DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-28-39

*Ахмед А.А.,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Федюк Р.С. *, кандидат технических наук, доцент,
Лисейцев Ю.Л.,
Тимохин Р.А.,
Дальневосточный федеральный университет, Россия,
Мурали Г., PhD,
Университет САСТРА, Индия*
*Ответственный автор E-mail: roman44@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОННОГО ЛОМА ИРАКА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ И ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТЯЖЕЛОГО И ЛЁГКОГО БЕТОНА

Аннотация: актуальность работы обусловлена поиском альтернативных источников сырья для строительной индустрии, сопряженным с утилизацией техногенных отходов. Новизна статьи заключается в выявлении научных закономерностей влияния отходов сноса зданий и сооружений на формирование микроструктуры легких и тяжелых бетонов. Бетонные отходы готовили в качестве, как наполнителей цементных материалов, так и мелких заполнителей, на основе которых созданы бетоны с высокими механическими свойствами. Проектирование составов производилось с точки зрения геоники (геомиметики), в частности, с учетом закона сродства структур. Прочностные характеристики бетонных смесей были исследованы в соответствии с EN 12390-3. Кроме того, были определены микроструктурные, морфологические и термические свойства сырья и бетонов при 28-дневном отверждении. Впервые была обеспечена плотная микроструктура композита, как продуктами портландцемента, так и гидратацией, и, частично, продуктами гидратации ранее непрореагировавшего клинкера. минералы которого присутствуют в бетонных отходах и активируются при их измельчении. Использование отходов сноса зданий и сооружений в качестве наполнителя цементирующего материала при замене портландцемента до 20% позволяет получить лучшую прочность на сжатие, как тяжелых, так и легких бетонов.

Ключевые слова: бетон, заполнитель, наполнитель, бетонный лом, структура, прочность

Введение

Технический прогресс в производстве бетона и железобетона требует дополнительных источников сырья, в частности, использование высококачественных компонентов [1-2]. Решению этой проблемы препятствует постоянно растущая нехватка минеральных и энергетических ресурсов, а также возросшие экологические требования [3-4]. Альтернативным источником сырья для производства бетонов могут служить отходы разрушенных зданий [5-6].

Большой потенциал для этого имеют государства, в которых по различным причинам имеется большое количество снесенных или разрушенных строительных объектов. Задача утилизации данных отходов обусловлена, как большой затратностью этого мероприятия, так и необходимостью скорейшего введения в эксплуатацию земельных участков под этими объектами [7-8]. В связи с этим, целесообразно использовать фрагменты разрушенных зданий и сооружений в качестве сырья для производства материалов для строительства новых зданий, а особенно, «зеленых» и «интеллектуальных» композитов.

Ряд работ посвящен изучению возможности использования отходов разрушенных зданий: в странах Евросоюза [9], Нидерландах [10], Вене (Австрия) [11], Китае [12-14], Южной Корее [15], Ливане [16], Бразилии [17], США [12]. Однако результаты этих исследований весьма противоречивы, что объясняется разным составом отходов разрушенных зданий в разных странах. Общий вывод этих работ в том, что применение строительного мусора во вновь создаваемых композитах без снижения требуемых характеристик этих композитов становится возможным только в результате учета химико-минералогического состава компонентов, а также активации используемого сырья различным способом.

В настоящее время проведен ряд исследований применения бетонного лома в различных строительных материалах. Силва и др. [18] разработали кладочные растворы с заполнителями из бетонного лома. Янг и др. [19] использовали для приготовления пенобетона кирпичную крошку. Аморим Бейя с соавторами [17] использовали бетонный лом в качестве замены щебня для подготовки оснований под дорожные покрытия. Кумар с коллегами [20] применяли отходы сноса зданий для производства брусчатки. Саез дель Боске с со-

авторами [21] использовали отходы бетона в качестве добавки для изготовления цемента. Кумар Дас и Шривастава [22] применяли бетонный лом в качестве компонента геополимеров.

