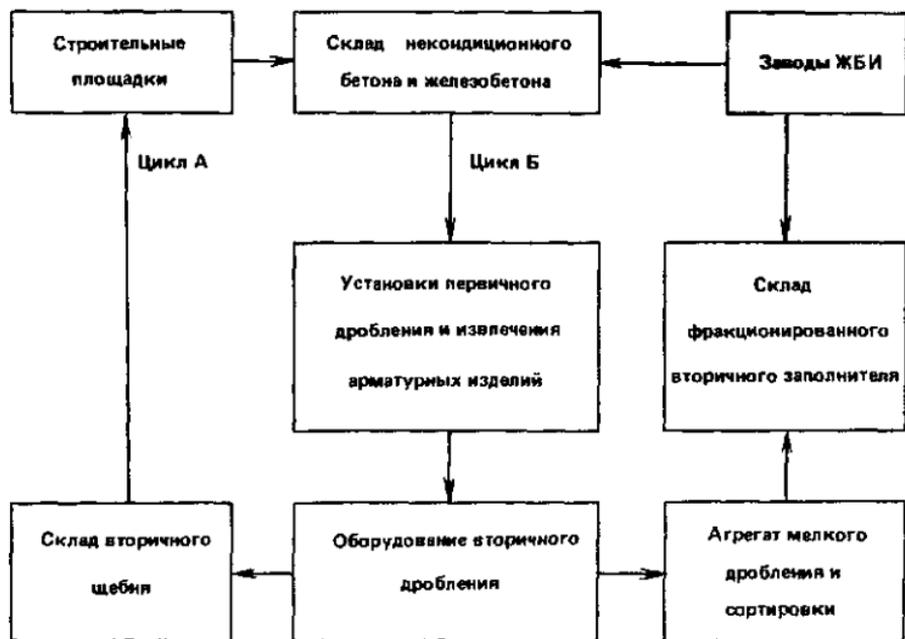


Рис. 12. Схема утилизации некондиционного бетона и железобетона

3. Получение заполнителя из бетонного лома и производство на его основе организовано на месте демонтажных работ (внутризаводское транспортирование).

В отечественной практике получила распространение технология переработки и использования бетонного лома по второму варианту территориальной схемы – цикл А (рис. 12), когда полученный вторичный заполнитель используется в основном для устройства щебеночной подготовки дорожных одежд и оснований. По данной схеме работает более 18 технологических линий на заводах железобетонных изделий.

Однако более эффективна технология переработки и вторичного применения бетона по третьему варианту территориальной схемы – цикл Б (рис. 12). Здесь полученный фракционированный вторичный щебень может быть использован в качестве крупного заполнителя при заводском приготовлении бетонов прочностью от 5 до 30 МПа. Внедрение данной технологии осуществляется на заводах ЖБИ Главлипецкстроя.

Из опыта передовых зарубежных фирм, занимающихся переработкой и вторичным использованием бетона, представляется целесообразным рассмотреть следующие схемы производства.

В Японии наибольшее распространение получил третий вариант схемы переработки и вторичного использования бетона (представлены на рис. 13 [18]). Для повышения экономичности использования бетонного лома в качестве вторичного заполнителя для бетона целесообразно приготавливать такой заполнитель на



Рис. 13. Примерная схема производства вторичного заполнителя и бетона на его основе в Японии

месте производства работ с помощью небольшой дробилки и грохота. Здесь же производится последующее приготовление и укладка бетонной смеси при возведении нового сооружения. Технология производства вторичного заполнителя по "замкнутой системе" (рис. 14), получила широкое распространение в Нидерландах [21].

Одновременно используется технология переработки по "незамкнутой системе" (рис. 15), обеспечивающая более высокую производительность на том же оборудовании, но имеющая существенный недостаток в менее четком определении максимальной крупности частиц, что может привести к недопустимым колебаниям в размерах фракций получаемого продукта.

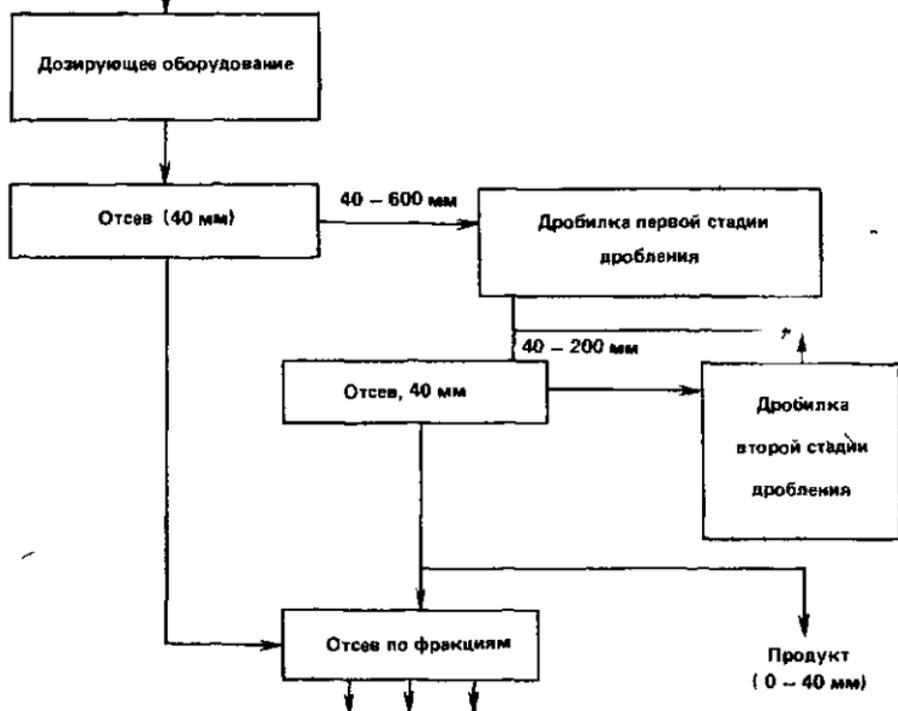
Голландские фирмы, занимающиеся переработкой бетонного лома, усовершенствовали технологический процесс очистки бетонного лома перед подачей на переработку и после нее от металла, дерева, картона, пластмассы, кровельного материала и т.п.

Аналогичная технологическая схема переработки строительных отходов используется западногерманской фирмой ГМБХ.

По мнению специалистов английской фирмы "Паркер Планта", наиболее удачным является размещение участка переработки таким образом, чтобы материал доставлялся с заводов сборного

Строительные отходы
(0 – 600 мм)

Рис. 14. Замкнутая система переработки
строительных отходов (Нидерланды)



железобетона и стройплощадок, разгружался на особой складской площадке, а не подавался прямо на перерабатывающую установку. При этом идеально, когда участок переработки бетонного лома состоит из четырех площадок (рис. 16).

На приемной площадке поступающий материал складировается по отдельным видам с последующим раскалыванием наиболее крупных и негабаритных плит или глыб. Затем бетонный лом поступает на площадку для подготовленного материала к погрузке в перерабатывающую установку. После переработки бетонного лома полученный вторичный заполнитель подается на склад готовой продукции.

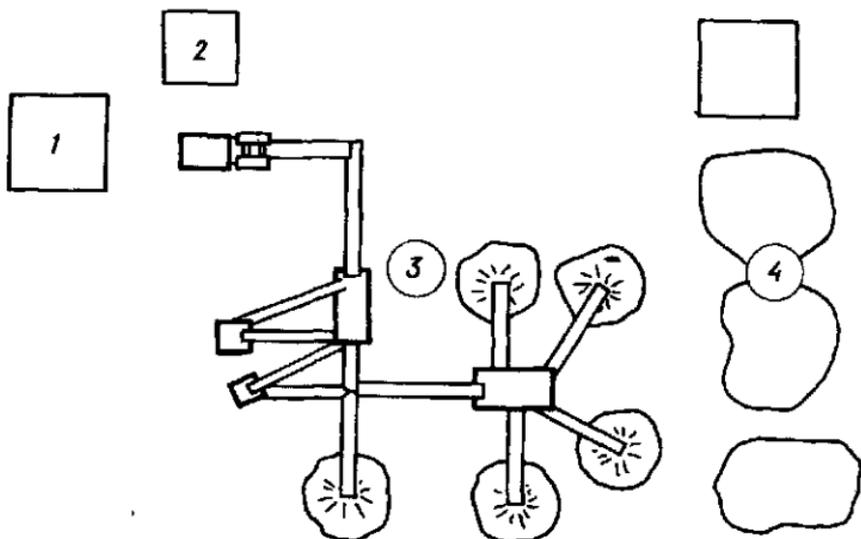
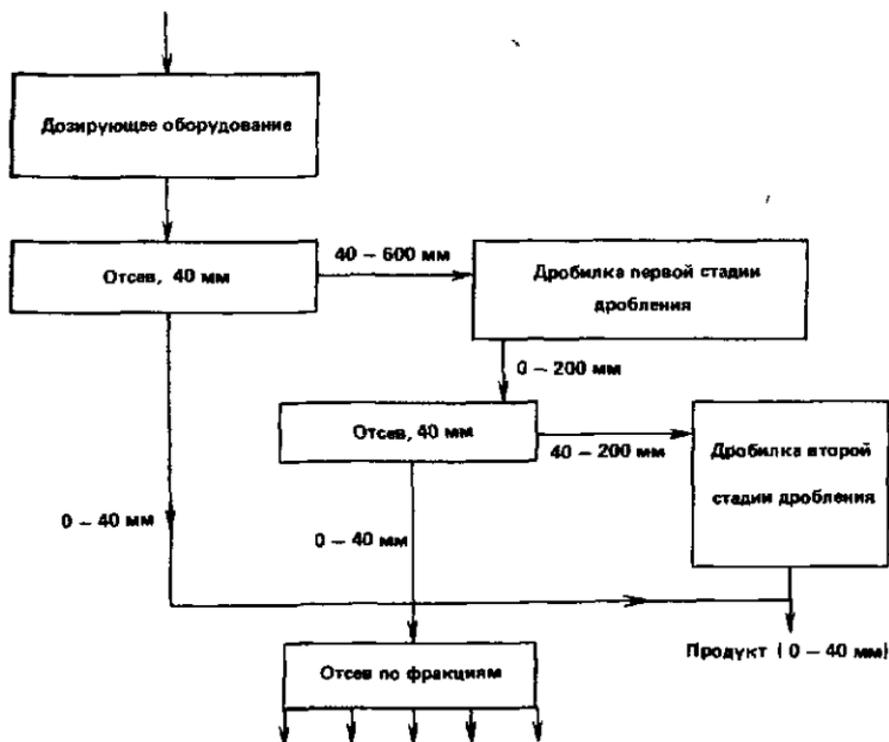
Во всех рассматриваемых схемах переработки некондиционно-го бетона и железобетона используется, как правило, следующее основное технологическое оборудование: установки первичного дробления (разрушения), вторичного дробления и фракционирования.

Рис. 16. Схема технологической линии по переработке некондиционного железобетона

1 – приемная площадка; 2 – участок по подготовке к переработке; 3 – перерабатывающая установка; 4 – склад готовой продукции

Строительные отходы (0 – 600 мм)
Строительные отходы (0 – 600 мм)

Рис. 15. Незамкнутая система переработки строительных отходов (Нидерланды)



УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОГО ДРОБЛЕНИЯ

Общие принципы создания технологического оборудования по переработке некондиционного бетона и железобетона как в нашей стране, так и за рубежом базируются на возможности применения существующего дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке битого камня из карьеров. Однако при определении конструктивных параметров дробильной установки, предназначенной для железобетона, необходимо учитывать наличие арматуры и невозможность точного контроля формы и размеров подаваемого материала.

В связи с этим определенные узлы дробильных установок для железобетона значительно более металлоемки и размер их по сравнению с аналогичными узлами обычных дробильных установок такой же производительности больше. Вызвано это прежде всего необходимостью пропускания арматуры через установку. Это касается в основном только узлов установки первичного дробления, так как рабочая арматура или сетки удаляются перед вторичным дроблением и грохочением.

В результате коэффициент полезного действия установок первичного дробления железобетона значительно ниже, чем обычных камнедробильных. При этом увеличение габаритов подаваемого на дробление некондиционного железобетона еще больше снижает КПД установки.

В то же время, чем крупнее установка первичного дробления, тем меньше подготовки требует подаваемый материал.

С позиции механизации работ по переработке наиболее целесообразным представляется иметь такую установку первичного дробления, которая могла бы эффективно дробить железобетон любых размеров, доставляемых на участок.

СКТБ Главмоспромстройматериалов разработан параметрический ряд установок первичного дробления некондиционного бетона и железобетона.

Основными узлами установок первичного дробления некондиционных железобетонных изделий являются: гидравлический рычажной пресс, колосниковый стол, направляющая рама и гидростанция, развивающая давление 20 МПа. Рабочее положение гидравлического пресса может быть различным: пресс перемещается вдоль неподвижного колосникового стола с лежащим на нем изделием, либо занимает стационарное положение, а изделие при этом подается в зону разрушения подвижным столом.

По первой схеме разрушают крупноразмерные изделия с предельными габаритами 24x3, 5x0,6 м на установке УПН-24-3,5-0,6. По второй — разрушают короткомерные изделия с максимальными габаритами 7x3 или 10x2 м при толщине 0,6 м на установках соответственно УПН-7-3-0,6 (рис. 17) и УПН-10-2-0,6.

Для переработки железобетонных изделий длиной до 7 м возможно использование установки УПН-7/12-3-0,6. При этом сле-

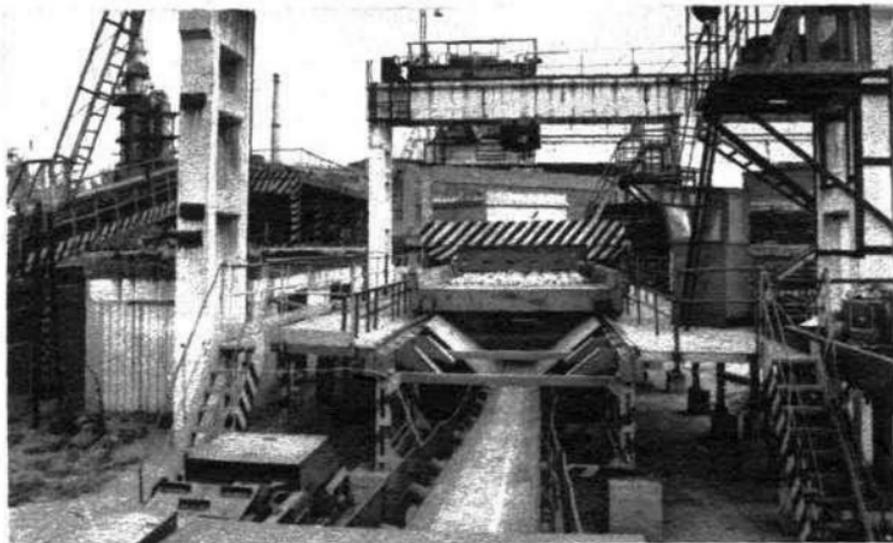


Рис. 17. Установка первичного дробления УПН 7-3-0,6

дует учитывать, что в этой установке имеется оснастка, позволяющая разрушать также изделия длиной 12 м в два приема: сначала разрушается участок длиной 7 м, затем (после обрезки продольной арматуры) оставшаяся часть изделия переносится на рабочую поверхность колосникового стола и цикл повторяется. Использование установки этого типа можно считать целесообразным, если общее количество изделий длиной 12 м в общем объеме изделий перерабатываемой номенклатуры не превышает 20%.

Исходными данными для выбора необходимого типа установки являются габариты подлежащих переработке некондиционных железобетонных изделий. При этом следует руководствоваться техническими характеристиками параметрического ряда установок, приведенными в табл. 10.

Разрушение некондиционного бетона и железобетона осуществляется следующим образом. На колосниковый стол краном укладывается некондиционное железобетонное изделие или посредством переносного бункера выгружаются бетонные отходы. На разрушаемое изделие или отходы опускается рычажный пресс (нож), работа которого заключается в чередовании цикла опускания и поднятия (рис. 18). По мере разрушения изделия дробленый материал проваливается через колосниковую решетку стола на ленточный конвейер и переносится на установку вторичного дробления.

Куски арматурной стали из массы дробленого бетона, прошедшие через колосники стола, извлекаются в зоне выхода ленты конвейера магнитным отделителем. Арматурный каркас, очищенный от бетона, с колосникового стола снимается подъемным механизмом.

Т а б л и ц а 10. Техническая характеристика установок первичного дробления некондиционного бетона и железобетона

Показатель	С передвижным гидравлическим прессом		Со стационарным гидравлическим прессом	
	УПН 24-3,5-0,6	УПН 12-3,5-0,6	УПН 10-2-0,6	УПН 7 (12)-3-0,6
Производительность, м ³ /ч, при переработке:				
бетонных отходов	10	10	8	8
некондиционных железобетонных изделий	6-8	6-8	4-6	4-6
Габариты разрушаемых некондиционных железобетонных изделий, м	24x3, 5x0,6	12x3, 5x0,6	10x2,0x0,6	7x3,2x0,6
Фракция дробленого материала, мм	0-250	0-250	0-250	0-250
Установленная мощность, кВт, при разрушающем усилии пресса 2000 кН	87,5	87	79,5	79,5
Габариты установки, м				
длина	32,4	24,5	25,3	20,7
ширина	8,4	8,4	6,3	7,5
высота	6,2	6,2	4,1	4,1
Масса установки, т	141,5	100	71,5	69
В том числе масса обслуживающих площадок и металлоконструкций	25	20	15	12

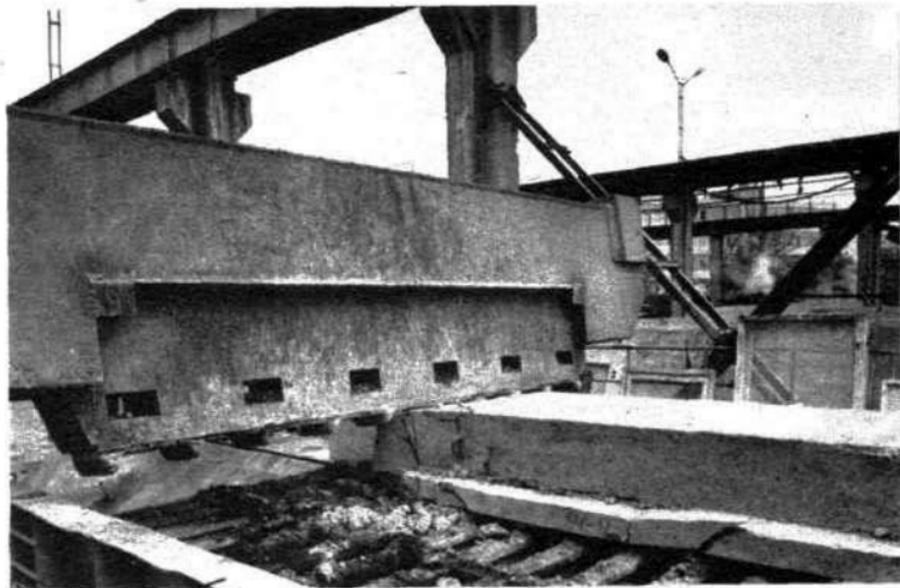


Рис. 18. Разрушение некондиционного железобетона рычажным прессом

На базе установки УПН-24,3,5-0,6 заводом "Волгоцеммаш" Минстройдормаша разработан и изготавливается агрегат СМЖ-541 для разрушения некондиционных железобетонных и бетонных отходов [13].

