

## ЦЕМЕНТНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ

Н. В. Кузнецова, А. Д. Селезнев, В. А. Езерский

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия; Белостокский политехнический университет, Белосток, Республика Польша*

**Ключевые слова:** водоцементное отношение; оптический диск; прочность на изгиб; прочность на сжатие; утилизация отходов; цементный композиционный материал; экологическая безопасность.

**Аннотация:** Предложено использовать утилизируемые оптические диски в измельченном виде в качестве мелкого заполнителя в цементных композиционных материалах для частичной замены мелкого заполнителя. На основе экспериментальных данных, полученных в результате испытаний образцов, установлены зависимости прочности на сжатие и изгиб от количества вводимых в смесь измельченных оптических дисков и водоцементного отношения. Показано, что введение в смесь цементного композиционного материала измельченных оптических дисков взамен части мелкого заполнителя в количестве от 0 до 50 % по массе приводит к снижению прочности образцов.

### Введение

Оптические диски как популярный носитель информации применяются достаточно давно, примерно 30 лет. Несмотря на некоторое снижение востребованности оптических дисков, в ближайшее время их производство и использование продолжается. Ориентировочно уже сейчас объемы накопленных использованных дисков составляют около 250 млрд шт. или 3,9 млн т (около 3 млн м<sup>3</sup>). Разложение поликарбоната – основного компонента оптических дисков – довольно длительный процесс, скорость которого зависит от состава пластика и среды, в которой он находится. Поликарбонаты разлагаются в течение 50 – 500 лет с выделением токсич-

---

Кузнецова Наталия Владимировна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство», e-mail: nata-kus@mail.ru; Селезнев Артем Денисович – аспирант кафедры «Архитектура и градостроительство», ТамбГТУ, Тамбов, Россия; Езерский Валерий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство», ТамбГТУ, Тамбов, Россия, профессор кафедры основ строительства и строительной физики, Белостокский политехнический университет, Белосток, Республика Польша.

ных веществ, загрязняющих воздух, воду, почву [1, 2]. В связи с этим актуальным является вопрос о способах их утилизации. Согласно Федеральному закону от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об отходах производства и потребления» основными способами утилизации отходов можно считать их использование для производства новой продукции, включая повторное применение, в том числе по прямому назначению (рециклинг); переработка с использованием в виде компонентов для производства другой продукции; использование в качестве вторичных энергетических ресурсов.

Основной материал оптических дисков – поликарбонат, на который нанесено металлическое покрытие, защищенное слоем лака или краски. Размеры дисков: диаметр 120 мм и толщина 1,2 мм. Рециклинг оптических дисков может быть основан на задействовании оптического поликарбоната для производства поликарбонатных и других полимерных материалов [3 – 7]. Использование утилизируемых дисков для изготовления новых практически невозможно, так как в процессе переработки утрачивается оптическая прозрачность поликарбоната.

На практике реализуется способ утилизации оптических дисков, заключающийся в предварительной очистке поликарбонатной основы и переработке в изделия низкого качества [5, 6]. Однако процесс отделения внешних слоев (краски, лака, металлической пленки) с изделия технологически сложен и энергозатратен, что нивелирует экологическую выгоду от такого способа переработки.

Одним из экологически безопасных методов утилизации дисков, по мнению авторов, может быть использование их в измельченном виде в качестве мелкого заполнителя в цементных композиционных материалах [8].

Согласно классификатору отходов, основной компонент состава оптических дисков (поликарбонат) относится к V классу опасности, что позволяет использовать утилизируемые диски в качестве инертного заполнителя в цементном композиционном материале. Необходимо отметить, что в предлагаемом методе используются измельченные диски, которые не требуются дополнительно очищать от внешних слоев, что повышает экономическую эффективность утилизации. В некоторых работах предлагалось использовать измельченные оптические диски в качестве компонента в бетоне [9 – 12]. Новый способ использования – замена части мелкого заполнителя (песка) частицами утилизируемых дисков в цементном композиционном материале, не содержащем крупный заполнитель (щебень).

*Цель исследования* – оценка возможности использования утилизируемых измельченных оптических дисков в качестве частичной замены заполнителя в цементном композиционном материале; исследование зависимостей физико-механических характеристик материала от состава цементных смесей.