Теоретической основой для проектирования композитов с использованием указанного сырья является трансдисциплинарная наука геоника (геомиметика), разработанная В.С. Лесовиком. Эта наука использует результаты исследований природных процессов для создания высокопрочных бетонов и строительных конструкций нового поколения. В частности, одним из аспектов этой науки является закон сродства структур, который заключается в выборе сырья для композита с аналогичными физико-механическими характеристиками. Проектирование сложных композитов согласно этому закону возможно только при системном анализе макро-, микро- и наноразмеров. Данные структуры должны максимально соответствовать базовому составу, в этом случае обеспечивается наилучшая адгезия и, соответственно, долговечность композита. Закон сформулирован на основе изучения природных объектов, аналогичных строительным композиционным материалам.

Результаты настоящей статьи были получены с использованием отходов разрушенных зданий и сооружений Ирака, которые состоят в основном из бетона, керамического кирпича и известняковых стеновых блоков. В докладах Организации Объединенных Наций, размещенных на сайте www.un.org, сообщается, что в результате военных операций и террористических актов в Ираке было полностью разрушено от 80 000 до 100 000 промышленных и жилых зданий. Между тем природные ресурсы страны быстро истощаются.

Основываясь на этих фактах, настоящая статья анализирует потенциальное влияние мелкодисперсных минеральных добавок (бетонных отходов) как наполнителя и мелкого заполнителя для легких и тяжелых бетонов.

Методы и материалы

В качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (Белгородский цемент, Россия). Химический и минералогический состав, а также основные технические характеристики приведены в табл. 1 и 2. Удельная площадь поверхности портландцемента составляла 300 - 350 м²/кг.

Таблица 1

Химический и минералогический состав цемента ЦЕМ I 42,5Н

Table 1

Chemical and mineralogical composition of CEM I 42.5N concrete

Химический состав, % мас.							Минералогический состав, % мас.			
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Alkalies	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
65,73	22,19	4,37	4,30	0,67	0,18	0,70	60,3	16,8	6,9	13,3

Таблица 2

Физико-механические свойства цемента ЦЕМ I 42,5Н

Table 2

Physical and mechanical properties of CEM I 42.5N concrete

Время схватывания, ч:мин		Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при сжатии, МПа	
начало	конец	3 д.	28 д.	3 д.	28 д.
2:30	3:35	5,8	8,1	33,6	46,6

В качестве контрольных природных заполнителей использовалось следующее сырье: песок Курского месторождения (Россия), гранитный щебень месторождения Эркиля (Россия) и керамзит фракции 10-20 Алексинского завода (Россия). Характеристики песка, щебня и керамзита представлены в табл. 3-5.

Таблица 3

Характеристики применяемого песка

Table 3

Properties of used sand	
Характеристики	Значения
Насыпная плотность, кг/м ³	1400
Модуль крупности	1,8
Содержание пыльных, глинистых и иловых частиц, % мас.	0,7
Удельный вес, кг/м ³	2500
Потери при прокаливании, % мас.	<1
Остаток на сите 0,9 мм, % мас.	<1
Остаток на сите 0,5 мм, % мас.	>92

Таблица 4

Характеристики применяемого щебня

Table 4

Properties of used crushed stone		
	Характеристики	Значения
Физико-механические свойства	Удельный вес, кг/м ³	2600
	Пористость, % об.	4,1
	Прочность при сжатии, МПа:	
	сухой	168
Минералогический состав	влажный	156
	Микроклин, % мас.	45-60
	Плагиоклаз, % мас.	15-20
	Кварц, % мас.	25-35
	Биотит, % мас.	2-5

Таблица 5

Характеристики применяемого керамзита

Table 5

Properties of expanded clay			
Прочность при сжатии, МПа	Морозостойкость, циклы	Водопоглощение, %	Плотность, кг/м ³
0,3-6	15	10-25	150-800

В табл. 6 приведен состав отходов строительства и сноса иракских зданий и сооружений (рис. 1). Как видно из табл. 6, отходы от строительства и сноса в результате военных действий в городах Ирака составляют 99,88% щебня и цементного камня. Внешний вид измельченных отходов сноса показан на рис. 2, здесь видно, что полученный техногенный крупный заполнитель содержит слои цементного раствора. Там, где такой слой отсутствует, наблюдаются пленочные участки гидратных фаз. Есть все основания полагать, что такие вкрапления будут способствовать улучшению сцепления техногенного заполнителя с цементной матрицей. Это предположение возникает на основе того, что сцепление различных материалов с цементной матрицей снижается в следующей последовательности: клинкер > известняк > гранит > кварц.

