

DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623

*Мирошникова О.В., аспирант,
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

В настоящее время мировое сообщество стремится к снижению объемов использования не возобновляемых источников энергии, таких как газ, нефть и уголь. И цементная промышленность не исключение, так как получение цемента характеризуется большим расходом энергии и тепла. Варианты решения достаточно разнообразны, от использования и модернизации технических средств, до замены топлива техногенными горючесодержащими отходами. С помощью технических средств снижение расхода топлива не всегда достижимо и возможно только в небольшой мере. А использование отходов экономически и технологически эффективно, что подтверждено опытом цементных предприятий. В данной статье рассматривается использование отходов для замены части основного технологического топлива, их влияние на технологический процесс получения клинкера, его качество и физико-механические характеристики. В качестве отходов были использованы: бумага, опилки, пластик, нефтяной кокс, углеотходы и автомобильные шины. Приведены их основные характеристики, в частности, наличие зольного остатка и теплотворная способность. Теоретически рассчитано максимально возможное количество вводимых отходов. Показаны положительные и отрицательные стороны применения этих отходов на основании отечественного и зарубежного опыта, экономическая эффективность. А также причины и возможные способы введения в зависимости от характеристик самих отходов и печных агрегатов мокрого и сухого способов производства. Пути предотвращения выбросов вредных веществ, таких как диоксины, в окружающую среду при использовании таких отходов как бутылочный пластик. Дано обоснование повышения активности клинкеров и снижения времени измельчения цемента при использовании отходов.

Ключевые слова: клинкер, цемент, горючие отходы, экономия топлива, альтернативное топливо, выгорающая добавка.

Введение. Использование отходов в технологическом процессе производства цемента является перспективным направлением, успешно применяемым во многих странах Европы и США. Причиной служит стремление к экономической выгоде и снижению экологической нагрузки на окружающую среду [1–5].

Планирование применения отходов предполагает решение какой-либо одной или нескольких технологических задач, например, замена сырьевого компонента, интенсификация процесса помола сырья, снижение тепловых затрат на обжиг клинкера, расхода топлива, количества клинкерной части в цементе и другое. В соответствии с этим отходы принято классифицировать по химическому и морфологическому составу, наличию определенных качеств и характеристик. В представленной работе были рассмотрены горючие техногенные отходы, позволяющие частично заменить основное технологическое топливо.

Основная часть. Возможны несколько агрегатов и схем использования горючих отходов в цементной печи.

При сухом способе производства:

– подача в шахту циклонного теплообменника.

– подача вместе с форсуночным топливом в зону спекания печи.

При мокром способе производства цемента:

– подача через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи;

– подача вместе с форсуночным топливом в зону спекания печи;

– подача совместно с сырьевой смесью с холодного конца печи.

В работе главным образом рассматривался мокрый способ производства, а именно подача отходов совместно с сырьевой смесью с холодного конца печи, а также для некоторых отходов по ряду причин, подача через систему шлюзовых затворов в зону декарбонизации печи.

Выбор мокрого способа обусловлен невозможностью подачи горючих отходов с сырьем в сухом способе производства из-за большой вероятности не сгорания горючего вещества. На рис. 1 представлены результаты дифференциально-термического анализа используемых в работе отходов, согласно которым, выход горючего вещества из них начинается в пределах 100–450 °С. И если вводить отходы в сырьевую смесь сухого способа производства, в первом циклоне при 350 °С произойдет выход летучих веществ без

возгорания. Это может привести к потере тепла и кроме того существует вероятность взрыва в электрофильтре. Тогда как в печи мокрого способа производства температура газового потока на участке зоны подогрева на 650–850 °С выше

температуры материала. Это позволяет горючему попадать в газовую среду, и при наличии кислорода полностью сгорать. Выгорание добавки в подготовительных зонах обеспечивает лучшую тепловую подготовку материала [6].

