

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article\_5c73fc2325bd06.24999916

<sup>1,\*</sup>Мирошникова О.В., <sup>1</sup>Борисов И.Н.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова

\*E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН, В КАЧЕСТВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

**Аннотация.** Применение техногенных отходов – основная общемировая тенденция в промышленности, которая не обошла и цементное производство. В свою очередь цементное производство обладает рядом преимуществ, позволяющих безопасно для технологического процесса утилизировать отходы. К таким преимуществам можно отнести высокую температуру в печном агрегате, способность жидкой фазы клинкера нейтрализовать тяжелые металлы, а также то, что зольная составляющая отходов участвует в процессе получения клинкера как сырьевой компонент. В статье приведены результаты использования автомобильных шин. Автомобильные шины относятся к гоючесо-доржающим отходам, использование которых в процессе получения цемента достаточно распространено и опробовано на многих предприятиях. В статье рассматривались способы утилизации автомобильных шин в зависимости от используемых в производстве обжиговых агрегатов: длинной печи или короткой печи с циклонными теплообменниками и декарбонизатором. Приведена основная характеристика используемых в работе сырьевых материалов, в частности, наличие зольного остатка и теплотворная способность шин. Влияние шин на прочность цементного камня. Показаны положительные и отрицательные стороны применения шин на основании отечественного и зарубежного опыта, практическая и экономическая эффективность.

**Ключевые слова:** клинкер, цемент, горючие отходы, автомобильные шины, альтернативное топливо, выгорающая добавка.

**Введение.** Непрекращающийся поиск способов снижения экономических затрат на производство цемента способствовал развитию перспективного направления – использования техногенных отходов. Список наиболее подходящих для этого отходов изменяется в малой степени, но разрабатываются и создаются технологии позволяющие минимизировать неприятные последствия их использования и увеличить долю их использования по сравнению с первичным горючим топливом. Одним из наиболее популярных и распространенных горючесо-доржающих отходов можно считать автомобильные шины. Это связано, прежде всего, с высокой теплотворной способностью, низкой зольностью, постоянством химического состава [1–7].

Цель данной работы заключалась в рассмотрении основных аспектов применения шин, их подготовки и способах сжигания, а также изучении влияния покрышек на качество клинкера.

**Теоретическая часть.** Имеется следующие агрегаты для утилизации шин при производстве цемента: короткая вращающаяся печь сухого способа производства с теплообменным устройством и длинная вращающаяся печь мокрого способа производства.

Для сухого способа производства возможны следующие варианты:

- подача измельченных автомобильных шин в шахту циклонного теплообменника.

- подача шин совместно с форсуночным топливом в зону спекания печи;

- подача отходов в декарбонизатор с устройством «дожигатель» (FLSmidth, KHD Humboldt Wedag, Thyssen Krupp Polysius).

Для длинной вращающейся печи мокрого способа производства цемента:

- подача целых покрышек автомобиля через систему шлюзовых затворов в зону кальцинирования;

- подача совместно с основным технологическим топливом в зону спекания печи;

- подача предварительно измельченных покрышек вместе с сырьевой смесью с холодного конца печи.

Необходимо отметить, что и предварительная подготовка шин может быть различной, существуют 3 способа подачи шин:

1. Измельчение шин до пыли. К основным положительным моментам здесь можно отнести: удобство хранения и транспортировки, возможность применить подачу с основным технологическим топливом (углем) – через форсунку. Но при этом измельчение шин трудоемкий процесс и в большинстве случаев оно экономически не оправдано.

2. Получение кусков средним размером  $8,5 \times 8,5$  см. Аналогично предыдущему случаю к достоинствам можно отнести удобство транспортировки и хранения, а также возможность автоматизации процесса подачи шин. Но и здесь не обошлось без недостатков: наличие в кусках шин металлического корда, выступающего из резины, служит частой причиной поломки систем, транспортирующих их. Кроме того происходит быстрое загрязнение внутреннего оснащения измельчающего агрегата, и требуется его ручная чистка.

3. Целые шины. Преимущество заключается в отсутствии дополнительного оборудования и расходов на измельчение автопокрышек. Сложность при этом возникают трудности с транспортировкой, хранением и подачей шин [8, 9].

