



В. Ю. АЛПАТОВ
Е. П. АКРИ
Ж. В. СЕЛЕЗНЕВА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ РЕЦИКЛИНГА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

IMPROVEMENT OF METHODS FOR ORGANIZING RECYCLING DURING RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Рассмотрена проблематика утилизации строительного мусора при реконструкции зданий и сооружений. Изучены методические подходы к переработке строительных отходов, в том числе рециклинг продуктов переработки бетона и железобетона, который является в настоящее время одним из наиболее приоритетных направлений предпринимательской деятельности строительной отрасли. В качестве возможного проекта выбран мини-завод – дробильно-сортировочный комплекс ДСК-48-13, предлагаемый Обуховской научно-промышленной компанией (Нижний Новгород). Проведен анализ проекта строительства мини-завода по переработке строительных отходов ДСК-48-13 в Самарской области. Обоснована рациональность использования продуктов переработки бетона и железобетона.

Ключевые слова: строительные отходы, рециклинг, реконструкция, бетон, железобетон

Одной из важнейших проблем многих стран, в том числе России, является рост объемов образования производственных отходов, которое нарастает темпами, опережающими их переработку, обезвреживание и утилизацию. Величина отходов за последние 5 лет ежегодно повышалась на 15–30 % и составила в 2020 г. 22 млн. т.

Большое количество отходов нарушает экологическое равновесие и становится источником загрязнения окружающей среды, доля утилизированных отходов составляет всего 3,8 %, а основная часть размещается на свалках.

The problems of utilization of construction waste during the reconstruction of buildings and structures are considered. The methodological approaches to the processing of construction waste are studied, including the recycling of products of processing of concrete and reinforced concrete, which is currently one of the most priority areas of business in the construction industry. As a possible project, a mini-plant was chosen – a crushing and screening complex DSK-48-13, offered by the Obukhov Scientific and Industrial Company of the city of Nizhny Novgorod. An analysis of the project for the construction of a mini-plant for the processing of construction waste DSK-48-13 in the Samara region was carried out. The rationality of using the products of processing of concrete and reinforced concrete is substantiated.

Keywords: construction waste, recycling, reconstruction, concrete, reinforced concrete

Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации установлено приоритетным значительное улучшение качества природной среды и экологических условий жизни человека, формирование сбалансированной экологически ориентированной модели развития экономики и экологически конкурентоспособных производств.

В январе 2018 г. была утверждена «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года». В настоящее время в России действуют многочисленные законодательные акты, кото-

рыми регулируются действия с отходами производства, но основным закон в этой сфере был принят Правительством 22 мая 1998 г. – Федеральный закон № 89 «Об отходах потребления и производства». Закон выявил правовые основы относительно промышленных ненужных остатков, которые несут вред человеку и окружающей среде. Дополнительно закон устанавливал, что отходы производства и потребления могут быть вовлечены в добычу дополнительного сырья путем переработки с использованием инновационных технологий. Типы отходов утверждаются в виде списка Правительством Российской Федерации. Предельное количество накопления строительных отходов на объектах их образования, сроки и способы их хранения устанавливаются в соответствии с экологическими требованиями, санитарными нормами и правилами, а также правилами пожарной безопасности.

Однако меры, приведенные в нормативных документах, не снижают остроты проблемы утилизации строительного мусора и следует шире использовать наиболее эффективные способы решения этой задачи – переработку строительных отходов и их рециклинг, который является экономически выгодным процессом возвращения отходов в народное хозяйство. Переработка – это процессы, проводимые с отходами для

получения вторичного сырья. Следует подчеркнуть, что понятие «утилизация» представляет собой не захоронение на свалках, а сбор, сортировку и подготовку производственных отходов ко вторичному использованию.

Источники образования строительных отходов:

- реконструкция 36,9 %;
- капитальный ремонт 58,2 %;
- новое строительство 1,4 %;
- отходы предприятий индустрии 3,5 %.

Российская Федерация накапливает промышленные и бытовые отходы огромными темпами. Так, например, в 2015 г. образовалось 5 млрд. т, в 2020 г. объем накопления отходов составил уже 20 млрд. т. По оценке Росприроднадзора в ближайшие годы этот процесс будет только нарастать. Общий годовой уровень накопления и использования основных видов отходов в России приведен в табл. 1.

