



СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТОЛБОВ И ПОДГОТОВКИ К УТИЛИЗАЦИИ

Д. Г. Белицкий, Н. С. Носач, Г. С. Матько

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: beldg@rambler.ru

Получена 13 ноября 2020; принята 27 ноября 2020.

Аннотация. В статье говорится об актуальности утилизации и рециклинга железобетонных конструкций. Рассмотрен ряд отечественных и зарубежных публикаций по данной тематике. Определены существующие технологии рециклинга железобетонных конструкций. Указано, что деградиционные процессы, протекающие в железобетонных конструкциях, связанные с коррозией арматуры, уменьшают её сцепление с бетоном на 60...70 %. Предложена технология разрушения длинномерных железобетонных конструкций (столбы, опоры линий электропередач) методом изгиба с последующей очисткой арматуры от налипшего бетона виброударным воздействием. Разработано оборудование, которое позволяет произвести подготовку и осуществить утилизацию железобетонных изделий. В статье представлена конструктивная схема и фотография изготовленного стенда для разрушения железобетонных столбов и подготовки их к утилизации. Проведенные испытания доказали эффективность работы разработанного оборудования.

Ключевые слова: рециклинг, технология, стенд, железобетонное изделие, изгибающий момент, вибрация, утилизация.

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТОВПІВ І ПІДГОТОВКИ ДО УТИЛІЗАЦІЇ

Д. Г. Белицкий, Н. С. Носач, Г. С. Матько

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: beldg@rambler.ru

Отримана 13 листопада 2020; прийнята 27 листопада 2020.

Анотация. У статті йдеться про актуальність утилізації та рециклінгу залізобетонних конструкцій. Розглянуто ряд вітчизняних і зарубіжних публікацій з даної тематики. Визначено існуючі технології рециклінгу залізобетонних конструкцій. Зазначено, що деградаційні процеси, що протікають в залізобетонних конструкціях, пов'язані з корозією арматури, зменшують її зчеплення з бетоном на 60...70 %. Запропонована технологія руйнування довгомірних залізобетонних конструкцій (стовпи, опори ліній електропередавання) методом вигину з подальшим очищенням арматури від налиплого бетону віброударним впливом. Розроблено обладнання, яке дозволяє провести підготовку і здійснити утилізацію залізобетонних виробів. У статті представлена конструктивна схема і фотографія виготовленого стенду для руйнування залізобетонних стовпів і підготовки їх до утилізації. Проведені випробування довели ефективність роботи розробленого обладнання.

Ключові слова: рециклінг, технологія, стенд, залізобетонний виріб, згинальний момент, вібрація, утилізація.

STAND FOR STUDYING THE PROCESSES OF DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE PILLARS AND PREPARATION FOR DISPOSAL

Dmitriy Belitskiy, Nikita Nosach, Gleb Matko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.

E-mail: beldg@rambler.ru

Received 13 November 2020; accepted 27 November 2020.

Abstract. The article discusses the relevance of recycling and recycling of reinforced concrete structures. A number of domestic and foreign publications on this topic are considered. The existing technologies of recycling of reinforced concrete structures are determined. It is indicated that the degradation processes occurring in reinforced concrete structures associated with corrosion of reinforcement reduce its adhesion to concrete by 60...70 %. The technology of destruction of long-length reinforced concrete structures (poles, supports of power lines) by bending with subsequent cleaning of the reinforcement from the stuck concrete by vibration-shock action is proposed. It has been developed the equipment that allows you to prepare and dispose of reinforced concrete products. The article presents a design diagram and a photo of a manufactured stand for destroying reinforced concrete pillars and preparing them for disposal. The tests have proved the effectiveness of the developed equipment.

Keywords: recycling, technology, stand, reinforced concrete product, bending moment, vibration, recycling.

Введение. Постановка проблемы

Переработка строительных отходов на сегодняшний день является одной из важных проблем в сфере улучшения экологической ситуации. В странах Евросоюза ежегодно образуется около 850 миллионов тонн отходов строительства и сноса, что составляет 31 % от общего объема образования отходов [1]. В США только строительные отходы, образующиеся при сносе зданий, оцениваются в 123 миллиона тонн в год [2].