## Методы

Составы смесей для изготовления образцов цементного композиционного материала включали следующие компоненты: цемент, песок, измельченные отходы в виде утилизируемых оптических дисков и воду.

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки М500 производства ОАО «Себряковцемент» (г. Михайловка, Россия). Для всех компонентных составов смесей количество цемента принималось постоянным в соотношении 1 : 3 по массе к заполнителю.

В качестве мелкого заполнителя применяли кварцевый песок с модулем крупности 1,0 (очень мелкий, согласно ГОСТ 8736–93) из местного месторождения (Красненский карьер, Тамбовская область).

В эксперименте варьировались два фактора:

– доля измельченных оптических дисков от массы заполнителя (фактор  $x_1$ ) – вводилась взамен песка в количестве 0 – 50 % от общей массы заполнителя. Использовались частицы крупностью 0,315 – 2,5 мм, так как данная фракция образуется в наибольшем количестве в процессе измельчения дисков в ножевой дробилке. Для получения более мелких фракций необходимо увеличивать время измельчения, что значительно повышает энергоемкость технологии;

– водоцементное отношение (В/Ц, фактор  $x_2$ ) принималось в интервале 0,45...0,65, исходя из обеспечения технологичности смесей.

Диспергирование компонентов смеси и уплотнение в процессе формирования проводилось вручную. Для проведения испытаний на центральное сжатие и изгиб были изготовлены образцы в форме балочек 40 × 40 × 160 мм. Экспериментальное определение прочности образцов на центральное сжатие и изгиб выполнялось согласно методикам ГОСТ 10180–2012. Плотность образцов определялась согласно ГОСТ 12730.1–78.

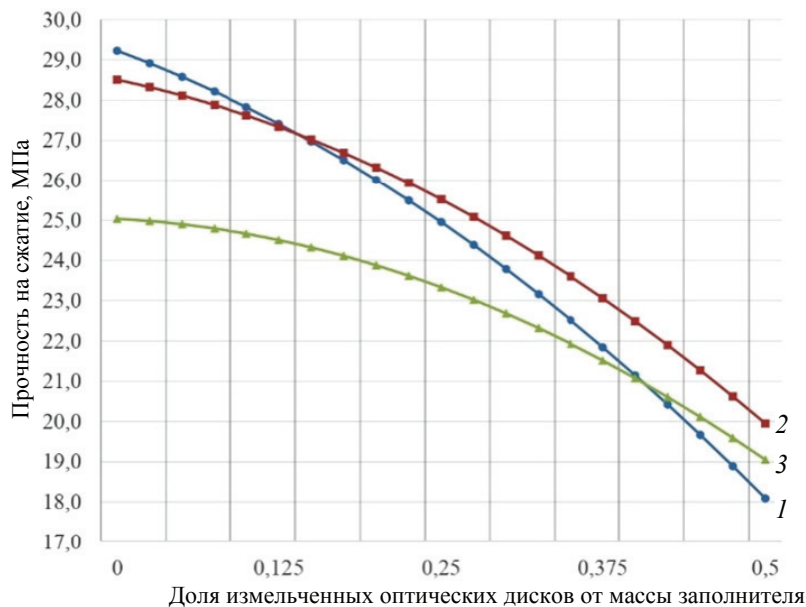
## Результаты и обсуждение

На основе данных, полученных в результате испытаний образцов, построены математические модели зависимостей прочности, МПа, на сжатие  $Y_1$  и изгиб  $Y_2$  от указанных выше факторов [13]. Графические интерпретации представленных моделей изображены на рис. 1, 2.