Примерно 94 % объема российских твердых коммунальных отходов подвергаются захоронению на полигонах и свалках, 4 % используют в промышленной переработке и всего 2 % термически перерабатываются.

Правительством РФ поставлена цель по снижению объема захоронения и увеличению уровня переработки твердых отходов до 40 % к 2025 г.

Таблица 1

Годовой уровень накопления и использования основных видов отходов в России

Отход	Объем накопления, млн. т	Уровень утилизации, %	Целевой продукт	Доля вторичного сырья в целевом продукте, %
Отходы добычи и обогащения руд	2730,6	351	Строительные материалы	3,6
Шлаки и золы	33,6	15,7	Цемент и другие вяжущие	20,6
Лом черных металлов	29,7	88,3	Сталь	27,0
Древесные отходы	12,6	52,5	Топливо, строительные материалы	10,0
Макулатура	3,14	33,4	Картон-бумага	18,0
Шины автомобильные	0,99	4,7	Резиновые изделия	3,6
Полимерные изделия	0,71	11,8	Пластик	4,2
Стеклобой	0,58	34,1	Стекло	10,0
Твердые бытовые отходы	40,0	3,5	Комплексное использование	-

В сфере строительства образуется от 1500 до 2000 тыс. т строительных отходов: строительный лом от сноса и демонтажа объектов, брак и некондиционная продукция заводов железобетонных изделий, неиспользованные на стройплощадках строительные растворы и смеси, из которых во вторичный песок и щебень перерабатывается всего 70–80 тыс. т, остальные вывозятся на полигоны захоронения строительных отходов [1].

Наибольший опыт переработки строительных отходов накоплен на предприятиях Москвы. В городе данные отходы возникают в основном в результате сноса пятиэтажных домов, построенных в 50–60-е гг., которые были полностью изношены морально и физически. Всего в рамках программы реновации образуется более 53 млн. т строительных отходов, причем планируют перерабатывать до 100 % строительного мусора. Всего организовано более десятка комплексов по утилизации железобетонных отходов, разработана технология «Умный снос», предусматривающая поэтапный разбор дома, включая инженерные коммуникации.

Одним из целесообразных вариантов по утилизации строительных отходов как с технической стороны, так и с экономической является рециклинг. Основные технологические этапы процесса переработки строительного мусора отображены на рис. 1.

Исследования показали, что объемы переработки строительного мусора при реконструкции зданий и сооружений в Самарской области недостаточны для такого крупного региона.

Причинами низких объемов переработки строительных отходов являются: медленное перевооружение строительных организаций новой техникой вследствие недостаточного производства отечественного оборудования; высокая стоимость импортного оборудования; недостаточная предварительная сортировка строительного лома [2–5].

Авторами отдельно выделены вопросы комплексной переработки бетонного и железобетонного лома с использованием активационных методов, так как в нашей стране ежегодно образуется около 6 млн. т отходов бетона и железобетона, что делает процесс их переработки крайне востребованным.

Схема комплексной переработки бетонного и железобетонного лома с использованием активационных методов представлена на рис. 2.

Обширное практическое применение продуктов переработки бетона и железобетона указывает на высокую степень рациональности данного процесса и целесообразность внедрения проекта организации рециклинга строительных отходов [6].