Техническая характеристика агрегата СМЖ-541

Производительность, м ³ /ч:	
максимальная (при переработке бетонных отходов)	15
номинальная (при переработке некондиционных железобетонных изделий)	10
Усилие разрушения, МН	2
Скорость перемещения пресса, м/мин:	
рабочая	5,65
транспортная	11,3
Колея (по осям рельс), мм	4500
База, мм	4020
Привод ножа-бруса гидравлический	
Гидроцилиндр:	
число	2
диаметр, мм	260
рабочее давление, МПа	16
ход поршня, мм	1200
усилие хода, Н:	
прямого	800 000
обратного хода, Н	350 000
Габариты, мм:	
длина	32450
ширина	8880
высота	6200
Масса, т	150

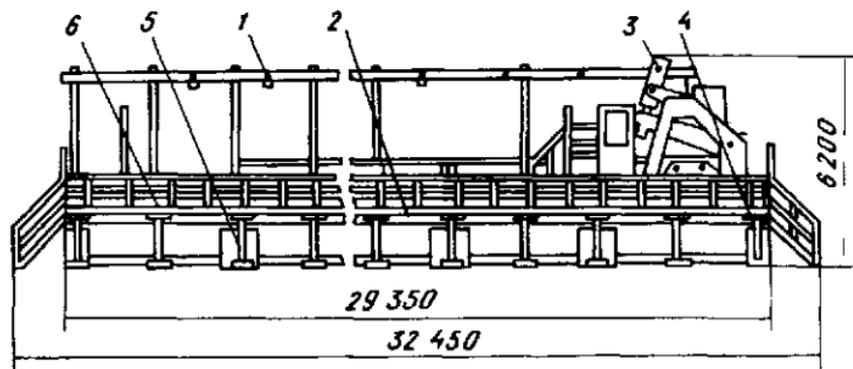


Рис. 19. Агрегат СМЖ-541 для разрушения некондиционных железобетонных изделий

1 — приспособление для подвески кабеля; 2 — колосниковый стол; 3 — пресс; 4 — железобетонная опора ОЖ-2; 5 — железобетонная опора ОЖ-1; 6 — выездная секция

Агрегат первичного дробления некондиционного бетона и железобетона (рис. 19) состоит из железобетонных опор, колосникового стола, выездных секций и прессы. Опоры представляют собой железобетонные конструкции и предназначены для опирания стыковых частей секций колосникового стола. Выездные секции конструктивно подобны колосниковому столу и устанавливаются по обе его стороны.

Пресс, являющийся главным механизмом разрушения, состоит из портала, копра, гидроцилиндров, механизмов привода перемещения прессы и гидростанций. Узлы и детали прессы устанавливаются на портал. Копер конструктивно представляет собой две продольные балки, соединенные коробками. В нижнем поясе балки устанавливается режущее полотно с концентраторами напряжения в виде конических призм, изготавливаемых из стали 110Г13Л. Привод копра осуществляется с помощью гидроцилиндров, а перемещения прессы — через редукторы двумя двигателями.

Последовательность технологических операций на агрегате СМЖ-541 аналогична рассмотренным ранее для УПН 24-3,5-0,6.

В настоящее время Гипростроммашем разрабатывается установка по дроблению некондиционного бетона и железобетона на базе УПН-7 как менее металло- и энергоемкой по сравнению с агрегатом первичного дробления СМЖ-541.

Одновременно СКТБ Главмоспромстройматериалов ведет работу по совершенствованию установок типа УПН-24 и УПН-7. Главным недостатком установок является то, что при разрушении высокопрочных густоармированных железобетонных изделий (колонн, ригелей и т.п.) имеют место случаи разрыва сварной конструкции продольной балки копра гидравлического прессы на установках типа УПН-7 и УПН-10 из-за жесткого крепления портала

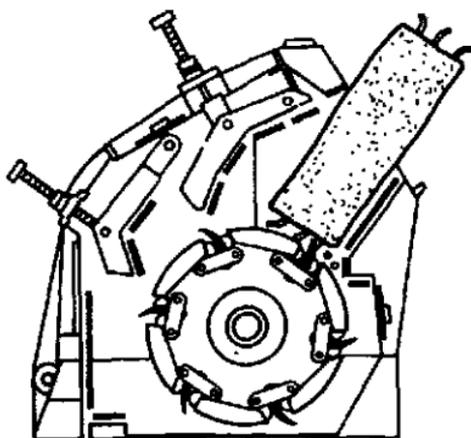


Рис. 20. Схема роторно-молотковой дробилки

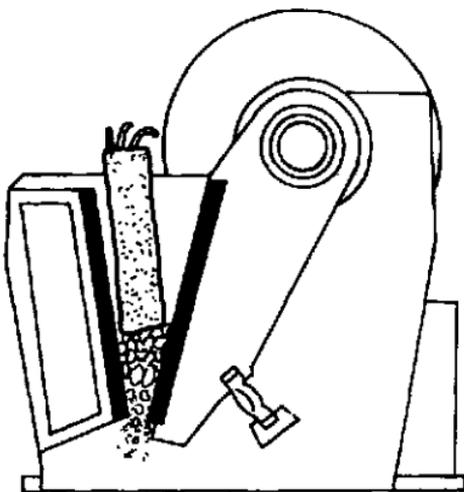


Рис. 21. Схема щековой дробилки

к опорам или потери устойчивости передвижного пресса на установках типа УПН-24 и УПН-12.

После извлечения арматуры из бетона разрушаемых железобетонных изделий ее измельчают на мерные куски путем огневой резки на гидравлических или ручных аллигаторных ножницах СМЖ-549, затем доставляют в цеха Вторчермета. Подготовка и доставка осуществляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2787—75 (с изм.) "Металлы черные вторичные. Общие технические условия".

Используемые зарубежными фирмами перерабатывающие установки, как правило, оснащены первичными дробилками, позволяющими принимать некондиционный железобетон размерами, ограниченными по длине до 2—3 и по ширине до 1 м. Это вызывает необходимость организации предварительного разрушения крупногабаритного железобетона до допустимых размеров с соответствующим выделением огромных складских и производственных площадей. Применяемая при предварительном разрушении технология раскалывания бетона, в основном с использованием падающей бабы и последующая ручная резка или пережигание арматуры железобетонных изделий характеризуются большой трудоемкостью.

Английская фирма "Паркер Планта", на основе анализа испытаний различных типов установок первичного дробления некондиционного железобетона, используемых европейскими фирмами, отметила, что ударные роторные дробилки (рис. 20) способны дробить железобетон ограниченного размера ввиду конструктивной особенности системы подачи.

Арматура излишней длины, отделенная от бетона, не может проходить вокруг ротора ударной дробилки. Первичные ударные

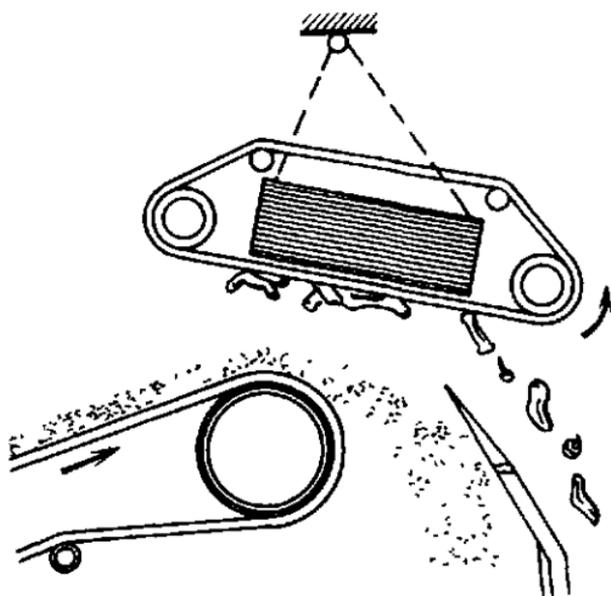


Рис. 22. Удаление арматуры надконвейерным магнитным сепаратором

дробилки подвержены также значительно более быстрому износу по сравнению с первичными щековыми дробилками.

Конструктивно щековые дробилки (рис. 21) значительно отличаются от ударных. В дробильной камере щековых установок нет препятствий, затрудняющих прохождение материала. При правильном поступлении в нее железобетона и достаточном зазоре между зоной выхода дробленого материала и отводящего конвейера разрушение железобетона производится достаточно эффективно.

Голландский исследователь Б. Босманс, приводя результаты сравнительных испытаний щековых, конусных, ударных и молотковых дробилок для переработки железобетона [21], отмечает, что применение конусных дробилок целесообразно лишь на второй стадии дробления, т.е. при максимальной крупности материала менее 200 мм. Молотковые дробилки для первичной переработки железобетона на практике почти не применяются.

Для удаления арматурных изделий, извлеченных из бетона, наиболее широкое распространение за рубежом получили магнитные надконвейерные сепараторы, стационарные магниты и магнитные барабаны на натяжной станции конвейера.

Наилучшие результаты при удалении арматуры достигаются фирмой "Паркер Планта" при использовании магнитного надконвейерного сепаратора (рис. 22). Во-первых, сепаратор более производительен, чем стационарный магнит, так как самостоятельно освобождается от притянутой арматуры. Во-вторых, при опти-

мальном расположении его над конвейером магнитный сепаратор обеспечивает не только извлечение металла из дробленого бетона, но и попадание его непосредственно в приемный бункер для арматурных отходов. Опыт фирмы показывает, магнитный надконвейерный сепаратор лучше всего располагать вдоль потока дробленого материала. При этом ширина сепаратора должна быть равна полной ширине транспортируемого конвейера потока материала.

Для более тщательного удаления металла эта операция может быть разделена на 2 стадии: после установок первичного дробления используется магнитный надконвейерный сепаратор и на конечной стадии конвейера — магнитный барабан. Надконвейерный магнитный сепаратор обеспечивает извлечение крупных кусков арматуры с верхнего слоя дробленого материала, а магнитный барабан собирает более мелкие обломки арматуры, лежащие в нижнем слое материала.

УСТАНОВКИ ВТОРИЧНОГО ДРОБЛЕНИЯ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ

Извлечение арматурных изделий из бетона до установок вторичного дробления обеспечивает возможность измельчения и фракционирования заполнителей из дробленого бетона по технологии, аналогичной технологии для получения естественных заполнителей, и использования обычных дробильных установок, применяемых при переработке природного камня в карьерах.

В случае отсутствия требований к фракционному составу дробленого бетона рекомендуется применять в качестве установок вторичного дробления щековую дробилку СМД-108.

Дробилка со сложным движением щеки размером 250x900 мм обеспечивает дробление материала с пределом прочности на сжатие до 300 МПа. Производительность дробилки 18 м³/ч, установленная мощность 40 кВт при общей массе оборудования 7,8 т.

Для обеспечения мобильности и гибкости в технологии переработки некондиционного бетона и железобетона и получения фракционированного заполнителя из дробленого бетона представляется целесообразным рекомендовать на третьей стадии производственного цикла агрегат мелкого дробления и сортировки СМД-27Б.

Техническая характеристика агрегата СМД-27Б

Производительность, м ³ /ч	до 27
Диапазон регулирования выходной щели дробилки, мм	12... 35
Размеры готового продукта, мм	0... 5
	5... 20
	20... 40
Наибольший размер кусков загружаемого материала, мм	60
Габариты, м:	
длина	12
ширина	3,7
высота	4,4
Масса, т	14
Скорость транспортировки агрегата, км/ч	20

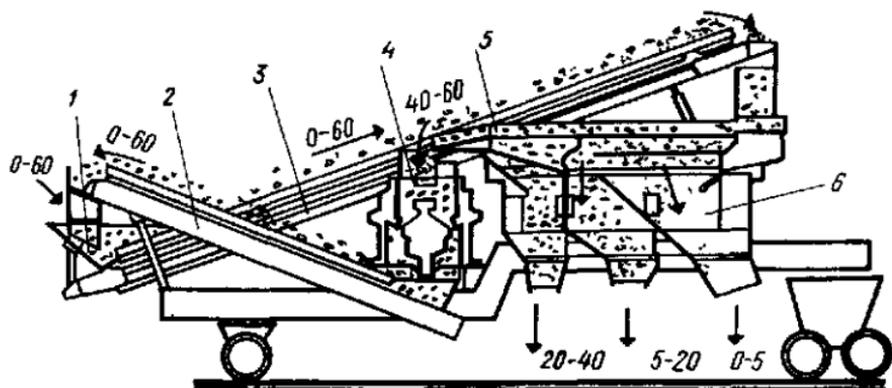


Рис. 23. Принципиальная схема работы агрегата СМД-27Б

1 — приемный лоток; 2 — возвратный конвейер; 3 — боковой конвейер; 4 — конусная дробилка; 5 — виброгрохот; 6 — бункер готовой продукции

Производительность агрегата определяется при полной загрузке и находится в зависимости от размера выходной щели конусной дробилки, прочности и гранулометрического состава поступающего в него материала.

СМД-27Б предназначен для дробления материала с пределом прочности до 300 МПа и сортировки до трех фракций готового продукта. Агрегат приспособлен для транспортирования его с одного места на другое автотягачом и быстрого ввода в действие. Он укомплектован аппаратурой для дистанционного управления и может использоваться самостоятельно или в комплекте с агрегатом среднего (вторичного) дробления СМД-26Б.

Комплект агрегатов СМД-27Б и СМД-26Д составляет передвижную дробильно-сортировочную установку средней производительности, совмещающую вторую и третью стадию производства вторичных заполнителей из дробленого бетона.

Агрегат СМД-27Б представляет собой двухосный прицеп, состоящий из рамы на передней и задней тележках, приемного лотка, возвратного и бокового конвейера, конусной дробилки, виброгрохота и бункера готовой продукции (рис. 23).

Материал, подлежащий фракционированию, поступает с установки вторичного дробления в приемный лоток 1, отсюда по боковому конвейеру 3 попадает на виброгрохот 5. На виброгрохоте СМД-29 материал разделяется на три фракции с размером 0 . . . 5, 5 . . . 20, 20 . . . 40 мм и поступает в расположенный под грохотом бункер 6 с тремя отсеками

Под отсеки необходимо подвести отвальные конвейеры, которые в комплект агрегата СМД-27 Б не входят, с рекомендуемой шириной ленты 500 мм и длиной 15 м. Материал крупностью более 40 мм, не прошедший сквозь сита грохота, поступает в конусную дробилку 4. Из под дробилки возвратным конвейером 2

материал подается в приемный лоток и боковым конвейером 3 — на виброгрохот 5.

Таким образом создается замкнутый цикл фракционирования и дробления. Готовый щебень отвальным конвейером может направляться в автотранспорт или на склад готовой продукции.

Электрооборудование агрегата работает от промышленной сети переменного тока или дизель-генераторной станции мощностью 75 кВт, а для совместной работы с агрегатом СМД-26Б — 100 кВт.

Из зарубежной практики использования установок вторичного дробления при переработке некондиционного бетона и железобетона следует отметить опыт инженерно-строительного общества Японии [22]. После прохождения бетонного лома размером 300—400 мм через первичные-щековые или конусные дробилки производительностью соответственно 60—100 и 15—60 т/ч материал размером 50—100 мм направляется на вторичное дробление. Для второй стадии переработки рекомендуются дробилки, в которых с поверхности зерен вторичного заполнителя удаляются наросты растворной составляющей бетона, а сами зерна практически не разрушаются.

Производительность установок вторичного дробления составляет, т/ч: для конусной — 30 . . . 50, молотковой — 50 . . . 80, валковой — 10 . . . 60, валковой, работающей по принципу самоизмельчения материала — 30—40. Стержневые и шаровые мельницы, используемые для этой же цели, имеют производительность 10 . . . 20 т/ч.

Технологические линии по переработке некондиционного бетона и железобетона

Важным моментом в процессе утилизации отходов из бетона и железобетона является освоение на предприятиях стройиндустрии специализированных технологических линий по разрушению и переработке отдельных некондиционных изделий из сборного железобетона или их частей с целью получения товарного щебня из дробленого бетона и высвобождения арматурной стали.

Существующие способы разрушения зданий и сооружений из монолитного железобетона или крупногабаритных железобетонных конструкций на строительных объектах неэффективны при организации переработки некондиционного железобетона непосредственно на предприятиях стройиндустрии.

Широкое распространение на заводах ЖБИ получила технология переработки некондиционного бетона и железобетона на линиях, оснащенных установками первичного дробления типа УПН-7, УПН-10, УПН-12, СМЖ-541; вторичного дробления — СМД-109, СМД-108; устройством для извлечения арматурных изделий — магнитным отделителем; системой ленточных конвейеров и бункеров — накопителей готовой продукции.

Компоновка технологической линии может приниматься прямолинейной, Г- или П-образной в зависимости от конкретных

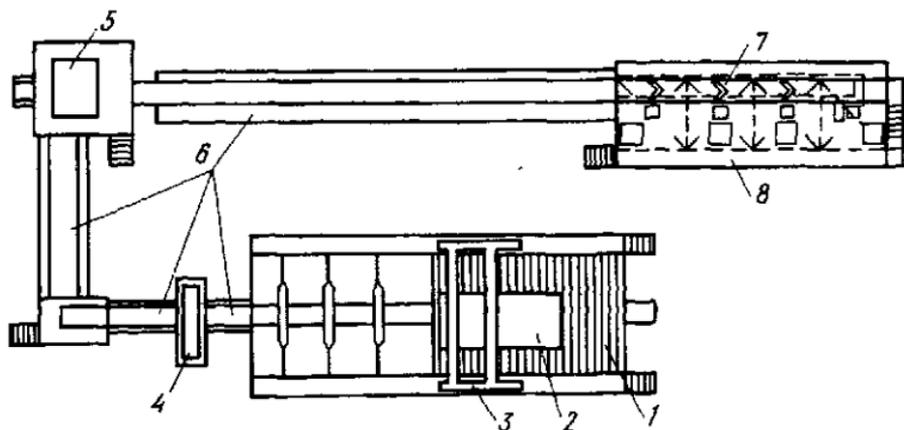


Рис. 24. Технологическая линия по переработке некондиционного бетона и железобетона на КЖБК-2 Главмоспромстройматериалов
 1 — передвижной стол с колосниковой решеткой; 2 — некондиционный железобетон; 3 — пресс стационарный; 4 — устройство для извлечения арматуры; 5 — щековая дробилка СМД-108; 6 — система ленточных конвейеров; 7 — отсекатели; 8 — бункерный склад вторичного щебня

территориальных условий заводов сборного железобетона. Расположение линий целесообразно производить на открытых площадках, оснащенных мостовыми или козловыми кранами.

Переработка бетонных отходов и некондиционных железобетонных изделий (рис. 24) на специализированных технологических линиях предприятий сборного железобетона производится в следующей последовательности. На колосниковом столе установки первичного дробления с помощью циклично опускающейся и поднимающейся ножевой балки копра пресса дробится бетонный лом или железобетонные изделия. Раздробленный бетон, направляемый отбойными боковыми листами через колосники, попадает на ленточный конвейер.