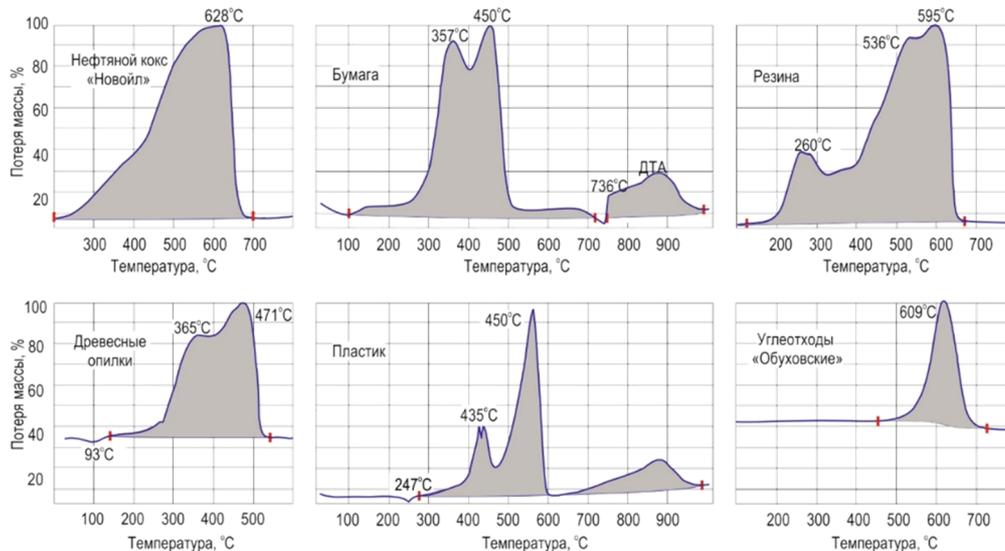


Рис. 1. Результаты дифференциально-термического анализа горючих отходов

При вводе горючего вещества в шлам нужно обеспечить кислород для горения, которое будет происходить в пламенном пространстве печи. Увеличение коэффициента избытка воздуха приводит к снижению температуры факела и, следовательно, теплообмену. В связи с чем, введение большого количества отходов таким способом

невозможно. В работе определялся коэффициент избытка воздуха, обеспечивающий необходимую теплопередачу и, следовательно, наибольшее количество вводимого горючего отхода по сухому сырью [6]. Так для нефтяного кокса «Новойл» – 2,8 % (рис. 2а), для бумаги оно равно 7 % (рис. 2б).

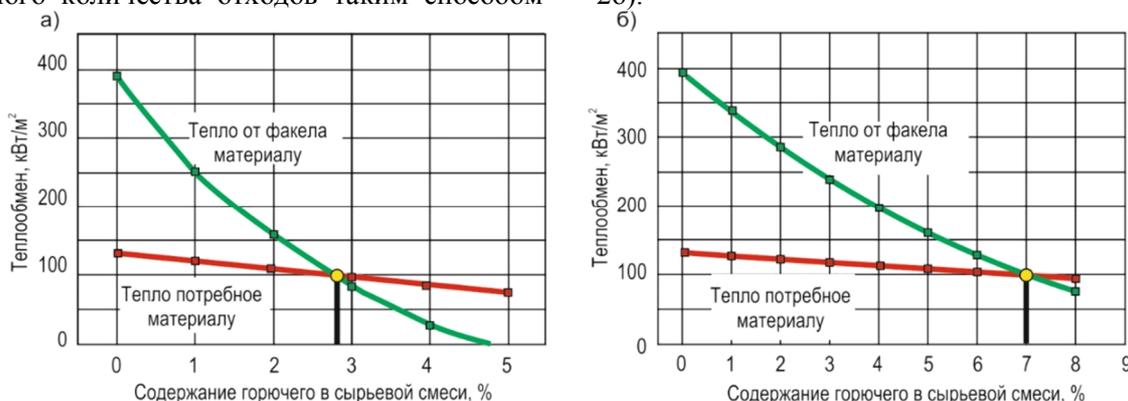


Рис. 2. Теплопередача при различной концентрации в пересчете на горючее вещество отходов: а) нефтяного кокса «Новойл»; б) бумаги

Углеотходы. Являются побочным продуктом добычи угля. Характеризуются высоким содержанием минеральной части, в связи с чем, первоначально использовались как замена глинистого компонента цементной сырьевой смеси.