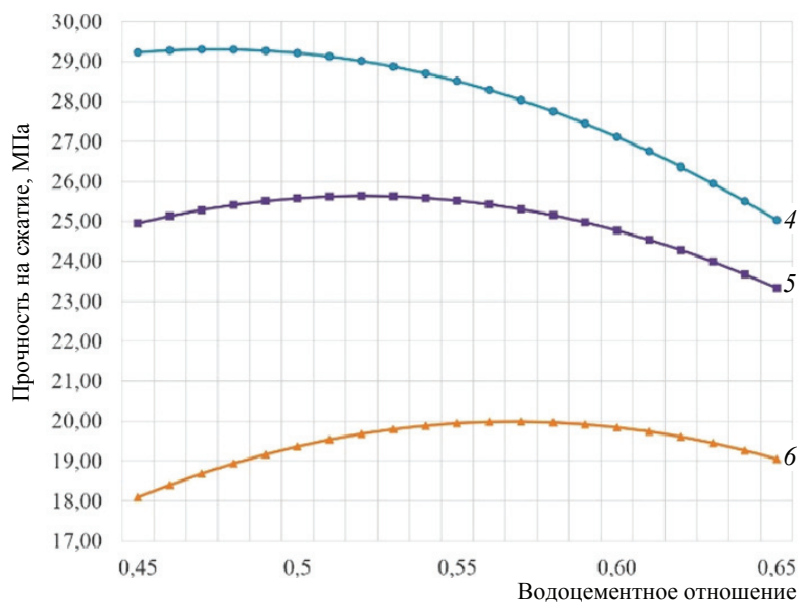
Наибольшая прочность на сжатие образца-эталона, не содержащего отходы, составляет  $R_{сж. эт} = 29,31$  МПа при В/Ц = 0,47, при этом прочность на изгиб –  $R_{изг. эт} = 5,81$  МПа, плотность – 2250 кг/м<sup>3</sup>. При сохранении вышеуказанного В/Ц добавление измельченных отходов приводит к снижению прочности на сжатие. Например, введение отходов в количестве 0,10 от массы заполнителя приводит к незначительному снижению прочности на 4,4 % (с 29,31 до 28,01 МПа); при 0,30 – снижение составляет 17,5 % (с 29,31 до 24,17 МПа); 0,50 – 36,3 % (с 29,31 до 18,68 МПа).

Водоцементное отношение также оказывает влияние на прочность на сжатие образцов: при увеличении доли отходов оптимальное значение В/Ц смещается в большую сторону. Если для образцов без отходов это отношение равно 0,47, то для составов с долей отходов 0,10, 0,30 и 0,50 оно составляет 0,49, 0,53 и 0,57 соответственно. Уменьшение водоцементного отношения в образцах с отходами приводит к снижению прочности на изгиб и плотности, так как, возможно, фактического количества воды недостаточно для ее равномерного распределения в объеме смеси, в результате чего увеличивается пористость материала и снижается сцепление частиц

между собой. Так, при доле отходов 0,5 от массы заполнителя увеличение водоцементного отношения с 0,45 до 0,65 приводит к повышению прочности на изгиб на 102 % (с 1,93 до 3,89 МПа), а плотности на 4,8 % (с 1671 до 1752 кг/м<sup>3</sup>).



а)