Оставшаяся на столе арматура снимается краном такелажным способом. Прошедшие через колосниковый стол куски арматурной стали извлекаются из массы дробленого бетона устройством разработки СКТБ Главмоспромстройматериалов на базе грузового электромагнита ПМ-15.

Затем отделенные от арматуры куски бетона с максимальной крупностью 250 мм по системе ленточных конвейеров поступают на установку вторичного дробления — щековую дробилку СМД-109 или СМД-108. После прохождения через нее дробленый материал с фракцией 0—50 мм по ленточному конвейеру подается в бункер-накопители, оснащенные шибберными затворами с электрическим приводом.

Стационарные технологические линии

Основные технико-экономические показатели стационарной технологической линии по переработке некондиционного бетона и железобетона на базе установки первичного дробления типа УПН-7

Производительность, тыс. м ³ щебня	20
Стоимость всего технологического оборудования, тыс. руб.	95
Стоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб.	16
Количество обслуживающего персонала, чел/смен	5
Масса технологического оборудования, т	140
Годовой экономический эффект при реализации щебня для проведения дорожных работ, тыс. руб	52,34

Такие линии эксплуатируются на ряде предприятий Главмоспромстройматериалов КЖБК-2, ЖБИ-18, ЖБИ-21, Бескудниковском комбинате стройматериалов № 1, а также в городах Минск, Омск, Куйбышев, Пермь и др.

Максимальные габариты разрушаемых железобетонных изделий по высоте на данных технологических линиях определялись типами используемой установки первичного дробления и составляли до 0,6 м.

В 1985 г. СКТБ Главмоспромстройматериалов (рук. работ Гиллер Д.А.) разработал и внедрил технологическую линию по переработке крупногабаритных железобетонных изделий и конструкций с применением установки первичного дробления УПНт-12-3,5-1,6 (рис. 25).

Конструктивное решение рычажного пресса с двумя рабочими ножевыми балками копра, расположенными на разных уровнях с автономной системой гидроприводов, позволяет разрушать установленные на колосниковом столе железобетонные изделия высотой до 1,6 м.

Технологическое оборудование, используемое на рассмотренных линиях по переработке некондиционного бетона и железобетона, обеспечивает получение вторичного щебня, применение которого допускается лишь при устройстве подстилающих слоев дорожных одежд и оснований.

Эффективность применения щебня из дробленого бетона резко возрастает при использовании его вместо заполнителя из природного каменного материала при производстве конструкций из сборного железобетона непосредственно на предприятии, где осуществляется переработка. Для этого необходимо обеспечить получение фракционированного щебня из дробленого бетона, что потребует дополнительного оснащения существующих линий дробильно-сортировальным оборудованием.

В 1986 г. липецким филиалом КТБ "Стройиндустрия" Минюгстроя СССР в соответствии с рекомендациями НИИЖБа, и СКТБ Главмоспромстройматериалов был разработан проект технологической линии по переработке некондиционного железобетона, предусматривающий на заключительной стадии перера-

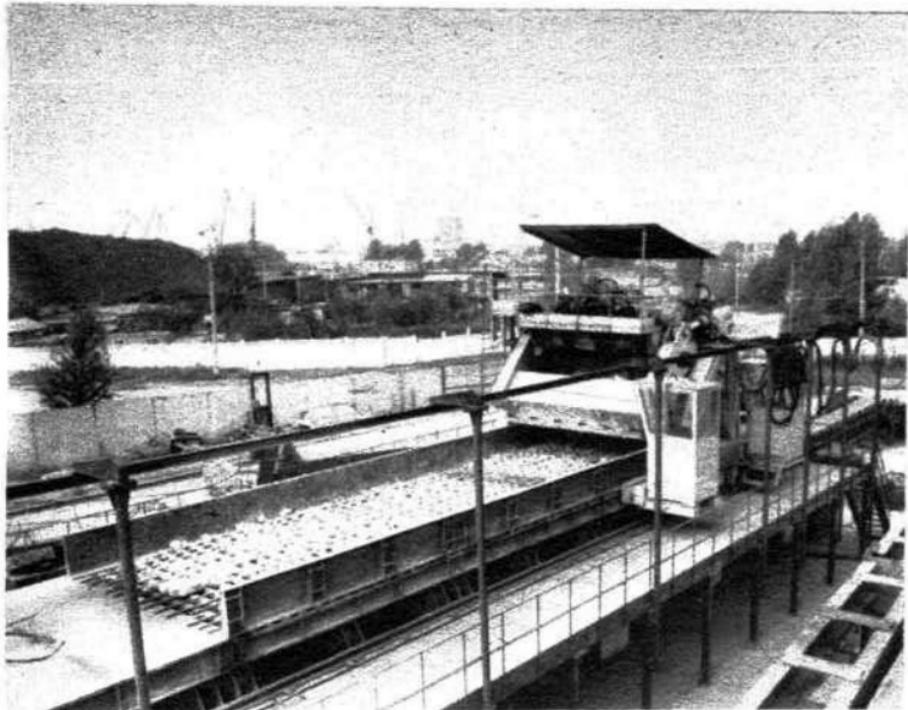


Рис. 25. Установка первичного дробления УПН 12-3,5-1,5 на заводе ЖБИ-7 Главмоспромстройматериалов

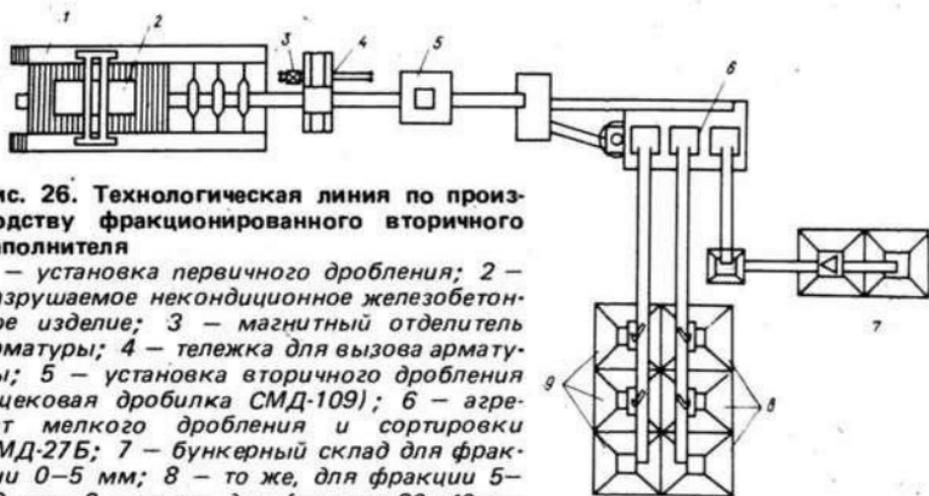


Рис. 26. Технологическая линия по производству фракционированного вторичного заполнителя

1 — установка первичного дробления; 2 — разрушаемое некондиционное железобетонное изделие; 3 — магнитный отделитель арматуры; 4 — тележка для вызова арматуры; 5 — установка вторичного дробления (щековая дробилка СМД-109); 6 — агрегат мелкого дробления и сортировки СМД-27Б; 7 — бункерный склад для фракции 0-5 мм; 8 — то же, для фракции 5-20 мм; 9 — то же, для фракции 20-40 мм

ботки использование агрегата мелкого дробления и сортировки СМД-27Б (рис. 26).

Основные технико-экономические показатели технологической линии

Годовой выпуск вторичного щебня, м ³	25 700
В том числе, фракций, мм:	
0-5	7710
5-20	12 850
20-40	5140
Объем утилизированной арматуры, т	более 1000
Максимальные габариты разрушаемого некондиционного железобетона, м	24x3, 5x0,6
Масса оборудования, т	170
Занимаемая площадь с учетом склада некондиции, м ²	4800
Установленная мощность электрооборудования, кВт	290
Количество производственных рабочих, чел	5
Стоимость оборудования, тыс. руб	232,7
Стоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб	267
Годовая прибыль, тыс. руб	138,3

Технологические линии по переработке бетонных отходов и некондиционного железобетона позволяют создать безотходное производство их на предприятиях стройиндустрии и вернуть народному хозяйству значительное количество строительного материала.

Из зарубежной практики переработки некондиционного бетона и железобетона на стационарных технологических линиях следует отметить опыт ФРГ, Голландии, Англии, Японии и США.

Западно-германская фирма ГМБХ в 1983 г. ввела в Дюссельдорфе в эксплуатацию первый завод по утилизации строительных отходов. Завод по техническим и экономическим показателям отвечает самым современным требованиям. Машины работают в режиме минимальной вибрации и очень не высокого уровня шума.

Функциональное назначение технологической линии состоит в получении из строительного мусора вторичного щебня, который по своим техническим характеристикам отвечал бы требованиям дорожного строительства в ФРГ и мог бы использоваться в качестве материала для устройства щебеночной подготовки площадок и оснований под покрытие дорог большой грузонапряженности.

Сырьем для работы линии являются бетонный лом, кирпичный бой, а также материал отслужившего дорожного покрытия, которые подвозятся на завод.

Предельные габариты загружаемого материала не превышают 1000x800 мм. негабаритный материал проходит предварительное дробление. Максимальная производительность составляет в зависимости от характеристики исходного материала приблизительно 220 т/ч.

Переработка осуществляется по технологической схеме (рис. 27) в несколько стадий: первичное дробление; сортировка; вторичное дробление; удаление древесины и мойка.

С помощью самосвалов или колесных автопогрузчиков строительный мусор подается в загрузочный бункер. Материал с размером зерен менее 45 мм первичному дроблению не подвергается. Вместе с частичками грунта он попадает на тяжелый грохот, отсеи-

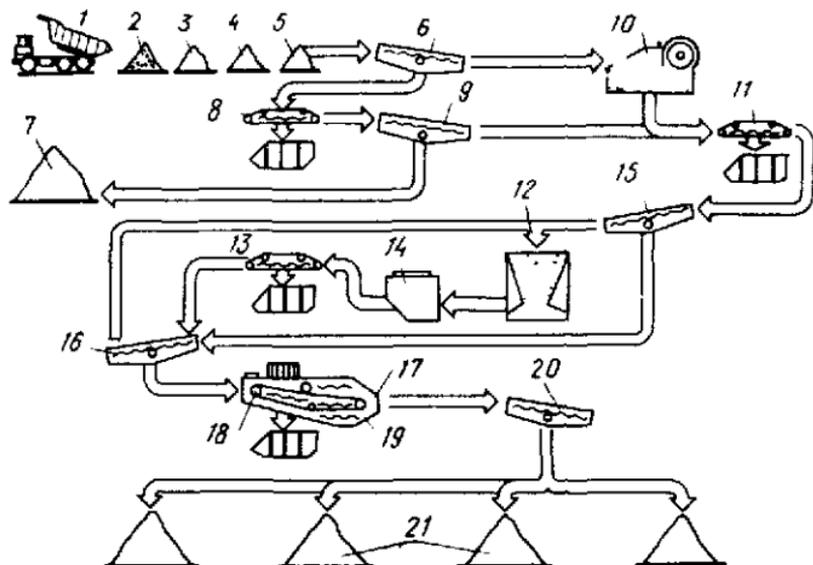


Рис. 27. Технологическая линия по переработке строительных отходов
 1 — автотранспорт; 2 — смесь; 3 — бетон; 4 — кирпич; 5 — асфальт; 6 — установка для грохочения тяжелого металла; 7 — песок-заполнитель; 8 — электромагнит; 9 — отсеивание песка; 10 — ударная дробилка; 11 — электромагнит; 12 — резервный бункер; 13 — электромагнит; 14 — ударно-отражательная мельница; 15 — грохот; 16 — грохот; 17 — водоочистка; 18 — акваматор; 19 — щела, органические компоненты; 20 — фракционирование; 21 — склад вторичных заполнителей

вается и разгружается на сторону. На первом передаточном конвейере смонтирован небольшой магнитный сепаратор, предназначенный для удаления из потока материала железных предметов небольшого размера.

Далее на установке сухого грохочения осуществляется разделение фракций — 8–40 мм и 0–8 мм. Так как в мелкой фракции содержится преимущественно грунт, этот материал целесообразнее всего применять как наполнитель.

Однако, как показали исследования, мелкая фракция может быть подвергнута дальнейшей переработке на промывочной установке, смонтированной после установки сухого грохочения. Таким образом появляется возможность для регенерации еще одного строительного материала. Получаемый при этом шлам с размерами частиц менее 0,05 мм выводится из моечной воды с помощью ленточного фильтр-пресса в виде достаточно плотной массы, которая вывозится грузовыми автомашинами.

В процессе дальнейшей переработки отсеянная фракция 8–40 мм вновь смешивается с первично измельченным материалом.

Крупнокусковый материал измельчается в первичной дробилке ударного действия до размера зерна 0–200 мм, причем в процессе

дробления происходит отделение от бетона арматурной стали, которая вылавливается из дробленого продукта с помощью еще одного электромагнитного ленточного сепаратора. В качестве установки первичного дробления применена дробилка ударного действия с шириной приемного отверстия 1000x800 мм. Использование дробилки такой конструкции при переработке строительного мусора отличается рядом существенных преимуществ сравнительно со щекowymi дробилками, в частности: производительность на дроблении увеличивается почти на 30%;

благодаря ударному действию получается зерно кубической формы; отсутствие движений трения дробящих щек благоприятно сказывается на их износе (так, на установке в Дюссельдорфе на одном комплекте дробящих щек было переработано 250 000 т строительного мусора);

приемное отверстие дробилки расположено наклонно к направлению транспортировки, в результате чего металлические предметы попадают на ленту конвейера, не повреждая ее;

дробилка устойчива к воздействию железных предметов, находящихся в измельчаемом материале; швеллерный профиль и балки расплющиваются в результате ударного воздействия; значительно снижается потребность в электроэнергии.

Для гашения колебаний дробилка, весящая вместе с противовесом 120 т, установлена на амортизирующую раму, оборудованную амортизаторами-гасителями, за счет чего достигается оптимальная плавность хода.

Измельченный материал с помощью ленточных конвейеров подается на участок вторичного дробления, где измельчается в ударно-отражательной мельнице до конечной крупности фракции зерен 0—45 мм. Понижение скорости вращения ротора с 900 до 400 об/мин позволило получать на этом участке материал кубической формы с не очень высоким содержанием растворной составляющей.

Пройдя еще один участок электромагнитной сепарации, измельченный материал попадает в установку сортировки и мойки.

На сортировочной установке отсеивается и вновь возвращается в процесс материал избыточной крупности, т.е. крупнее 45 мм. Чтобы не перегружать промывочную установку "акваматор", осуществляется разделение вторичного заполнителя на фракции 0—8 и 8—45 мм, причем последняя фракция идет на отмывку в "акваматор", где происходит удаление всех компонентов, отрицательно влияющих на последующее использование материала.

"Акваматор" был разработан в ФРГ и успешно используется на предприятиях по производству гравия и в каменоломнях. С его помощью осуществляется отмывка вредных примесей щепы, угля, ископаемых примесей, тростника, корневищ, мягких и газо-содержащих пород, более легких по массе, чем регенерируемый материал.

Отмываемая фракция подается по желобу на поперечно-лотковую конвейерную ленту с гибкими волнистыми наружными кромками. На установке формируются два разнонаправленных потока с образованием пленок:

один поток в направлении движения транспортируемого материала по отношению к "акваматору" за счет силы трения ленты. Изменения осуществляются путем регулирования скорости и угла разгрузки;

другой поток навстречу движению ленты потоком жидкости. Изменения осуществляются путем регулирования высоты и скорости тока жидкости.

Образование жидкостной ванны в зоне лотка в сочетании с регулировкой наклона стока на конце ленты обеспечивает разделение материала по плотности: в направлении транспортировки потоком выносятся тяжелые частицы (крупность гравия или мелко-го щебня); по направлению к концу ленты в потоке жидкости отсортировываются легкие суспендируемые частицы.

После очистки вторичный наполнитель 0-45 мм отсыпается в отвал. При необходимости полученный материал фракционируется.

Сердцевиной установки по переработке вторичного строительного сырья является система водоочистки. Для промывки материала и удаления органики требуется $150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Через приемный бассейн вместимостью 25 м^3 вода закачивается в постоянную систему циркуляции. Содержимое бассейна в течение часа оборачивается 6 раз, потребность в добавке свежей воды составляет 2 м^3 . Отработанная вода с помощью футерованного насоса закачивается в циклон. При этом тонкие пески (крупные 0,05 мм) разгружаются и возвращаются в материалопоток. Вода обогащается на 35% шламами и превращается таким образом в тяжелую суспензию плотностью до $1,4 \text{ т}/\text{м}^3$. Так как обратная вода подается в малый приемный бассейн с высоты 5 м, образуется мощное поле турбуленции. Тонкие субстанции не успевают осесть и сразу же возвращаются в цикл мокрого обогащения.

По истечении около 40 ч достигается максимальная степень насыщения. К этому моменту вода отводится в осадительно-успокоительный бассейн, из которого спустя несколько дней удаляется шламовый осадок (около $10-12 \text{ м}^3$ в неделю).

На основании результатов, полученных с начала ввода Дюсельдорфской линии по переработке строительных отходов, принято решение о ее расширении и увеличении объемов переработки на ней. Способствовали этому принятые законы в ФРГ, как и в Голландии, согласно которым после сноса любых строительных зданий и сооружений дробление и регенерация отходов должны проводиться на месте с помощью специализированного технологического оборудования.

В Голландии в настоящее время около 30 фирм занимается переработкой строительных отходов для получения материалов,

применяющихся для устройства оснований дорожной одежды и в качестве заполнителей для бетона и асфальта [19].

Технология переработки строительных отходов осуществляется по схеме, приведенной на рис. 28, и состоит из предварительной сортировки вручную (т.е. удаления больших кусков дерева) и предварительного просеивания, например, частиц менее 10 мм, для удаления мелких примесей.

Уменьшение крупности частиц материала по возможности проводится в два этапа. Обычно для первичного дробления применяются щековые или молотковые дробилки, а на втором этапе — щековые, ударные или конусные дробилки. Между двумя этапами дробления удаляется железо и жечь с помощью электромагнитов.

На следующем этапе технологического процесса многие фирмы применяют промывку для отделения из вторичного материала таких легких фракций, как дерево, бумага, пластмасса. Такая промывка (с помощью акваматора или шнековой промывочной машины) весьма эффективна, позволяет значительно уменьшить содержание примесей и посторонних материалов в конечном продукте.

После вторичного дробления материал просеивается до получения необходимой крупности. При использовании для измельчения молотковой дробилки можно получить довольно равномерный гранулометрический состав. Однако, если целью переработки является получение главным образом крупного заполнителя, наилучшие результаты позволяет получить щековая дробилка.

Английская фирма "Паркер Планта" обследовала методы переработки некондиционного бетона и железобетона европейскими фирмами. Анализировались при этом следующие факторы: доступ к участку сноса зданий и сооружений; пригодность грунта на участках сноса для установки оборудования; наличие свободной площадки на участке сноса для размещения временных перерабатывающих установок; ограничение транспортной высоты передвижного оборудования; время на перемещение, монтаж и пуск перерабатывающих установок; складирование материала, ожидающего переработки после предварительной подготовки; выпуск готового продукта в соответствии с потребностью его на других участках; хранение готового продукта переработки.