Рис. 1. Основные технологические этапы процесса переработка строительных отходов

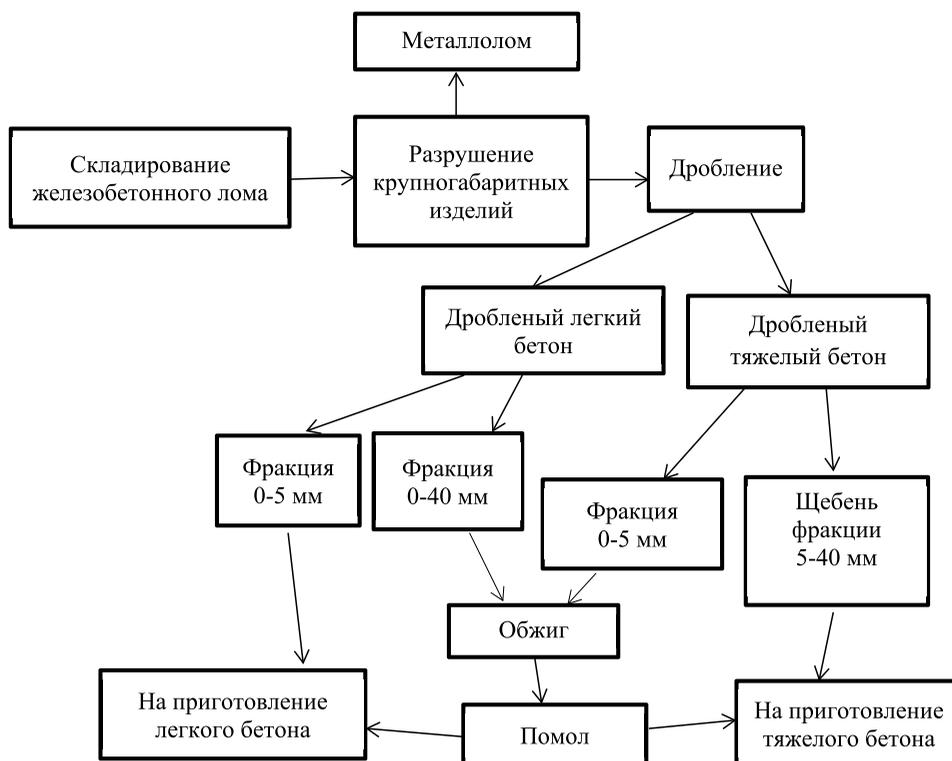


Рис. 2. Схема комплексной переработки бетонного и железобетонного лома

Проведен анализ готового бизнес-решения – мини-завода по переработке строительных отходов, в первую очередь бетонного и железобетонного лома во вторичный щебень, предлагаемый ООО НПО «Обуховская промышленная компания» (Нижний Новгород), на базе дробильно-сортировочного комплекса ДСК-48-13.

Результаты практических исследований, проведенных ООО «НН ПО», выявили незначительное отличие в прочностных характеристиках щебня из бетона и природного камня (табл. 2). При одинаковой жесткости плотность и прочность щебня из дробленого бетона лишь незначительно ниже, чем щебня из природного камня.

В процессе рециклинга бетона и железобетона присутствует мелкая пылевидная фракция – бетонный порошок, используемый для приготовления минеральных добавок в производстве пеногазобетонов и строительных

смесей. Вторичный щебень перерабатывают в минеральный порошок, используемый для приготовления бетонитов, ротбандов и других смесей. Оборудование для переработки вторичного бетона может быть использовано для последующей диверсификации бизнеса.

На рис. 3 представлена схема расположения технологического оборудования дробильно-сортировочного комплекса ДСК-48-13.

Проведен анализ основных стоимостных показателей получения вторичного щебня на ДСК-48-13. Исходные данные для расчета представлены в табл. 3.

Для строительства 1 км дороги III технической категории (пригородные и междугородные дороги, внутридворовые проезды и пешеходные переходы и пр.) нужны песок – 4500 м³ и щебень – 2500 м³. Данные строительные материалы могут быть получены при переработке железобетонного лома без разработки новых карьеров.

Таблица 2

Сравнительные характеристики щебня из дробленого и природного камня

Заполнитель	Жесткость, г/см	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа
Щебень из дробленого бетона	5	2410	20,9
Щебень из природного камня	5	2415	21