Углеотходы «Обуховские» на 40 % состоят из кварца, каолинита, гидрослюда в виде глауконита, а также волластонита и арканита. Теплоотворная способность составляет 28,1 МДж/кг. Максимально возможное вводимое количество, в сырьевую смесь, горючей части углеотходов –

3 %. Из результатов рентгеноспектрального анализа клинкеров следует, что имеются незначительные различия в минералогическом составе рядовых клинкеров и тех для получения, которых вводились углеотходы и корректирующая сырьевая смесь.

Введение углеотходов способствовало увеличению пористости клинкеров при помоле, и, следовательно, меньшему времени достижения требуемой удельной поверхности, так при введении 3 % горючего вещества по сухому сырью размоломоспособность увеличилась на 15 % [7].

Прочность на сжатие цементов, полученных с использованием углеотходов, оказалась выше по сравнению с рядовыми во все сроки твердения. Например, разность прочности на сжатие в 28 сутки твердения между рядовым и добавочным с введением 3 % горючего вещества составила 14,4 %. Вероятной причиной этому является образование клинкерных фаз, свойства которых, отличаются по причине переменного температурного поля в системе, так как происходит локальное горение углеотходов.

Нефтяной кокс. Нефтяной кокс – твердый пористый неплавкий и нерастворимый продукт от темно-серого до черного цвета, получаемый при коксовании нефтяного сырья. Характеризуется небольшим содержанием зольной части и высокой тепловой способностью. К недостаткам можно отнести повышенное содержание серы (от 3 до 5 %) и тяжелых металлов ($RT < 1800$ ppm) [8–10].

В работе использовался нефтяной коксик «Новыйл». Теплотехнические расчеты позволяют введение в сырьевой шлам до 2,8 % кокса с обеспечением требуемой теплопередачи тепла.

При подаче в сырьевой шлам 2,8 % кокса с зольностью около 0,6 % количество минеральной составляющей в нем составит менее 0,02 % и, следовательно, при этом реально не изменится химический состав клинкера. Кроме того, становится неактуальным главный недостаток кокса, а именно, содержание серы и тяжелых металлов будет незначительным.

Нефтяной кокс, вследствие высокой теплоты сгорания, может быть успешно использован для замены до 23 % основного технологического топлива путем подачи его в сырьевой шлам при мокром способе производства цемента. Во все сроки

твердения при добавлении в шлам нефтяного кокса наблюдается повышение активности клинкера [11].

Шины. Шины один из наиболее высококалорийных видов альтернативного топлива, кроме того отличается легкодоступностью. Достаточно быстрое горение покрышек обеспечивается его химическим составом, они на 87 % и более состоят из кислорода и углерода. Наличие в шинах железного корда дает возможность замены некоторого количества железосодержащего компонента при обжиге клинкера. Теплотворная способность резины (без металлического корда) составляет более 30 МДж [12].

По использованию автомобильных шин при производстве цемента выработан многолетний мировой опыт. В связи с чем, было решено осуществлять ввод резиновой шины в цементную вращающуюся печь мокрого способа производства в высокотемпературную область, где температура превышает 900 °С или в декарбонизатор сухого способа производства. Так обеспечивается полное выгорание горючей составляющей автомобильной шины при данных характеристиках горения отхода и температурных условиях во вращающейся печи мокрого способа производства и декарбонизатора сухого способа производства.

Резиновые шины подавались в сырьевую смесь в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью.

Содержание золы у резиновой шины составляет 4,65 %, при введении небольшого количества отхода до 2 % ГВ, зола не повлияла на расчетный химический состав смесей, поэтому пересчет сырьевых смесей не производился.

