

УДК 666.941

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ИЗ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ С ПОНИЖЕННЫМ ЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛОМ

ШПИРЬКО Н.В.¹ *д.т.н., доц.,*
БОНДАРЕНКО С.В.² *к.т.н., доц.,*
СЕВАСТЬЯНОВА О.Э.³ *к.т.н., доц.,*
БОНДАРЕНКО А.С.⁴ *студент*

¹ 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

² 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

³ кафедра теоретической механики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2811-2368

⁴ архитектурный факультет, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2241-1228

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

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

ОТРИМАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ВАПНА З СИРОВИННОЇ СУМІШІ ЗІ ЗНИЖЕННЯМ ЕНЕРГОПОТЕНЦІАЛОМ

ШПИРЬКО М.В.¹ *д.т.н., доц.,*
БОНДАРЕНКО С.В.² *к.т.н., доц.,*
СЕВАСТЬЯНОВА О.Е.³ *к.т.н., доц.,*
БОНДАРЕНКО А.С.⁴ *студент*

¹ 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

² 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

³ кафедра теоретичної механіки, 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: 0000-0002-2811-2368

⁴ архітектурний факультет, 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: 0000-0002-2241-1228

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

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

PREPARATION OF HYDRAULIC LIME RAW MIXTURE WITH REDUCED ENERGY POTENTIAL

SHPIRKO N. V.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Assos.prof.*,
BONDARENKO S. V.², *Ph. D., Assos.prof.*,
SEVASTYANOVA O. E.³, *Ph. D., Assos.prof.*,
BONDARENKO A. S.⁴, *student.*

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

Разработка эффективных безотходных технологий использования отходов в технологии строительных материалов решает задачи энерго и ресурсосбережения, а так же охраны окружающей среды. На предприятиях горнорудной, металлургической, химической и других отраслей образуется большое количество отходов.

Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование в качестве техногенного сырья при получении различного вида продукции, в том числе вяжущих веществ.

Одним из важнейших материальных ресурсов, необходимых для производства вяжущих материалов, является топливо. В последние годы проблема повышения 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, осадки сточных вод и другие [1, 2, 3].

В Украине накоплено большое количество отходов углеобогащения содержащих в своем составе от 6 до 20 % топливного компонента при зольности от 89 до 68 % в зависимости от фракций частиц, представляющих источник экологической опасности для окружающей среды [4, 5].

В тоже время в Украине имеются значительные запасы доломита, которые используются в основном в виде частиц крупнее 5 мм, а частицы меньших размеров (отсев) транспортируют в отвал. В отвалах накопились миллионы тонн отходов доломита, которые могут быть применены в производстве вяжущих.

Из отсевов доломита могут быть произведены низкообжиговые вяжущие: каустический доломит (MgO , $CaCO_3$), доломитовый цемент (MgO , CaO , $CaCO_3$) или доломитовая известь (MgO , CaO) твердеющие при их затворении солями магния. Использование в производстве каустического доломита отходов углеобогащения с теплотой сгорания 11513,7 кДж/кг в количестве 150 кг на одну тонну вяжущего снижает расход условного топлива на 68,5 кг/т [6]. Являясь воздушными вяжущими, они обладают недостаточной водостойкостью. Для

повышения водостойкости этих вяжущих в сырьевую смесь необходимо ввести отходы углеобогащения в количестве 30...55 %. Количество вводимых в сырьевую смесь отходов зависит от их химического состава, содержания в них топливного компонента, температуры и времени обжига.

Цель

Таким образом, целью настоящей работы являлось снижение энергозатрат на обжиг вяжущего которые определяются коэффициентом теплового энергопотенциала сырьевой смеси включающей отходы углеобогащения и отсева доломита.

Материал

В качестве материала для настоящего исследования была выбрана сырьевая смесь включающей отходы углеобогащения и отсева доломита в химический состав которых входят: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , SO_3 .

Методика и результаты

Снижение энергозатрат на обжиг вяжущего определяется коэффициентом теплового энергопотенциала сырьевой смеси включающей отходы углеобогащения и отсева доломита.

Коэффициент теплового энергопотенциала сырьевой смеси – это отношение количества удельной теплоты сгорания выделяющейся при обжиге сырьевой смеси за счёт топливного компонента содержащегося в отходах углеобогащения к тепловому эффекту формирования 1 кг вяжущего при обжиге.

Коэффициент теплового энергопотенциала сырьевой смеси определяется по формуле:

$$K_{Э.П.} = \frac{m_O^y Q_{iOY}^d}{Q_{iTP}} \quad (1)$$

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

m_O^y – содержание отходов в сырьевой смеси, кг/кг;

Q_{iTP}^{y0} – удельный тепловой эффект формирования вяжущего, кДж/кг.