**Практическая часть.** В качестве сырьевых материалов использовались мел, глина и огарки с ЗАО «Белгородский цемент», химический состав полученной сырьевой смеси представлен в табл.1, а также часть автомобильной шины.

Таблица 1

Химический состав сырьевой смеси

Материал	Содержание, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Проч.	ППП	Σ
Сырьевая смесь	14,14	3,45	2,78	42,93	1,34	35,25	100

Элементный состав горючей части автомобильной покрышки приведен в табл.2.

Таблица 2

Химический состав горючей части автомобильной шины

Материал	Содержание, %				
	C <sup>r</sup>	H <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>
Резиновая шина	75,5	9,3	1,3	11,6	1,2

Зольная составляющая шин имеет сравнительно небольшое значение, всего 4,7 %, что позволило, при введении небольшого количества отхода, не корректировать сырьевую смесь.

Дифференциально-термический анализ предоставил данные о температуре выхода горючей составляющей и условий выгорания автомобильной шины, рис. 1.

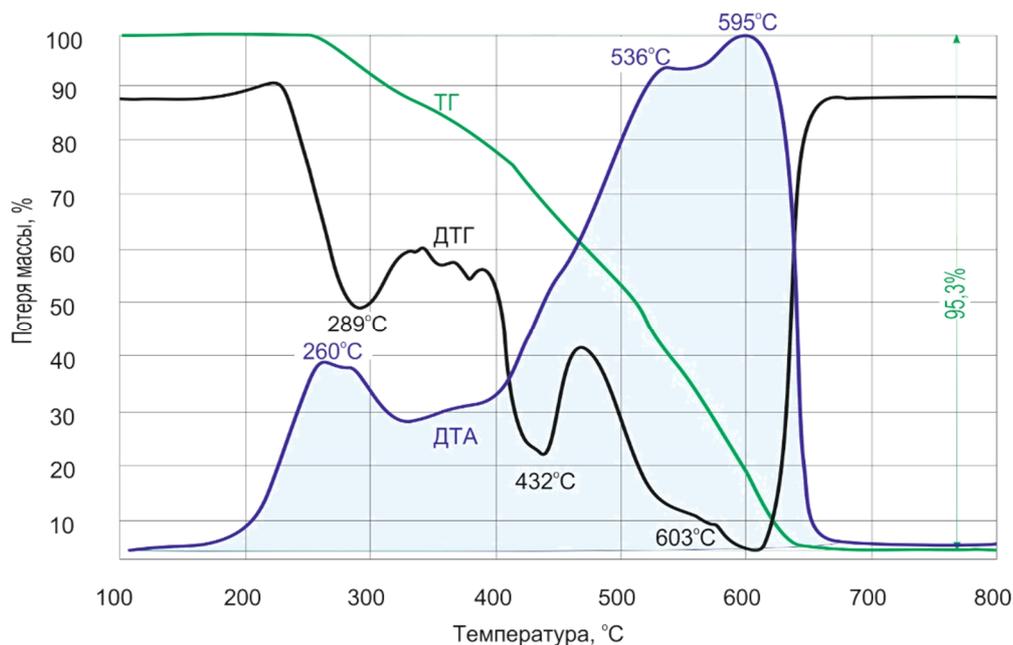


Рис. 1. Результаты комплексного термического анализа резиновой шины

Процесс окисления легколетучей составляющей автомобильных покрышек происходит в интервале от 200 °С до 680 °С. При этой же температуре происходит окисление топлива, что подтверждается экзотермическими эффектами на кривой ДТА. Окончательное выгорание коксового остатка происходит до 680 °С.

В ходе работы резина автомобильных шин измельчалась и вводилась в обожжённую до 900 °С сырьевую смесь в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества шин по сухому сырью. Была смоделирована ситуация введения шин через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи мокрого способа производства.

Клинкера, полученные в результате такого обжига, были проанализированы в сравнении с эталонным, бездобавочным образцом.

Фрагменты рентгенограмм экспериментальных, с введением резиновой шины, и рядового клинкеров представлены на рис. 2.