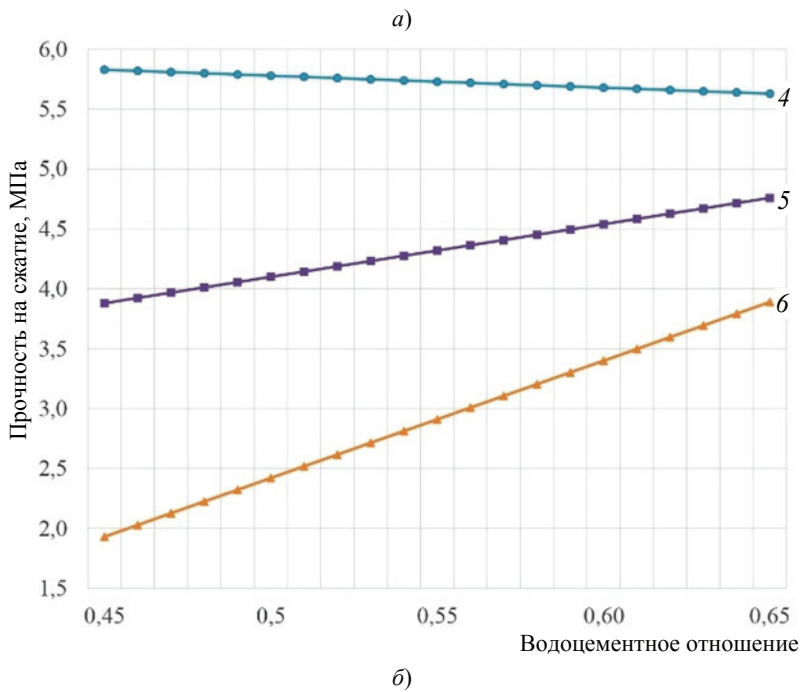
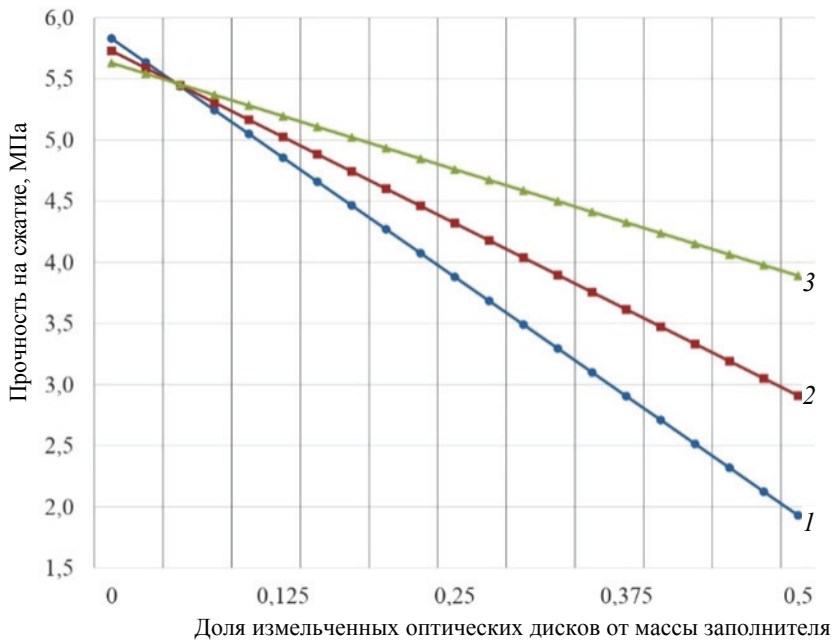


б)

**Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие образцов цементного материала, МПа, от доли отходов  $x_1$  и водоцементного отношения  $x_2$ :**

$a - x_2 = \text{const}; b - x_1 = \text{const};$

$1 - x_2 = 0,45; 2 - x_2 = 0,55; 3 - x_2 = 0,65; 4 - x_1 = 0; 5 - x_1 = 0,25; 6 - x_1 = 0,5$



**Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб образцов цементного материала, МПа, от доли отходов  $x_1$  и водоцементного отношения  $x_2$ :**

$$a - x_2 = \text{const}; \quad b - x_1 = \text{const};$$

$$1 - x_2 = 0,45; \quad 2 - x_2 = 0,55; \quad 3 - x_2 = 0,65; \quad 4 - x_1 = 0; \quad 5 - x_1 = 0,25; \quad 6 - x_1 = 0,5$$

Несмотря на то что введение отходов в виде измельченных оптических дисков уменьшает прочность цементного композиционного материала, при некоторых параметрах смеси возможно приблизить прочность на

сжатие образца к значению эталонной прочности образца без отходов: при  $V/C = 0,51$  в образцах с долей отходов 0,20 от массы заполнителя снижение прочности составляет 8,9 % (с 29,31 до 26,53 МПа).

Достичь максимальной утилизации отходов с получением приемлемых показателей прочности возможно при доле отходов 0,30 ( $V/C = 0,53$ ); прочности на сжатие и изгиб составляют соответственно 24,67 и 3,93 МПа; плотность – 1909 кг/м<sup>3</sup>.

При производстве 1 м<sup>3</sup> цементного композиционного материала с долей отходов 0,30 от массы заполнителя может быть утилизировано 0,544 м<sup>3</sup> измельченных оптических дисков (примерно 20 тыс. шт.).

### Заключение

Введение в смесь цементного композиционного материала измельченных оптических дисков взамен части мелкого заполнителя в количестве 0 – 50 % по массе приводит к снижению прочности образцов, однако оптимизация водоцементного отношения позволяет получить равнопрочные составы с различной долей отходов.