Для городских линий электропередач на 1 000 человек количество железобетонных опор должно составлять около 250 столбов [3, 4]. Зная численность населения городов Донбасса [5], можно вычислить количество железобетонных опор городских линий электропередач, которое для г. Донецка составило около 940 тысяч. У большинства железобетонных опор линий электропередач истёк срок эксплуатации [6].

Актуальными становятся вопросы рециклинга железобетонных опор, для чего их необходимо расчленивать на отдельные составляющие (непо-

средственно металлическую арматуру и бетонный заполнитель).

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [7, 8] говорится о специфике бетона с переработанным заполнителем, определяются его механические свойства в зависимости от гранулометрического состава [9, 10] и качества переработанного заполнителя [11, 12]. Разрабатываются [13] и разработали новые методы рециклинга железобетонных конструкций [13]. В работах [14, 15] рассматривается вопрос деградации железобетонных опор линий электропередач под действием корродирующей арматуры, в данных работах показано, что из-за коррозии арматуры ухудшается её связь с бетоном до 70 %. Анализ процесса разрушения опоры проведён в работах [16, 17].

Цель статьи

Подтверждение эффективности технологии утилизации железобетонных опор путем разрушения

их методом изгиба с окончательным отделением каменного материала от железной арматуры виброударным воздействием, а также описание принципа работы разработанного стенда для данной технологии.

Основной материал. Описание исследования

Работы таких авторов, как К. В. Шамшиной, В. Н. Мигунова, Е. М. Бабич, Е. Е. Поляновской, показали, что из-за коррозии арматуры её сцепление с бетоном уменьшается на 60...70 % [17]. Следовательно, при изгибающей нагрузке в опоре бетон работает отдельно от арматуры. Так как бетон легко разрушается изгибающими нагрузками, то в разработанном стенде изгибающий момент является основой разрушения железобетонных опор городских линий электропередач, а вибрацией производится очистка арматуры от налипания каменного материала с целью дальнейшей утилизации.

Стенд рециклинга железобетонных изделий – механизм, на котором можно провести энергоэффективную утилизацию железобетон-

ных конструкций (рис. 1). Разрушение производится изгибающим моментом, производительность зависит от расстояния (плеча) между вектором силы действия домкрата 5 и клином дробления 4. Достоинствами работы такого оборудования являются: дешевизна обслуживания, простота конструкции, отсутствие шума при работе механизма, низкие затраты на энергоресурсы.

Железобетонная опора городской линии электропередачи фиксируется двумя фиксирующими опорами 7 к плите 1. Клин верхний 3 прикрепляется к гидродомкрату 5 и фиксируется направляющими 6, которые расположены на стойке 2 нагружения гидродомкратом. Нижним клином 4 регулируется длина плеча нагружения железобетонной опоры городской линии электропередачи.

Первые испытания данной технологии и оборудования показали эффективность разработанного оборудования (рис. 2). На рисунке 3 представлены значения усилий, которые развивались гидродомкратом для разрушения опоры в зависимости от плеча действия силы.