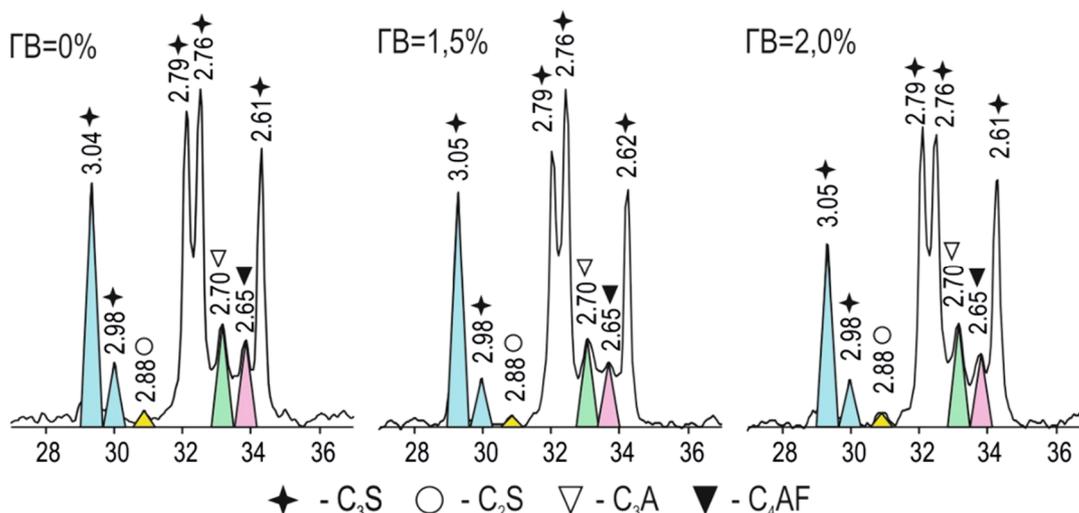


Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм клинкеров содержащих 0; 1.5и 2.0% резиновой шины горючего вещества по сухому сырью

Основными фазами, полученными в результате как рядового клинкера, так и экспериментальных клинкеров с введением 1,5 % и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью являются алит (пики 3.04; 2.98; 2.79; 2.76; 2.61Å), белит (пики 2.88; 2.79; 2.76; 2.61Å), трехкальциевый алюминат (пик 2.70Å) и четырехкальциевый алюмоферрит (пик 2.65Å).

Интенсивность пиков алита, белита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита экспериментальных клинкеров практически не уступает интенсивности эталонного клинкера.

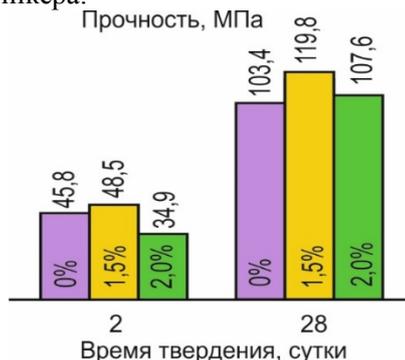


Рис.3 Активность клинкера на 2 и 28 сутки гидратации при введении горючего отхода – автомобильной шины

На рис. 3 приведена активность клинкера на 2 и 28 сутки гидратации цемента, в зависимости от вводимого при обжиге клинкера горючего вещества шин по сухому сырью. Прочностные показатели, позволяют говорить об отсутствии неблагоприятного влияния автопокрышек на качество клинкера. Нет определенной зависимости и в процессе гидратации цементов, например на 28

сутки твердения, что подтверждается данными комплексного термического анализа.

Полученные данные дифференциально-термического анализа (DTA) и потери массы (TG) показывают, что после двухсуточного твердения, когда при обжиге бездобавочной смеси прочность цементного камня равна 45.8 МПа и при содержании в сырьевой смеси 1,5 % резиновой шины – 48,5 МПа, кривые КТА несколько различаются. По величинам DTA и TG в области 450 С фиксируется различное содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у бездобавочной смеси наибольшее количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , тогда как у смеси 1,5 % резиновой шины данное содержание значительно меньше. При этом после двухсуточного твердения потеря массы наибольшая у образцов, обладающих наибольшей прочностью, а через 28 суток твердения закономерности не наблюдается (рис. 4).