В результате была показана экономическая целесообразность применения для крупных городов одной или нескольких централизованных перерабатывающих линий стационарного типа. Участки для таких постоянно действующих линий могут быть подготовлены гораздо лучше, чем для временных. Можно предусмотреть расположение отдельных приемных площадей, куда будет поступать материал с участков сноса, и площади для хранения готовой продукции до вывоза потребителю.

При отсутствии ограничения высоты перерабатывающих установок они могут быть сконструированы и смонтированы на бо-

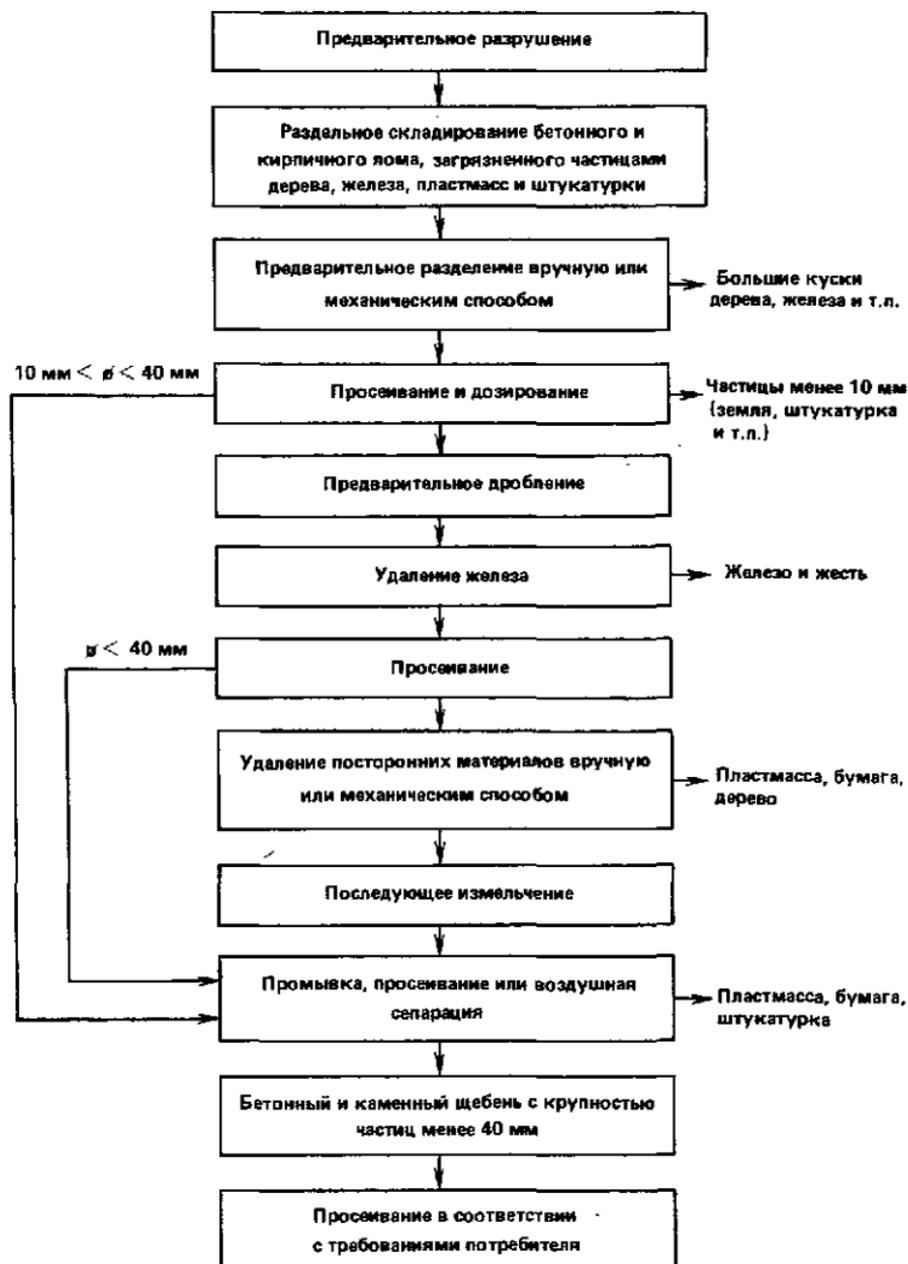


Рис. 28. Технологическая схема переработки отходов строительства (Нидерланды)

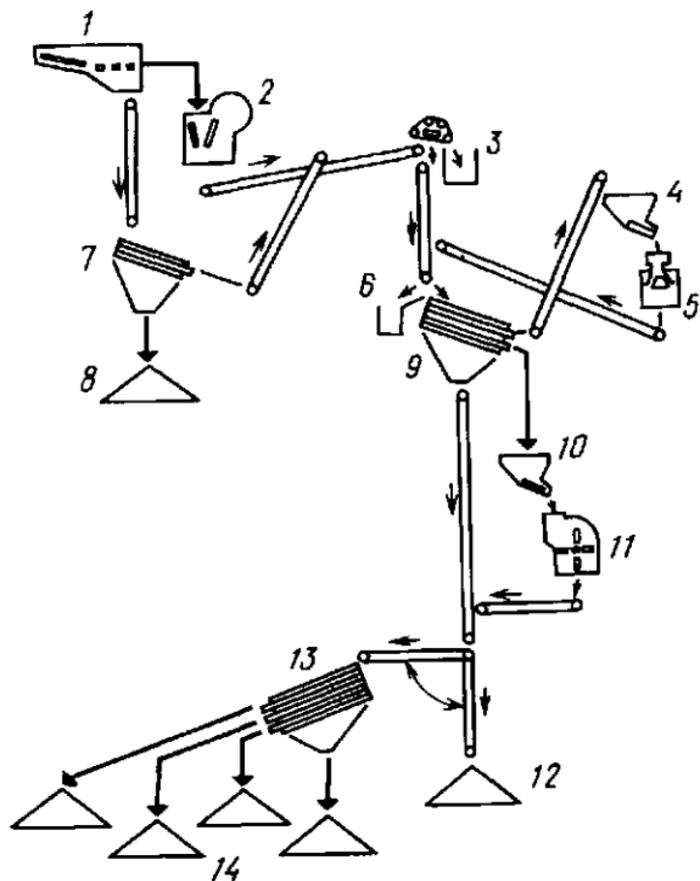


Рис. 29. Технологическая схема переработки отходов строительства фирмой "Паркер Плэнт" (Англия)

1 – вибрирующий подающий конвейер; 2 – первичная щековая дробилка; 3 – магнитный отделитель металла; 4 – виброворонка; 5 – вторичная конусная дробилка; 6 – магнитный передний барабан; 7 – грохот для отделения грязи; 8 – грязь; 9 – предварительный грохот; 10 – виброток; 11 – третичная ударная дробилка; 12 – нефракционированный продукт переработки; 13 – гранулометрический грохот; 14 – пофракционное хранение продукта

более высоком техническом уровне. Стационарная линия дает возможность подвести магистральное электропитание для всего технологического оборудования.

Используемые фирмой "Паркер Плэнт" технологические линии предназначены для переработки строительных отходов по схеме, приведенной на рис. 29.

Каждый вид поступающего материала перед дроблением складировается отдельно. Подготовка (предварительному расчленению) перед дроблением обычно подвергаются лишь железобетон и обломки от сноса зданий.

Европейскими фирмами в качестве узлов подачи строительных отходов используется медленно движущаяся конвейерная лента или вибрационный питатель. Механизм вибрационной подачи легче содержать в порядке — в нем меньше движущихся частей и меньше деталей, подверженных износу.

В вибрационный узел подачи может входить колосниковый грохот для удаления мелких частиц, тогда как при подаче конвейерного типа приходится устанавливать отдельный обдирочный грохот, т.е. еще один движущийся и изнашивающийся узел.

Обычно в узел подачи входит также приспособление для удаления грязи, земли, песка и т.п. Лотковая секция между узлом подачи и дробления сконструирована так, чтобы перерабатываемый материал в оптимальном положении попадал в дробильную установку. Для этого перепад высоты между выходом из узла подачи и входом в дробилку должен быть значительно большим, чем на обычных дробильных установках.

В качестве установок первичного дробления на технологических линиях используются специально сконструированные щековые дробилки, обеспечивающие переработку железобетона до 3 м в длину и 1 м в ширину.

Одной из важных зон первой стадии переработки железобетона на дробильной установке является зона выпуска материала с нижнего конца дробилки, где он переходит на главный конвейер. Чтобы позволить арматуре, освобожденной в дробилке от бетона, беспрепятственно попадать на конвейер, предусматривается значительный по высоте просвет — от 1,7 до 2 м.

Направляющий лоток сконструирован таким образом, чтобы не допустить заклинивания материала и обеспечить правильную укладку дробленого материала и арматурных изделий на конвейер.

Ширина конвейера приблизительно равна ширине дробилки, а конвейерная лента не имеет металлических соединительных скоб, так как стальная арматура, поступающая на конвейер, может их оторвать. Рекомендуется вулканизационная стыковка конвейерной ленты.

Движение конвейера значительно медленнее, чем на обычных дробильных установках, чтобы металл арматуры мог надежно удаляться магнитом. После удаления металла последующие этапы технологического цикла переработки аналогичны этапам переработки на обычных дробильных установках.

Количество дробильных ступеней и грохотов для функционирования определяется требованиями к готовой продукции.

В Японии технологические линии по производству вторичных заполнителей из бетонного лома, как правило, запроектированы по схеме (рис. 30) и перерабатывают предварительно расчлененные куски бетона до размера 400 мм.

Комплект технологического оборудования линии содержит щековую первичную дробилку производительностью 60 т/ч, грохо-

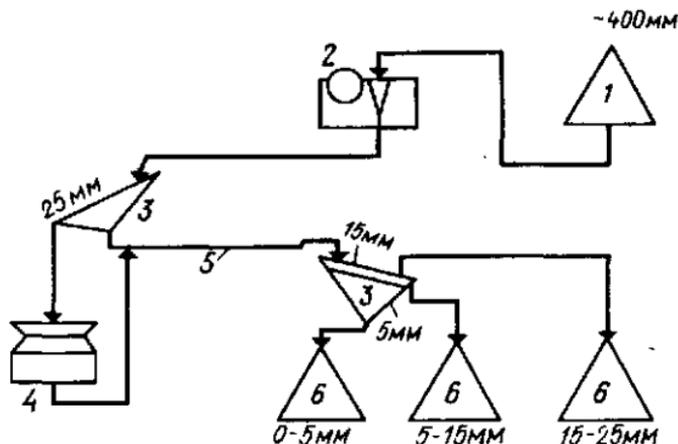


Рис. 30. Схема технологической линии производства заполнителей из бетонного лома (Япония)

1 — исходные бетонные куски размером 400 мм; 2 — щековая дробилка производительностью 60 т/ч; 3 — грохот; 4 — конусная дробилка производительностью 27 т/ч; 5 — ленточный конвейер; 6 — склад заполнителей

ты, конусную вторичную дробилку производительностью 27 т/ч, систему ленточных конвейеров и бункеры склада готовой продукции.

Последовательность выполнения технологических процессов на линии аналогична выполнению технологических процессов в производствах по переработке некондиционного бетона и железобетона, созданных европейскими фирмами.

Технологическая линия фирмы "Бойес" (США) предназначена для дробления железобетонных колонн длиной до 5,4 м и бетонных отходов, поступающих с площадок сноса зданий и сооружений. Линия оснащена установкой первичного дробления, разработанной фирмой "Айова Мануфактринг" совместно с "Бойес".

Бетонный лом размером до 130 см виброконвейером подается в первичную щековую дробилку, а колонны поднимаются краном и одним концом опускаются в нее. Из щековой дробилки материал свободно падает с высоты 5,4 м на ленточный конвейер, оборудованный ременной передачей. По опыту использования ленточных конвейеров фирма "Бойес" не рекомендует располагать их непосредственно за дробилкой, так как они в данном случае быстро изнашиваются.

Производительность перерабатывающей технологической линии составляет 200 т/ч, а в перспективе при модернизации ее — 300 т/ч.

В настоящее время Ленинградским научно-исследовательским институтом Академии коммунального хозяйства совместно с НИИЖБ разрабатывается мобильный технологический комплекс по переработке материалов, получаемых при разработке зданий. Создание и внедрение в отечественной практике таких комплексов позволит значительно увеличить объем утилизации некондиционного бетона и железобетона за счет использования их в регионах с рассредоточенным расположением предприятий строительной индустрии, где централизованный сбор и переработка бетонного лома на стационарном оборудовании технологических линий будут экономически не эффективны.

Из зарубежного опыта наибольшего внимания заслуживает мобильный технологический комплекс по переработке некондиционного бетона и железобетона фирмы "Хайеплант", эксплуатируемый в ряде стран Европы.

Основные рабочие механизмы, из которых состоит комплекс "Хайеплант" (рис. 31):

1) оборудование, обеспечивающее разрушение бетонного лома с использованием щековой дробилки и перемещение материала, не требующего переработки, по отводному конвейеру к складу готовой продукции (см. рис. 31, а);

2) устройство на основе гидравлического привода (домкрата), создающее зазор между дробилкой и приемным конвейером в широком диапазоне. Тем самым предотвращается возможность создания препятствий поступающей после дробилки арматуры и разрыва конвейерной ленты или ременной передачи привода;

3) независимый принимающий ленточный конвейер с установленным магнитным отделителем, обеспечивающим извлечение из транспортируемого материала металлической арматуры (рис. 32, б);

4) устройство, позволяющее принимать бетонный лом с наибольшим размером 750 мм и перерабатывать до 380 т/ч.

Район Детройта штата Мичиган из-за отсутствия месторождений естественных заполнителей одним из первых районов континентальной части США стал повторно использовать переработанный бетон.

Первичное дробление производится оборудованием портативного технологического комплекса фирмы "Юниверсал Энжиниринг", который включает щековую дробилку и вибрационный колосниковый питатель размером 1117,6x5486 мм.

Оборудование вторичного дробления включает двоярный барабанный грохот фирмы "Липпман" размером 0,914x1,829 м и щековую дробилку той же фирмы размером 254x160,4 мм, смонтированные на одном шасси.

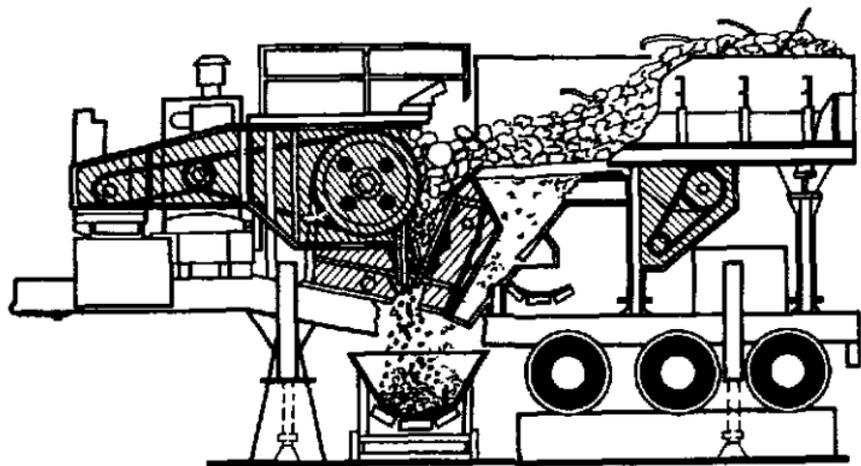
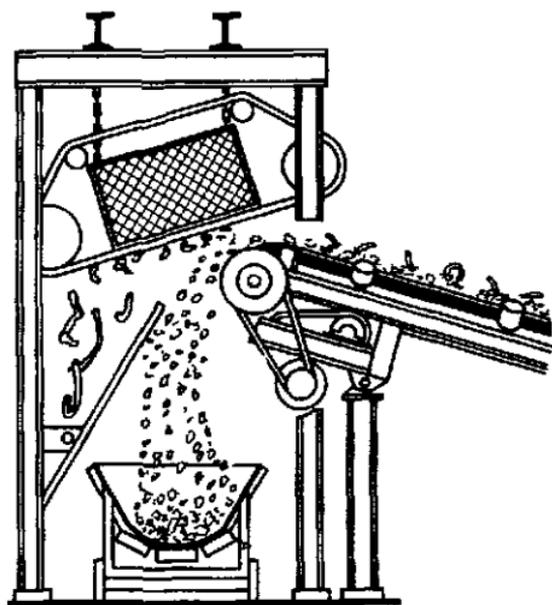


Рис. 31. Технологический мобильный комплекс по переработке некондиционного бетона и железобетона фирмы "Хайеплант" (Нидерланды)

а — установка первичного дробления; *б* — устройство по отделению арматурных изделий из дробленого бетона



Оборудование первичного и вторичного дробления может быть использовано как отдельные комплексы на различных площадках и в едином комплексе, установленном в технологическую линию.

Подвозимые куски разрушенных сооружений или демонтированные конструкции хранятся на складе исходных материалов, где подвергаются предварительному разрушению с помощью подвешенных на кранах шаров для обеспечения допустимых размеров приема оборудованием первичного дробления и частичного удаления арматуры из бетонного лома

Щеки первичной дробилки обычно обеспечивают щель шириной 101,6 мм, но могут раздвигаться на 203,2 мм. Первичная дробилка имеет производительность примерно 165 т/ч.

Система вторичного дробления не принимает больших по размеру материалов.

Куски арматуры извлекаются из продуктов дробления железобетона рабочими, стоящими вдоль конвейера, соединяющего оборудование первичной переработки с оборудованием вторичной. Арматурная проволока, прошедшая через грохот удаляется с помощью электромагнита, расположенного над конвейером.

Куски бетона, перемещаясь над верхней декой сдвоенного барабанного грохота фирмы "Липпман", попадают во вторичную дробилку. Измельченные до 50,8 мм куски бетона направляются в закрытую циркуляционную систему или на склад конечного продукта.

Фракции размером 38,1—76,2 мм и меньше 38,1 мм направляются по соответствующим 18-метровым конвейерам к складу готовой продукции.

Питание оборудования первичного и вторичного дробления бетонного лома осуществляется от дизельной силовой установки. Дробильное оборудование обслуживают 4 чел.

Конечный продукт грузится со склада погрузчиком обычно в те же машины, которые доставили разбитый бетон к дробильному оборудованию. Тем самым исключаются холостые пробеги.

Признанным методом строительства [23] стало использование материалов разрушенного бетонного дорожного покрытия в г. Чикаго (США). Дробление разрушаемого дорожного покрытия проводит фирма "С. Дж. Грове энд Санс".

Для переработки разрушенного бетона используется стандартное дробильно-сортировочное оборудование. Агрегат первичной переработки включает основную щековую дробилку "Пионер 2448" и повторную щековую дробилку "Кью-Кем 3042". Агрегат вторичной переработки "Пионер 50 УЕ" включает грохот размером 1,5x4,3 м, 90-миллиметровую трехвалковую дробилку и лусковую дробилку. Общая производительность составляет 200 т/ч.