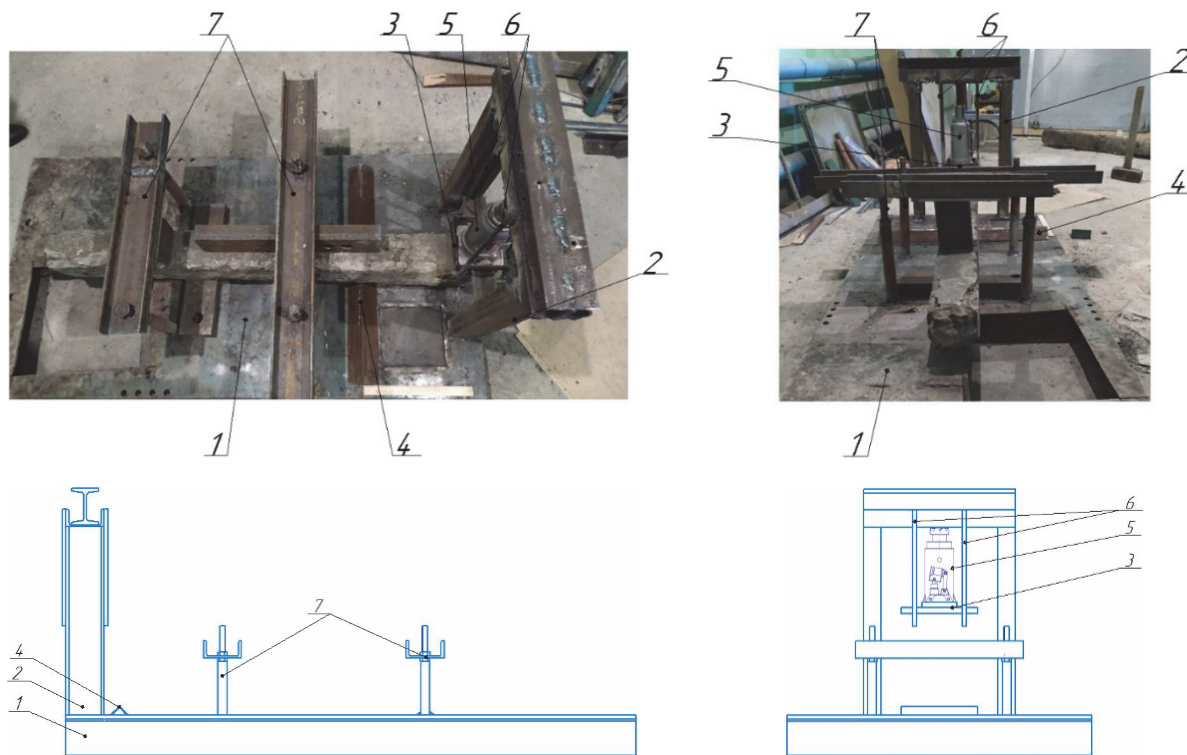


Рисунок 1. Стенд рециклинга железобетонных опор городских линий электропередач: 1 – плита, 2 – стойка нагружения гидродомкратом, 3 – клин верхний, 4 – клин нижний, 5 – гидродомкрат, 6 – направляющие гидродомкрата, 7 – фиксирующие опоры.



Рисунок 2. Результат разрушения железобетонной опоры.

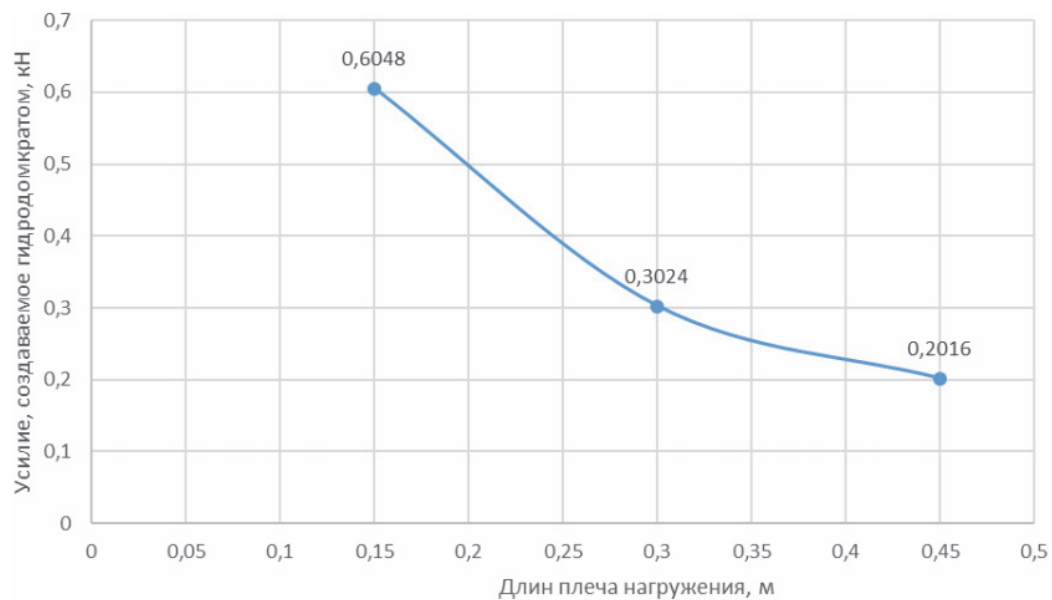


Рисунок 3. Зависимость усилия необходимого для разрушения ЖБ опоры от плеча установки клина дробления.