Прочность на сжатие образцов цементного композиционного материала с долей отходов 20 % составляет 26,53 МПа, что всего на 8,9 % ниже прочности образцов без отходов.

Прочность на изгиб в значительной степени зависит от водоцементного отношения: при доле отходов 0,25 и 0,5 увеличение водоцементного отношения до 0,65 приводит к незначительному снижению прочности на изгиб на 18 % (с 5,81 до 4,76 МПа) и 33 % (с 5,81 до 3,89 МПа) соответственно.

Составы смесей цементного композиционного материала с добавлением измельченных утилизируемых оптических дисков в количестве 10 – 25 % от общей массы заполнителя и водоцементным отношением от 0,47 до 0,52 могут обеспечить получение строительных изделий с прочностью на сжатие до 28 МПа.

#### *Список литературы*

1. Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society / P. H. Tobias, C. Völker, J. Kramm, K. Landfester, F. R. Wurm // Journal of the Gesellschaft Deutscher Chemiker. – 2018. – Vol. 58, No. 1. – P. 50 – 62. doi: 10.1002/anie.201805766
2. Вторичная переработка пластмасс / ред. Ф. Ла Мантия ; пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. – СПб. : Профессия, 2006. – 400 с.
3. Pant, D. Green Recycling of waste Optical Disc to Urethane Products / D. Pant // Journal of Scientific and Industrial Research. – 2016. – Vol. 75, No. 5. – P. 322 – 327.
4. Лазарева, Л. Г. Утилизация компакт-дисков / Л. Г. Лазарева, В.Ф. Лазарев // Пластические массы. – 2014. – № 5-6. – С. 62.
5. Ron Zevenhoven, Loay Saeed. Automotive Shredder Residue (ASR) and Compact Disc (CD) Waste: Options for Recovery of Materials and Energy. – Espoo : Helsinki University of Technology, Energy Engineering and Environmental Protection Publications, 2003. – 69 p.

6. Biehn, A. W. Compact Discard: Finding Environmentally Responsible Ways to Manage Discarded Household CDs and DVDs / A. W. Biehn. – University of Pennsylvania, 2008. – 61 p.
7. Сурков, А. А. Разработка системы управления отходами потребления поликарбоната / А. А. Сурков, И. С. Глушанкова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 3. – С. 119 – 131.
8. Прочность на сжатие мелкозернистого бетона с добавкой измельченных утилизируемых оптических дисков / В. А. Езерский, Н. В. Кузнецова, А. Д. Селезнев, Г. А. Моисеенко // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 18 – 23. doi: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-18-23
9. Tang, W. C. Size effect of Waste Compact Disc Shred on Properties of Concrete / W. C. Tang, Y. Lo, H. Z. Cui // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 346. – P. 40 – 46. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.346.40
10. Ismail, Z. Z. Environmental Friendly Concrete Using Waste Compact Discs as Fine Aggregate Replacement / Z. Z. Ismail, A. J. Jaeel // Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT4). – Las Vegas, USA, August 7 – 11, 2016. – 9 p. – URL : <http://www.claisse.info/2016%20papers/S118.pdf> (дата обращения: 10.09.2023).
11. Environment Friendly Concrete by Replacement of Coarse Aggregates by waste CD's / H. Rane, P. Patel, P. Adate, N. Patil, S. Jadhav, V. Kashikar // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2018. – Vol. 7, Is. 4. – P. 397 – 399. – URL : <https://www.ijert.org/research/environment-friendly-concrete-by-replacement-of-coarse-aggregates-by-waste-cds-IJERTV7IS040366.pdf> (дата обращения: 10.09.2023).
12. Нана, С. М. Fresh Properties of Concrete Containing Plastic Aggregate / S. M. Nana, N. N. Hilal // In book : Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete. Chapter: 5 / F. Pacheco-Torgal, J. Khatib, F. Colangelo, R. Tuladhar (Eds.). – Duxford, UK: Woodhead Pub., 2019. – P. 85 – 114. doi: 10.1016/B978-0-08-102676-2.00005-0
13. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Мн. : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

