

УДК 666.941

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

ШПИРЬКО Н.В.<sup>1</sup> *д.т.н., проф.*,  
БОНДАРЕНКО С.В.<sup>2</sup> *к.т.н., доц.*,

<sup>1</sup> кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-93, e-mail: tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

<sup>2</sup> кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-93, e-mail: tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9947-721X

**Аннотация.** *Цель.* Снижение энергозатрат на обжиг вяжущего является важной задачей, которая решается определением коэффициента теплового энергопотенциала сырьевой смеси включающей отходы углебогащения и отсева доломита. *Методика.* Для производства гидравлической извести использованы такие техногенные продукты как доломитовый отсев и отходы углебогащения, содержащие топливный компонент и глинистые минералы. Получена графическая зависимость нижней теплоты сгорания рабочего топлива в отходах углебогащения от зольности отходов углебогащения (55 - 85%). *Результаты.* Проведенными исследованиями установлено, что для получения наибольшей прочности исходные сырьевые материалы берутся в соотношениях отсева доломита к отходам углебогащения от 2:1 до 1:1. По результатам химического анализа определяется химический состав сырьевой смеси. *Научная новизна.* Количество выделяемой тепловой энергии при сгорании 1кг отходов углебогащения определяется общим содержанием горючей массы в отходах углебогащения. *Практическая значимость.* Оценка тепловой энергетической эффективности сырьевой смеси из отсева доломита и отходов углебогащения при обжиге вяжущего - гидравлической извести, составляет 25-70% в зависимости от содержания отходов углебогащения и их теплового энергопотенциала.

*Ключевые слова:* сырьевая смесь, вяжущее, гидравлическая известь, отсев доломита, отходы углебогащения, тепловой энергопотенциал, зольность.

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ

ШПИРЬКО М.В.<sup>1</sup> *д.т.н., проф.*,  
БОНДАРЕНКО С.В.<sup>2</sup> *к.т.н., доц.*,

<sup>1</sup> кафедра технології будівельних матеріалів виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-93, e-mail: tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

<sup>2</sup> кафедра технології будівельних матеріалів виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-93, e-mail: tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9947-721X

**Анотація.** *Мета.* Зниження енерговитрат на випал є важливою задачею яка вирішується визначенням коефіцієнту теплового енергопотенціалу сировинної суміші до якої входять відходи вуглезбагачення та відсів доломіту. *Методика.* Для виробництва гідралічного вапна використовуються такі техногенні продукти яковий відсів і відходи вуглезбагачення, що вміщують паливний компонент і глинисті мінерали. Отримана графічна залежність нижньої теплоти згорання робочого палива в відходах вуглезбагачення від зольності відходів вуглезбагачення (55 - 85%). *Результати.* Проведеними дослідженнями встановлено, що для отримання найбільшої міцності вихідні сировинні матеріали беруться в співвідношенні відсів доломіту до відходи вуглезбагачення від 2:1 до 1:1. За результатами хімічного аналізу визначають склад сировинної суміші. *Наукова новизна.* Кількість виділеної теплової енергії при згорянні 1кг відходи вуглезбагачення визначається загальним вмістом горючої маси в відходах вуглезбагачення. *Практична значимість.* Оцінка теплової енергетичної ефективності сировинної суміші з відсіву доломіту і відходів вуглезбагачення при випалу в'язучого - гідралічного вапна, складає 25-70% в залежності від вмісту відходів вуглезбагачення і їх теплового енергопотенціалу.

*Ключові слова:* сировинної суміш, в'язуче, гідралічне вапно, відсів доломіту, відходи вуглезбагачення, тепловий енергопотенціал, зольність.

## THE BUILDING MATERIALS WITH USE OF WASTE COAL CONCENTRATION

SHPIRKO N. V.<sup>1</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
BONDARENKO S. V.<sup>2</sup> *Ph. D., Assos.prof.*,

<sup>1</sup> Department of Technology of building materials, products and structures, State Higher Educational Establishment “Ptydniprovsk’ka State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24a Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 765-33-81, e-mail tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

<sup>2</sup> Department of Technology of building materials, products and structures, State Higher Educational Establishment “Ptydniprovsk’ka State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24a Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-34-93, e-mail: tsmik@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9947-721X

**Annotation. Purpose.** Reduced energy consumption for firing the binder is an important task, which is solved by determining the ratio of the thermal energy potential raw material mixture consisting of waste coal and dolomite screenings. **Methodology.** For the production of hydraulic lime used such man-made products such as dolomite screenings and waste coal containing fuel component, and clay minerals. We obtain a graph of the lower operating heat of combustion of fuel in waste coal ash waste from coal enrichment (55 - 85%). **Findings.** Research evidence that for maximum strength feedstocks are taken in proportions dolomite screenings to waste coal from 2: 1 to 1: 1. According to the results of chemical analysis determined the chemical composition of the raw mix. **Originality.** The amount of heat energy released by the combustion of 1 kg of waste coal is determined by the total content of combustible mass in waste coal. **Practical value.** Estimation of thermal energy efficiency of the raw material mixture of dolomite screenings and waste coal binder during firing - hydraulic lime is 25-70% depending on the content of waste coal preparation and thermal energy potential.