Полученные данные дифференциально-термического анализа (DTA) и потери массы (TG) показывают, что после двухсуточного твердения, когда при обжиге бездобавочной смеси прочность цементного камня равна 45,8 МПа и при содержании в сырьевой смеси 1,5 % резиновой шины – 48,5 МПа, кривые КТА несколько различаются. По величинам DTA и TG в области 450 °С фиксируется различное содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , у бездобавочной смеси наибольшее количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , тогда как у смеси 1,5 % резиновой шины данное содержание значительно меньше. При этом после двухсуточного твердения потеря массы наибольшая у образцов, обладающих наибольшей прочностью, а через 28 суток твердения закономерности не наблюдается (рис. 4).

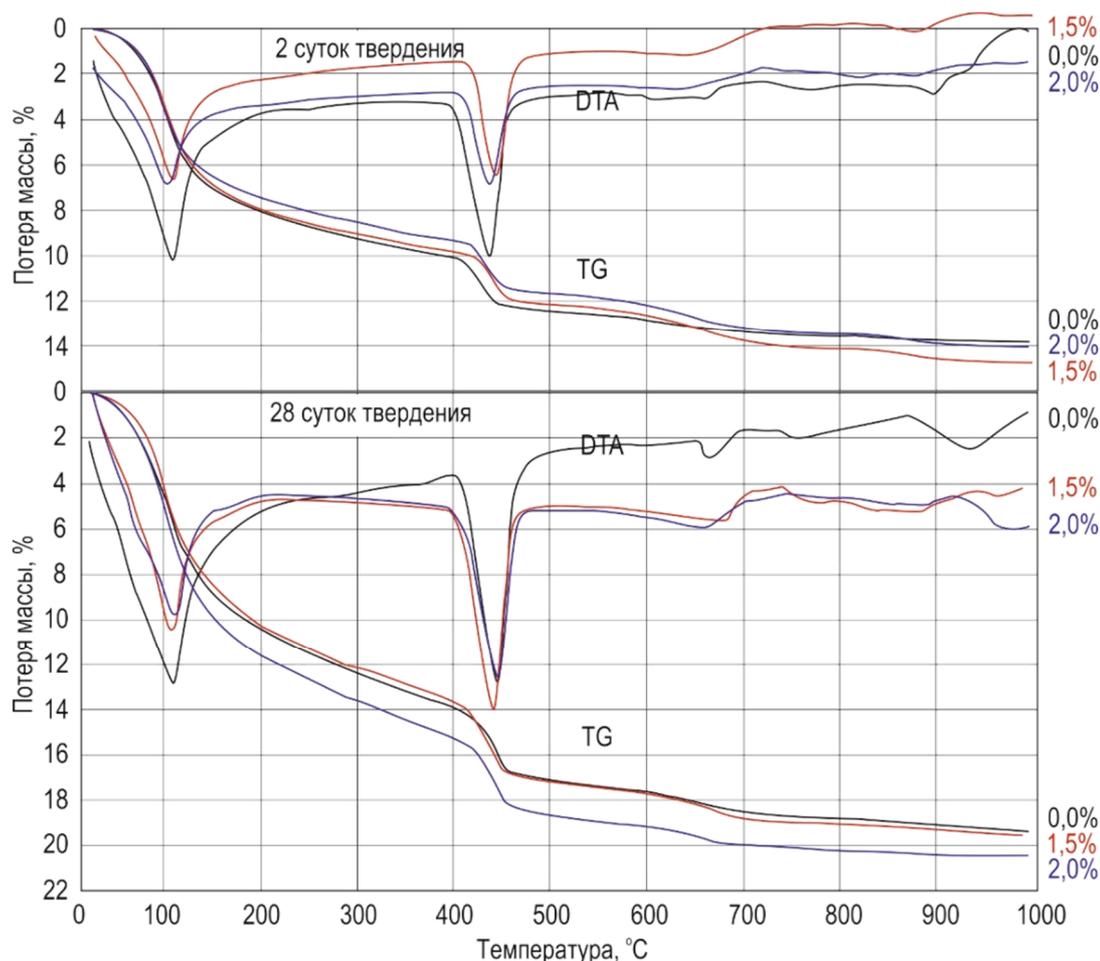


Рис. 4 Термограммы гидратированных цементов, с использованием 0, 1.5 и 2.0% ГВ резиновой шины при обжиге клинкера

Основным показателем, от которого зависит эффективность использования горючесодержащих отходов, является экономия технологического топлива. При использовании 2 % автомобильных шин экономия может составить около 12 %.