Рис. 1. Разрушенные здания и сооружения Ирака
Fig. 1. Destroyed buildings and structures of Iraq

Таблица 6

Состав разрушенных зданий

Table 6

Composition of destroyed buildings

Материал	Портландцемент	Щебень	Фибра	Дерево	Металл	Пластик	Гипс
Содержание, %	39.48	60.4	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01

Рис. 2. Внешний вид измельченных отходов сноса

Fig. 2. Appearance of crushed demolition waste

Отходы сноса измельчали в щековой дробилке с получением фракций 2,5-5; 1,25-2,5; 0,63-1,25; 0,315-0,63; 0,16-0,315 и 0-0,16. Это сырье использовалось в качестве мелкого заполнителя в дальнейших исследованиях. Чтобы изучить отходы сноса в качестве наполнителя цементного вяжущего, их дополнительно измельчали на шаровой мельнице BM-20 (Россия) до размеров, сопоставимых с размерами портландцемента.

Особенности микроструктуры и составы сырья и продуктов, использованных в результате синтеза иракских материалов, изучались теоретическими и эмпирическими методами. Морфологию сырья и мелких образцов бетона размером 15 мм × 15 мм × 4 мм исследовали на сканирующем электронном микроскопе (MIRA3 TESCAN, Брно, Чехия), работающем при ускоряющем напряжении 8,0 кВ. Химический состав сырья и небольших образцов бетона определяли с использованием рентгеновского спектрометра ARL 9900 WorkStation (Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA) со встроенной дифракционной системой. Дифференциально-термический анализ (ДТА) и термогравиметрию (ТГ) проводили с использованием термогравиметрического анализатора Shimadzu DTG-60H (Япония).

Смесь заливали в конус высотой 30 см, затем, после удаления конуса, измеряли осадку. Средняя плотность бетона была определена на образцах-кубиках 10 × 10 × 10 см, высушенных до постоянного веса при 105°C. Прочность при сжатии бетонных образцов была изготовлена на образцах 10 × 10 × 10 см с использованием испытательной машины Shimadzu (Киото, Япония) мощностью 200 кН, в соответствии с EN 12390-3.

При проведении экспериментальной работы использовались системно-структурные основы материаловедческого подхода в «проектирование состава – разработка технологии – исследование микроструктуры – изучение свойств».

Результаты и обсуждения

После измельчения отходов сноса, был получен отсев фракций 2,5-5; 1,25-2,5; 0,63-1,25; 0,315-0,63; 0,16-0,315 и 0-0,16. Микрофотографии полученных отсеков показаны на рис. 3. Минеральный состав различных фракций отходов сноса приведен в табл. 7.

Рис. 3. Микрофотографии отсева фракций: а) 0-0,16, б) 0,16-0,315, в) 0,315-0,63, г) 0,63-1,25, д) 1,25-2,5, е) 2,5-5
Fig. 3. Micrographs of screening fractions: a) 0-0.16, b) 0.16-0.315, c) 0.315-0.63, d) 0.63-1.25, e) 1.25-2.5, f) 2.5-5

Таблица 7

Минеральный состав различных фракций отходов сноса

Table 7

The mineral composition of various fractions of demolition wastes

Фракция	Минеральный состав, %					
	SiO ₂	Ca(OH) ₂	CaCO ₃	CSH	C ₃ S	C ₂ S
0,00-0,16	48,4	11,5	10,0	5,8	12,0	12,3
0,16-0,315	55,2	7,4	11,0	4,4	11,0	11,0
0,315-0,63	56,4	11,0	3,9	12,0	6,7	10,0
0,63-1,25	65,1	12,0	6,0	5,9	5,0	6,0
1,25-2,5	64,4	10,5	6,9	3,0	7,6	7,6
2,5-5	62,8	11,0	0	6,0	9,2	11,0