Дорожное покрытие разрушается парой покрытьеломов, состоящих из свайного дизель-молота, передвижение и снабжение энергией которого обеспечивается колесным бульдозером.

Молот развивает разрушающую силу 24 т/м и совершает свыше 100 ударов в 1 мин по квадратной площадке со стороной 406,4 мм. В результате откалывается бетонная плита размером 400x450 мм. При погружении ее в щековую дробилку бетон отделяется от волоочной сетки.

Электромагнит ленточного типа, перекрывающий ленту грузового конвейера между агрегатами первичного и вторичного дробления, притягивает сетки или арматурные стержни и подает их в штабель, который периодически разравнивается скрепером.

При работах по реконструкции дорожного покрытия вблизи г. Эймса (США) управление транспорта штата Айова использовало мобильный технологический комплекс по переработке некондиционного железобетона.

Разрушение покрытия осуществлялось с помощью дизельного сваебойного молота "Тампер". Его производительность составляла 125–167 м²/ч, но может достигать 334 м²/ч. Ввиду трудоемкости операции по отделению арматурной стали из разрушенного железобетона, темпы работ были ниже, чем при удалении покрытия из неармированного бетона.

Для части работ использовался другой бетонолом — "резонансный молот". Виброголовка бетонолома опиралась на покрытие и взламывала его с помощью ударов высокой частоты (44 циклов/с). Производительность работ с использованием этого молота (модель РВ-4) была выше, чем при применении "Тампера" и составляла в среднем 460–560 м²/ч.

Удаление арматурной стали осуществлялось с помощью пневмоколесного гидравлического экскаватора повышенной проходимости типа "обратной лопаты", снабженного "рогом носорога". Лишний бетон с арматуры и разрезание стержней с помощью газовых резаков выполняли вручную 7 рабочих. Производительность труда во время работы по удалению арматурной стали после первоначального взламывания покрытия составляла в среднем 457 м или 38 т в день.

Арматурная сталь, освобожденная от бетона, грузилась на полуприцеп отрезками длиной 12 м и перевозилась на место складирования для последующей утилизации. Стоимость полученной стали по сравнению с затратами на удаление, разрезание, транспортировку и складирование незначительна, поэтому отрезки арматуры с кусками налипшего бетона вывозились на свалку.

Бетонный лом с помощью погрузчиков подавался на самосвалы, а затем транспортировался на расстояние в среднем 3,2 км к дробилке, располагавшейся рядом с ближайшим пунктом обмена его на вторичный щебень.

Дробление бетона старого покрытия осуществлялось с помощью первичной дробилки ударного действия модели "Айова 4336" и вторичной молотковой дробилки "Юниверсал-4136". Материал крупностью до 76 мм подавался погрузчиком через грохот на вторую стадию дробления, а материал крупностью более 76 мм — на первичную дробилку.

Ввиду высокой истирающей способности бетонного лома приходилось наращивать через день ударник первичной дробилки путем наваривания металла или заменять его, а молотки вторичной дробилки наращивать дважды в день.

Обратная лопата с рабочим органом типа "рог носорога" была установлена рядом с грохотом для удаления отрезков стали длиной 1,5 м и более. После перемещения через первичную дробилку арматурная сталь удалялась с помощью самоочищающегося элект-

ромагнитного крана силой тока 60 А и грузоподъемностью 3,5 т. Электромагнитом с ленточного конвейера удалялась вся оставшаяся сталь после дробилки. Двигаясь по ленточному конвейеру в боковом направлении, арматурная сталь с помощью отражателя сбрасывалась в желоб, а затем в грузовую машину, стоявшую под ним.

Дробленый бетон применялся в качестве материала для нового подстилающего слоя дорожного покрытия и вторичного заполнителя асфальтобетона, который использовался главным образом для устройства обочин и подъездных дорог для автотранспорта.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

В последнее время во всем мире заметно повысился интерес к повторному использованию бетона в строительном производстве. На первом этапе в большинстве стран повторно использовалась лишь незначительная часть разрушаемого бетона, и то в основном в качестве подстилающего слоя (щебеночной подготовке) при возведении автомагистралей, прокладке железных дорог и устройстве временных площадок. Сейчас ситуация быстро изменяется. Вторичный заполнитель из бетонолома становится в один ряд с другими строительными материалами и предусматривается в проектах реконструкции различных стран. НИИЖБом на основании ранее проведенных исследований определены области применения крупного заполнителя [3]: при устройстве щебеночных оснований под полы и фундаменты зданий, под асфальтобетонные покрытия дорог всех классов; в качестве крупного заполнителя в бетонах прочностью 5–20 МПа при производстве бетонных и железобетонных изделий; в качестве крупного заполнителя в бетонах прочностью до 30 МПа при смешивании с природным щебнем.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта повторного использования бетона дало возможность допустить применение в качестве заполнителя при приготовлении бетонной смеси дробленого бетона (ГОСТ 26633–85). Одновременно были внесены требования по вопросам утилизации бетонных отходов и некондиционного железобетона в "Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона" (ОНТП–7–85). Разработка этих документов будет способствовать увеличению объемов эффективной переработки бетонного лома и его применения в практике строительства от 180 тыс. т в 1986 г. до 1–2 млн. т к 1990 г.

Американская спецификация стандартов для заполнителей бетона включает щебень из дробленого бетона на гидравлическом вяжущем. Япония и Нидерланды в настоящее время также ввели в действие стандарты на заполнители из дробленого бетона.

Т а б л и ц а 11. Использование вторичных бетонов

Категория вторичного бетона	Область применения	Максимальная прочность на сжатие, МПа	
		проектная (стандартная)	реальная
I	Общее малоэтажное строительство, малоэтажное многоквартирное жилищное строительство, то же, индивидуальное, фундаменты складских и производственных помещений	18	30
II	Бетонные блоки фундаментов, гаражи и легкие подсобные помещения, станины машин и механизмов и т.д.	15	27
III	Фундаменты деревянных конструкций ворот, заборы, легкие фундаменты под машины и механизмы и т.п.	12	24

Согласно стандарту Японии, вторичный бетон подразделяется на три категории (табл. 11):

I категория — обычный мелкий заполнитель + вторичный крупный заполнитель;

II категория — обычный и вторичный мелкие заполнители + + вторичный крупный заполнитель;

III категория — вторичный крупный и мелкий заполнители.

Японские специалисты указывают на целесообразность широкого использования щебня из дробленого бетона. При этом обеспечивается экономия топливно-энергетических и природных ресурсов при приготовлении бетонов на бетонных заводах.

Американские ученые, имеющие многолетний опыт переработки бетона, подчеркивают высокую экономичность переработки бетона. Так, стоимость 1 т природного заполнителя составляет 3,3 долл., 1 т вторичного заполнителя — 1,67 долл. [24].

Эффективно занимается регенерацией бетона фирма "Бойес Эсквейтинг" (США).

Осуществляется производство вторичного щебня пяти фракций с максимальной крупностью зерен до 75 мм. Основной объем выпускаемого щебня используется для устройства оснований административных зданий. В этом случае бетон на основе крупного вторичного заполнителя имеет себестоимость на 25% ниже, чем бетон на природном щебне.

Фирма "Таффи Крашд Конкрит" является одной из специализирующихся на дроблении бетона. Основная область применения

дробленого материала — при прокладке дорог и сооружении стоянок автомобилей.

В странах ЕЭС первые исследования по применению в строительстве отходов из бетонного лома были проведены в Нидерландах, Бельгии и ФРГ.

Специалистами этих стран уделялось серьезное внимание как изучению свойств бетонных отходов, так и различным видам дробильного оборудования: щековым, конусным, ударным или роторно-молотковым дробилкам, а также средствам виброгрохочения.

Основная физико-механическая характеристика щебня, получаемого из дробленого бетона

Плотность, кг/м ³	2150—2450
Фактор дробимости	0,7—0,79
Содержание влажности, %	3—6
Водопоглощение, %	4—5
Потери при прокаливании, %	5

Результаты исследований в основном подтверждают вышеописанные закономерности влияния вторичных заполнителей на свойства бетона. На основании этого рекомендовано использование только крупного вторичного заполнителя для приготовления бетона, близкого по своим прочностным характеристикам к аналогичному составу бетона на гравии (табл. 12).

Таким образом, использование щебня из дробленого бетона возможно в производстве бетона, где рекомендуется использование в качестве заполнителя гравия.

Примерами такого применения могут служить работы по реконструированию аэропорта Маастрихт, где использовался бетон следующего состава: крупный вторичный заполнитель фракций 15—30 и 0—15, мелкий вторичный заполнитель; портландцемент — 380 кг/м³. Запроектированный состав вторичного бетона при твердении обеспечил требуемые прочностные характеристики [19].

Исследования участков дорожного покрытия близ Хелмонда, выполненных из бетонов на гравии и вторичном заполнителе, показали, что использование щебня из дробленого бетона не оказывает существенного влияния на морозостойкость данных бетонов.

В 1982 г. проведено испытание конструкций внутреннего каркаса метрополитена в г. Роттердаме, ранее изготовленных с использованием вторичного бетона. Полученные результаты аналогичны данным, имевшим место при проведении предварительных исследований голландских ученых.

В 1984 г. в Нидерландах выполнены успешные исследования, позволившие освоить массовое производство стеновых панелей для жилых зданий с использованием вторичного бетона. Расход цемента в бетоне на вторичных заполнителях не превышал расхода цемента в бетоне с применением гравия и обеспечил достижение требуемой прочности бетона на сжатие 22,5 МПа.

Т а б л и ц а 12. Физико-механические характеристики бетонов на вторичном заполнителе и исходном гравии

Характеристики	Исходный бетон на гравии	Вторичный бетон на гравии	Исходный бетон на гравии	Вторичный бетон на гравии
Расход цемента, кг/м ³	263	285	370	411
Водоцементное отношение	0,6	0,63	0,43	0,45
Плотность, кг/м ³	2333	2243	2344	2267
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут, МПа	30,6	33,1	53,4	57,1
Максимальные деформации, %	2,4	2,7	1,9	3,2
Модуль упругости, МПа	30 100	27 900	37 400	30 800

В Амерсфоорте (Нидерланды) смонтировано несколько домов с использованием внутренних стеновых панелей, изготовленных на основе вторичных бетонов. При обследовании эксплуатируемых зданий наличия трещин на стеновых панелях не обнаружено.

При реконструкции шоссе в штате Айова (США) было принято решение о снятии старого железобетонного покрытия, переработке его и повторном использовании дробленого бетона в качестве нового подстилающего слоя и наполнителя при приготовлении асфальтобетона. Новое покрытие эксплуатируется уже более трех лет и находится в отличном состоянии.

Использование дробленого бетона при строительстве дорог широко применяется и в Нидерландах, например при строительстве кольцевой дороги в г. Лейдшендаме и Ноотдорпе.

На основании анализа накопленного отечественного и зарубежного опыта можно сделать вывод, что полученный после переработки бетона вторичный щебень рекомендуется использовать при устройстве подстилающего слоя подъездных и малонапряженных дорог, фундаментов под складские, производственные помещения и небольшие механизмы; устройстве основания или покрытия пешеходных дорожек, автостоянок, прогулочных ал-

лей, откосов вдоль рек и каналов; приготовлении бетона, используемого для устройства покрытия пешеходных дорожек, внутренних площадок гаражей и сельских дорог; заводском производстве бетонных и железобетонных изделий прочностью до 30 МПа.

Дальнейшие научные исследования в данном направлении должны быть нацелены на улучшение качества заполнителя из дробленого бетона за счет его специальной обработки.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ДРОБЛЕНОГО БЕТОНА

Важное значение в практике применения дробленого бетона имеет фракционный состав материала, получаемый после разрушения некондиционных изделий. Задача заключается в определении содержания фракции, соответствующей по размерам крупному заполнителю. Необходимость такого выделения связана с тем, что анализ экспериментальных данных, полученных как в нашей стране, так и за рубежом, показал ухудшение всех эксплуатационных характеристик бетонов, полученных с применением дробленого бетона в качестве мелкого заполнителя. Эффективность применения дробленого бетона в качестве крупного заполнителя не вызывает сомнений.

В работе [14] приведены результаты исследований дробленого бетона, полученного при разрушении некондиционных изделий из тяжелого бетона прочностью 20 МПа на установке УПН-7 Комбината железобетонных конструкций № 2 Главмоспромстройматериалов.

Состав исходного бетона разрушенных изделий:

а) внутренняя стеновая панель 5В 16-2: портландцемент Воскресенского объединения М 400 — 330 кг; песок Тучковского карьера — 795 кг с $M_{кр} = 2$; щебень Вяземского карьера фракции 5—20 мм — 1084 кг; вода 192 л; СДБ (модиф.) — 0,4%; Na_2SO_4 — 1%;

б) электропанель ЭБ-12: портландцемент Воскресенского объединения М 400 — 270 кг; песок Тучковского карьера, $M_{кр} = 2$ — 737 кг; щебень Вяземского карьера фракции 5—20 мм — 1192 кг; вода — 182 л; СДБ (модиф.) — 0,5%, Na_2SO_4 — 1%.

Результаты ситового анализа дробленого бетона представлены в табл. 13.

Характер рассева свидетельствует о том, что практическое применение дробленого бетона в качестве крупного заполнителя без дополнительного фракционирования невозможно. Так, например, в диапазоне наиболее широко применяемых фракций крупного заполнителя 5—40 мм попадает менее 60% переработанного установкой УПН-7 материала. При этом остаток на сите 40 составляет около 25% и его целесообразно использовать для дальнейшего додрабливания. Фракции дробленого бетона менее 5 мм (око-

Т а б л и ц а 13. Ситовый анализ дробленого бетона

№ пробы	Частный остаток на сите диаметром, мм									
	40		20		10		5		менее 5	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
I	7,08	23,6	6,6	22	7,41	24,7	4,11	13,7	4,80	16
II	8,28	27,6	5,34	17,8	5,34	17,8	4,41	14,7	6,63	22,1
III	6,66	22,2	5,7	19	7,59	25,3	3,69	12,3	6,36	21,2
IV	7,74	25,8	6,15	20,5	6,39	21,3	3,72	12,4	6	20
V	5,82	19,4	6,09	20,3	7,68	25,6	4,5	15	5,91	19,7
	7,11	23,7	5,98	19,9	6,88	22,9	4,09	13,7	5,94	19,8

ло 20%), содержащие в основном частицы растворного компонента в бетоне, следовательно, и более высокую концентрацию негидратированных клинкерных зерен, с успехом можно было использовать при получении вторичного вяжущего.

Наблюдается соотношение содержания фракций 5–10 и 10–20 мм примерно 1:2, что характерно для фракционного рассева щебня смешанной фракции 5–20 согласно ГОСТ 10260–82.

Следовательно, в случае отделения из общей массы фракций 5–20 мм ее можно непосредственно применять при изготовлении изделий из сборного железобетона.

Фракционирование дробленого бетона целесообразно использовать не на каждом отдельном предприятии после получения всей массы щебня, а на пункте переработки некондиционного железобетона. С этой целью предлагается доукомплектовать имеющееся оборудование по механическому разрушению некондиционных изделий из железобетона грохотом, а сбор мелких фракций осуществлять в отдельный бункер.

По подобной схеме организовано использование дробильно-сортировочного оборудования при переработке отходов строительного производства зарубежными фирмами.

Принципиальным отличием заполнителя из дробленого бетона от заполнителя из естественного каменного материала является раствор, налипший на зерна первоначального щебня. Вопрос количественного содержания этого компонента в различных фракциях щебня из бетонного лома имеет существенное значение для прогнозирования поведения этого заполнителя в бетонных смесях и в затвердевшем бетоне в целом.

При проведении эксперимента по определению компонентов в зернах различных фракций дробленого бетона использовался количественный анализ бетона с определением цемента по разности (ситовой метод), разработанный в НИИЖБ Госстроя СССР.

Проба, содержащая куски дробленого бетона определенной фракции, подвергалась обжигу до 600° в течение 3 ч. Затем при механическом разрушении отделяли гранулы исходного крупного заполнителя.

Полученную сухую смесь просеивали через сито с отверстиями 5 мм для отделения исходного крупного заполнителя от растворной части. Остаток на сите взвешивали и получали массу крупного заполнителя. Крупный заполнитель тщательно просматривали и замеченные при этом кусочки прилипшего раствора осторожно удаляли вручную шпателем.

Масса материала, прошедшего через сито, и присоединенная к ней часть налипшего раствора, представляла собой растворную часть бетона.

Для улучшения отделения частичек мелкого заполнителя — песка от дегидратированного цементного камня растворную составляющую подвергали обработке раствором азотнокислого аммония (NH_4NO_3). Сливание отработанного раствора производилось через фильтр, на котором могут остаться мелкие частицы цемента или песка. В связи с тем, что отдельные частицы песка карбонатного происхождения могут, хотя и незначительно, растворяться при кипячении в NH_4NO_3 , параллельно проводили "холостой" опыт — определяли потери в массе при обработке чистого песка в растворе NH_4NO_3 .

Затем полученный материал просеивали через сито с размером ячеек 0,14 мм, остаток на котором представляет собой мелкий заполнитель. Учитывая, что по ГОСТ 8736—85 в песке допускается до 10% фракции меньше 0,14 мм, при подсчете общего количества мелкого заполнителя к остатку на сите 0,14 мм добавляли еще 5% этой массы.

Полное содержание цемента определяли путем вычитания из общей массы пробы бетона суммы крупного и мелкого заполнителя, т.е. суммы остатков на всех ситах с учетом, как указано выше, доли песка во фракции меньше 0,14 мм.

Результаты проведенного анализа представлены в табл. 14, 15.

Как видно из табл. 15, содержание растворной составляющей в щебне из дробленого бетона фракции 10—20 мм и 20—40 мм примерно одинаково и соответствует ее количеству в исходном бетоне. В более мелкой фракции дробленого бетона 5—10 мм доля раствора увеличивается и достигает 75%.

Таким образом, в целом щебень из дробленого бетона содержит значительное количество растворной составляющей на зернах исходного естественного каменного материала, что приводит к снижению большинства эксплуатационных показателей бетона на заполнителе из бетонного лома.

Кроме того, структура такого щебня включает в себя контактную зону между исходным зерном щебня и раствором — наиболее слабое по прочности и высокопористое звено в структуре бетона.

Т а б л и ц а 14. Исходные данные для определения компонентов дробленого бетона

Масса образцов, г	Фракция щебня из дробленого бетона, мм		
	5-10	10-20	20-40
Навески после прокаливания	270	250	261
Крупного заполнителя (исходного щебня)	66	120	120
Растворной части бетона	204	130	141
Остатка на сите 0,14 мм	122	73	85

Т а б л и ц а 15. Содержание исходных материалов в щебне из дробленого бетона, %

Фракции щебня, мм	Цемент	Песок	Щебень
5-10	23,8	51,9	24,3
10-20	18,8	33,2	48
20-40	16,9	36,9	46,2

Т а б л и ц а 16. Характеристика щебня из дробленого бетона и исходного щебня Вяземского карьера фракции 5-20 мм

Щебень	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Марка щебня по дробимости	Морозостойкость циклов
Вяземского карьера	1360	0,8	Др 12	300
Из дробленого бетона	1170	7	Др 24	15

Содержание большого количества растворной составляющей в щебне из дробленого бетона значительно изменяет его свойства по сравнению со свойствами исходного щебня из естественного каменного материала. Поэтому представлялось необходимым оценить, насколько существенны эти изменения и к каким результатам может привести удаление растворной составляющей из вторичного щебня.