На рисунке 4 показан процесс исследования очистки арматуры от оставшегося после разрушения методом изгиба каменного материала при помощи виброударного воздействия.

Вибротрамбовкой со специальными насадками производится окончательное отделение арматуры от бетона посредством воздействия вибрации (рис. 4 г). Трамбовка фиксируется на

арматурном стержне специальной втулкой (рис. 4 а). Начальные испытания показали, что вибрация распространяется вдоль всей арматуры, в бетоне активно развиваются не только продольные, но и поперечные трещины вдоль арматуры. В таблице 1 указаны значения массы отколовшегося от

арматуры каменного материала (рис. 5) в зависимости от внутреннего диаметра сменной втулки на вибротрамбовке (длительность вибрационного воздействия составляла 30 секунд).

Результатом воздействия изгибающего момента на железобетонную опору является откол

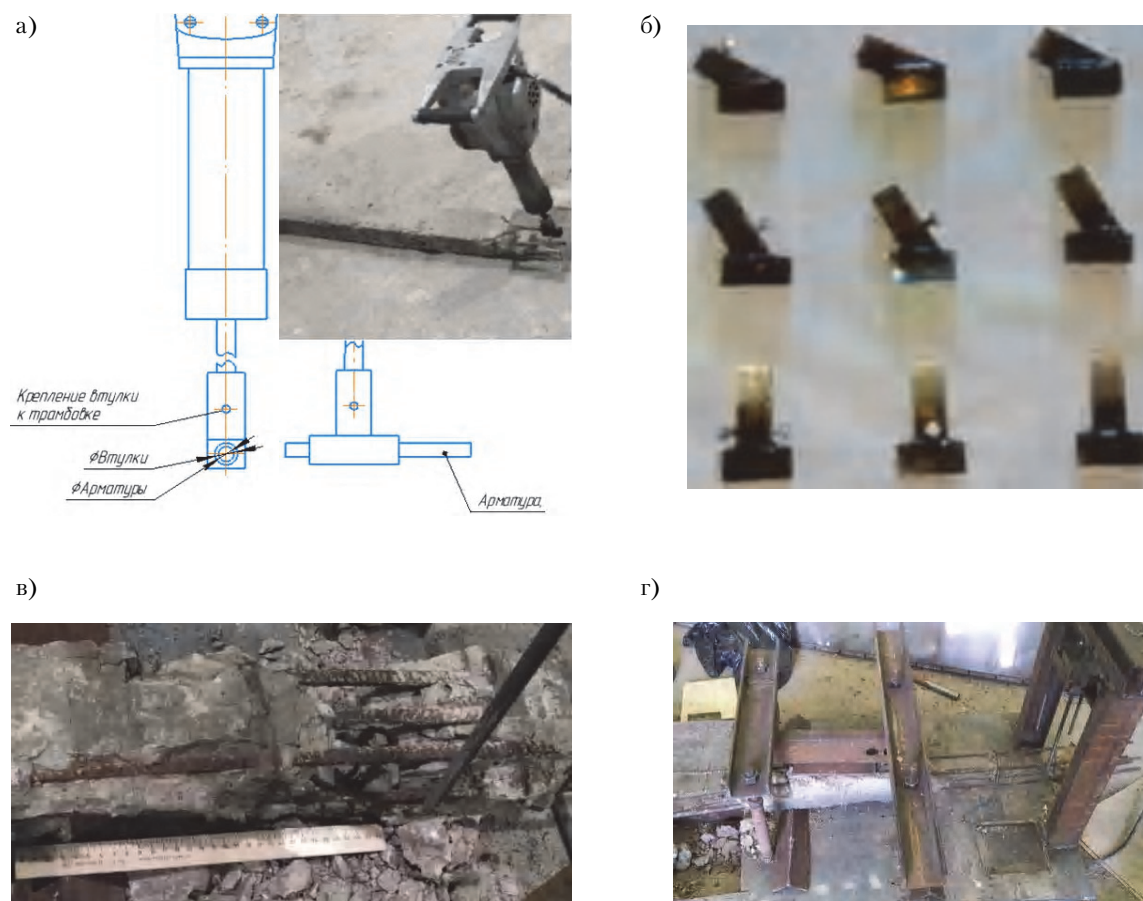


Рисунок 4. Очистка арматуры от бетона вибрацией: а) закрепление вибротрамбовки на арматуре ЖБ изделия; б) сменные экспериментальные втулки; в) ЖБ опора разрушенная изгибом; г) результат воздействия вибротрамбовки.

Таблица 1. Масса каменного материала, отколовшегося от арматуры, кг

Диаметр отверстия втулки, мм	Фракция, мм				Суммарная масса, т, кг
	< 10 мм	10–20 мм	20–40 мм	> 40 мм	
16	0,64 кг	0,665 кг	1,15 кг	5,4 кг	7,855
18	0,58 кг	0,66 кг	0,84 кг	3,23 кг	5,31
20	0,23 кг	0,256 кг	0,305 кг	4,205 кг	4,995

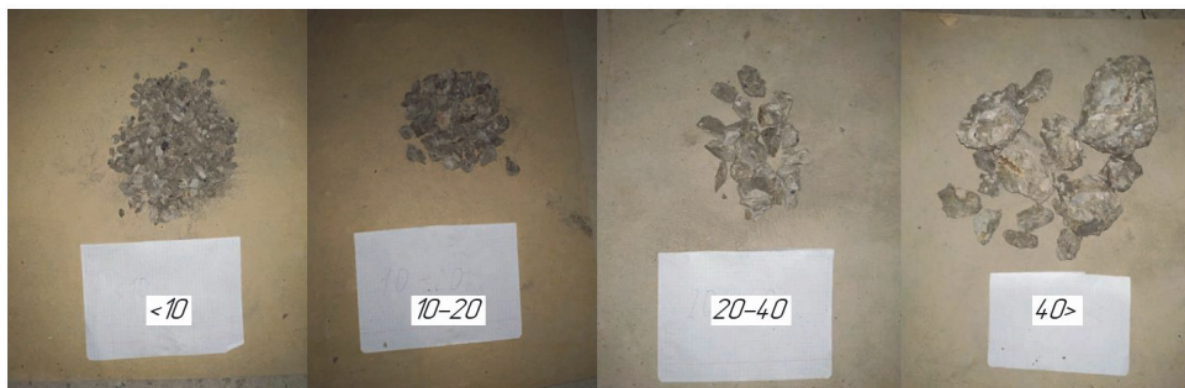


Рисунок 5. Отколовшийся каменный материал, рассортированный по размеру фракций.