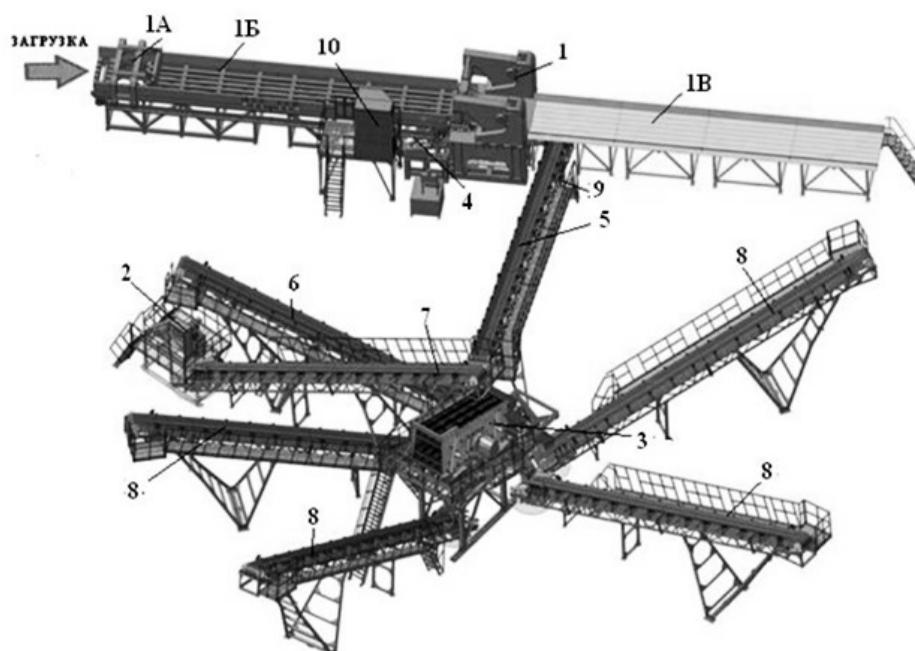


Рис. 3. Схема расположения технологического оборудования ДСК-48-13:
 1 – машина прессово-разрушающая МПР-1500; 2 – агрегат дробления АДЦ-210; 3 – агрегат сортировки АС-24 (на раме); 4 – конвейер ленточный КЛЖ 1х5; 5 – конвейер ленточный КЛЖ-0,65х15-3,6; 6 – конвейер ленточный КЛЖ-0,65х15-4,1; 7 – конвейер ленточный КЛЖ-0,65х15-4,1; 8 – конвейер ленточный КЛЖ 0,5х10-3,5; 9 – железотделитель ЭМЖС-065/35 (на раме); 10 – агрегат управления АУ; 11 – кабельная продукция [7]

Таблица 3

Данные для расчета целесообразности
 получения вторичного щебня на ДСК-48-13

Показатель	Ед. изм.	Значение
Стоимость дробильно-сортировочного комплекса ДСК-48-13	млн. р.	35
Габаритные размеры конструкций на переработку, max	мм	12000х1500х600
Производительность по загрузке, ЖБИ и строительных отходов	т/ч	48
Выход по щебню и песку	т/ч	40
Численность обслуживающего персонала	чел.	5
Затраты на зарплату одного рабочего в месяц	р.	45 000
Потребляемая электрическая мощность ДСК	кВт/ч	110
Аренда фронтального погрузчика	р./ч	1 200
Аренда автокрана	р./ч	1 200
Стоимость электроэнергии	р./ч	8
Количество смен в сутки	смены	1-2
Рабочих дней в месяц	дн.	20
Затраты за одну смену работы дробильно-сортировочного комплекса		
Электричество за 8 ч работы	р.	7 040
Зарплата персонала	р.	11 250
Аренда автокрана	р.	9 600
Аренда погрузчика	р.	9 600
Итого затраты	р./смену	37 490

Максимальная производительность ДСК-48-13 по загрузке – 48 т/ч.

Производительность ДСК-48-13 по выходу щебня, номинальная, с учетом отделения металла – 40 т/ч.

Объем производства щебня за смену (8 ч): $40 \times 8 = 320$ т.

Себестоимость вторичного щебня вычисляем, разделив затраты на получаемый объем вторичного щебня: $37\,490 \text{ р.} / 320 \text{ т} \sim 117,16 \text{ р./т.}$

В случае невозможности подключения ДСК-48-13 к линейным энергоносителям, в качестве энергопитающей установки используется автономная дизель-генераторная станция мощностью 150 кВт. Цена такого дизель-генератора в зависимости от страны производителя варьируется от 0,5 млн. р. до 1 млн. р. При максимальном расходе топлива до 35 л/ч и прочих равных условиях максимальное удорожание себестоимости щебня составит до 132 р./т.

Прогнозная стоимость работ по демонтажу зданий и переработке строительных отходов приведена в табл. 4. Дробление производится от 2500 м³.

Доходная часть проекта:

Среднерыночная цена реализации вторичного щебня составляет 500 р./т.

Доход от реализации щебня: $320 \times 500 = 160\,000$ р./смену.

Выход металла – 3–9 % от загружаемой массы (средняя величина 4 % или 1,9 т/ч).

Выход металла за смену – 15,4 т.