*Keywords:* raw meal, astringent, hydraulic lime, dolomite screenings, waste coal, thermal energy potential, ash.

### Введение

**Постановка проблемы.** Увеличение цен на энергоносители, складирование на предприятиях большого количества отходов и попутных продуктов производства, ставит задачи разработки технологий энерго и ресурсосбережения, а так же охраны окружающей среды.

Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование в качестве техногенного сырья при получении различного вида строительных материалов и вяжущих веществ.

Одним из важнейших ресурсов, необходимых для производства вяжущих материалов, является топливо. В последние годы проблема эффективности использования топлива, его экономного расходования приобрела особую **актуальность**

Для снижения расхода топлива в производстве вяжущих веществ начинают применять техногенное сырье, содержащее топливные компоненты - отходы углеобогащения, золы ТЭС [1, 2].

**Анализ исследований и публикаций.** Обжиг сырья в производстве портландцемента производится при температурах 1400-1450 °С, что приводит к его высокой себестоимости и увеличению цены бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Вместе с этим широко применяются материалы и изделия в виде строительных растворов, сухих строительных смесей, бетонов не требующих использования высокомарочных вяжущих.

Для таких материалов и изделий целесообразно использовать низкообжиговые безклинкерные вяжущие вещества (гидравлическую известь, романцемент).

Гидравлическую известь и романцемент изготавливают в основном из моносырья известкового или доломитового мергеля путём обжига при температурах 800-1000 °С. Производство и применение романцемента из доломитового мергеля осуществляется в Латвии. Значительное снижение объёмов добычи доломитового мергеля вызвало проведение исследований по производству романцемента из доломита и глины [3]. Содержание в сырье для производства романцемента MgO до 18,6 % препятствует переходу  $\text{V}_2\text{C}_2\text{S}$  в  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  [4].

На углеобогачительных предприятиях накоплено большое количество отходов углеобогащения содержащих в своем составе значительное количество топливного компонента и в зависимости от фракции частиц, представляют источник экологической опасности для окружающей среды [5, 6].

Минералогический состав отходов углеобогащения представлен глинистыми минералами 42-81 %, пиритом 1-13 %, кварцем 1-20,5 %, карбонатными минералами 1-12 % и органическим веществом угля от 7-33,2 %. Учитывая большое содержание глинистых минералов, они могут использоваться как сырьевой компонент, а значительное количество угля как топливный компонент для получения гидравлической доломитовой извести. В тоже время в отвалах находятся

миллионы тонн отходов доломита, которые могут быть применены в производстве вяжущих.

Процесс получения вяжущего из отсева доломита и отходов углеобогащения включает: помол сырьевой смеси, формование гранул, обжиг, охлаждение и помол спека.

Обжиг сырьевой смеси из отсева доломита и отходов углеобогащения сопровождается сложными физическими и физико-химическими превращениями и твёрдофазовыми взаимодействиями между ее химическими компонентами, в результате которых формируется минералогический состав гидравлической извести, обеспечивающий её вяжущие свойства.

Известно получение из отсева доломита низкообжиговых вяжущих: каустический доломит ( $MgO$ ,  $CaCO_3$ ), доломитовый цемент ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $CaCO_3$ ) [6]. Количество вводимых в сырьевую смесь отходов зависит от их химического состава, содержания в них топливного компонента, температуры и времени обжига.

При нагреве в интервале  $170-550$  °C выгорает топливный компонент, в интервале  $350-700$  °C в результате декарбонизации доломита выделяется  $MgO$ , а в интервале  $700-850$  °C при разложении  $CaCO_3$  образуется  $CaO$ .

Твёрдофазные реакции при температурах выше  $700$  °C между компонентами сырьевых смесей приводят к формированию  $\beta\text{-}C_2S$ ,  $2CaOFe_2O_3$  которые придают гидравлические свойства извести. Кроме приведенных фаз образуются и другие минералы, которые обладают малой гидравлической активностью, и могут играть роль активных минеральных добавок или балласта.