Испытания проводились с целью замены природного песка отсевом бетонного лома в керамзитобетоне класса С8 / 10 и тяжелом бетоне класса С16 / 20. Испытания проводились с частичной и полной заменой песка отходами разрушения с размером частиц 1,8 мм. В этом случае бетонные смеси готовили на натуральном песке (контрольный состав) и на искусственном песке с частичным замещением (30% диапазон варьирования) до полной замены (табл. 8-9).

Таблица 8

Составы и свойства керамзитобетонов

Table 8

Compositions and properties of expanded clay concretes

Номер состава	Содержание материала, кг/м ³					Осадка конуса, см	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа
	Портланд-цемент	Кварцевый песок	Керамзит	Отходы сноса	Вода			
LW-1	225	800	410	-	270	3-4	1670	16
LW-2	225	560	410	240	255	4-5	1600	17.2
LW-3	225	400	410	400	226	3-4	1625	19.8
LW-4	225	240	410	560	243	3-4	1562	17.9
LW-5	225	-	410	800	246	3-4	1564	17.7

Таблица 9

Составы и свойства керамзитобетонов

Table 9

Compositions and properties of heavyweight concretes

Но-мер состава	Содержание материала, кг/м ³					Осадка конуса, см	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
	Цемент	Песок	Щебень	Отходы сноса	Вода			
HW-1	475	600	1350	-	237	4	2360	27
HW-2	475	450	1350	150	237	4	2340	26,9
HW-3	475	300	1350	300	237	4	2365	26,5
HW-4	475	150	1350	450	237	4	2344	27,2
HW-5	475	-	1350	600	237	4	2350	26

Как показали результаты исследований (табл. 8), прочность при сжатии керамзитобетона с использованием отходов сноса увеличивается, что объясняется увеличением адгезии заполнителя с цементной матрицей. В табл. 9 приведены результаты аналогичных исследований для тяжелого бетона. Испытания по замене натурального песка на искусственный измельченный песок в тяжелом бетоне также показали, что прочность бетона не уменьшается, а даже превышает контрольный состав. Очевидно, что искусственный измельченный песок, полученный в результате классификации измельченных фрагментов разрушенных зданий и сооружений, имеет хороший потенциал для использования в виде мелкого заполнителя в бетоне.

Микрофотографии, представленные на рис. 4, показывают межфазную переходную зону связи техногенного заполнителя и цементной матрицы. Наглядно просматриваются плотные контакты цементного камня и крупного заполнителя, образующих цельный сформировавшийся композит. Плотная контактная структура образуется за счет того, что в ранние сроки твердения бетонной смеси щебень, полученный из строительных отходов, впитывает часть воды затворения, и уже затем при кристаллизации цементного камня эта вода отдается порами техногенного щебня для связывания минералов клинкера в высокопрочные новообразования. В результате этого, растет активность вяжущего, при этом реологические характеристики смеси не снижаются. Если бетонные отходы невелики, и технология не подразумевает термовлажностной обработки, они способны обеспечивать гидратацию не прореагировавших ранее частиц клинкерных минералов и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, общее количество которого примерно 15-25% в бетонной смеси.

Рис. 4. Контактная зона между цементной матрицей и заполнителем

Fig. 4. Contact zone between the cement matrix and the aggregate

Таким образом, выявлено, что полученные композиты из активных наполнителей порландцементных вяжущих и щебня из отходов сноса обладают хорошим сцеплением между компонентами. Соответственно, это позволяет получить строительные материалы широкого профиля со сниженной деформируемостью, хорошей трещиностойкостью, долговечностью и т.д. Эти выводы, основанные на законе сродства структур, были доказаны ранее [23-24].

На рис. 5 показаны зависимости прочности при сжатии от количества портландцемента, замененного измельченными отходами от сноса. В то же время, в соответствии с законом сродства структур, бетонные отходы измельчали до достижения удельной площади поверхности портландцемента ($300-350 \text{ м}^2 / \text{кг}$).

