



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 666.914

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.14

**А. А. РЯЗАНОВ
В. М. ЛАТЫПОВ
А. Н. РЯЗАНОВ
В. А. РЯЗАНОВА**

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ ШИХТЫ НИЗКОТЕМПЕРА-ТУРНОГО ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE RAW MATERIAL MIXTURE
OF LOW-TEMPERATURE CEMENT ON THE BASIS OF FUEL-CONTAINING
COAL PREPARATION WASTE

Приведена методика расчета состава двухкомпонентной сырьевой шихты для получения известково-глинитного цемента на основе топливосодержащих техногенных отходов – гравитационных отходов обогащения углей. Разработана методика определения оптимального соотношения компонентов в шихте с учетом теплотворных свойств отходов. Ключевым параметром, при этом, является коэффициент энергетической эффективности. Целью расчета является определение такого соотношения компонентов в шихте, при котором обеспечивается максимальная экономия технологического топлива. Полученные результаты указывают на возможность полного исключения технологического топлива из производственного цикла при установившемся тепловом процессе за счет применения отходов углеобогащения.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, сырьевая шихта, известково-глинитный цемент, энергоемкость, коэффициент энергетической эффективности

Одним из перспективных направлений снижения энергетических затрат в промышленности строительных материалов является широкое вовлечение в технологический оборот крупнотоннажных топливосодержащих отходов углеобогащения (ОУ), которые образуются при обогащении каменных углей гравитационным способом на центральных углеобогащительных фабриках. Указанные отходы достаточно стабильны по химико-минералогическому составу и содержат топливные включения в количестве до 10–20 % и более по массе, что предопределяет

The article presents a method for calculating the composition of a two-component raw material mixture for producing lime-clay cement based on fuel-containing technogenic waste - gravitational waste of coal enrichment. A method for determining the optimal ratio of components in the charge, taking into account the calorific properties of the waste, is given. The key parameter, in this case, is the energy efficiency ratio. The purpose of the calculation is to determine the ratio of components in the charge, which ensures maximum economy of process fuel. The results indicate the possibility of complete elimination of process fuel from the production cycle at the steady-state thermal process through the use of coal preparation waste.

Keywords: coal wastes, raw material charge, lime-clayish cement, energy intensity, energy efficiency coefficient

выраженные теплотворные свойства последних [1,2]. Это позволяет отнести ОУ к ценному минеральному сырью для производства обжиговых строительных материалов, в первую очередь вяжущих веществ, как наиболее энергоемкого и потребляемого продукта.

В последние годы исследованию свойств вяжущих низкотемпературного обжига на основе природных и искусственных смесей посвящен целый ряд работ [3–9].

Одним из возможных вариантов эффективного решения данной задачи является способ получения гидравлического вяжущего посредством обжига

при 900-1100 °С двухкомпонентной сырьевой шихты, состоящей из карбонатного компонента и гравитационных отходов углеобогащения в установленных соотношениях по массе, реализация которого в промышленных условиях предполагает:

- двухфункциональное использование ОУ в качестве топливного и сырьевого компонента;
- получение низкотемпературного спека в процессе совместного обжига карбонатной породы с ОУ при максимально возможной энергетической сбалансированности процесса декарбонизации и частичного спекания за счет реализации теплотворных свойств топливных остатков золы.

Сырьевая шихта известково-глинитного цемента (ИГЦ) на основе отходов углеобогащения является двухкомпонентной механической смесью, состоящей из карбонатного компонента и топливосодержащих ОУ. Таким образом, содержание одного из компонентов находится в прямой зависимости от содержания другого, а выход ИГЦ (В) можно определить по формуле

$$B = CaO + MgO + S + P_1(1 - x_1) + C(1 - x_2), \% \quad (1)$$

где $CaO + MgO$ – содержание указанных оксидов в шихте, %; S – суммарное содержание в шихте SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , K_2O , Na_2O , R_2O_3 , %; P_1 – приведенные потери при прокаливании известняка, % по массе шихты; C – содержание в шихте углеродистых частиц, %; x_1 – степень декарбонизации известняка при обжиге, выраженная в долях единицы; x_2 – степень выгорания органики, выраженная в долях единицы.

Выход вяжущего по массе можно определить по формуле

$$B = K - \frac{K}{100} \cdot P_1(1 - x_1) + O - \frac{O}{100} \cdot P_2(1 - x_2), \text{ кг/м}, \quad (2)$$

где K – масса карбонатной породы на 1 т шихты, кг; O – масса отходов на 1 т шихты, кг; P_1 – потери при прокаливании карбонатного компонента, % по массе; P_2 – потери при прокаливании ОУ, % по массе; x_1 и x_2 – то же, что и в формуле (1). В практических расчетах удобнее пользоваться коэффициентами выхода каждого из сырьевых компонентов K_B^H и K_B^O :

$$K_B^H = \frac{K - \frac{K}{100} \cdot P_1(1 - x_1)}{K}, \quad (3)$$

$$K_B^O = \frac{O - \frac{O}{100} \cdot P_2(1 - x_2)}{O}, \quad (4)$$

где K_B^H – коэффициент выхода известня; K_B^O – коэффициент выхода минеральной части ОУ; K , O , P_1 , P_2 , x_1 и x_2 – то же, что и в формулах (1), (2).