Минералогический состав вяжущего обожжённого в интервале температур  $840-930$  °C представлен следующими минералами:  $\beta\text{-}2CaOSiO_2$ ,  $2CaOA_1_2O_3SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $CaSO_4$ . Содержание минералов в извести зависит от количества введённых отходов углеобогащения, температуры и времени обжига. Прочность полученного вяжущего определяется его минералогическим составом.

**Целью исследований** являлось снижение энергозатрат на обжиг вяжущего которые определяются коэффициентом теплового энергопотенциала сырьевой смеси включающей отходы углеобогащения и отсева доломита.

**Основной материал исследований.** Снижение энергозатрат на обжиг вяжущего определяется коэффициентом теплового энергопотенциала сырьевой смеси включающей отходы углеобогащения и отсева доломита определяется по формуле:

$$K_{\dot{Y}.I.} = \frac{m_O^O Q_{iO}^d}{Q_{iTP}} \quad (1)$$

где  $Q_{iO}^d$  – низшая теплота сгорания отходов в сухом состоянии кДж/кг;

$m^O$  – содержание отходов в сырьевой смеси, кг/кг;

$Q_{iTP}^d$  – удельный тепловой эффект формирования вяжущего, кДж/кг.

В процессе сгорания выделяется зола и выход летучих (водорода, диоксида углерода, оксид углерода) газов и водяных паров. Выход летучих относят к горючей массе топлива. Количество выделяемой тепловой энергии при сгорании 1 кг отходов углеобогащения определяется общим содержанием горючей массы в отходах углеобогащения.

Для расчёта низшей теплоты сгорания калориметрическим методом определяется высшая теплота сгорания отходов углеобогащения по ДСТУ ISO 1928-2004 и вычисляется низшая теплота сгорания по формуле

$$Q^a = Q^S - 5,83(W^a - 8,94 H^a) \quad (2)$$

где  $Q^a$  – рабочее состояние низшей теплоты сгорания аналитической пробы;

$W^a$ ,  $H^a$  – массовые доли влаги и водорода в аналитической пробе;

5,83 – коэффициент, учитывающий теплоту парообразования;

8,94 – коэффициент пересчёта массовой доли водорода на воду.

Низшая теплота сгорания рабочего состояния отходов углеобогащения может рассчитываться по ГОСТ 27313.

Для расчета высшей удельной теплоты сгорания  $Q_S$  топливного компонента по элементарному составу (при отсутствии калориметрических данных) используется формула Д.И. Менделеева

$$Q_S = 4,18 [81C_T + 300H_T - 26(O_T - S_T)] \quad (3)$$

где  $C_T$ ,  $H_T$ ,  $O_T$ ,  $S_T$  – теоретическое содержание углерода, водорода, кислорода и серы.

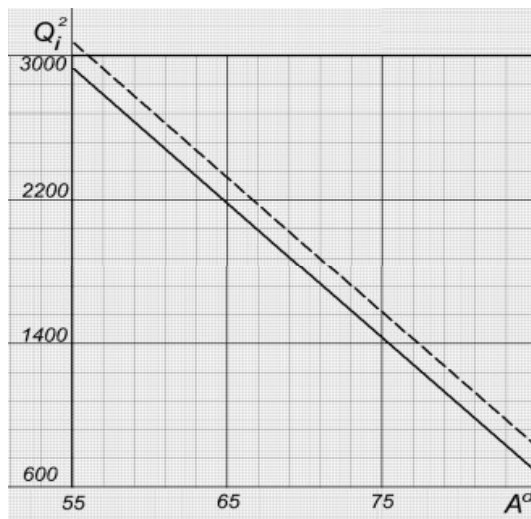
Средневзвешенная теплота сгорания угля газовой группы 8200 ккал, кг.

Теплота сгорания отходов углеобогащения связана с зольностью. Вначале определяется зольность, а по ней - теплота сгорания. Получаемые результаты при определении зольности методом прокаливания в атмосфере воздуха по ГОСТ 11022-95 не соответствуют реальному количеству минеральной части из-за разложения карбонатов, сульфатов, окисления сульфидов железа, дегидратации глинистых минералов.

В связи с отсутствием нормативных документов на отходы углеобогащения не решена проблема достоверного определения низшей теплоты их сгорания и выхода летучих веществ при фактической зольности используемых партий.

Последняя по данным приведенным в [5, 9] может изменяться от 55 до 89 %. Определение теплоты сгорания необходимо для расчета теплового энергопотенциала и экономической эффективности использования отходов углеобогащения в производстве вяжущих низкотемпературного обжига.