каменного материала, развитие трещин в бетоне вдоль арматурного стержня, потеря прочностных свойств изделия. А воздействие вибрации производит окончательную очистку арматуры от каменного материала, образование камня различной фракции, пригодного к вторичному использованию.

Вывод

Актуальность утилизации железобетонных изделий не вызывает сомнений. Разработан стенд с энергосберегающей технологией утилизации железобетонных конструкций. Доказана эффективность работы данного оборудования.

Литература

1. Praveen, Kumar T. Workability and Strength Properties of SCC made with Processed RCA [Электронный ресурс] / Kumar T. Praveen, Devi K. Sharmila, J. Umanambi // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2019. Vol. 06, Issue 11. P. 73–79. – Режим доступа : <https://www.irjet.net/archives/V6/i11/IRJET-V6I1114.pdf>.
2. Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate [Текст] : FHWA State of the Practice National Review. – Washington : Department of Transportation Federal Highway Administration, 2004. – 47 p.
3. Акимова, Н. А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования [Текст] / Н. А. Акимова, Н. Ф. Котеленец, Н. И. Сентюрихин. – Москва : Академия, 2008. – 304 с.
4. Костин, В. Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения [Текст] : учебное пособие / В. Н. Костин. – Санкт-Петербург : СЗТУ, 2004. – 184 с.
5. Численность населения Донецкой Народной Республики на 1 мая 2016 года [Электронный ресурс] : административные данные Миграционной службы МВД ДНР и Министерства юстиции ДНР численности населения Донецкой Народной Республики // Главное управление статистики Донецкой Народной Республики. – Режим доступа : <http://glavstat.govdnr.ru/pdf/>

