

О.А. ЛАРСЕН¹, В.В. НАРУТЬ¹, В.В. ВОРОНИН¹¹Национальный исследовательский Московский государственный университет, г. Москва, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЕТОННОГО ЛОМА С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Аннотация. В статье отражена необходимость переработки железобетонного и бетонного лома, образующегося при реализации программы реновации в городе Москве. Показано, что часть бетонного и железобетонного лома может подвергаться переработке с целью получения сырьевых материалов для высокоэффективного самоуплотняющегося бетона – щебня из дробленого бетона фр. 5-10 мм и микронаполнителя. Указано, что ключевым принципом эффективной системы переработки является организация удаления загрязняющих примесей и сортировка различных видов изделий. Рекомендована технологическая последовательность демонтажа зданий, организация транспортных операций, линий переработки железобетонного и бетонного лома, складирования и контроля качества получаемого продукта. Предложены технологические приёмы, позволяющие получать высокоэффективные самоуплотняющиеся бетонные смеси на материалах из бетонного лома в заводских условиях производства.

Ключевые слова: реновация, железобетонный и бетонный лом, рециклинг, самоуплотняющийся бетон, технологическая схема переработки.

O.A. LARSEN¹, V.V. NARUTS¹, V.V. VORONIN¹¹ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

CONCRETE RECYCLING TECHNOLOGY FOR SELF-COMPACTING CONCRETE

Abstract. The article presents the recycling technology of reinforced concrete formed during the renovation program in Moscow city. It is shown that the part of concrete can be recycled to obtain raw materials for self-compacting concrete use, including products of recycling. The products include recycled concrete aggregate 5-10 mm fraction and the filler. It is indicated that the efficient concept of recycling process is sorting of various types of products and removal of contaminants. The sequence of technological operations for dismantling buildings, transportation and recycling of concrete, storing and quality control of the resulting product has been developed. Technological methods that allow to obtain self-compacting concrete mixtures with the use of recycled concrete in concrete plant are suggested.

Keywords: renovation, recycled concrete, recycling, self-compacting concrete, technological operations.

1 Введение

В настоящее время происходит реализация федерального закона от 01.07.2017 г. № 141-ФЗ [1] по реновации в г. Москве. По оценкам столичных властей по программе реновации до 2032 года в городе может образоваться примерно до 30 миллионов тонн строительного мусора, то есть около 1,5 - 2 миллионов тонн дополнительных отходов в год [2]. Большая часть строительных отходов представляет собой железобетонный лом первоначальных крупноразмерных строительных конструкций промышленного изготовления – панели, плиты, блоки. Из данных конструкций, путем переработки, можно получить сырьевой материал для высокоэффективных самоуплотняющихся бетонов, применение которых позволяет повысить производительность труда и сократить сроки строительства.

Многие современные отечественные и зарубежные исследователи показали принципиальную возможность получения различных видов бетонов на материалах из дробленого бетона.

Научный коллектив по результатам своих работ [3] заключает, что полученный из бетонного лома щебень соответствует требованиям стандартов на заполнители для бетона. Также установлено положительное влияние на прочность, плотность, непроницаемость тяжелого бетона рационального количества вторичного крупного заполнителя.

В работе [4] отмечается, что предварительные результаты свидетельствуют о возможности применения вторичного щебня из бетонных отходов в различных областях строительства: устройстве оснований, выравнивающих, подстилающих слоёв при земляных и дорожных работах, в качестве заполнителя в бетонах прочностью 5-20 МПа.

Авторами [5] рассмотрены вопросы получения бетонов на вторичном щебне из бетонного лома различной прочности. Установлено, что при правильном подборе состава бетона существует возможность широкого получения бетонов классов по прочности на сжатие до В30, и, при необходимости, высокопрочных бетонов класса В70.

Также предлагаются различные практические методы повторного применения бетонного лома. В работе [6] приводится технология возведения монолитного фундамента под различные объекты из бутобетона методом раздельного бетонирования с применением материалов из дробленого бетона.

В данной статье особое внимание уделяется получению сырьевых материалов из железобетонного лома и производству с применением полученных материалов самоуплотняющегося бетона.