Присутствие растворного компонента в щебне значительно увеличивает его водопоглощение и дробимость, уменьшает морозостойкость (табл. 16).

На важное значение качества вторичных заполнителей для их эффективного использования указывают результаты исследований, проведенных в Японии (табл. 17, 18).

Показатель дробления при усилии 400 кН вторичного заполнителя составляет около 30%, если первоначальным заполнителем является речной гравий и примерно 24% — щебень.

Т а б л и ц а 17. Свойства вторичных заполнителей

Показатель	Вторичный крупный заполнитель	Вторичный мелкий заполнитель
Плотность, кг/м ³	Не менее 2200	Не менее 2000
Водопоглощение, %	Не более 7	Не более 13
Потери на отмучивание, %	Не более 1	Не более 8
Коэффициент формы, зерен	Не менее 53	—

Т а б л и ц а 18. Гранулометрический состав вторичных заполнителей

Крупность, мм	Прохождение фракций сквозь сита, %											
	30	25	20	15	10	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	
Крупный												
65	100	90-100	50-90	—	10-60	0-15	0-5	—	—	—	—	—
20	—	100	90-100	40-85	10-60	0-15	—	—	—	—	—	—
Мелкий	—	—	—	—	100	90-100	60-100	30-90	15-65	5-30	0-20	—

Вторичные заполнители уступают по качеству первоначальным с точки зрения формы частиц. У них также отмечаются более низкая плотность, масса на единицу объема и процент объема в плотном теле, более высокое водопоглощение, потери массы при испытании на сопротивление выветриванию и потери в результате истирания. Все эти изменения связаны с наличием растворной составляющей в щебне из цементобетона.

По данным С. Нисибаяси и др. [18], количество раствора, налипшего на вторичном крупном заполнителе, достигает 36–39% и по мере увеличения В/Ц первоначального бетона эта величина немного уменьшается. На мелких фракциях вторичного щебня растворной составляющей бетона остается больше. У частиц размером до 0,3 мм количество растворной составляющей достигает примерно 50%, тогда как на вторичном крупном заполнителе этот показатель составляет 20–25%.

МЕТОДЫ АКТИВАЦИИ ЩЕБНЯ ИЗ ДРОБЛЕНОГО БЕТОНА

Активация составляющих бетонной смеси позволяет существенно улучшить основные технические свойства бетона. Эффект активации заполнителей состоит в разрушении слабых зерен щебня или удалении остатков цементного камня, образовании свежих сколов, что приводит к повышению технических характеристик бетонов за счет улучшения качества контактной зоны. Для широкого внедрения методов активации составляющих бетонной смеси разработаны "Рекомендации по приготовлению активированных цементов, добавок и заполнителей к бетону" (М., НИИЖБ, 1986).

В качестве методов активации можно отметить механические, химические и др. При механических методах активации дробленого бетона предусматривается самоизмельчение при перемешивании щебня в смесительных установках или их обработку в шаровых мельницах с металлическими шарами.

При проведении исследований в НИИЖБ качество активированного щебня оценивалось по показателю дробимости, водопоглощению, насыпной массе (табл. 19). Определение этих характеристик проводилось согласно ГОСТ 8269-76.

Полученные результаты подтвердили высказанное предположение о возможности существенного улучшения качества щебня за счет избавления от растворной составляющей.

Наиболее хорошие результаты достигнуты в случае помола дробленого бетона со стальными шарами после предварительного низкотемпературного обжига. В данном случае был получен щебень, практически свободный от растворного компонента, а его свойства — дробимость, водопоглощение и насыпная плотность близки к аналогичным показателям исходного щебня Вяземского карьера.]

Другие методы обработки также обеспечивают значительное улучшение свойств заполнителей, хотя и несколько меньше. Обращает на себя внимание, что необработанный щебень имеет большее расхождение в показателях дробимости сухого и водонасыщенного щебня по сравнению с заполнителями, подвергнутыми термомеханической активации.

Общая эффективность такой обработки для получения качественного щебня будет достигнута только в совокупности с процессом регенерации вторичного вяжущего, содержащегося в растворном компоненте. На сегодняшний день следует, очевидно, ограничиться простым самоизмельчением.

Другим способом удаления части ослабленных зерен, полученных в процессе дробления отходов из бетона и железобетона, может явиться предварительное интенсивное сухое перемешивание крупного заполнителя в бетоносмесительных устройствах. Для выяснения возможности такого пути повышения качества заполнителей был проведен эксперимент по определению показателя

Т а б л и ц а 19. Показатели качества щебня из дробленого бетона

Щебень	Фракция, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Показатель дробимости, %	
				в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
Без обработки	5-10	1170	7	22,5	29,2
	10-20			20	23,9
	5-20				
После помола в шаровой мельнице	5-10	1350	3,8	11,2	13,4
	10-20			12,7	11,8
	5-20			12,1	12,2
После самоизмельчения	5-10	1310	4,3	13,3	16,8
	10-20			20,1	20,9
	5-20			17,7	19,3

Т а б л и ц а 20. Показатель дробимости щебня, %

Фракция щебня, мм	Без перемешивания	С перемешиванием в течение, с		
		40	80	360
5-10	22,5	17,7	18,7	17,1
10-20	20	17,9	18,2	19,8
5-20	20,6	17,9	18,3	18,9

дробимости щебня в зависимости от времени его сухого перемешивания в бетоносмесителе (табл. 20).

Как видно из табл. 20, даже обработка в течение 40 с достаточна для повышения показателя дробимости от марки Др 24 до Др 16. Однако этот метод позволяет избавиться лишь от наиболее слабосвязанного с исходным заполнителем растворного компонента, в то время как основная его часть остается налипшей на зерне каменного материала. По-видимому, именно этим объясняются примерно одинаковые показатели дробимости при различной продолжительности обработки от 30 с до 4 мин, так как наиболее слабые включения удаляются в первый момент перемешивания.

Проведенные исследования показывают, что для улучшения качества крупного заполнителя из дробленого бетона можно рекомендовать механическую или термомеханическую обработку кусков дробленого бетона фракций 5-40 мм.

Проведение предварительного сухого перемешивания в бетоносмесительном устройстве позволяет повысить марку щебня по дробимости.

Проводился эксперимент в НИИЖБ (Простяковым А.В.) на бетонах с использованием портландцемента Воскресенского заво-

Т а б л и ц а 21. Фракционный состав после сухого перемешивания крупного заполнителя из дробленого бетона фракции 5–20 мм

Частный остаток на сите, мм									
10		5		2,5		1,25		менее 1,25	
кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
5,6	62,1	2,58	28,6	0,45	5	0,04	0,4	0,35	3,9

да, активностью 47 МПа; песка Тучковского карьера с $M_{кр} = 2$, щебня из дробленого бетона фракций 5–20 мм (соотношение фракций 5–10 мм и 10–20 мм – 1:2).

Первый состав был приготовлен по следующей технологической схеме. В бетоносмеситель был загружен крупный заполнитель, в течение 80 с осуществлялось его сухое перемешивание. После отсева по фракциям с целью уточнения количества крупного и мелкого заполнителей (табл. 21) материал был возвращен в смеситель. Затем вводили остальные компоненты бетонной смеси и осуществляли ее перемешивание.

Таким образом, исходный состав бетона после сухого перемешивания претерпел некоторые изменения в части соотношения крупного и мелкого заполнителей. Доля мелкого заполнителя в смеси увеличилась за счет появления отколотых от щебня из дробленого бетона слабосвязанных с ним частиц растворной части.

Второй состав был приготовлен по обычной схеме. Испытания на сжатие отформованных образцов – кубов 10x10x10 см проводились через 12 ч после тепловлажностной обработки по режиму 3+6+3 ч и изотерме при 85°C, а также после нормального твердения в возрасте 28 с. Определялась также плотность образцов (табл. 22).

Прирост прочности, по-видимому, объясняется активацией в условиях тепловлажностной обработки физико-химических процессов на границе вяжущее – заполнитель, который в данном случае является подложкой для новообразований.

При 28-суточном твердении в нормальных условиях этот эффект не столь значителен – 2%. Такое явление возможно в связи с тем, что термодинамические условия твердения менее благоприятны для формирования кристаллического сростка в контактной зоне. В данном случае, очевидно, более существенно сказывается влияние увеличения доли мелкого заполнителя за счет появления при сухом перемешивании крошки растворного компонента. Величина доли песка в смеси заполнителя r по сравнению с необработанным заполнителем при этом увеличивается с 0,32 до 0,37.

Т а б л и ц а 22. Свойства бетона на активированном заполнителе из дробленого бетона

Вид активации щебня из дробленого бетона	Испытания после тепло-влажностной обработки		Испытания после 28 сут нормального твердения		Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг	В/Ц
	плотность, кг/м ³	прочность на сжатие, МПа	плотность, кг/м ³	прочность на сжатие, МПа		
Неактивированный из дробленого бетона	2281	18,4	2340	30,3	Ц — 287 П — 542 Щ — 1181 В — 210 л	0,73 0,32
Активированный за счет сухого перемешивания в смесителе	2303	20,6	2319	30,9	Ц — 287 П — 640 Щ — 1083 В — 210 л	0,73 0,37
После обработки в 0,5 М растворе	2251	18	2304	31,7	Ц — 293 П — 553 Щ — 1204 В — 114 л	0,73 0,32

Параллельно с этим экспериментом на том же составе бетона был проведен замес, где щебень из дробленого бетона активировался обработкой в растворе электролита.

Активация заполнителей из естественного каменного материала растворами электролитов с $\text{pH} = 4-6$ хорошо известна. Однако в данном случае мы имеем дело с заполнителем, обладающим повышенной пористостью, что может внести существенные коррективы в конечную прочность бетона.

Активация раствором электролита осуществлялась путем предварительного в течение 10 мин насыщения щебня из дробленого бетона 0,5-молярным раствором хлористого алюминия. Затем определялось количество поглощенной щебнем жидкой фазы, которое учитывалось при дозировании общего количества воды. Заполнитель вместе с остальными ингредиентами переносился в смеситель, где получали требуемую бетонную смесь. Режим твердения и схема испытаний образцов-кубов $10 \times 10 \times 10$ см аналогичны описанным ранее.

Данные табл. 22 показывают увеличение прочности бетона в 28-суточном возрасте нормального твердения на 5% и практически одинаковую прочность с контрольным образцом после тепло-влажностной обработки. Такая зависимость хорошо согласуется с кинетикой набора прочности бетонов, когда добавка электролита используется при введении в воду затворения.

Полученные результаты исследований в области дробленого бетона указывают на целесообразность продолжения работ по активации вторичного заполнителя с использованием механических, электроимпульсных и химических методов для расширения его применения в строительном производстве.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ИЗ ПРОДУКТОВ ДРОБЛЕНИЯ

Прочность бетона на сжатие. Испытаны составы бетона, в которых в качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок, а в качестве крупного — щебень из естественного материала Вяземского карьера. Одновременно в исследованиях проводилась замена природного щебня дробленным бетоном в количестве от 20 до 100%.

Подбор составов бетона обеспечивал равную подвижность с $\text{OK} = 4-5$ см и характеризовался повышением потребности воды до 8% при увеличении доли дробленого бетона в смеси до 100%.

Введение в смесь крупных заполнителей 20% щебня из дробленого бетона снизил значение прочности бетона на сжатие в 28-суточном возрасте с 38,5 до 36,4 МПа, а при 100%-ном содержании вторичного щебня прочность бетона существенно не изменилась и достигла 35,5 МПа.

Ранее в работе [15] отмечалось, что применение в качестве крупного заполнителя дробленого бетона на гранитном щебне

(марка по дробимости 600) практически не снижает прочность на сжатие по сравнению с эталонным составом (гранитный щебень + кварцевый песок), как для $V/C = 0,55$, так и для $V/C = 0,4$. При этом не наблюдалось изменения интенсивности набора прочности бетонов на природном крупном заполнителе и на щебне из дробленого бетона.

Составы бетона с использованием в качестве крупного заполнителя дробленого бетона на известняковом щебне (марка по дробимости 300) по сравнению с бетонами на известняковом щебне характеризуется снижением прочности до 20% для бетонов с $V/C = 0,4$ и до 10% с $V/C = 0,55$.

В производственных условиях на предприятиях сборного железобетона, организовавших переработку некондиционных железобетонных изделий и бетонных отходов, не исключено частичное перемешивание дробленого бетона на основе тяжелых и легких заполнителей. В связи с этим было изучено влияние содержания дробленого легкого бетона в смеси с дробленным тяжелым бетоном на прочность вторичного бетона.

Введение дробленого заполнителя из легкого бетона прочностью 5 МПа взамен тяжелого из бетона прочностью 20 МПа до 10% практически не повлияло на значение прочности вторичного бетона, а увеличение содержания дробленого легкого бетона до 40% характеризовалось снижением прочности вторичного бетона на 8–14%. Последующее увеличение доли дробленого заполнителя из легкого бетона до 60% сопровождалось незначительным (3–4%) снижением прочности вторичного бетона.

Исследованы составы, в которых в качестве крупного заполнителя использовался природный и вторичный щебень, а в качестве мелкого — кварцевый песок и мелкая фракция дробленого бетона.

Результаты испытаний [16] позволяют отметить, что применение в качестве мелкого заполнителя дробленого бетона для составов с $V/C = 0,4$ снижает прочность вторичных бетонов на гранитном щебне до 30%, на известняковом щебне до 35% и на дробленном тяжелом бетоне до 28% по сравнению с прочностью бетонов на этих же заполнителях в сочетании с кварцевым песком.

Изменение V/C , введением пластифицирующих добавок и других технологических приемов возможно снижение негативного влияния на прочность вторичного бетона использования в качестве мелкого заполнителя дробленого бетона, однако, учитывая повышение расхода цемента и увеличение усадочных деформаций представляется нецелесообразным рекомендовать применение мелкой фракции дробленого бетона при производстве вторичного бетона.

По данным Баранова А.Т. и Митюшина В.В., мелкая фракция дробленого бетона (менее 5 мм), подвергнутая помолу до удельной поверхности 2500–500 г/м², может использоваться в технологии силикатных материалов автоклавного твердения в качестве

компонента вяжущего взамен цемента и извести. При этом дробленый бетон следует рассматривать как комплексную добавку, ускоряющую процессы образования гидросиликатов кальция, увеличивающую общее количество цементирующего вещества и интенсифицирующую дальнейшие процессы кристаллизации.

Введение в силикатную массу до 10% данной комплексной добавки позволяет сократить срок гидротермального твердения до 2–4 ч при сохранении строительно-технических свойств изготавливаемых изделий или повысить прочность в 2–2,5 раза при принятых режимах обработки.

При подборе состава силикатной массы с использованием отходов дробленого бетона следует учитывать модуль крупности используемого песка-заполнителя с целью получения оптимальной кристаллизационной структуры материала. В частности, применение мелкозернистых песков требует увеличения содержания добавки на 15–25%.

Применение тонкомолотых отходов бетона обеспечивает экономии вяжущих материалов (цемента, извести) до 60% без снижения показателей качества изделия. Отходы дробленого бетона допускается использовать при производстве всех видов автоклавных силикатных материалов (плотный и ячеистый силикатный бетон, силикатный кирпич) без ограничений по маркам.

Существенное влияние на прочность бетона при одинаковом исходном водоцементном отношении оказывает водопоглощение щебня из дробленого бетона, изменяющее истинное V/C вторичной бетонной смеси. Так, при замене природного крупного заполнителя щебнем из дробленого бетона и сокращении исходного V/C прочность вторичного бетона на 5–14% выше прочности бетона аналогичного состава на естественном заполнителе, вследствие получения более жесткой бетонной смеси и уменьшения истинного значения V/C .

При обеспечении заданной удобоукладываемости бетонной смеси на вторичном крупном заполнителе требуется, как правило, увеличение воды затворения на 6–8%, что, в свою очередь, ведет к снижению достигаемой прочности на сжатие. Одновременно приходилось сталкиваться и с другим негативным явлением — интенсивным снижением подвижности бетонной смеси в первые 10 мин после затворения, причем разница в темпах потери подвижности по сравнению со смесью на природном заполнителе составляла 3–6 см.

Для получения требуемой подвижности бетонной смеси на щебне из дробленого бетона в отечественной и зарубежной практике осуществляли введение пластифицирующих добавок в традиционной технологической последовательности, т.е. со всей водой затворения. При этом эффективность использования пластифицирующих добавок была значительно ниже, чем в бетонах на природных заполнителях.

Результаты исследований, проведенных в НИИЖБе, позволяют в настоящее время рекомендовать следующий порядок введения пластифицирующих добавок в бетонную смесь на щебне из дробленого бетона. Вода затворения подается в бетоносмеситель в 2 этапа. Первоначально вводятся щебень из дробленого бетона и до 50% требуемого количества воды, а затем цемент + песок и оставшая часть воды с растворенной в ней рекомендуемой дозировкой пластификатора.

Эффективность данного приема можно определить на следующем примере. При введении суперпластификатора С-3 со всей водой затворения исходная подвижность бетонной смеси ($OK = 12$ см) через 15 и 30 мин снизилась соответственно до 4 и 1,5 см. Дозирование С-3 на втором этапе затворения бетонной смеси на щебне из дробленого бетона позволило не только увеличить исходную подвижность до 18 см, но и сохранить высокую удобоукладываемость ($OK = 10$ см) через 60 мин после затворения.

Из зарубежных исследований заслуживают внимания результаты А.Д. Бака и В.М. Малхотри [25], определивших снижение прочности на сжатие бетонов на щебне из дробленого бетона по сравнению с бетонами на природном заполнителе. Одновременно А.Д. Баком доказана возможность достижения вторичными бетонами прочности, более высокой, чем исходная прочность дробленого бетона. Для этого рекомендуются использование водопоглощающих добавок и увеличение содержания цемента.

Т. Хансеном и Х. Нарудом [26] сделан вывод о том, что прочность на сжатие вторичного бетона в значительной степени зависит от величины водоцементного отношения исходного бетона при идентичности других факторов влияния. Так, если величина водоцементного отношения исходного бетона такая же или меньше, чем для вторичного бетона, то прочности вновь изготовленных бетонов будут такими же или выше ее первоначальных значений.

По данным японского исследователя М. Хисаки [18], прочность вторичного бетона на сжатие, в котором 30% щебня были заменены вторичным заполнителем, почти не отличается от прочности бетона, изготовленного с использованием только природных заполнителей. Замена 50% природного щебня вторичным заполнителем, по опыту Японского общества строительных подрядчиков, вызывает резкое снижение прочности вторичного бетона.

В результате исследований, выполненных в США, установлено, что прочность бетона на вторичном заполнителе на 20% меньше, чем бетона на природных заполнителях. При этом указывается на возможность повышения прочности бетонов на щебне из дробленого бетона путем увеличения содержания цемента. Производство вторичного бетона даже при повышении на 10% расхода цемента обходится примерно вдвое дешевле, чем бетона на природных заполнителях [24].