Рис. 5. Зависимость прочности при сжатии тяжелого и легкого бетона от количества портландцемента, замененного измельченными отходами от сноса

Fig. 5. Effect of the amount of Portland cement replaced by crushed demolition waste on compressive strength of heavyweight and lightweight concrete

Введение добавок различного генезиса в вяжущее влечет за собой трансформацию механизма и скорости гидратационных процессов клинкерных минералов при взаимодействии с водой затворения. Возможно, что эти добавки способны реагировать с новообразованиями портландцементной матрицы, соответственно, образуя при этом новые фазы, влияющие различным образом на характеристики бетонного композита. Поэтому, для достижения цели статьи необходимо было изучить гидратационные механизмы в зависимости от присутствия отходов сноса зданий. Для этого применялись дифференциально-термический и рентгено-фазовый анализ.

Рис. 6 показывает результаты ДТА 28-суточного затвердевшего цемента с введенными бетонными добавками. Наблюдается сложный эндотермический эффект, достигающий с максимума при температуре около 102°C . Пик при температуре 448°C характеризует эндотермический эффект, возникающий в результате дегидроксилирования портландита. Данный эндоэффект показывает что, вторичный бетон, выступающий в роли активного

наполнителя цементных вяжущих, не прореагировал со всем гидроксидом кальция, соответственно, жидкая фаза твердеющей смеси насыщалась этим $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Согласно фундаментальным представлениям, в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ высокоосновные C-S-H (II), в отличие от низкоосновных C-S-H (I), сохраняют стабильность. Соответственно, важнейшим компонентом цементных материалов, модифицированных тонкомолотым бетонным ломом становятся C-S-H (II) волокнистой структуры.

Рис. 6. Дифференциально-термический анализ образца HW-1

Fig. 6. DTA patterns of HW-1 specimen

Небольшие эндотермические эффекты при температурах 689°C и 713°C главным образом характеризуются декарбонизацией слабокристаллизованных метастабильных форм CaCO_3 , образовавшихся за счет частичной карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Рентгено-дифракционный анализ образца HW-1 (рис. 7) коррелирует с вышеприведенными дифференциально-термическими исследованиями. В частности, кроме отражений непрогидратировавших клинкерных минералов ($d = 4,343$; $4,270$; $3,357$ и $3,198$ Å), сравнительно малое отражение $2,637$ Å привлекает внимание как выявленный портландит.

Рис. 7. Результаты РФА образца HW-1

Fig. 7. XRD results of specimen HW-1

То же подтверждается микрофотография, полученными с помощью РЭМ, разработанного бетона в возрасте 28 дней (рис. 8). Отмечается плотная микроструктура, обеспечиваемая как портландцементными продуктами, так и продуктами гидратации ранее непрореагировавших клинкерных минералов, присутствующих в бетонных отходах и активированных во время его измельчения.

Рис. 8. Микроструктура новообразований в тяжелом бетоне HW-1 в возрасте 28 суток
Fig. 8. Microstructure of new growths in heavy concrete HW-1 at the age of 28 days

Выводы

В данной статье представлена возможность утилизации строительных отходов, что приводит к решению ряда проблем: утилизации отходов и улучшению физико-механических свойств бетона путем добавления переработанных отходов в качестве наполнителя или заполнителей. Исходя из результата комплекса проведенных исследований, нижеприведенные выводы предлагаются для дальнейшего обсуждения:

1. Использование отходов сноса зданий и сооружений в качестве мелкого заполнителя дает аналогичные результаты по механическим характеристикам тяжелого и легкого бетона, как при использовании природного песка. Это связано с уплотнением структуры и срастанием бетонных отходов с поверхностью цементной матрицы, в результате чего они выглядят как единое целое.

2. Отходы сноса в качестве наполнителя цементного вяжущего при замене портландцемента до 20% позволяют получить лучшую прочность при сжатии, как тяжелого, так и легкого бетона, благодаря уплотнению микроструктуры продуктами гидратации ранее непрореагировавших минералов клинкера, присутствующих в бетонных отходах, и активированных в ходе измельчения.