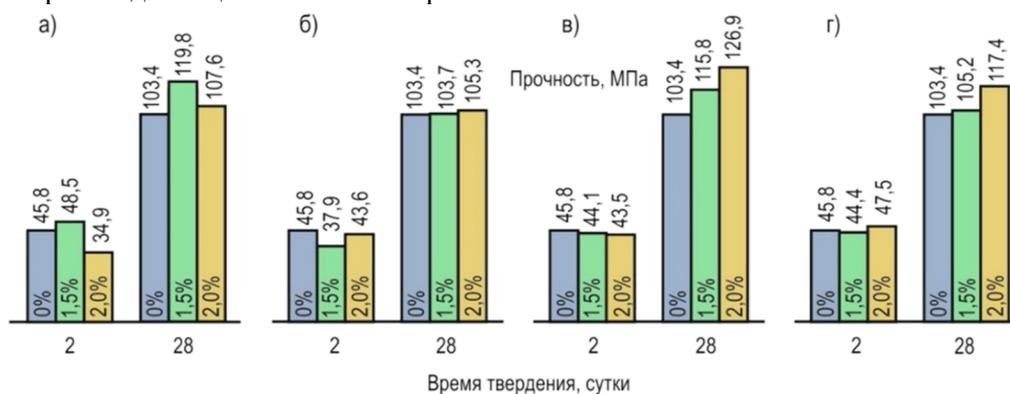


Рис. 3. Активность клинкера на 2 и 28 сутки гидратации при введении горючих отходов: а) автомобильной шины; б) опилок; в) бумаги; г) пластика

Качество клинкера не снизилось в результате ведения в цементную печь покрышек (рис.3а). При этом возможно снижение затрат при производстве клинкера на потребление при-

родного газа примерно на 12 %, с учетом организации бесплатного сбора и доставки шин на предприятие.

Древесные отходы. Состав органической массы древесины практически постоянен и

только в небольшой степени зависит от породы дерева. Влажность древесины находится в пределах 50–60 %, а содержание зольной части не более 1 %. В реальных условиях данные показатели могут значительно изменяться. Теплотворная способность древесных отходов примерно 18 МДж/кг [13].

Рядовой и экспериментальные клинкера были получены при введении в сырьевые смеси 0 %, 1,5 %, 2 % горючего вещества опилок по сухому сырью.

Выгорающая добавка – опилки, вследствие незначительного содержания зольной части, не оказала воздействие на активность клинкера. А предварительный экономический эффект составил около 12 %.

ТБО: бумага, пластик. Твердые бытовые отходы (ТБО) – это отходы бытовых предметов, которые после использования выбрасывают, таких как упаковка продукта, мебели, одежды, бутылки, пищевые отходы, газеты, бытовая техника краски и батареи [14].

В работе было отдельно рассмотрено введение бумаги и пластика.

Бумага – горючий отход потребления всех видов бумаги и картона. Теплотворная способность бумаги составляет 12,4 МДж/кг, зольность – 10,1 %. Бумага вводилась в количестве 1,5 и 2 %. При этом отсутствовала потребность в корректировке сырьевых смесей.

Введение бумаги в количестве 1,5 и 2,0 % горючего вещества по сухому сырью позволило повысить прочность цементного камня соответственно на 10,7 % и 18,5 % (рис. 3в). Предварительный экономический эффект составил около 7 %.

Сжигание пластика в обычных котлах затруднено с точки зрения образования вредных выбросов, наиболее безопасным является сжигание их во вращающихся печах при производстве цемента, так как температура горения составляет свыше 1450 °С, при этой температуре наиболее токсичные вещества – диоксины и др. не будут образовываться, поскольку диоксины начинают разлагаться при температуре свыше 800 °С [15]. Цементная печь дает возможность обеспечить длительность пребывания газов более 2 сек. в зоне печи с температурой не менее 850 °С. В результате не произойдет образование диоксинов, а тяжелые металлы в топочном пространстве перейдут в клинкер, образуя с входящими в клинкер минералами химические соединения. По этим причинам ввод пластика осуществлялся в горячий конец печи.