**Вывод.** С позиции применения горючесодержащих отходов, подтвержден потенциал использования автомобильных шин для экономии основного технологического топлива, а также выявлены следующие положительные стороны от введения данного отхода в процессе получения клинкера, на основании, как проведенного исследования, так и многолетнего мирового опыта [10–15]:

- шины обладают высокой калорийностью, вследствие чего при введении всего 2 % шин возможна замена до 12 % основного технологического топлива;

- шины безотходно используются при получении клинкера, то есть наличие металлического корда не ведет к неблагоприятным последствиям, а способствует замене небольшой части железосодержащего компонента. Зольная часть

составляет 4,7 % шин, и при введении 2 % отхода не требует корректировки сырьевой смеси.

- применение автомобильных шин в процессе получения цементного клинкера практически не оказывает влияние на качество готового продукта.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Колтон Г.П. Вовлечение в хозяйственный оборот резиновой крошки и альтернативных видов топлива // Экология производства. 2014. №10. С. 59–62.
2. Аленцин Б.В.М., Полужникова А.С. Утильные шины – альтернативное топливо для цементной промышленности. Формирование сырьевых потоков // ЦементИнформ. 2014. №1. С. 29–30.
3. Кузьменков М.И., Хотянович О.Е., Мельникова Р.Я., Сушкевич А.В. Влияние продуктов сгорания изношенных автомобильных покрышек на качество цемента и бетона // Цемент и его применение. 2013. №4. С. 103–104.

4. Просви́рин С.А., Хотянович О.Е. Использование отходов для подготовки альтернативного топлива на ОАО «Мордовцемент» // Цемент и его применение. 2012. №6. С. 76–79.
5. Шубин В.И. Применение техногенных материалов, в том числе и горючих отходов при производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 3–8.
6. Мандрикова О.С., Борисов И.Н. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 9–11.
7. Романенко В.П. Применение в качестве альтернативного топлива при обжиге клинкера изношенных автомобильных шин и торфяных брикетов на ОАО «Белорусский цементный завод» // Цемент Информ. 2014. №1. С. 31–33.
8. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik // Cement international. 2006. №4. Vol. 4. С. 52–59.
9. Шины, в качестве топлива в цементных печах [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cement.ucoz.ru/publ/57-1-0-87> (дата обращения: 20.08.2018).
10. Скупин Л. Использование альтернативных видов топлива // Цемент. 2013. №4. С. 130–132.
11. Киреев Ю.Н., Шюрманн Х. Альтернативное топливо и альтернативные сырьевые материалы – опыт KHD HUMBOLDT WEDAG на постсоветском пространстве // Цемент Информ. 2014. №1. С. 15–20.
12. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment // Strategic Planning for energy and the environment. 2000. Vol. 19. № 3. P. 9–24.
13. Бушихин В.В., Полозов Г.М., Кайгородов О.Н., Федосеев О.Е. Традиционные энергоносители и альтернативное топливо // Цемент. 2013. №1. С. 80–84.
14. Князев Я.И., Желтобрюхов В.Ф. Мировой опыт использования ТБО для цементной промышленности // Цемент Информ. 2014. №1. С. 66–73.
15. Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование различных горючих отходов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76.