Доход от сдачи на металлолом – $15,4 \times 14\,000 = 215\,600$ р./смену.

Прием строительных отходов осуществляется на полигонах по предварительно приобретенным талонам. Стоимость от 120 р./м³, при этом:

- стоимость доставки до полигона самосвалом – 350 р./м³;

- стоимость погрузки самосвала для транспортировки – 85 р./м³;

- стоимость уплаты талона НВОС (негативное воздействие на окружающую среду) 5 класса опасности (при условии наличия подтверждающих документов) – от 120 р./м³.

Итого стоимость вывоза и захоронения 1 м³ строительных отходов – от 555 р./м³.

Прием строительных отходов 1 м³ – 2,5 т.

Утилизация 1 т – 222 руб.

Если не утилизировать, а перерабатывать строительные отходы на ДСК-48-13, то доход от переработки за 1 т составит:

$(375\,600 \text{ р.} - 37\,490 \text{ р.}) / 320 \text{ т} = 1\,057 \text{ р.}$

Сравнение дохода от переработки за сутки при односменной работе на ДСК-48-13 и убытка за утилизацию равного количества отходов – 384 т:

- убыток от утилизации за одну смену: 85 248 р./сут;

- доход от переработки за одну смену: 338 110 р./сут.

Прогнозируемые показатели доходности ДСК-48-13 в зависимости от количества рабочих смен в сутки приведены в табл. 4.

В расчете не учтены региональные экологические сборы и налоговые преференции, которые получает компания-переработчик за утилизацию и переработку строительных отходов.

С учетом дохода от реализации щебня 500 р./т и металла 14 000 р./т., при 100 %-й реализации от общего объема полученного щебня и металла, произведен расчет дохода от реализации вторичного щебня и металла за разные периоды времени (табл. 5).

Таблица 4

Прогнозируемые показатели доходности ДСК-48-13 в зависимости от режима работы, р.

Показатель	Односменный режим работы	Двухсменный режим работы
Объем переработки, т/сут	320	640
Доход от переработки щебня в сутки	160 000	320 000
Доход от сдачи металлолома в сутки	215 600	431 200
Доход суточный	375 600	751 950
Затраты суточные, в том числе электроэнергия	7 040	14 080
Затраты на оплату труда	11 250	22 500
Затраты на эксплуатацию строительных машин (автокрана, экскаватора)	$9\,600 \times 2 = 19\,200$	38 400
Итого затраты в сутки	37 490	74 980
Итого суточный доход	338 110	676 220
Себестоимость 1 т бетонного щебня	117,16	

Таблица 5

Расчет прогнозируемого дохода от реализации вторичного щебня и металла, р.

Период	Одна смена	Две смены
Сутки	338 110	676 220
Месяц	6 762 200	13 524 400
3 месяца	20 286 600	40 573 200
6 месяцев	40 573 200	81 146 400
9 месяцев	60 859 800	121 719 600
1 год	81 146 400	162 292 800

Согласно расчетам окупаемость проекта достигается уже по результатам первых четырех месяцев работы ДСК-48-13 при 100 %-й реализации щебня, песка и металлолома.

Таким образом, применение вторичного щебня экономически выгодно, а следовательно, целесообразно приобретение дробильно-сортировочного комплекса ДСК-48-13 для переработки строительных отходов.

Установка ДСК-48-13 позволит получить экономический, экологический и социальный эффект в форме снижения затрат на содержание полигона, транспортировку строительного мусора, сокращение затрат на санитарный контроль полигонов и др.

Вывод. На территориях бывших промышленных зон крупных городов находится большое количество зданий, требующих сноса и демонтажа с целью освобождения территории. Соответственно возникает проблема утилизации строительного мусора. Одним из наиболее эффективных способов решения этой задачи является переработка строительных отходов, остающихся после проведения реконструкции зданий и сооружений.

Рециклинг строительных отходов позволяет эффективнее использовать невозобновляемые природные ресурсы, минимизировать наносимый природе экологический ущерб, сократить себестоимость в условиях реконструкции, поскольку такие отходы становятся экономически выгодным ресурсом, позволяющим осуществить возврат в производство материалов, которые содержатся в строительных отходах: металла, железобетона, бетона, кирпича, древесины, стекла и др.