2 Методы

Основным принципом грамотной переработки строительных отходов является их сортировка и дифференцированное складирование. Для получения сырьевых материалов из бетонного лома для бетонов, отличающихся удовлетворительным качеством и невысоким коэффициентом вариации свойств, необходима переработка отдельных железобетонных элементов, имеющих схожие первоначальные характеристики – вид, предприятие изготовитель, год выпуска и т.д. Для получения самоуплотняющихся бетонных смесей повышенного качества на материалах из бетонного лома, в качестве изначального перерабатываемого сырья дополнительно рекомендуется применение однослойных (однородных по составу бетона) железобетонных элементов зданий и сооружений – плит перекрытий, бетонных перегородочных панелей, лестничных маршей и т.д.

Снос железобетонных зданий необходимо вести поэтапно. На первом этапе рекомендуется демонтаж всех инженерных коммуникаций. Далее производится ручная разборка кровельного покрытия, окон, дверей, покрытия полов и т.д. Следующим этапом является демонтаж несущих, ограждающих и ненесущих конструкций. Демонтаж необходимо производить механическим способом сноса [7] с применением в качестве технологических машин экскаваторов с навесным сменным гидравлическим оборудованием (молот, ножницы, захваты), позволяющим осуществлять обособленную разборку различных строительных элементов.

При производстве демонтажных работ необходимо четкое соблюдение технологической и проектной документации, разработанной на данные мероприятия.

Показателем качества разборки является целостность демонтируемых железобетонных изделий и конструкций [8].

Лом железобетонных изделий, предназначенный для рециклинга и получения сырьевых материалов для самоуплотняющегося бетона, транспортируется автотранспортом до мест переработки. Места переработки рекомендуется размещать вблизи предприятий по производству бетонных смесей.

Предлагаемая технологическая схема получения самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома основана на проделанной в МГСУ исследовательской работе [9,10,11] на следующих материалах:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5Б производства ПАО «Мордовцемент»;
- песок производства мансуровского карьера, соответствующий требованиям ГОСТ 8735 – 2014, модуль крупности $M_k = 1,8$;
- химические добавки: жидкий поликарбоксилатный суперпластификатор Sika ViscoCrete E55 производства компании ООО «Зика», сухой поликарбоксилатный суперпластификатор Melflux 5581F производства фирмы BASF;
- бетонный лом: внутренняя однослойная стеновая панель 9BC1 жилого многоквартирного дома серии 1605-АМ/5 демонтированного по программе реновации в микрорайоне Кунцево (г. Москва);
- водопроводная вода, отвечающая требованиям ГОСТ 23732-2011.

3 Результаты исследования и их анализ

Итогом работы стало создание семейства самоуплотняющихся бетонов со следующими свойствами: прочностью на сжатие $R_{сж} = 35\text{--}45$ МПа, маркой по морозостойкости $F_{100} - F_{200}$, маркой по водонепроницаемости $W4 - W8$.

Рекомендуемая технологическая последовательность переработки бетонного лома с целью получения сырьевых материалов для самоуплотняющегося бетона:

1. Складирование железобетонного и бетонного лома схожей номенклатуры;
2. Первичное дробление лома до получения кусков наибольшего размера не более 300 мм;
3. Окончательное удаление металла и примесей;
4. Вторичное дробление бетона производится в замкнутом цикле с доизмельчением;
5. Грохочение и сортировка по фракциям, отделение отсева дробления. Рекомендуемая фракция для получения самоуплотняющегося бетона - 5 - 10 мм;
6. Перемещение щебня из дробленого бетона фр. 5-10 мм в штабель;
7. Перемещение отсева дробления в отделение сушки и помола;
8. Сушка отсева дробления до влажности не более 1% по массе;
9. Совместный помол (активация) в мельнице отсева дробления и сухого суперпластификатора поликарбоксилатного типа Melflux 5581F до удельной поверхности 4100-4500 $\text{см}^2/\text{г}$. Итогом данной операции является получение гидравлически активного микронаполнителя для самоуплотняющегося бетона;
10. Подача микронаполнителя в силос готовой продукции.

Технологический процесс производства щебня из дробленого бетона фр.5-10 мм и микронаполнителя должен быть организован по ГОСТ [12] таким образом, чтобы максимально обеспечить согласованность работы технологического оборудования и исключить возможность возникновения производственных опасностей.