На основании прямых исследований влияния зольности на калорийность и выход летучих [10, 11] путём экстраполяции получена графическая зависимость  $Q^i = f(A^d)$  в интервале зольности отходов углеобогащения от 55 до 85 % представлена на рисунке 1.



*Рис. 1 Графическая зависимость низшей теплоты сгорания рабочего топлива в отходах углеобогащения от зольности.*

*Graphic dependence of the lowest heat of combustion of the working fuel in the waste of coal enrichment from ash content.*

Зольность в отходах углеобогащения может изменяться от 55 до 89 %. Для определения теплоты сгорания отходов углеобогащения определяется зольность методом прокаливания в атмосфере воздуха по ГОСТ 11022-95, а затем по рисунку 1 низшая теплота сгорания отходов углеобогащения в рабочем состоянии.

Низшая теплота сгорания в рабочем состоянии при необходимости может быть пересчитана на низшую теплоту сгорания в сухом состоянии по ГОСТ 27313 п. 4. Для расчета теплового энергопотенциала сырьевой смеси необходимо определение теплового энергопотенциала каждой партии отходов углеобогащения.

**Выводы.** Проведенными исследованиями установлено, что для получения наибольшей прочности исходные сырьевые материалы берутся в соотношениях отсева доломита к отходам углеобогащения от 2:1 до 1:1. По результатам химического анализа определяется химический состав сырьевой смеси.

Энергопотенциал сырьевой смеси при содержании отходов углеобогащения 33,3 % для зольности 80 % изменяется от 22,5-45,0 %, а для зольности 72% от 52,5-72,1 %. При содержании 50 % при зольности 80 % коэффициент энергопотенциала меняется от 37-73,6 %, а при зольности 72 % от 85,4-117 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабушкин В.И., Винниченко В.И., Шульга И.В. Повышение эффективности использования отходов углеобогащения при обжиге цементного клинкера // Уголь Украины-1998.-№4.-с.48-49.
2. В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов, Е.И. Ходыкин. Теоретическое обоснование и эффективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // Строительные материалы. – М.: 2007-№8-С. 20-21.
3. И. Барбане, И. Витыня, Л. Линдыня. Исследование химического и минералогического состава романцемента синтезированного из латвийской глины и доломита //Строительные материалы, №1, 2013, с. 164-168.
4. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З., Стоянов О.В. Композиционные магниезальные вяжущие из местного сырья.// Вестник Казанского технологического университета, 2013, Т6 №4, с. 164-168.
5. Н.И. Дунаевская. К вопросу о комплексном использовании шламов сухих отходов углеобогащения, высокозольного и бурого угля в энергетике. // Институт угольных энерготехнологий НАН Украины. Электронный ресурс: <http://esko-ecosys.narod.ru/2012-5>.
6. Панова В.Ф., Панов С.А. Отходы углеобогащения как сырьё для получения строительных материалов//Вестник Сибирского государственного индустриального университета. Выпуск№2(12) 2015 с. 37-41.
7. В.И. Винниченко, А.Н. Рязанов Получение цемента из отходов доломита // Экология и промышленность. – 2013. - №2. – С. 111-113.
8. А.Н. Рязанов, В.И. Винниченко, С.В. Щебыкин, Н.И. Телятникова Исследование цемента из доломитового отсева. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. –

200 с. № 64 (1037). - С. 19-29 ISSN 2079-0821, наукометрична база «Ulrich's Periodicals» <http://library.kpi.kharkov.ua/vestnik6.html>;

9. С.С. Майдукова Остаточный энергетический потенциал низкокалорийных отходов угольного производства: критерии оценки/ economindustry.org.arhiv|htm|2010|s 51 14pdf «Економіка промисловості», 3(51)2010.
10. Ю.Н. Филипенко, Е.В. Рудавина, Г.Т. Скляр, Н.В. Чернявский Достоверность определения теплоты сгорания и выхода летучих веществ каменных углей в широком диапазоне зольности. //Энерготехнология и энергосбережение, - 2009, - №2. - С. 11-17.
11. Рязанов А., Шпирко Н., Бондаренко С. Гидравлическое вяжущее на основе техногенных продуктов отсева доломита и отходов углеобогащения// Польсько-українсько-литовський збірник праць № 23 „Теоретичні основи будівництва”, Дніпропетровськ, грудень, 2015. - 107-112 с.