Reference

1. Praveen, Kumar T.; Sharmila, Devi K.; Umanambi, J. Workability and Strength Properties of SCC made with Processed RCA [Electronic resource]. In: *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2019. Vol. 06, Issue 11. P. 73–79. Access mode : <https://www.irjet.net/archives/V6/i11/IRJET-V6I1114.pdf>. (in English)
2. Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate [Text] : FHWA State of the Practice National Review. Washington : Department of Transportation Federal Highway Administration, 2004. 47 p. (in English)
3. Akimova, N. A.; Kotelenets, N. F.; Sentyurikhin, N. I. Installation, maintenance and repair of electrical and electromechanical equipment [Text]. Moscow : Academy, 2008. 304 p. (in Russian)
4. Kostin, V. N. Installation and operation of equipment for power supply systems [Text] : textbook. St. Petersburg : NWC, 2004. 184 p. (in Russian)
5. Population of the Donetsk People's Republic as of May 1, 2016 [Electronic resource] : administrative data of the Migration Service of the Ministry of Internal Affairs of the DPR and the Ministry of Justice of the DPR of the population of the Donetsk People's Republic. In: *Main Department of Statistics of the Donetsk People's Republic*. Access mode : http://glavstat.govdnr.ru/pdf/naselenie/chisl_naselenie_0516. (date of the application: 01.07.2019). (in Russian)