Литература

1. Szelag M. Properties of cracking patterns of multi-walled carbon nanotube-reinforced cement matrix // Materials. 2019. № 12 (18). P. 2942.
2. Fediuk R.S., Lesovik V.S., Mochalov A.V., Otsokov K.A., Lashina I.V., Timokhin R.A. Composite binders for concrete of protective structures // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6 (82). С. 208 – 218.
3. Al-Fakih A., Mohammed B.S., Wahab M.M.A., Alyousef R., Alabduljabbar H. Characteristic compressive strength correlation of rubberized concrete interlocking masonry wall // Structures. 2020. № 26. P. 169 – 184.
4. Федюк Р.С., Тимохин Р.А., Смоляков А.К. Научное лидерство китайских ученых в области строительных технологий // Россия и Китай: проблемы стратегического взаимодействия: сборник Восточного центра. 2017. № 19. С. 21 – 24.
5. Danish A., Mosaberpanah M.A. Formation mechanism and applications of cenospheres: a review // Journal of Materials Science. 2020. № 55 (11). P. 4539 – 4557.
6. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Пезин Д.Н., Тимохин Р.А. Самоуплотняющиеся бетоны с применением отходов растениеводства // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. № 2 (60). С. 294 – 304.
7. Rajabi A.M., Omid Moaf F., Abdelgader H.S. Evaluation of Mechanical Properties of Two-Stage Concrete and Conventional Concrete Using Nondestructive Tests // Journal of Materials in Civil Engineering. 2020. №32 (7). 04020185.

8. Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ: Материалы конференции. Секции 1-3. 2017. С. 109 – 113.
9. Villoria Sáez P., Osmani M. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union // *Journal of Cleaner Production*. 2019. 241. 118400.
10. Zhang C., Hu M., Yang X., Miranda-Xicotencatl B., Tukker A. Upgrading construction and demolition waste management from downcycling to recycling in the Netherlands // *Journal of Cleaner Production*. 2020. 266. 121718.
11. Lederer J., Gassner A., Kleemann F., Fellner, J. Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: a case study from Vienna // *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. 161. 104942.
12. Shahzad Aslam M., Huang B., Cui L. Review of construction and demolition waste management in China and USA // *Journal of Environmental Management*. 2020. 264. 110445.
13. Yu B., Wang J., Li J., Lu W., Xu X. Quantifying the potential of recycling demolition waste generated from urban renewal: A case study in Shenzhen, China // *Journal of Cleaner Production*. 2020. 247. 119127.
14. Ansari M., Hassan Ehrampoush M. Quantitative and qualitative analysis of construction and demolition Shenzhen, China // *Journal of Cleaner Production*. 2020. 263. 121371.
15. Cha G.-W., Jun Moon H., Kim Y.-C., Hong W.-H., Hwang J.-H. Evaluating recycling potential of demolition waste considering building structure types: A study in South Korea // *Journal of Cleaner Production*. 2020. 256. 120385.
16. AlZaghri N, Jordan Srouf F., Srouf I. Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon // *Waste Management*. 2019. № 95. P. 139 – 149.
17. Amorim Beja I., Motta R., Bariani Bernucci L. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil // *Construction and Building Materials*. 2020. 258. 119520.
18. Silva R.V., de Brito J., Dhir R.K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes // *Construction and Building*. 2016. № 105. P. 400 – 415.
19. Yang D., Liu M., Ma Z. Properties of the foam concrete containing waste brick powder derived from construction and demolition waste // *Journal of Building Engineering*. 2020. 101509.
20. Kumar G., Shrivastava S., Gupta R.C. Paver blocks manufactured from construction & demolition waste // *Materials Today: Proceedings*. 2020. № 27 (12). P. 311 – 317.
21. Sáez del Bosque I.F., Van den Heede P., De Belie N., Sánchez de Rojas M.I., Medina C. Freeze-thaw resistance of concrete containing mixed aggregate and construction and demolition waste-added cement in water and de-icing salts // *Construction and Building Materials*. 2020. 259. 119772.
22. Kumar Das S., Shrivastava S. A study on the viability of fly ash and construction and demolition waste as geopolymerized masonry mortar and their comparative analysis // *Materials Today: Proceedings*. 2020.
23. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2018. № 4 (37). С. 85 – 99.
24. Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ: Материалы конференции. Секции 1-3. 2017. С. 109 – 113.