В 28 суточном возрасте происходит увеличение активности экспериментальных клинкеров

по сравнению с рядовым (рис. 3г). Некоторое повышение активности клинкеров можно объяснить изменением протекания физико-химических процессов обжига цементного клинкера, при наличии и отсутствии пластика. Экономический эффект составил 15 %.

Выводы. Использование представленных отходов способствовало экономии основного технологического топлива, при сохранении, а иногда и повышении качества клинкера.

1. Согласно теплотехническим расчетам обеспечить теплообмен в пламенном пространстве печи можно при введении горючей части отходов в количестве, не превосходящем для нефтяного кокса – 2,8 %, бумаги – 7 %, углеотходов из шахтоуправления «Обуховская» – 3 %, и 4,7 % древесных опилок. Резиновую шину и пластик вводить рекомендуется в горячий конец печи, на основании литературных данных оно наиболее эффективно.

2. Небольшое содержание зольной части техногенных отходов дало возможность не корректировать сырьевые смеси, исключением стали углеотходы «Обуховские». Кроме того происходит увеличение активности клинкеров, получение которых сопровождалось введением следующих отходов, по сравнению с рядовыми клинкерами: нефтяной кокс до 10,6 %; углеотходы до 14,4 %; бумаги до 18,5 %; пластика до 11,9 %. Автомобильные шины и опилки не оказали влияния на активность клинкера.

3. Минералогические составы клинкеров различаются незначительно. При этом полифракционный состав основных клинкерных минералов, стал основным фактором, который смог повлиять на рост прочности цементного камня с использованием отходов. Так, к примеру, у клинкеров, сырьевая смесь которых приготавливалась с добавлением нефтяного кокса и углеотходов.

4. Важнейшей характеристикой эффективности использования отходов, как горючесодержащих отходов, есть экономия основного топлива. По этому показателю из всех рассмотренных в работе отходов является введение 2,8 % горючего вещества нефтяного коксика по сухому сырью, экономия природного газа может достигать 39 м³ природного газа с 1 т клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шубин В.И. Применение техногенных материалов, в том числе и горючих отходов при производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 3–8.
2. Скупин Л. Использование альтернативных видов топлива // Цемент. 2013. №4. С. 130–132.

3. Айхас К., Виноградов К.А., Корнеев В.В. Предварительное технико-экономическое обоснование по организации комплексного предприятия по подготовке отходов для утилизации в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 34–38.
4. 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.
5. Князев Я.И., Желтобрюхов В.Ф. Мировой опыт использования ТБО для цементной промышленности // Цемент Информ. 2014. №1. С. 66–73.
6. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 126 с.
7. Мирошникова Ю.В., Мирошникова О.В., Классен В.К. Влияние введенных в сырьевой шлам углетоходов на качество цементного клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 159–163.
8. Борисов И.Н., Мандрикова О.С., Мишин Д.А. Нефтяной кокс – альтернативное топливо для цементной вращающейся печи [Электронный ресурс]. Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660> (дата обращения: 20.05.2018).
9. Мандрикова О.С., Борисов И.Н. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. № 1. С. 9–11.
10. 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.
11. Классен В.К., Мирошникова О.В. Зависимость активности цементного клинкера от вводимого в сырьевой шлам нефтяного кокса // Техника и технология силикатов. 2017. №4. С. 2–6.
12. 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.
13. Отходы деревообработки. Утилизация и переработка отходов [Электронный ресурс]. URL: <http://greenologia.ru/othody/derevoobrabotka> (дата обращения: 5.04.2018).
14. Бушихин В.В., Полозев Г.М., Кайгородов О.Н., Федосеев О.Е. Традиционные энергоносители и альтернативное топливо // Цемент. 2013. №1. С. 80–84.
15. Здоров А.И. Златковский А.Б. Современные направления экономии энергоресурсов в цементной промышленности Украины [Электронный ресурс]. Строительные материалы и изделия. 2007. URL: <http://sbcmi.ru/sovremennye-napravleniya-ekonomii-energoresursov-v-tsementnoj-promyshlennosti-ukrainy> (дата обращения 18.04.2018).

Информация об авторах

Мирошникова Оксана Викторовна, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: 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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2018 г.