Деформативные характеристики вторичного бетона. Наиболее важной деформативной характеристикой бетона при кратковре-

менном нагружении является модуль упругости, зависящий от прочности бетона на сжатие, модуля упругости крупных заполнителей и содержания в бетоне цементного камня.

Результаты исследований модуля упругости бетонов на вторичных заполнителях, выполненные Б.А. Крыловым и О.А. Липеем, позволяют отметить, что с увеличением содержания в бетоне вторичного заполнителя с более низким модулем упругости, чем у природных каменных материалов (ввиду наличия на зернах вторичного заполнителя налипшей растворной составляющей), модуль упругости бетона снижается.

Бетоны на вторичных заполнителях, полученных при дроблении бетона на гранитном щебне, по сравнению с бетоном на природном гранитном щебне, характеризуются снижением модуля упругости при V/C 0,4 и 0,55 соответственно на 6 и 9%.

В наибольшей степени снижение модуля упругости наблюдается во вторичных бетонах на известняковом щебне. Так, при $V/C = 0,4$ прочность растворной составляющей превышает прочность вторичного заполнителя и разрушение происходит по его зернам, а снижение модуля упругости вторичного бетона достигает 20%.

При V/C вторичного бетона на известняковом щебне 0,4 и 0,55 снижение модуля упругости составляет соответственно 20 и 32%. Использование смеси заполнителей природного и искусственного щебня в равных объемах при тех же значениях V/C вторичного бетона не позволяет существенно ограничить снижение его модуля упругости.

Применение при производстве вторичных бетонов не только крупного, но и мелкого заполнителя из дробленого бетона приводит к дополнительному снижению модуля упругости на 9–16%.

Усадочные деформации бетонов на заполнителях из дробленого бетона превышают значения для бетонов на природных заполнителях. Очевидно, здесь имеет место как влияние пониженного модуля упругости вторичных заполнителей, так и увеличение содержания растворной составляющей во вторичном бетоне.

В работе [16] показано, что усадка бетонов на кварцевом песке и крупных заполнителях из дробленого бетона выше на 14–28%, чем в бетонах на природных заполнителях. При этом большое значение усадки соответствует вторичным бетонам на известняковом заполнителе, а меньшее – на гранитном.

Применение при изготовлении бетона мелких и крупных заполнителей из дробленого бетона увеличивает усадочные деформации вторичного бетона в 1,6–1,8 раза по сравнению с бетонами на природных заполнителях.

По данным японского ученого Й. Касаи [18], бетоны на вторичном крупном заполнителе имеют модуль упругости на 10–20% ниже, чем бетоны на природных заполнителях при прочих равных условиях. Использование мелкого и крупного заполнителя из дробленого бетона снижает модуль упругости на 30–40%. Замена

вторичного мелкого заполнителя на 50% обычным при введении в полном объеме вторичного крупного заполнителя обуславливает снижение модуля упругости вторичного бетона на 20–30%.

На значительное снижение модуля упругости бетонов на вторичных заполнителях указывается и в работах Ч.Ф. Хендрикса, С. Франдистоу—Яннаса и др.

Исследования усадочных деформаций бетона, выполненные японским ученым С. Хасаба [18], показывают, что усадка бетона на вторичном крупном заполнителе почти не отличается от усадки бетона на природном крупном заполнителе. Использование при приготовлении бетона крупного вторичного заполнителя и смеси в равных объемах мелких фракций природного и вторичного заполнителя вызывает увеличение усадки бетона в 1,2–1,5 раза, а в бетонах полностью на вторичных заполнителях — в 1,5–1,8 раза по сравнению с бетоном на природных заполнителях.

Увеличение усадки бетонов на вторичных заполнителях наблюдалось и в результатах исследований в Нидерландах, ФРГ и Дании.

Морозостойкость бетона на вторичных заполнителях. Исследования, проведенные в НИИЖБ, позволяют отметить, что относительно низкий показатель морозостойкости вторичного заполнителя ввиду открытого доступа воды к контактной зоне между исходным щебнем и растворной частью не отражается на морозостойкости бетона, полученного на его основе.

Испытания на морозостойкость бетонов как на природном, так и на крупном заполнителе из дробленого бетона показали, что бетонные образцы, выдержав 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания, не имели заметных признаков разрушения. При этом различие видов вторичных крупных заполнителей — дробленый бетон на гранитном щебне и на известняковом щебне — не оказало влияния на показатели морозостойкости.

Использование при приготовлении бетонов вторичных мелких заполнителей привело к некоторому снижению показателей морозостойкости.

Однако все испытанные составы вторичных бетонов имели морозостойкость не ниже 200.

Результаты исследований зарубежных ученых морозостойкости бетонов на вторичном заполнителе несколько противоречивы. В работе П.Д. Никсона [25] отмечается, что морозостойкость бетона на заполнителях из дробленого бетона подобна морозостойкости составов на природных заполнителях. Бетон на измельченном твердом заполнителе имел значительно лучшее сопротивление попеременному замораживанию и оттаиванию, чем бетон на исходном твердом гравии.

Японскими учеными М. Кавамурой и С. Хасабой [18] проведены испытания бетонов на вторичных заполнителях в условиях переменного замораживания и оттаивания. В работе М. Кавамурой показано, что бетон на вторичных заполнителях с воздухововлекающей добавкой обладает сравнимыми показателями по морозо-

стойкости с бетонами на природных заполнителях. Результаты исследований С. Хасабы позволяют отметить, что эффективность использования воздухововлекающей добавки проявляется в бетонах, приготовленных на мелком природном и крупном вторичном заполнителе. Бетоны с воздухововлекающей добавкой, содержащие только вторичные заполнители, имели низкую морозостойкость.

Противоречие в результатах исследований морозостойкости бетонов на вторичных заполнителях указывает на необходимость дальнейшего изучения влияния попеременного замораживания и оттаивания на прочность сцепления зерен вторичного заполнителя с растворной составляющей бетона.

РЕГЕНЕРАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

В настоящее время отечественные и зарубежные исследователи стали уделять большое внимание не только повторному использованию продуктов переработки некондиционного железобетона, но и регенерации компонентов бетонной смеси с последующим их применением в производстве.

Испытания показали, что при промывке самоходных бетономешалок безвозвратно теряется около 0,5% ежегодного выпуска товарной бетонной смеси. Кроме того, определенное количество бетонной смеси, которое поставляется на строительные объекты, не может быть использовано по каким-либо причинам и снова возвращается на завод по производству товарного бетона. Общие потери бетона составляют в зависимости от регионов от 1 до 4% годовой продукции.

Эти отходы в настоящее время подвергаются захоронению, однако затраты на это постоянно повышаются, а места захоронения отдаляются от мест производства и сокращаются по площади. Одновременно ограничивается спуск вредных веществ в систему городской канализации. Уменьшающиеся запасы минерального сырья обусловили необходимость разработки установок для регенерации компонентов бетонной смеси и повторного их использования.

Изучением данной проблемы в нашей стране занимаются НИИЖБ, научно-производственное объединение "Прокатдеталь" и др. Проведенные исследования указывают на технико-экономическую эффективность регенерации компонентов бетона и возможность их использования на строительных объектах и заводах сборного железобетона. Однако результаты научных исследований не получили пока в отечественной производственной практике широкого распространения.

Из зарубежных стран наибольшего успеха в решении проблемы регенерации компонентов бетонной смеси достигли ФРГ и США.

В ФРГ при ежегодном производстве бетона около 50 млн. м³ на потери его от очистки автобетоносмесителей и возврата со

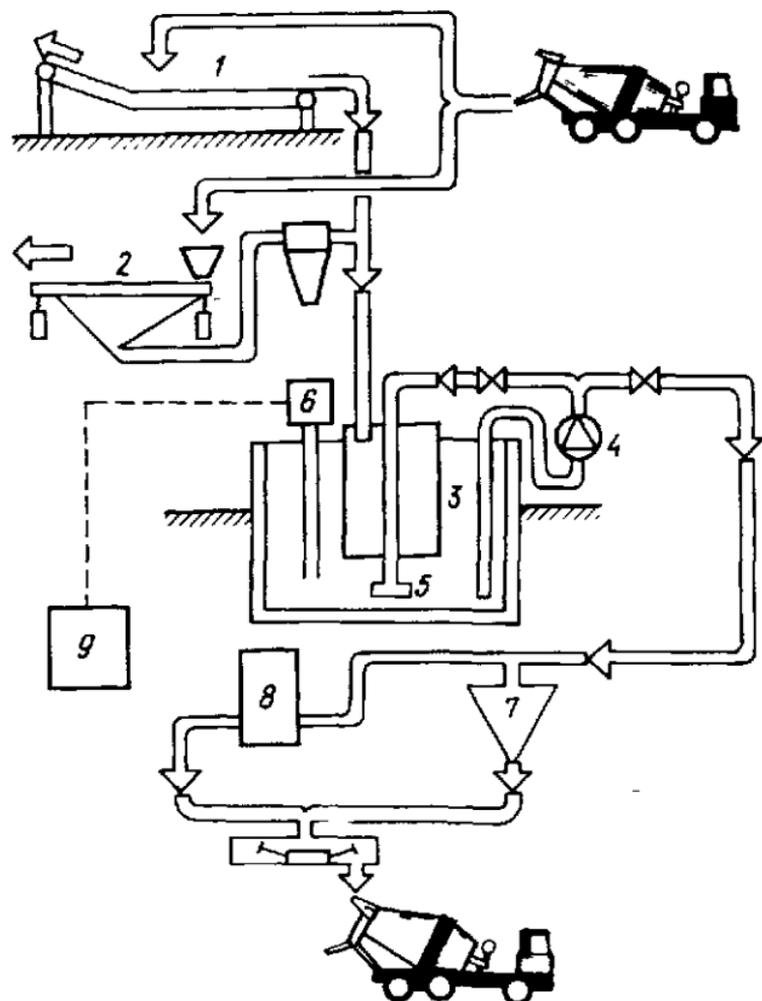


Рис. 32. Технологическая схема установки по регенерации компонентов бетонной смеси

1 — гидравлический ленточный отделитель; 2 — виброгрохот с гидроциклоном; 3 — шламоборник с отстойником; 4 — шламодозирующий насос; 5 — роторная насадка со струйным соплом; 6 — устройство для измерения плотности; 7 — электромеханические весы; 8 — устройство для измерения весового расхода; 9 — управление дозатором

строительных объектов приходится около 3% производства бетона. Это составляет порядка 1,5 млн. м³ отходов бетона, содержащего около 3 млн. м³ песка и крупного заполнителя, которые можно использовать повторно.

Учеными ФРГ проведены комплексные исследования по созданию и освоению регенерационной установки, которую можно ввести в качестве дополнительного технологического агрегата на заводе по производству товарного бетона [27].

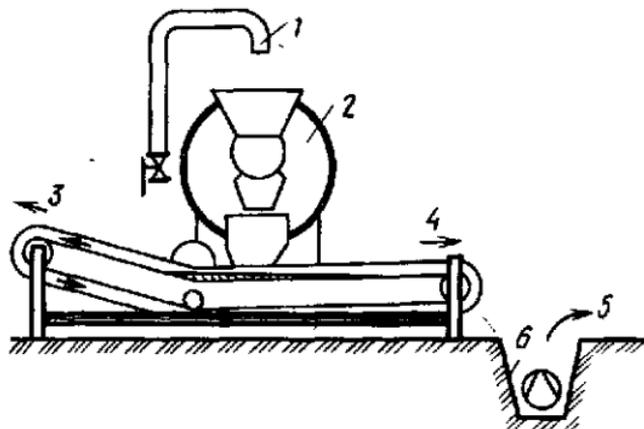


Рис. 33. Гидравлический ленточный отделитель
 1 — промывочный хобот; 2 — автобетоносмеситель; 3 — смесь заполнителей; 4 — смесь цементного шлама и воды; 5 — резервуар хранения; 6 — приямок насоса

Разработанная регенерационная установка (рис. 32) имеет три технологических поста: обогащения смеси заполнителей; гомогенизации и обогащения водоцементной смеси; определения концентрации вода-цемент и использования ее для производства новой бетонной смеси.

На первом технологическом посту производится разделение отходов бетонной смеси на смесь заполнителей (включающую гранулы размером от 0,125 до 32 мм) и водоцементную смесь (содержащую фракции меньше 0,125 мм). Установка обеспечивает точное разделение данных смесей, так как для предупреждения комкования заполнителей содержание цемента в них должно быть низким. Количество мелкого песка в водоцементной смеси также понижено для сокращения энергозатрат, требующихся при последующей ее гомогенизации. Испытания подтвердили, что оптимальным является разделение гранул от 0,125 до 0,063 мм.

Производительность по обогащению смеси заполнителей созданного параметрического ряда регенерационных установок определялась объемом выпуска бетонных заводов. В зависимости от количества используемых автобетоносмесителей и бетононасосов было разработано три типа агрегатов для обогащения — гидравлический ленточный отделитель с одним и двумя загрузочными отверстиями производительностью соответственно до 10 и 15 м³/ч (рис. 33) и вибрационный обезвоживатель с подключенной установкой мощностью более 20 м³/ч.

Использование того или иного типа агрегата определяется конкретными производственными условиями. При удалении остатков бетона только из автобетоносмесителей более целесообразно применение гидравлических ленточных отделителей. Вибрационный обезвоживатель (виброгрохот) с гидроциклоном рекоменду-

ется при одновременном удалении остатков бетона из автобетоносмесителей и бетононасосов.

На втором технологическом посту сточная вода, поступающая с агрегата обогащения смеси заполнителей, вместе с атмосферными осадками собирается в коллектор и подается в шламоборник регенерационной установки.

В шламоборнике производится разделение воды на техническую и регенерируемую воду (водоцементную смесь). Для ускорения процесса очистки сточных вод применяются коагулирующие вещества, представляющие собой быстродействующие синтетические высокомолекулярные полиакриламиды, которые поддаются биологическому распаду и не вызывают ухудшения качества приготавливаемого вновь бетона и не наносят ущерба окружающей среде.

Техническая вода из шламоборника после предварительной очистки подается в резервуар хранения, откуда может использоваться для внутренней очистки автобетоносмесителей, промывки бетононасосов, обогащения смеси заполнителей или в качестве воды затворения при приготовлении бетонной смеси.

Вода, оставшаяся в шламоборнике, содержит активные частицы цемента и для предотвращения седиментации должна постоянно находиться в движении. Это обеспечивается с помощью центробежного насоса, откачивающего регенерируемую воду из шламоборника и вновь подающего ее обратно через роторную насадку со струйным соплом (рис. 34).

При прохождении через роторную насадку, приводимую во вращательное движение под действием реактивных сил, вода обмывает все дно шламоборника и предотвращает образование осадка. Применение данного метода обеспечивает гомогенизирование смеси из воды и шлама, самоочищение установки и снижение потребности в ее техническом обслуживании.

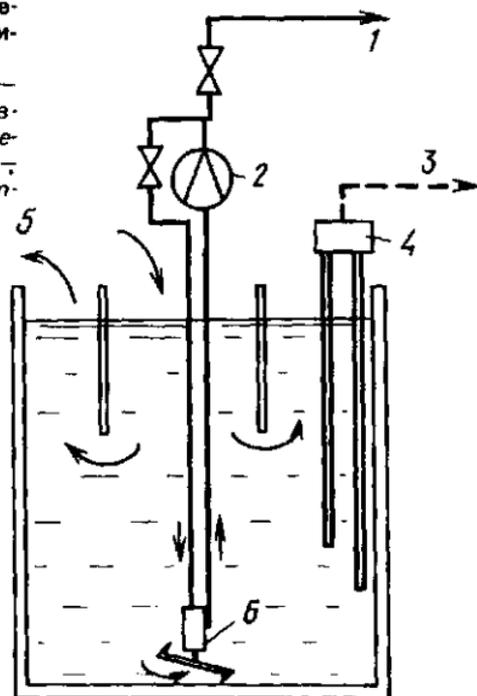
Введение регенерированной воды во вновь приготавливаемые бетонные смеси возможно после определения в ней концентрации твердых веществ. Для этого на третьем технологическом посту используется измерительная система, в основу которой положен принцип воздушных пузырьков, позволяющий производить непрерывное измерение плотности среды и по полученным результатам управлять дозатором.

Подача регенерированной воды в бетоносмеситель осуществляется с помощью погруженных или центробежных насосов, изготовленных из износостойчивых материалов для обеспечения надежной работы в условиях воздействия абразивной транспортируемой среды.

В качестве расходомеров испытаны устройства с программируемым электрическим счетчиком импульсов и электромеханические весы для измерения расхода смеси. По технико-экономической оценке результатов испытания предпочтение отдано электромеханическим весам.

Рис. 34. Принципиальная схема хранения цементного шлама с отстойником

1 — дозирующее устройство; 2 — шламовый насос; 3 — пульт управления; 4 — устройство для измерения плотности; 5 — отстойник; 6 — роторная насадка со струйным соплом



Исследование влияния регенерируемой воды, используемой при приготовлении бетонной смеси, на физико-механические свойства смеси и затвердевшего бетона позволяют отметить следующее.

Применение регенерируемой воды с содержанием твердых веществ до 38 кг/м^3 при соответствующем снижении количества природных заполнителей обусловило получение водоцементных отношений, аналогичных водоцементным отношениям в составах бетонных смесей на технической воде, и не привело к существенному изменению прочностных характеристик бетона.

Бетонные смеси, приготовленные с добавлением регенерированной воды, характеризовались повышенной белизной и небольшой склонностью к выцветанию. На основании результатов испытаний содержания гидроксида кальция и измерений белизны использовать регенерированную воду для изготовления облицовочного бетона нецелесообразно.

Испытания бетонных смесей данных составов не обнаружили повышенной склонности к образованию трещин. Однако при увеличении содержания твердых веществ в регенерированной воде более 38 кг/м^3 стала наблюдаться тенденция к более интенсивному образованию трещин, чем в бетонах на технической воде.

Заводское апробирование регенерационной установки подтвердило возможность полного обогащения остатков бетонной смеси и повторного использования ее компонентов в производстве.

Проблеме переработки отходов производства бетонов и их использования посвящена работа западногерманского ученого Р. Рикера, который кроме теоретических вопросов рассмотрел экономические аспекты, обеспечивающие повышение эффективности производства по регенерации компонентов бетонной смеси.

На целесообразность использования отходов бетона указывают и специалисты США [28], рассматривая технологию фирмы "Скайлайн Конкрит" (штат Калифорния). Смонтированная фирмой в 1980 г. установка "Енви́ро-Матик" позволяет регенерировать все компоненты бетонной смеси. Повторное их использование дает возможность получить бетон с высокими физико-механическими свойствами. Несмотря на применение дорогостоящего оборудования с повышенной износостойкостью и ЭВМ для контроля работы различных технологических постов регенерационной установки, эффективность ее высока. Так, экономия только от использования регенерированного мелкого заполнителя составляет почти 11 тыс. долл. в год.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕКОНДИЦИОННОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Вопросы рационального размещения центров по переработке отходов из бетона и железобетона по территориальному и отраслевому принципу должны рассматриваться в тесной взаимосвязи с геологическими условиями разработок естественных каменных материалов и особенностями концентрации предприятий стройиндустрии на территории СССР, а также с учетом принадлежности их к тем или иным строительным министерствам и ведомствам.