#### REFERENCES

1. Babushkin V.I., Zinchenko V.I. and Shulga I.V. *Povishenie effektivnosti ispolzovaniya othodov ugleobogasheniya pri obzige cementnogo klinkera* [More efficient use of waste coal during the firing of cement clinker]. *Ugol Ukrainy* [Coal of Ukraine]. 1998, no 4, p.48-49. (in Ukrainian).
2. Klassen V.K., Borisov I.N., Manoilov V.E., and Khodykin E.I. *Teoreticheskoe obosnovanie I effektivnost ispolzovaniy ugleotchodov v kachestve sirevogo komponenta v tehnologii cementa.* [Theoretical substantiation and efficiency of waste coal preparation as a raw ingredient in cement technology]. *Stroitelnie materialy* [Building materials]. Moscow, 2007, no.8, p. 20-21. (in Russian).
3. Barbane J., Vitynya I. and Lindynya L. *Issledovanie himicheskogo I mineralogicheskogo sostava romantsementa sintezirovanogo iz latviyskoy gliny I dolomita.* [The study of the chemical and mineralogical composition romantsementa synthesized from Latvian clay and dolomite]. *Stroitelnie materialy* [Building materials], no. 1, 2013, p. 164-168. (in Russian).
4. Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. and Stoyanov O.V. *Kompozicionnye magnezialnie vagushie iz mestnogo sirya* [Composite magnesia binders from local raw materials]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta.* [Journal of Kazan State Technological University], 2013, T 6, no.4, p. 164-168. (in Russian).
5. Dunaevskaya N.I. *K voprosu o kompleksnom ispolzovanii chlamov suhih othodov ugleobogasheniya visokozolnogo I burgo uglya v energetike.* [On the issue of the integrated use of sludge dry waste coal preparation, high-ash coal and lignite in the energy sector]. *Institut ugolnih tehnologiy NAN Ukrainy* [Institute of Coal Power Technologies, National Academy of Sciences of Ukraine. Electronic resource]: <http://esko-ecosys.narod.ru/2012-5>. (in Ukrainian).
6. Panov V.F., Panov S.A. *Othody ugleobogasheniya kak siryo dlya polucheniya stroitelnih materialov.* [Waste coal as raw material for building materials] *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta.* [Bulletin of the Siberian State Industrial University]. Release no.2 (12), 2015, p. 37 41. (in Russian).
7. Vinichenko V.I., Rezanov A.N. *Poluchenie cementa iz othodov dolomite.* [Cement production from waste dolomite]. *Ekologiy I promychlennost.* [Ecology and Industry]. 2013, no. 2, p. 111-113. (in Ukrainian).
8. Rezanov A.N., Vinnichenko V.I. Shebykin SV, and Telytnikova NI. *Issledovanie cementa iz dolomiovogo otseva.* [Cement study of dolomite screenings]. *Vistnik Nacionalnogo Tehnichnogo Universitetu Harkivskiy Politehnichnyi Instytut. Zbirnyk naukovykh prac. Himiy, himichna tehnologiy i ekologiya.* [Proceedings of the National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute'. Collected Works. Theme Issue: Chemistry, Chemical Engineering and Environment]. Kharkov, NTU"XIII".2013. p.200. no. 64 (1037). p. 19-29 ISSN 2079-0821, scientometric base «Ulrich's Periodicals» <http://library.kpi.kharkov.ua/vestnik6.html>; (in Ukrainian).
9. Maydukova S.S. *Ostatochniy energeticheskij potencial nizkokaloriynih othodov ugolnogo proizvodstva: kriterii ochenki.* [Residual energy potential low-calorie waste coal production: criteria for evaluation / economindustry.org.arhiv|.htm | 2010 | s 51 14pdf «Industrial Economics», 3(51), 2010. (in Ukrainian).
10. Filipenko Y.N. Rudavina E.V., Sklar G.T. and Cherniavsky N.V. *Dostovernost opredeleniy teploty sgoraniya I vychoda letuchih veshestv kamennykh ugley v shirokom diapazone zolnosti.* [The reliability determination of the calorific value and yield of volatile substances coals ash over a wide range]. *Energotehnologiya I energosberegenie.* [Energy technologies and energy efficiency], 2009, no 2, p. 11-17. (in Ukrainian)
11. Rezanov A., Shpirko N and Bondarenko S. *Gidravlichesкое vyagushee na osnove technogennich produktov otseva dolomita I othodov ugleobogasheniya.* [Hydraulic binders based on man-made products screenings dolomite and waste coal]. *Polsko-Ukrainsko-Litovskiy zbirnyk prac.* [Polish-Ukrainian Transactions]. No.23, Dnipropetrovsk, december, 2015, p.107-112 (in Ukrainian)

Поступила до редколегії 27.04.2017