- naselenie/chisl_naselenie_0516. (дата обращения: 01.07.2019).
6. Матько, Г. С. Условия и оборудование для эффективного рециклинга железобетонных опор городских линий электропередач [Текст] : дисс. на соискание степени магистра : 23.04.02 / Матько Глеб Сергеевич. – Макеевка, 2020. – 84 с.
 7. DIN 4226-100 E : 2002. Aggregates for concrete and mortar. Part 100: recycled aggregates [Текст] ; published 2002-01-01. – Berlin : Deutsches Institut Fur Standardization, 2002. – 18 p.
 8. Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete [Текст] ; published 2006-11-30. – London : British Standards Institute, 2006. – 38 p.
 9. Rahal, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate [Текст] / K. Rahal // *Building Environment*. 2007. Vol. 42, № 1. P. 407–415.
 10. Evangelista, L. Mechanical behavior of concrete made with fine recycled concrete aggregate [Текст] / L. Evangelista, J. de Brito // *Cement and Concrete Composites*. 2007. Volume 29, Issue 5. P. 397–401.
 11. Sanchez de Juan, M. Influence of recycled aggregate quality on concrete properties [Текст] / M. Sanchez de Juan, P. A. Gutierrez // *The Use of Recycled Materials in Building and Structures* : proceeding of the International RILEM Conference (8–11 November, 2004, Barcelona, Spain). Barcelona, 2004. P. 545–553.
 12. Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties [Текст] / F. López-Gayarre, P. Serna, A. Domingo-Cabo [et al.] // *Waste Management*. 2009. Vol. 29, Issue 12. P. 3022–3028.
 13. Электрогидроимпульсный способ рециклинга железобетонных конструкций [Текст] / И. О. Егорushкин, Я. А. Кунгс, А. И. Орленко [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. 2015. № 6(105). С. 78–81.
 14. Бондаренко, В. М. Специфика силового сопротивления повреждённых коррозией железобетонных конструкций и новые факторы разрушения [Текст] / В. М. Бондаренко // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2009. № 4. С. 28–33.
 15. Маилян, Д. Р. Особенности трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных балок с различными видами арматуры и композитных материалов [Текст] / Д. Р. Маилян, П. П. Польской, А. Михуб // *Инженерный вестник Дона*. 2013. Т. 25, Вып. 2(25). С. 102–107.
 16. Аксенов, В. Н. Исследование работы сжатых железобетонных элементов из высокопрочного бетона [Текст] / В. Н. Аксенов, Н. Б. Аксенов // *Новые технологии*. 2012. № 4. С. 32–35.
 17. Бабич, Е. М. Исследование сцепления арматуры с бетоном методом математического планирования эксперимента [Текст] / Е. М. Бабич, В. Е. Бабич, Е. Е. Поляновская // *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2014. № 4(45). С. 136–146.
 6. Matko, G. S. Conditions and equipment for efficient recycling of reinforced concrete poles of urban power lines [Text] : Masters thesis : 23.04.02. Makeevka, 2020. 84 p. (in Russian)
 7. DIN 4226-100 E: 2002. Aggregates for concrete and mortar. Part 100: recycled aggregates [Text]. Berlin : Deutsches Institut Fur Standardization, 2002. 18 p. (in English)
 8. Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete [Text]. London : British Standards Institute, 2006. 38 p. (in English)
 9. Rahal, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate [Text]. In: *Building Environment*. 2007. Vol. 42, № 1. P. 407–415. (in English)
 10. Evangelista, L.; J. de Brito. Mechanical behavior of concrete made with fine recycled concrete aggregate [Text]. In: *Cement and Concrete Composites*. 2007. Volume 29, Issue 5. P. 397–401. (in English)
 11. Sanchez de Juan, M.; Gutierrez, P. A. Influence of recycled aggregate quality on concrete properties [Text]. In: *The Use of Recycled Materials in Building and Structures* : proceeding of the International RILEM Conference. Barcelona, 2004. P. 545–553. (in English)
 12. López-Gayarre, F.; Serna, P.; Domingo-Cabo, A. [et al.]. Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties [Text]. In: *Waste Management*. 2009. Vol. 29, Issue 12. P. 3022–3028. (in English)
 13. Yegorushkin, I. O.; Kungs, Ya. A.; Orlenko, A. I. [et al.]. Electrohydropulse method of recycling reinforced concrete structures [Text]. In: *Bulletin of the KSAU*. 2015. № 6(105). P. 78–81. (in Russian)
 14. Bondarenko, V. M. Specificity of strength resistance of reinforced concrete structures damaged by corrosion and new factors of destruction [Text]. In: *Structural mechanics of engineering structures and structures*. 2009. № 4. P. 28–33. (in Russian)
 15. Mailyan, D. R.; Polskoy, P. P.; Mikhub, A. Features of cracking and destruction of reinforced concrete beams with various types of reinforcement and composite materials [Text]. In: *Don's Engineering Gazette*. 2013. Vol. 25, Вып. 2(25). P. 102–107. (in Russian)
 16. Aksenov, V. N.; Aksenov, N. B. Study of the operation of compressed reinforced concrete elements made of high-strength concrete [Text]. In: *New technologies*. 2012. № 4. P. 32–35. (in Russian)
 17. Babich, Ye. M.; Babich, V. Ye.; Polyanskaya, Ye. Ye. Investigation of the adhesion of reinforcement to concrete by the method of mathematical planning of the experiment [Text]. In: *Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2014. № 4(45). P. 136–146. (in Russian)

Белицкий Дмитрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение эффективности разработки грунта грейферными рабочими органами.

Носач Никита Сергеевич – магистр кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология и оборудование для подготовки железобетонных изделий к утилизации.

Матько Глеб Сергеевич – магистр кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оборудование для рециклинга железобетонных изделий.

Белицкий Дмитро Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів та засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення ефективності розробки ґрунту грейферними робочими органами.

Носач Микита Сергійович – магістр кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів та засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія та обладнання для підготування залізобетонних виробів до утилізації.

Матько Гліб Сергійович – магістр кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів та засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: обладнання для рециклінгу залізобетонних виробів.

Belitskiy Dmitriy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Ground Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improving the efficiency of soil development by grappling working bodies.

Nosach Nikita – Master, Ground Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology and equipment for preparing reinforced concrete products for recycling.

Matko Gleb – Master, Ground Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: equipment for the recycling of reinforced concrete poles.