© Мирошникова О.В., Борисов И.Н., 2018

O.V. Miroshnikova, I.N. Borisov

THE USE OF VARIOUS TYPES OF COMBUSTIBLE WASTE IN CEMENT PRODUCTION

The global community is committed to the reduction of usage of non-renewable energy sources such as gas, oil and coal. The cement industry is no exception, as cement production is characterized by increased consumption of energy and heat. Solutions vary from the use and modernization of technical means to the replacing the fuel with technogenic waste with combustibles. It is not always possible to cut down fuel consumption via technical means or it can be done partially. The use of waste is economically and technologically effective, as confirmed by the experience of cement plants. This article describes waste using to partially replaced primary process fuel, its effect on the clinker production process, its quality and physical-mechanical characteristics. The following types of waste were used: paper, sawdust, plastics, petroleum coke, coal mining waste, and tires. It describes their main properties, in particular, the presence of ash residue and a calorific value. The maximum possible amount of waste has been theoretically calculated. The article covers pros and

cons of using these types of waste, based on domestic and foreign experience, as well as economic efficiency, reasons and possible ways of their introduction, depending on the characteristics of waste and furnaces for wet and dry production. Ways to prevent emissions of harmful substances, such as dioxins, into the environment during the use of such waste as plastic bottles. The articles includes a rationale for increasing the activity of clinkers and reducing the time of cement grinding using waste.

Keywords: clinker, cement, combustible waste, fuel saving, alternative fuel, burnable additive.

REFERENCES

1. Shubin V.I. The use of technogenic materials, including combustible waste, during cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 3–8.
2. Skupin L. The use of alternative fuels. *Cement*, 2013, no. 4, pp. 130–132.
3. Aikhas K., Vinogradov K.A., Korneyev V.V. Pre-feasibility study for an integrated enterprise preparing waste for utilization in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 34–38.
4. 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.
5. Knyazev Y.I., Zheltobryukhov V.F. International experience of using MSW for cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 66–73.
6. Klassen V.K., Borisov I.N., Manuilov V.Ye. Technogenic materials in cement production. Belgorod: BSTU. 2008, 126 p.
7. Miroshnikova Yu.V., Miroshnikova O.V., Klassen V.K. The impact of coal waste, introduced in raw slurry, on the quality of cement clinker. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2016, no. 11, pp. 159–163.
8. Borisov I.N., Mandrikova O.S., Mishin D.A. Petroleum coke – alternative fuel for a cement rotary kiln. *Architecton: modern problems of science and education*, 2014, no. 6. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660> (accessed 20.05.2018).
9. Mandrikova O.S., Borisov I.N. The use of fuel-containing waste in cement production. *Cement Inform*, 2014, no. 1, pp. 9–11.
10. 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.
11. Klassen V.K., Miroshnikova O.V. The dependence of the activity of cement clinker on petroleum coke, added to raw slurry. *Equipment and Technology of Silicates*, 2017, no. 4, pp. 2–6.
12. 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.
13. Woodworking waste. Disposal and recycling. Available at: <http://greenologia.ru/othody/derevoobrabotka> (accessed 5.04.2018).
14. 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.
15. Zdorov A.I., Zlotkovsky A.B. Modern energy saving trends in the cement industry of Ukraine. *Architecton: Building materials and products*. 2007. Available at: <http://sbcmi.ru/sovremennye-napravleniya-ekonomii-energoresursov-v-tsementnoj-promyshlennosti-ukrainy> (accessed 18.04. 2018).

Information about the author

Oksana V. Miroshnikova, Postgraduate student.

E-mail: miroshnikova.oksana@list.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ivan N. Borisov, DSc, professor.

E-mail: borisov@intsel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2018

Для цитирования:

Мирошникова О.В., Борисов И.Н. Использование различных горючих отходов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623.

For citation:

Miroshnikova O.V., Borisov I.N. The use of various types of combustible waste in cement production. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 71–76. DOI: 10.12737/article_5b4f02bef029e8.04326623.