*Информация об авторах*

**Мирошникова Оксана Викторовна**, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: [miroshnikova.oksana@list.ru](mailto:miroshnikova.oksana@list.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Борисов Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: [borisov@intsel.ru](mailto:borisov@intsel.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в ноябре 2018 г.*

© Мирошникова О.В., Борисов И.Н., 2019

<sup>1,\*</sup>*Miroshnikova O.V., <sup>1</sup>Borisov I.N.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

*\*E-mail: [miroshnikova.oksana@list.ru](mailto:miroshnikova.oksana@list.ru)*

## UTILIZING TIRES AS A COMBUSTIBLE ADDITIVE IN CEMENT PRODUCTION

**Abstract.** *The use of technogenic waste is a worldwide industry trend, which is implemented in cement production as well. In turn, cement production has a number of advantages that make it possible to dispose of waste maintaining the safety of manufacturing process. Such advantages include the high temperature of the furnace unit and the ability of the clinker liquid to neutralize heavy metals. In addition, the ash constituent of the waste is used as a raw component for the clinker production. The article reports the results of utilizing car tires. Car tires belong to combustible waste, the use of which in cement production is widespread in many factories. The article covers the ways of car tires disposal depending on the type of roasting kiln used in the production: either long kiln or a short kiln with cyclonic heat exchangers and a decarbonizer. The main characteristics of the raw materials used are provided, in particular - the presence of the ash residue and the tires' heat capacity. Influence of the car tires on the strength of the cement rock is demonstrated. The article presents pros and cons of using car tires based on domestic and foreign experience, as well as its practical and economic efficiency.*

**Keywords:** *clinker, cement, combustible waste, car tire, alternative fuel, burnable additive.*

## REFERENCES

1. Bushikhin V.V., Lomtev A.Yu, Kolton G.P. Including rubber granules and alternative fuels in the economic turnover. *Ecology of Production*, 2014, no. 10, pp. 59–62.
2. Alentin B.V.M., Pluzhnikova A.S. Scrap tires are an alternative fuel for the cement industry. *Formation of raw material flows. Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 29–30.
3. Kuzmenkov M. I., Jotanovic O. E., Melnikova R. I., Sushkevich A. V. Influence of combustion products of worn tires on the quality of cement and concrete. *Cement and its Applications*, 2013, no. 4, pp. 103–104.
4. Prosvirin S.A., Hotyanovich O.E. Use of waste for preparation of alternative fuel at JSC Mordovcement. *Cement and its Applications*, 2012, no. 6, pp. 76–79.
5. Shubin V.I. The use of technogenic materials, including combustible waste, during cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 3–8.
6. Mandrikova O.S., Borisov I.N. The use of fuel-containing waste in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 9–11.
7. Romanenko V.P. Application as an alternative fuel in the firing of clinker worn tires and peat briquettes at JSC Belarusian cement plant. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 31–33.
8. Tokheim L.-A, Dr.-Ing. Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels as Norcem Brevik. *Cement international*, 2006, no. 4, vol. 4, pp. 52–59.
9. Ires, as fuel in cement kilns. Available at: <http://www.cement.ucoz.ru/publ/57-1-0-87> (accessed 20.08.2018).
10. Skupin L. Use of alternative fuels. *Cement*, 2013, no. 4, pp. 130–132.
11. Kireev Yu.N., Shurman H. Alternative fuel and alternative raw materials-experience of Humboldt WEDAG KNV in the post-Soviet space. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 15–20.
12. Rivero R., Del Rio R. An advanced technological strategy for energy and the environment. *Strategic Planning for energy and the environment*, 2000, vol. 19, no. 3, pp. 9–24.
13. Bushikhin V.V., Kaigorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseyev O.Ye. Traditional energy carriers and alternative fuel. *Cement*, 2013, no. 1, pp. 80–84.
14. Knyazev Y.I., Zheltobryukhov V.F. International experience of using MSW for cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 66–73.
15. Miroshnikova O.V., Borisov I.N. The use of various types of combustible waste in cement production. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 7, pp. 71–76.

*Information about the authors*

**Miroshnikova, Oksana V.** Postgraduate student. E-mail: [miroshnikova.oksana@list.ru](mailto:miroshnikova.oksana@list.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Borisov, Ivan N.** PhD, Professor. E-mail: [borisov@intsel.ru](mailto:borisov@intsel.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in November 2018*

**Для цитирования:**

Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование автомобильных шин, в качестве выгорающей добавки, при производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 131–136. DOI: 10.12737/article\_5c73fc2325bd06.24999916

**For citation:**

Miroshnikova O.V., Borisov I.N. Utilizing tires as a combustible additive in cement production. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 2, pp. 131–136. DOI: 10.12737/article\_5c73fc2325bd06.24999916