Для получения материалов заданного качества необходима организация системы контроля качества технологических процессов и получаемого сырья. Необходимо контролировать: наличие примесей в исходном бетонном ломе, удельную эффективную активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ сырья, зерновой состав получаемого щебня, влажность отсева дробления перед активацией, удельную поверхность получаемого микронаполнителя.

Далее щебень из дробленого бетона фр.5-10 мм из штабеля подаётся фронтальным погрузчиком в расходный бункер инертных материалов бетоносмесительной установки (БСУ) и после дозирования совместно с природным песком подаётся в бетоносмеситель принудительного действия. Одновременно с этим идет дозирование воды затворения и химической добавки из расходных ёмкостей, портландцемента и микронаполнителя из силосов.

Рекомендуется двухстадийное перемешивание бетонной смеси:

1. Стадия I: подача в смеситель щебня из дробленого бетона 5-10 мм, 50% портландцемента, микронаполнителя и воды затворения. Перемешивание компонентов не менее 50 секунд;
2. Стадия II: подача в смеситель песка и оставшихся 50% портландцемента, микронаполнителя, воды затворения и суперпластификатора. Перемешивание компонентов не менее 60 секунд.

Применение двухстадийного перемешивания позволяет уменьшить водопоглощение щебня из дробленого бетона за счёт колюматации капиллярных пор части зёрен. Колюматация происходит за счёт обволакивания зерен щебня вяжущим на первой стадии перемешивания.

Готовые к применению бетонные смеси доставляют потребителю в автобетоносмесителях. Максимально допустимая продолжительность транспортирования готовой бетонной смеси не должна превышать 120 минут.

4 Выводы

- Железобетонный и бетонный лом из демонтируемых по программе реновации в г. Москве зданий необходимо подвергать переработке для повторного использования, в том числе в технологии бетонов;
- Переработанный бетонный лом может применяться в качестве сырьевых материалов для самоуплотняющегося бетона – щебня из дробленого бетона фр. 5-10 мм и микронаполнителя;
- Для получения качественных сырьевых материалов для самоуплотняющегося бетона из бетонного лома необходима организация поэтапного демонтажа зданий и сортировки строительных отходов;
- Для получения самоуплотняющихся бетонных смесей повышенного качества на материалах из бетонного лома, в качестве изначального перерабатываемого сырья дополнительно рекомендуется применение однослойных (однородных по составу бетона) железобетонных элементов зданий и сооружений;
- Предложена технологическая схема переработки железобетонного и бетонного лома, контроля качества получаемых сырьевых материалов, а также технологическая последовательность производства и доставки бетонных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 01.07.2017 г. № 141-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации "О статусе столицы Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления особенностей регулирования отдельных правоотношений в целях реновации жилищного фонда в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве». М.: Кремль. 2017. 38 с.
2. Официальный сайт www.kp.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/26998/4059499/>
3. Шевченко В.А., Шатрова С.А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома // Эпоха науки. № 9. 2017. С. 165–168. DOI: 10.1555/2409-3203-2017-0-9-178-182.
4. Ламжав О. Исследование свойства вторичного заполнителя и бетона, изготовленного из бетонного лома // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. № 8(8). – Новосибирск: СибАК, 2017. С. 71-77.
5. Магсумов А.Н., Шарипянов Н.М., Красиникова Н.М. Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей // Символ науки. 2018. № 6. С. 29–32.
6. Жадановский Б.В., Синенко С.А., Мирошникова И.М., Кужин М.Ф. Повторное применение материалов при реновации на примере возведения монолитных конструкций из бутобетона раздельным методом бетонирования // Системные технологии. 2018. № 27. С.48–53.
7. Жадановский Б.В., Кужин М.Ф., Синенко С.А., Бродский В.И., Пахомова Л.А. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений. М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2018. 451 с.
8. ЦНИИОМТП. Типовая технологическая карта на разборку крупнопанельного жилого здания ТК-25 / Москва 2006.