### References

1. Tobias P.H., Völker C., Kramm J., Landfester K., Wurm F.R. Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society, *Journal of the Gesellschaft Deutscher Chemiker*, 2018, vol. 58, no. 1, pp. 50-62. doi: 10.1002/anie.201805766
2. La Mantiya F. (Ed.), Zaikov G.Ye. (Trans. Ed.). *Vtorichnaya pererabotka plastmass* [Recycling of plastics], St. Petersburg: Professiya, 2006, 400 p. (In Russ.)
3. Pant D. Green Recycling of waste Optical Disc to Urethane Products, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 2016, vol. 75, no. 5, pp. 322-327.
4. Lazareva L.G., Lazarev V.F. [Recycling of CDs], *Plasticheskiye massy* [Plastics], 2014, no. 5-6, p. 62. (In Russ.)
5. Ron Zevenhoven, Loay Saeed. *Automotive Shredder Residue (ASR) and Compact Disc (CD) Waste: Options for Recovery of Materials and Energy*, Espoo: Helsinki University of Technology, Energy Engineering and Environmental Protection Publications, 2003, 69 p.
6. Biehn A. W. *Compact Discard: Finding Environmentally Responsible Ways to Manage Discarded Household CDs and DVDs*, University of Pennsylvania, 2008, 61 p.
7. Surkov A.A., Glushankova I.S. [Development of a waste management system for polycarbonate consumption], *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*

[Transport. Transport facilities. Ecology], 2014, no. 3, pp. 119-131. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Yezerskiy V.A., Kuznetsova N.V., Seleznev A.D., Moiseyenko G.A. [Compressive strength of fine-grained concrete with the addition of crushed recyclable optical disks], *Stroitel'nyye materialy* [Construction materials], 2019, no. 6, pp. 18-23. doi: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-18-23 (In Russ., abstract in Eng.)

9. Tang W.C., Lo Y., Cui H.Z. Size effect of Waste Compact Disc Shred on Properties of Concrete, *Advanced Materials Research*, 2012, vol. 346, pp. 40-46. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.346.40

10. Ismail Z.Z., Jael A.J. Environmental Friendly Concrete Using Waste Compact Discs as Fine Aggregate Replacement, *Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT4)*, Las Vegas, USA, August 7-11, 2016, 9 p. URL: <http://www.claisse.info/2016%20papers/S118.pdf> (accessed 10 September 2023).

11. Rane H., Patel P., Adate P., Patil N., Jadhav S., Kashikar V. Environment Friendly Concrete by Replacement of Coarse Aggregates by waste CD's, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2018, vol. 7, is. 4, pp. 397-399, URL: <https://www.ijert.org/research/environment-friendly-concrete-by-replacement-of-coarse-aggregates-by-waste-cds-IJERTV7IS040366.pdf> (accessed 10 September 2023).

12. Hama S.M., Hilal N.N. Fresh Properties of Concrete Containing Plastic Aggregate, In book: Pacheco-Torgal F., Khatib J., Colangelo F., Tuladhar R. (Eds.). *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete. Chapter: 5*, Duxford, UK: Woodhead Pub., 2019, P. 85-114. doi: 10.1016/B978-0-08-102676-2.00005-0

13. Krasovskiy G.I., Filaretov G.F. *Planirovaniye eksperimenta* [Experimental planning], Minsk: Izdatel'stvo BGU, 1982, 302 p. (In Russ.)

---

## Cement Building Materials as an Environmentally Safe Method for Disposal of Optical Discs

N. V. Kuznetsova, A. D. Seleznev, V. A. Ezerskiy

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia;*

*Bialystok University of Technology, Bialystok, Republic of Poland*

**Keywords:** water-cement ratio; optical disk; bending strength; compressive strength; recycling; cement composite material; environmental safety.

**Abstract:** It is proposed to use recyclable optical disks in crushed form as fine aggregate in cement composite materials to partially replace fine aggregate. Based on experimental data obtained as a result of testing samples, the dependences of compressive and bending strength on the amount of crushed optical disks introduced into the mixture and the water-cement ratio were found. It has been shown that the introduction of crushed optical disks into the mixture of cement composite material instead of part of the fine aggregate in an amount from 0 to 50 % by weight leads to a decrease in the strength of the samples.

---

© Н. В. Кузнецова, А. Д. Селезнев, В. А. Езерский, 2023