При оценке геологических условий приняты во внимание геофизический характер расположения отдельных регионов СССР и оснащенность их транспортными связями. Вся территория нашей страны разделена на районы, где месторождения строительного камня отсутствуют и нет геологических предпосылок для их обнаружения; слабообеспеченные строительным камнем; с месторождениями строительного камня низкой прочности; с недостаточным развитием транспортных связей.

Анализ сосредоточения предприятий стройиндустрии в отдельных городах страны проведен в соответствии со схемой размещения этих предприятий, разработанной ГПКТИ Индустройпроект.

В зависимости от годового объема выпуска сборного железобетона произведено условное разделение на центры (города), имеющие базу стройиндустрии более 1,3 млн. м³, от 1 до 1,3 млн. м³ и от 600 до 1 млн. м³.

Характер расположения предприятий стройиндустрии указывает на наличие значительного количества крупных баз строительной индустрии в районах, имеющих ряд проблем с производством качественных крупных заполнителей из каменных материалов. К

таким центрам, например, относятся города северных районов европейской части СССР и Западной Сибири.

По материалам о распределении объектов сборного железобетона, производимого в различных городах, по принадлежности к строительным министерствам и ведомствам выделены наиболее крупные производственные объединения и предприятия министерств, широко представленные в этих городах. Указанные министерства и ведомства могут быть определены в качестве головных организаций, ответственных за переработку некондиционного железобетона в данном районе (городе), а отмеченные предприятия рассматриваться в качестве базовых при размещении комплексов по механическому разрушению некондиционных изделий из железобетона.

Опыт эксплуатации комплексов по переработке отходов из бетона и железобетона типа УПН-7 показывает, что при двухсменной работе обеспечивается производительность порядка 20 тыс. м³ год щебня из дробленого бетона (вторичного щебня) с утилизацией примерно 14 тыс. м³ некондиционного сборного железобетона. Следовательно, при существующем согласно "Общесоюзным нормам технологического проектирования предприятий стройиндустрии" (ОНТП-7-85) среднегодовом объеме некондиционной продукции на предприятиях сборного железобетона 0,7% и общем объеме отходов бетона при проведении технологических операций порядка 1% для бесперебойной работы комплекса необходимо иметь базу строительной индустрии с объемом выпуска 1 млн. м³ в год.

В связи с этим рассмотрим два варианта организации работы комплекса. В первом случае установки типа УПН-7 используются в крупном центре (городе), где объем производства сборного железобетона достигает примерно 1 млн. м³ в год. Во втором рассмотрена возможность координации нескольких центров (городов), общий объем производства в которых находится на заданном уровне.

В работе представлен сравнительный технико-экономический анализ эффективности организации переработки некондиционного железобетона по каждой из предложенных схем.

В качестве исходных данных при проведении анализа использованы прейскурант на щебень из цементобетона, "Оптовые цены на продукцию нерудной и неметаллорудной промышленности", данные СНиП 1У-4-82, ч. 1 "Железнодорожные и автомобильные перевозки", а также информация ВНИИ Неруда "Развитие и размещение промышленности нерудных строительных материалов".

Расчет проведен для заводов, находящихся на различном расстоянии от базового предприятия, на котором предполагается размещение комплекса по переработке некондиционного железобетона. При этом рассмотрены перевозки материалов как с использованием железнодорожного, так и автомобильного транспорта.

Сравнение проведено по затратам, связанным с использованием щебня из естественного каменного материала марки М 400 и М 1000 и щебня из цементобетона прочностью 40 МПа. Фракция щебня в обоих случаях 5–20 мм.

В качестве примера приведена расшифровка расчета по сравнительной эффективности замены природного каменного заполнителя на щебень из цементобетона в районе Москвы.

1. Затраты при применении щебня из естественного каменного материала.

1. Оптовая цена на щебень М 1000 и М 400 фракции 5–20 мм Вяземского карьера: М 1000 – 6 руб. 45 коп.; М 400 – 5 руб. 20 коп.

2. Расстояние от Вяземского карьера до предприятий Москвы 216 км.

3. Загрузка и выгрузка щебня при перевозке автотранспортом 0,28 руб., при перевозке железнодорожным транспортом – 0,54 руб.

4. Стоимость перевозки железнодорожным транспортом на 216 км 1,19 руб.

5. Стоимость перевозки автотранспортом на 216 км 5,61 руб.

6. Сумма затрат, руб., при использовании автотранспорта для щебня М 1000: $6,45 + 5,61 + 0,28 = 12,34$; для щебня М 400: $5,20 + 5,61 + 0,28 = 11,09$.

7. Сумма затрат, руб., при использовании железнодорожного транспорта для щебня М 1000: $6,45 + 1,19 + 0,54 = 8,18$, для щебня М 400: $5,20 + 1,19 + 0,54 = 6,93$.

II. Затраты при применении щебня из цементобетона прочностью 40 МПа.

1. Оптовая цена щебня из цементобетона прочностью 40 МПа фракции 5–20 мм 3,65 руб.

2. Прибыль от ликвидации транспортных расходов по вывозу изделий на свалку, находящуюся на расстоянии 30 км от предприятия, некондиционного железобетона 2,78 руб.

3. Погрузка и выгрузка некондиционного железобетона и щебня из цементобетона при перевозке автотранспортом 0,28 руб. и железнодорожным транспортом – 0,54 руб.

4. Тарифные ставки при доставке груза автотранспортом на расстояние 15 км – 0,9 руб.; 30 км – 1,33 руб.; 60 км – 2,16 руб.; 100 км – 3,17 руб.; 150 км – 4,32 руб.

5. Суммарные затраты, руб., при использовании автотранспорта для предприятий, находящихся от комплекса переработки на расстоянии:

15 км – $3,65 + 0,9 \times 2 + 0,28 = 2,78$

30 км – $3,65 + 1,33 \times 2 + 0,28 = 3,81$

60 км – $3,65 + 2,16 \times 2 + 0,28 = 5,47$

100 км – $3,65 + 3,17 \times 2 + 0,28 = 7,49$

150 км – $3,65 + 4,32 \times 2 + 0,28 = 9,79$

6. Тарифные ставки при доставке груза железнодорожным транспортом до 50 км 0,76 руб.; 60 км – 0,79 руб.; 100 км – 0,89 руб.; 150 км – 1,04 руб.

7. Суммарные затраты, руб., при использовании железнодорожного транспорта для предприятий, находящихся от комплекса переработки на расстоянии:

15 км – $3,65 + 0,76 \times 2 + 0,54 = 3,63$

30 км – $3,65 + 0,76 \times 2 + 0,54 = 3,63$

60 км – $3,65 + 0,79 \times 2 + 0,54 = 4,81$

100 км – $3,65 + 0,89 \times 2 + 0,54 = 7,09$

150 км – $3,65 + 1,04 \times 2 + 0,54 = 9,87$

Проведенный анализ позволил определить экономическую эффективность при замене щебня из естественного каменного материала на щебень из цементобетона в различных районах в зависи-

мости от удаленности отдельных предприятий стройиндустрии от центра по переработке отходов.

Так, например, для Москвы и Московской обл. затраты на переработку отходов в щебень из цементобетона в случае перевозки его автотранспортом оправданы при расположении предприятий на расстоянии 60 км от комплекса.

При организации перевозки щебня из цементобетона железнодорожным транспортом эффективность значительно повышается и экономически обоснована транспортировка этого материала на расстояние 150 км, перекрывая города Московской и ряда прилегающих областей.

Аналогичные расчеты проведены для других центров (городов), имеющих базу строительной индустрии с общим объемом производства порядка 1 млн. м³ в год (табл. 23).

Результаты расчета показывают, что в случае доставки щебня из природного каменного материала железнодорожным транспортом, а щебня из цементобетона — автотранспортом эффективно применение последнего для предприятий, находящихся в радиусе до 60 км от центра переработки.

Так, для условий Омска, эффективен сбор некондиционного железобетона и возврат его в виде щебня для предприятий, находящихся на расстоянии 60 км от базового предприятия. Для Ленинграда, Волгограда, Красноярска это расстояние уменьшается до 30 км.

Организация перевозки некондиционного железобетона и щебня, полученного при его переработке, железнодорожным транспортом позволяет значительно повысить эффективность замены щебня из природного каменного материала на щебень из цементобетона. При этом эффективность обеспечивается на предприятиях, удаленных от центра переработки на расстояние, значительно превышающее 150 км.

В табл. 24 приведены результаты расчета суммарных затрат при совместном использовании комплекса по переработке отходов предприятиями, находящимися в городах, каждый в отдельности из которых не имеет достаточной базы по выпуску сборного железобетона для обеспечения требуемой производительности комплекса. В качестве примера рассмотрен экономический район, где расположены Ярославль, Кострома, Андропов, Волгореченск, Иваново, при размещении комплекса по переработке некондиционного железобетона в Ярославле.

Полученные результаты свидетельствуют об экономической целесообразности применения такого принципа размещения центров по переработке некондиционного железобетона в щебень из цементобетона при организации перевозки некондиционного железобетона и щебня из цементобетона железнодорожным транспортом.

Накопленный опыт утилизации некондиционного железобетона свидетельствует о технико-экономической целесообразности пер-

Т а б л и ц а 23. Затраты при использовании щебня из естественного каменного материала и щебня из цементобетона в городах с объемом производства 1 млн. м³ и более

Местонахождение центров по переработке некондиционного железобетона	Объем производства сборного железобетона, млн м ³	Затраты при использовании щебня из естественного каменного материала, руб., марок		Затраты при использовании щебня из цементобетона М 400, руб/м ³				
				Расстояние предприятий от комплексов по переработке, км				
		М 400	М 1000	15	30	60	100	150
Москва	7436,8	6,93	8,18	2,83	2,93	2,99	3,19	3,49
		11,09	12,34	2,95	3,81	5,47	7,49	9,79
Ленинград	2630	5,49	6,39	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		10,24	11,14	3,19	4,13	6,01	8,27	10,87
Волгоград	1068,1	5,38	6,28	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		9,49	10,39	3,41	4,47	6,55	9,07	11,97
Омск	1043,6	9,07	10,52	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		25,38	26,83	3,63	4,81	7,09	9,87	13,07
Красноярск	1011,9	6,82	7,57	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		12,44	13,69	3,87	5,13	7,63	10,65	14,15
Челябинск	984,7	5,7	6,6	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		10,76	11,66	3,63	4,81	7,09	9,87	13,07

Новосибирск	771,5	6,33	6,88	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		11,15	11,7	3,63	4,81	7,90	9,87	13,07
Киев	2352,6	4,74	5,29	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		6,72	7,27	3,15	4,19	6,13	8,17	8,3
Харьков	1023,6	7,1	8,15	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		8,27	9,32	3,15	4,69	6,13	8,17	11,37
Минск	1049	4,6	5,35	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		5,73	6,48	3,13	4,25	6,33	8,03	10,83
Ташкент	1285,6	4,67	5,52	2,93	2,93	2,99	3,19	3,49
		12,39	13,24	2,85	3,76	5,55	7,75	10,21

Примечание: Над чертой — затраты при использовании железнодорожного транспорта, под чертой — затраты при использовании автотранспорта.

Т а б л и ц а 24. Затраты при использовании щебня из естественных каменных материалов и щебня из цементобетона на примере работы комплекса по переработке некондиционного железобетона на несколько городов в одном экономическом районе

Местонахождение предприятия	Объем выпускаемой продукции, тыс м ³	Затраты при использовании щебня из естественного каменного материала		Затраты при использовании щебня из цементобетона М 400				
		М 400	М 1000	Расстояние предприятий от комплекса по переработке, км				
				20	76	82	113	128
Ярославль	633,4	3,81	5,06	2,93				
		5,85	7,1	3,83				
Кострома	297,2	4,54	5,79		3,11			
		8,11	9,36		7,75			
Андропов	258,5	4,11	5,36			2,89		
		9,18	10,43			8,05		
Волгореченск	40,8	4,15	5,4				3,27	
		9,85	11,1				9,82	
Иваново	227	4,54	5,79					3,37
		8,02	9,27					10,69

П р и м е ч а н и е. Над чертой — затраты при использовании железнодорожного транспорта, под чертой — затраты при использовании автотранспорта.

воочередной организации центров по переработке этих отходов на отдельных базовых предприятиях стройиндустрии крупных городов или районов страны с объемом производства сборного железобетона 1 млн. м³ в год и более.

Анализ централизованной переработки некондиционного железобетона в Москве позволил установить оптимальные радиусы региона, в пределах которых транспортные перевозки бетонных отходов обеспечивают эффективность производства и применения вторичного щебня.

На примере Ярославля, Костромы, Андропова, Волгореченска и Иванова установлена эффективность централизованной переработки некондиционного железобетона в районах сосредоточения городов с общим объемом производства сборного железобетона около 1 млн. м³/год при их максимальном удалении друг от друга до 128 км.

Результаты расчета экономической эффективности переработки некондиционного железобетона в различных городах и регионах страны позволяют отметить значительное ее повышение при использовании железнодорожного транспорта для перевозки отходов и возможность их сбора с предприятий, удаленных от центра переработки на расстояние, значительно превышающем 150 км.

Таким образом, подтверждается целесообразность создания в регионах предприятий "Вторбетон" по централизованной переработке некондиционного железобетона, позволяющих решить проблему вторичного использования бетона в масштабе страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глужге П.И. Заполнители из разрушенного бетона. — Труды научно-технических институтов. Гидротехническое строительство, № 4, апрель 1946, С. 27—28.
2. Рекомендации по технологии разрушения некондиционных бетонных и железобетонных изделий механическим способом. — НИИЖБ: М., 1984. — 9 с.
3. Рекомендации по применению продуктов переработки некондиционных бетонных и железобетонных изделий. — НИИЖБ: М., 1984. — 9 с.
4. Использование промышленных отходов в капиталистических странах / Обзорная информация ВНИИЭСМ / Серия 11, вып. 2, 1981. — С. 25—28.
5. Загурский В.А., Простяков А.В. Перспективы повторного использования бетона / Материалы, технология и конструкции для нечерноземья. — Брянск, 1985. — С. 65.
6. Загурский В.А., Простяков А.В. О некоторых особенностях показателей качества щебня из дробленого бетона / Ускорение научно-технического прогресса в промышленности строительных

материалов и строительной индустрии. — Белгород, 1987. — С. 21—23.

7. **Вопросы механики и технологии сборного железобетона, применяемого для железнодорожного строительства** / Сб. тр. Днепропетровского ин-та инженеров железнодорожного транспорта / Под ред. Гусева Б.В. Вып. 191/3. — Днепропетровск: ДНИИТ, 1977. — 82 с.

8. **Финкель В.М.** Физика разрушения. — М.: Металлургия, 1970. — 376 с.

9. **Екобори Т.** Физика и механика разрушения и прочности твердых тел (Пер. с англ.). — М.: Металлургия, 1971. — 264 с.

10. **Семкин Б.В.** Электрический взрыв в коксированных средах. — Томск: ТПИ, 1979. — 89 с.

11. **Зазимко В.Г.** Оптимизация свойств строительных материалов. — М.: Транспорт, 1981. — 104 с.

12. **Ахвердов И.Н.** Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. — 464 с.

13. **Машины и оборудование для производства сборного железобетона.** Отраслевой каталог / ЦНИИТЭстроймаш, М., 1983. — С. 539—543.

14. **Загурский В.А., Простяков А.В., Щербакова О.И.** Отходы бетона — сырье для производства заполнителей повторного применения / Пути использования вторичных ресурсов для производства строительных материалов и изделий. — Чимкент, 1986. — С. 40—42.

15. **Липей О.А., Крылов Б.А., Дмитриев А.С.** Заполнители из дробленого бетона. — Бетон и железобетон, № 5, 1981. — С. 22—24.

16. **Липей О.А.** О прочности на сжатие бетона на заполнителях из дробленого бетона / Новые исследования по технологии, расчету и конструированию железобетонных конструкций. — М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1980. — С. 112.

17. Re-use of concrete and brick materials. EDA/RILEM Conference, June 1985, p.1.

18. Yoshio Kasai. Studies into the reuse of demolished concrete in Japan. EDA/RILEM Conference "Re-use of concrete and brick materials", June 1985, p. 17—25.

19. F. Hendriks. The use of concrete and masonry waste as aggregates for concrete production in the Netherlands. EDA/RILEM Conference "Re-use of concrete and brick materials", June 1985, p. 34—35.

20. Zagurskiy V.A., Zhadanovskiy B.V. Breaning reinforced concrete and recycling crushed materials. European Demolition Association. Den Haag, 1985, the Netherlands.

21. B. Boesmans. Crushing and separating techniques for demolition material. EDA/RILEM Conference "Re-use of concrete and brick materials", June 1985, p. 4—15.

22. Yoshio Kasai. Критерии применения лома в качестве заполни-

- теля бетона. Cement and Concrete, 1981, № 9 (415), 182–188 (Япония).
23. J. Robertson. Pavement Recycling saves time money on giant interstate job. Rock Products, 1980, vol 93, № 2, p. 52–54 (США).
24. Born. Again "Concrete Emerges as Agg "Detail", 1978, 60, № 12, 69–71 (USA).
25. P.J. Nixon. Recycled concrete as an aggregate for concrete – a review. Materials and structures. RILEM, 1978, Vol. 11 – № 65, p. 371–377.
26. T. Nansen, H. Narnd. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete international, № 1, 1983, p. 79–83 (USA).
27. B. Friesenborg, R. Genenger, F. Orłowski. Recycling of waste concrete. Betonwerk + Fertigteil – Technik, Heft 12, 1984, p. 830.
28. Ready – mix supplier turns "waste" concrete into profits. Concrete Products, 1985, Vol. 88, № 6, p. 22–23 (USA).

Производственное издание

Гусев Борис Владимирович
Загурский Владимир Александрович

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОНОВ

**Редакция литературы по строительным
материалам и конструкциям**

Зав. редакцией И. Х. Наназашвили
Редактор Е. А. Волкова
Технический редактор Е. Н. Ненарокова
Корректор С. А. Зудилина
Оператор И. Д. Тинькова

ИБ № 4462

Подписано в печать 29.06.87 Т – 11694 Формат 84x108 1/32 Бумага
офсетная №2 Печать офсетная Усл.печ.л. 5,04 Усл.кр.-отт. 5,36
Уч.-изд.л. 6,18 Тираж 5000 экз. Изд. № АУ1 – 2069 Зак. № 907
Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Калевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной тор-
говли
300600, ГСП, г.Тула, проспект Ленина, 109

Цена 30 коп.

"... КОМПЛЕКСНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРИРОДНЫЕ И МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, МАКСИМАЛЬНО УСТРАНЯТЬ ПОТЕРИ И НЕРАЦИОНАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ. ШИРОКО ВОВЛЕКАТЬ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ, А ТАКЖЕ ПОПУТНЫЕ ПРОДУКТЫ".

(ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СССР НА 1986 – 1990 ГОДЫ И НА ПЕРИОД ДО 2000 ГОДА)