9. Наруть В.В., Ларсен О.А. Самоуплотняющиеся бетоны на основе бетонного лома сносимых жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 52–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.52-58.
10. Larsen O., Naruts N., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates // *Materials Today: Proceedings*. 2019. 19. 2023-2026.
11. Наруть В. В., Ларсен О. А. Оценка качества продуктов дробления бетонного лома для его применения в технологии бетона // Бюллетень строительной техники. 2018. № 10. С. 47-49.
12. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности (Переиздание). М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

REFERENCES

1. Federal law No. 141-FZ of 01.07.2017 "Amendments to the Law of the Russian Federation" about status of the capital of the Russian Federation" and certain legislative acts of the Russian Federation in terms of establishing the specifics of regulating certain legal relations for the purpose of housing renovation in the subject of the Russian Federation-the Federal city of Moscow". Moscow: The Kremlin. 2017. 38 p.
2. Official website www.kp.ru [Electronic resource] - access Mode: <https://www.kp.ru/daily/26998/4059499/>
3. Shevchenko V. A., Shatrova S. A. Issledovaniye vozmozhnosti polucheniya zapolnitelya dlya betonov iz betonnoho loma [Research of possibility of aggregate production for aggregate from recycled concrete]. *Epoha nauki science*. 2017. No. 9. Pp. 165-168. DOI: 10.1555/2409-3203-2017-0-9-178-182.
4. Lamzhav O. Issledovaniye svoystva vtorichnogo zapolnitelya i betona, izgotovlennogo iz betonnoho loma [Investigation of the properties of recycled concrete aggregate and concrete]. Experimental and theoretical research in modern science: collection of articles on mater. VIII Intern. Science - practice. Conf. No. 8(8). Novosibirsk: Sibak, 2017. Pp. 71-77.
5. Magsumov A. N., Sharipyanov N. M., Krasnikova N. M. Ispol'zovaniye betonnoho loma v kachestve krupnogo zapolnitelya dlya proizvodstva betonnykh smesey [Use of recycled concrete as coarse aggregate for production of concrete mixes]. *Simvol nauki*. 2018. No. 6. Pp. 29-32.
6. Zhadanovsky B. V., Sinenko S. A., Miroshnikova I. M., Kuzhin M. F. Povtornoye primeneniye materialov pri renovatsii na primere vozvedeniya monolitnykh konstruktsey iz butobetona razdel'nym metodom betonirovaniya [Reuse of materials for renovation on example of monolithic structures construction made by stone concrete with separate method of concret work]. *Sistemnyye tekhnologii*. 2018. No. 27. Pp. 48-53.
7. Oleinik P.P., Zhdanov B.V., Kojin M. F., Sinenko S. A., Brodsky V. I., Pakhomov L. A. Construction of monolithic structures of buildings and structures. Moscow: MISI-MGSU publishing house, 2018. 451 p.
8. TSNIOMTP. Tipovaya tekhnologicheskaya karta na razborku krupnopanel'nogo zhilogo zdaniya TK-25 [Standard technological map for dismantling of a large-panel residential building TK-25]. Moscow, 2006.
9. Narut V. V., Larsen O. A. Samouplotnyayushchiesya betony na osnove betonnoho loma snosimyykh zhilykh zdaniy [Self-compacting concrete based on recycled concrete from demolished residential buildings]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2020. No 2. Pp. 52-58. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.52-58.
10. Larsen O., Narut N., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates. *Materials Today: Proceedings*. 2019. 19. 2023-2026.
11. Narut V.V., Larsen O.A. Otsenka kachestva produktov drobleniya betonnoho loma dlya yego primeneniya v tekhnologii betona [Quality assessment of crushed concrete scrap products for its use in concrete technology] // Bulletin of construction equipment. 2018. No. 10. Pp. 47-49. (rus)
12. Russian standard GOST 12.3.002-2014 System of labor safety standards (SSBT). The production process. General safety requirements (second edition). Moscow: Standardinform, 2019. 9 p.

Информация об авторах

Ларсен Оксана Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru

Наруть Виталий Викторович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: insolent88@mail.ru

Воронин Виктор Валерианович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,

доктор технических наук, консультант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru

Information about authors

Larsen Oksana A.

National Research MoscowState University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of civil and industrial engineering.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru

Naruts Vitali V.

National Research MoscowState University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
postgraduate student

E-mail: insolent88@mail.ru

Voronin Viktor V.

National Research MoscowState University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor in tech. sc., prof., prof. of the dep. of civil and industrial engineering

E-mail: larsen.oksana@mail.ru