Теплота сгорания – это теплота, выделяющаяся при сгорании топливного компонента содержащегося в 1 кг отходов. Для органических соединений содержащихся в отходах углеобогащения теплотой сгорания является тепловой эффект полного сгорания данного соединения, элемента до двуокиси углерода, водяных паров (низшая теплота сгорания) или жидкой воды (высшая теплота сгорания). Для неорганической части тепловой эффект это реакции окисления данного соединения (пирита) кислородом с образованием высших оксидов соответствующих элементов или соединений этих оксидов.

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 ГОСТ 14795 или ДСТУ ISO 1928-2004 и вычисляется низшая теплота сгорания по формуле

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

где Q_i^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, 7] 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.

В [8] приведены результаты прямых исследований влияния зольности на калорийность и выход летучих с целью повышения достоверности

определения, низшей теплоты сгорания Q_i^r и выхода летучих V^{daf} . Исследованиями установлены графические зависимости лабораторных значений Q_i^r и Q_s^{daf} от зольности A^d углей различных шахт в пределах зольности от 8 до 46,5 %. Вычисленные нами средние значения Q_i^r приведенных в работе данных, были проэкстраполированы до 85 % зольности. Полученная графическая зависимость $Q_i^r = f(A^d)$ в интервале зольности отходов углеобогащения от 55 до 85 % представлена на рисунке 1.

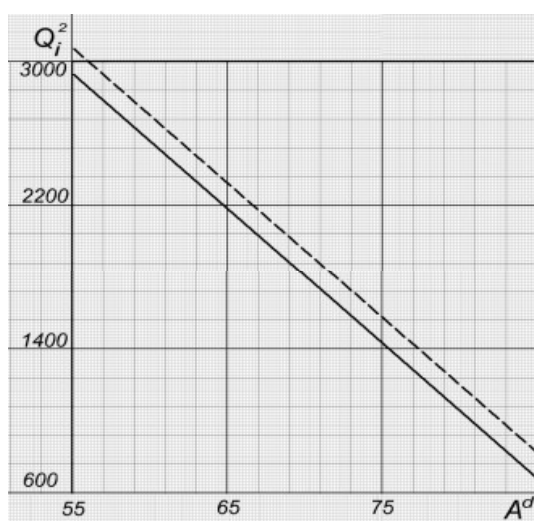


Рис.1 Графическая зависимость низшей теплоты сгорания рабочего топлива в отходах углеобогащения (влажностью 8,9 %) от зольности.

Зольность в отходах углеобогащения может изменяться от 55 до 89 %. Для определения теплоты сгорания отходов углеобогащения определяется зольность методом прокаливании в атмосфере воздуха по ГОСТ 11022-95, а затем по рис. 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.

Так как теплота сгорания при одной и той же зольности может быть различной, по мере накопления данных по энергопотенциалу отходов углеобогащения с различными химическими составами разных обогатительных фабрик будут накапливаться данные позволяющие получать более точные и достоверные результаты по определению их теплового энергопотенциала.

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.

Выход вяжущего после обжига определяется по формуле

$$B = CaO + MgO + S + Pd(1 - X_1) + C(1 - X_2) \quad (4)$$

где: $CaO + MgO$ – содержание указанных оксидов в сырьевой смеси, %;

S – суммарное содержание в сырьевой смеси SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , K_2O , Na_2O , R_2O_3 , %;

Pd – приведенные потери при прокаливании доломита, % сырьевой смеси;

C – содержание в сырьевой смеси углеродистых частиц, %;

X_1 – степень декарбонизации доломита при обжиге, выраженная в долях единицы; X_2 – степень выгорания органики в отходах, выраженная в долях единицы.

Исходя из выхода вяжущего и энергопотенциала отходов углеобогащения, вычисляется числитель формулы 1. Тепловой эффект получения вяжущего определяется по формуле:

$$Q_{прт}^0 = \left[m_1 g_{CaCO_3} + m_2 g_{MgCO_3} + m_3 g_{гв.глин} + g_m \right] - (g_{газ} + Q_{ЭКЗ}^{уд}) \quad (5)$$

где g_{MgCO_3} – удельный расход тепла на диссоциацию $MgCO_3$ – 1314,6 кДж/кг;

g_{CaCO_3} – удельный расход тепла на диссоциацию $CaCO_3$ – 1779,4 кДж/кг;