References

1. Szlag M. Properties of cracking patterns of multi-walled carbon nanotube-reinforced cement matrix. *Materials*. 2019. 12 (18). P. 2942.
2. Fediuk R.S., Lesovik V.S., Mochalov A.V., Otsokov K.A., Lashina I.V., Timokhin R.A. Composite binders for concrete of protective structures. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2018. 6 (82). P. 208 – 218.
3. Al-Fakih A., Mohammed B.S., Wahab M.M.A., Alyousef R., Alabduljabbar H. Characteristic compressive strength correlation of rubberized concrete interlocking masonry wall. *Structures*. 2020. 26. P. 169 – 184.

4. Fedjuk R.S., Timohin R.A., Smoljakov A.K. Nauchnoe liderstvo kitajskih uchenyh v oblasti stroitel'nyh tehnologij. Rossiya i Kitaj: problemy strategicheskogo vzaimodejstvija: sbornik Vostochnogo centra. 2017. 19. P. 21 – 24. (rus.)
5. Danish A., Mosaberpanah M.A. Formation mechanism and applications of cenospheres: a review. Journal of Materials Science. 2020. 55 (11). P. 4539 – 4557.
6. Fedjuk R.S., Mochalov A.V., Pezin D.N., Timohin R.A. Samouplotnjajushhiesja betony s primeneniem othodov rastenievodstva. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo uni-versiteta. 2018. 15. 2 (60). P. 294 – 304. (rus.)
7. Rajabi A.M., Omid Moaf F., Abdelgader H.S. Evaluation of Mechanical Properties of Two-Stage Concrete and Conventional Concrete Using Nondestructive Tests. Journal of Materials in Civil Engineering. 2020. 32 (7). 04020185.
8. Fedjuk R.S., Smoljakov A.K., Timohin R.A. Stroitel'nye materialy dlja vojskovoj fortifikacii. XVIII Vse-rossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija molodyh uchenyh, aspirantov i studentov v g. Nerjungri, s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 25-letiju so dnja obrazovanija Teh-nicheskogo instituta (filiala) SVFU: Materialy konferencii. Sekcii 1-3. 2017. P. 109 – 113. (rus.)
9. Villoria Sáez P., Osmani M. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. Journal of Cleaner Production. 2019. 241. 118400.
10. Zhang C., Hu M., Yang X., Miranda-Xicotencatl B., Tukker A. Upgrading construction and demolition waste management from downcycling to recycling in the Netherlands. Journal of Cleaner Production. 2020. 266. 121718.
11. Lederer J., Gassner A., Kleemann F., Fellner, J. Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: a case study from Vienna. Resources, Conservation and Recycling. 2020. 161. 104942.
12. Shahzad Aslam M., Huang B., Cui L. Review of construction and demolition waste management in China and USA. Journal of Environmental Management. 2020. 264. 110445.
13. Yu B., Wang J., Li J., Lu W., Xu X. Quantifying the potential of recycling demolition waste generated from urban renewal: A case study in Shenzhen, China. Journal of Cleaner Production. 2020. 247. 119127.
14. Ansari M., Hassan Ehrampoush M. Quantitative and qualitative analysis of construction and demolition Shenzhen, China. Journal of Cleaner Production. 2020. 263. 121371.
15. Cha G.-W., Jun Moon H., Kim Y.-C., Hong W.-H., Hwang J.-H. Evaluating recycling potential of demolition waste considering building structure types: A study in South Korea. Journal of Cleaner Production. 2020. 256. 120385.
16. AlZaghrini N, Jordan Srouf F., Srouf I. Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon. Waste Management. 2019. 95. P. 139 – 149.
17. Amorim Beja I., Motta R., Bariani Bernucci L. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil. Construction and Building Materials. 2020. 258. 119520.
18. Silva R.V., de Brito J., Dhir R.K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. Construction and Building. 2016. 105. P. 400 – 415
19. Yang D., Liu M., Ma Z. Properties of the foam concrete containing waste brick powder derived from construction and demolition waste. Journal of Building Engineering. 2020. 101509.
20. Kumar G., Shrivastava S., Gupta R.C. Paver blocks manufactured from construction & demolition waste. Materials Today: Proceedings. 2020. 27 (12). P. 311 – 317.
21. Sáez del Bosque I.F., Van den Heede P., De Belie N., Sánchez de Rojas M.I., Medina C. Freeze-thaw resistance of concrete containing mixed aggregate and construction and demolition waste-added cement in water and de-icing salts. Construction and Building Materials. 2020. 259. 119772.
22. Kumar Das S., Shrivastava S. A study on the viability of fly ash and construction and demolition waste as geopolymerized masonry mortar and their comparative analysis. Materials Today: Proceedings. 2020.
23. Fedjuk R.S., Mochalov A.V., Lesovik V.S. Sovremennye sposoby aktivacii vjashushhego i beton-nyh smesej (obzor). Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. 2018. 4 (37). S. 85 – 99. (rus.)
24. Fedjuk R.S., Smoljakov A.K., Timohin R.A. Stroitel'nye materialy dlja vojskovoj fortifikacii. XVIII Vse-rossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija molodyh uchenyh, aspirantov i studentov v g. Nerjungri, s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 25-letiju so dnja obrazovanija Teh-nicheskogo instituta (filiala) SVFU: Materialy konferencii. Sekcii 1-3. 2017. P. 109 – 113. (rus.)