Поскольку при сносе наиболее крупногабаритными и крупнотоннажными оказываются железобетонные конструкции, то чаще всего на переработку поступает именно бетонный и железобетонный лом. Вторичный щебень, полученный после переработки железобетонного и бетонного лома, имеет прочность ненамного меньше, чем прочность щебня из природного

камня, но при этом значительно дешевле, и, соответственно, именно бетонный щебень лидирует в объемах продаж вторичного щебня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чулков О.В., Назиров Б.Э. Рециклинг отходов строительства и сноса при реновации территорий и дорожных покрытий крупных городов // Отходы и ресурсы: интернет-журнал. 2018. №4. Т.5 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://resources.today/issue-4-2018.html> (дата обращения: 12.03.2022).

2. Банникова А.С., Чепелева К.В., Пухова В.В. Рециклинг в строительстве: Проблемы и перспективы развития на территории Восточной Сибири // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 14–21.

3. Вопросы эколого-экономической оценки инвестиционных проектов по переработке отходов в строительную продукцию / Е.В. Барышевский, Е.Г. Величко, Э.С. Цховребов, У.Д. Ниязгулов // Вестник МГСУ. 2017. № 3 (102). С. 260–272.

4. Королева Л.П. Вклад рециклинга в неиндустриальное развитие: классификация эффектов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2017. № 2. С. 29–38.

5. Банникова А.С. Анализ развития индустрии рециклинга строительных материалов в Российской Федерации // Эпоха науки. Технические науки. 2018. № 14. С. 159–165.

6. Рекомендации по переработке и использованию отходов сборного железобетона [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200074915>.

7. Проект организации рециклинга ООО ННПО [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.mspmo.ru/ajax_files/1564652584_Projekt_organizacii_retcklinga.pdf (дата обращения: 12.03.2022).

REFERENCES

1. Chulkov O.V., Nazirov B.E. Recycling of construction and demolition waste during the renovation of territories and road surfaces of large cities. *Internet-zhurnal «Otkhody i resursy»* [Waste and Resources Internet Journal], 2018, vol. 5, no. 4. (in Russian) DOI: 10.15862/06NZOR418

2. Bannikova A.S., Chepeleva K.V., Pukhova V.V. Recycling in construction: Problems and prospects of development in Eastern Siberia. *Covremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies], 2018, no. 10, pp. 14–21. (in Russian)

3. Barishevsky E.V. Issues of environmental and economic assessment of investment projects for the processing of waste into construction products. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSU], 2017, no. 3 (102), pp. 260–272. (in Russian) Available at: <https://resources.today/issue-4-2018.html> DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.260-272

4. Koroleva L.P. The contribution of recycling to neo-industrial development: classification of effects.

Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment [Scientific Journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management], 2017, no. 2, pp. 29-38. (in Russian)

5. Bannikova A.S. Analysis of the development of the building materials recycling industry in the Russian Federation. *Epokha nauki. Tekhnicheskie nauki* [The Age of Science. Technical Sciences], 2018, no. 14, pp. 159-165. (in Russian) DOI: 10.1555/2409-3203-2018-0-14-159-165

6. Recommendations for recycling and use of pre-cast concrete waste. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200074915>

7. Recycling organization project of NNPO LLC. Available at: http://www.mspmo.ru/ajax_files/1564652584_Proekt_organizatcii_retciklinga.pdf

Об авторах:

АЛПАТОВ Вадим Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: avu75@mail.ru

ALPATOV Vadim Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Construction Technology and Organization Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: avu75@mail.ru

АКРИ Екатерина Петровна

кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: kotay80@mail.ru

ACRI Ekaterina P.

PhD of Economics, Associate Professor, Head of the College Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: kotay80@mail.ru

СЕЛЕЗНЕВА Жанна Владимировна

кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: sjv-74@mail.ru

SELEZNEVA Zhanna V.

PhD of Economics, Associate Professor of the Cost Engineering and Technical Expertise of Buildings and Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: sjv-74@mail.ru

Для цитирования: Алпатов В.Ю., Акри Е.П., Селезнева Ж.В. Совершенствование методов организации рециклинга при реконструкции зданий и сооружений // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 4. С. 67–74. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.9.

For citation: Alpatov V.Yu., Akri E.P., Selezneva Zh.V. Improvement of Methods for Organizing Recycling During Reconstruction of Buildings and Structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 67–74. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.9.