$g_{гв. оу}$ – удельный расход тепла на дегидратацию глинистого вещества в отходах углеобогащения – 460,5 кДж/кг;

m_1, m_2, m_3 – удельное содержание $CaCO_3, MgCO_3$ и глины в сырьевой смеси соответственно;

g_m – теплота затрачиваемая на нагрев сырьевой смеси

$$g_m = m_y C_m \cdot T \quad (6)$$

C_m – средняя удельная теплоемкость вяжущего, при температуре;

$Q_{ЭКЗ}^{уд}$ – удельная теплота, выделяемая при образовании минералов вяжущего ($\beta 2CaOSiO_2 + CaOAl_2O_3 + 2CaOFe_2O_3 + MgOAl_2O_3$) = 419 кДж/кг;

g_r – теплосодержание смеси газов равное сумме теплосодержаний составляющих смесь газообразных продуктов реакций декарбонизации:

$$g_r = (m_1 c_{CO_2} C_{CO_2} + m_2 c_{CO_2} C_{H_2O}) t \quad (7)$$

где t – температура продуктов сгорания, °С,

$m_1 c_{CO_2}, m_2 c_{CO_2}$, – удельный выход CO_2 , соответственно $CaCO_3, MgCO_3$, м³/кг,

$C_{CO_2}, C_{H_2O}, c_{O_2}, c_{N_2}$ – массовая теплоемкость продуктов сгорания, ккал/кг °С.

Результаты

Проведенный комплекс исследований показал. Оценка тепловой энергетической эффективности сырьевой смеси из отсева доломита и отходов углеобогащения при обжиге вяжущего –

гидравлической извести, составляет 25...70 % в зависимости от содержания отходов углеобогащения и их теплового энергopotенциала.

Научная новизна и практическая ценность

Для расчета теплового энергopotенциала сырьевой смеси необходимо определение теплового энергopotенциала каждой партии отходов углеобогащения. Так как теплота сгорания при одной и той же зольности может быть различной.

Выводы.

1. Снижение энергозатрат на обжиг вяжущего определяется коэффициентом теплового

энергopotенциала сырьевой смеси включающей отходы углеобогащения и отсева доломита.

2. 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.

3. Оценка тепловой энергетической эффективности сырьевой смеси из отсева доломита и отходов углеобогащения при обжиге вяжущего - гидравлической извести, составляет 25...70 % в зависимости от содержания отходов углеобогащения и их теплового энергopotенциала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. Ходькин. Теоретическое обоснование и эффективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // Строительные материалы. – М.: 2007-№8-С. 20-21.
3. В.И. Винниченко, А.Н. Рязанов Получение цемента из отходов доломита // Экология и промышленность. – 2013. - №2. – С. 111-113.
4. 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>.
5. 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.
6. И.Н. Борисов, В.С. Винниченко, А.Н. Рязанов Энергоэффективные строительные материалы на основе доломита и угольных отходов.
7. 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.
8. Ю.Н. Филипенко, Е.В. Рудавина, Г.Т. Склад, 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.

REFERENCES

1. Babushkin V.I., Zinchenko V.I., Shulga I.V. More efficient use of waste coal during the firing of cement clinker // Coal of Ukraine -1998.-№4.-p.48-49. (in Ukrainian).
2. V.K. Klassen, I.N. Borisov, V.E. Manoilo, E.I. Khodykin. Theoretical substantiation and efficiency of ugleothodov as a raw ingredient in cement technology // Building materials. - M.: 2007-№8-p. 20-21. (in Ukrainian).
3. V.I. Zinchenko A.N. Rezanov cement production from waste dolomite // Ecology and Industry. - 2013. - №2. - p. 111-113. (in Ukrainian).
4. N.I. Dunaevskaya. On the issue of the integrated use of sludge dry waste coal preparation, high-ash coal and lignite in the energy sector. // Institute of Coal Power Technologies, National Academy of Sciences of Ukraine. Electronic resource: <http://esko-ecosys.narod.ru/2012-5>. (in Ukrainian).
5. V.F. Panov, Panov S.A. Waste coal as raw material for building materials // Bulletin of the Siberian State Industrial University. Release №2 (12) 2015 p. 37 41. (in Russian).
6. I.N. Borisov, V.S. Vinnichenko, A.N. Rezanov Energy efficient building materials on the basis of dolomite and coal waste. (in Ukrainian).
7. S.S. Maydukova 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).
8. Y.N. Pilipenko E.V. Rudavina, G.T. Sklar, N.V. Cherniavsky reliable determination of the calorific value and yield of volatile substances coals ash over a wide range. // Energy technologies and energy efficiency, - 2009 - №2. - S. 11-17. (in Ukrainian).

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. С.А. Щербаком (Україна), д-ром. фіз.-мат. наук, проф. Л.С. Савін (Україна)