*Ahmed A.A.,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Fedyuk R.S. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Liseytshev Yu.L.,
Timokhin R.A.,
Far Eastern Federal University, Russia,
Murali G., PhD,
SASTRA University, India*
*Corresponding author E-mail: roman44@yandex.ru

USE OF IRAQ CONCRETE SCRAP AS FILLER AND AGGREGATE OF HEAVYWEIGHT AND LIGHTWEIGHT CONCRETE

Abstract: the relevance of the paper is due to the search for alternative sources of raw materials for the construction industry, associated with the disposal of man-made waste. The novelty of the article is to identify the scientific laws of the influence of demolition waste on buildings and structures on the formation of the microstructure of lightweight and heavyweight concrete. Concrete waste was prepared as both fillers of cement materials and fine aggregates, based on which concrete with high mechanical properties was created. The mix design was carried out from the point of view of geomimetics, in particular, taking into account the law of affinity of structures. The strength characteristics of concrete mixtures were investigated in accordance with EN 12390-3. In addition, the microstructural, morphological and thermal properties of the raw materials and concrete were determined during 28-day curing. For the first time, the dense microstructure of the composite was ensured, both with Portland cement products and with hydration, and, in part, with hydration products of previously unreacted clinker, whose minerals are present in concrete waste and are activated when they are crushed. The use of demolition waste of buildings and structures as a filler of cementing material when replacing Portland cement up to 20% allows to obtain better compressive strength of both heavyweight and lightweight concrete.

Keywords: concrete, aggregate, filler, concrete scrap, structure, strength

Для цитирования: Ахмед А.А., Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л., Тимохин Р.А., Мурали Г. Использование бетонного лома ирака в качестве наполнителя и заполнителя тяжелого и лёгкого бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 3. С. 28 – 39. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-28-39

For citation: Ahmed A.A., Fedyuk R.S., Liseytshev Yu.L., Timokhin R.A., Murali G. Use of Iraq concrete scrap as filler and aggregate of heavyweight and lightweight concrete. Construction Materials and Products. 2020. 3 (3). P. 28 – 39. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-28-39

Поступила в редакцию 27 февраля 2020 г.
Принята в доработанном виде 28 апреля 2020 г.
Одобрена для публикации 11 июня 2020 г.

Received: February 27, 2020.
Revised: April 28, 2020.
Accepted: June 11, 2020.