Суммарное содержание известковой (I) части и минеральной части ОУ (O_1) в вяжущем будет определяться расходом карбонатного компонента (K) и ОУ (O), а также потерями их массы при обжиге:

$$I + O_1 = K \cdot K_B^H + O \cdot K_B^O. \quad (5)$$

Задаваясь требуемым соотношением известня и отходов в конечном продукте, расход карбонатного

компонента (K) и отходов (O) на приготовление 1 т вяжущего можно определить по формулам:

$$K = \frac{I}{K_B^H}, \text{ кг/м}, \quad (6)$$

$$O = \frac{O_1}{K_B^O}, \text{ кг/м}. \quad (7)$$

Важным моментом в решении задачи оптимизации сырьевого состава являлся правильный выбор пределов варьирования соотношением исходных компонентов, в основу которого были положены следующие теоретические предпосылки. Было принято допущение, что в результате низкотемпературного обжига шихты при 1000 – 1100 °С конечный продукт будет состоять в основном из определенного количества свободной CaO метаморфизированного глинистого вещества отходов. В связи с этим граничные соотношения сырьевых компонентов устанавливались по предельно допустимому содержанию оксида кальция в вяжущем, исходя из условия обеспечения его гидравлических свойств при достаточной воздухостойкости.

Анализ литературных данных [10] показал, что воздухостойкость известково-пуццолановых композиций обеспечивается при содержании в их составе не менее 20 % по массе CaO_{cb} . В то же время для сохранения гидравлических свойств содержание $CaO_{cb} + MgO_{cb}$ в известьесодержащих вяжущих ограничивается 50 % по массе. Таким образом, содержание CaO_{cb} в вяжущем должно находиться в пределах 20-50 % по массе.

Зная химический состав сырьевых компонентов, активность вяжущего (A) по содержанию $CaO_{cb} + MgO_{cb}$ с учетом степени декарбонизации известняка и выгорания органики можно установить

$$A = \frac{CaO + MgO - P_1(1 - x_1)}{CaO + MgO + S + P_1(1 - x_1) + C(1 - x_2)} \cdot 100, \quad (8)$$

где все обозначения те же, что и в формуле (1).

Задаваясь процентным содержанием по массе компонентов в шихте – известняка (ОУ) от 20(80) до 60(40) и принимая степень декарбонизации известняка x_1 и выгорания органики x_2 равной 1, можно определить теоретическое максимально возможное содержание $CaO_{cb} + MgO_{cb}$ в вяжущем. Расчетная зависимость между соотношением сырьевых компонентов в шихте и содержанием CaO_{cb} в ИГЦ показана на рис. 1. Из анализа представленной зависимости следует, что минимальному, из условия обеспечения воздухостойкости, содержанию оксида кальция в ИГЦ, равному 20 % по массе, соответствует шихта с содержанием отходов и известняка соответственно 75 и 25 % в зависимости от показателей п.п.п. (П2) базовых отходов. В то же время максимально допустимому содержанию CaO_{cb} в ИГЦ (50 % по массе) соответствует сырьевая смесь с содержанием известняка 60 % по массе.

Ввиду достаточно широкого диапазона допустимого содержания в вяжущем свободного оксида кальция, расчет состава сырьевой шихты, а также оценку энергетической эффективности процесса обжига предлагается производить также с учетом значения коэффициента энергетической эффективности K_3 (9):

$$K_3 = \frac{Q^o \cdot m_o^{yd}}{Q_{TP}^{yd}}, \quad (9)$$

где Q_{TP}^{yd} – удельная энергоемкость процесса обжига шихты, кДж/кг (10);

Q^o – теплотворная способность ОУ, кДж/кг;

m_o^{yd} – удельное содержание ОУ в шихте, кг.

$$Q_{TP}^{yd} = [(m_1 \cdot g_{CaCO_3} + m_2 \cdot g_{MgCO_3} + m_3 \cdot g_{дг.ов} + g_{ш}) - (g_{г} + Q_{ЭКЗ}^{yd})], \quad (10)$$

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;

$g_{дг.ов}$ – 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 глинистой части ОУ в сырьевой смеси соответственно;

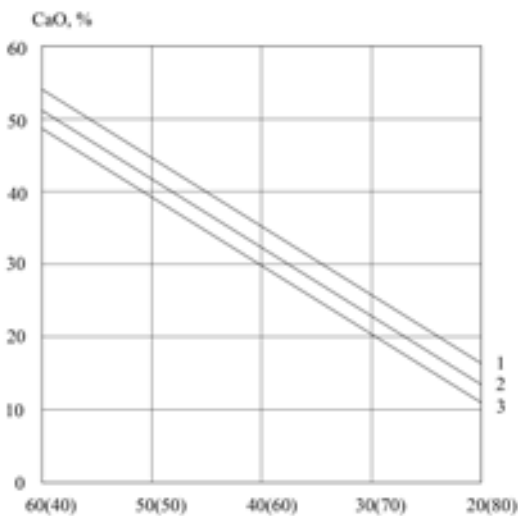
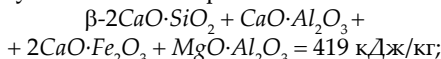
$g_{ш}$ – теплота, затрачиваемая на нагрев сырьевой шихты:

$$g_{ш} = m_{ш} \cdot c_{ш} \cdot T, \quad (11)$$

$m_{ш}$ – масса сырьевой шихты, кг;

$c_{ш}$ – средняя удельная теплоемкость сырьевой шихты при заданной температуре обжига T (°С), кДж/кг °С;

$Q_{ЭКЗ}^{yd}$ – удельная теплота, выделяемая при образовании искусственных минералов:



Содержание известняка (ОУ) в шихте, % по массе
Содержание угольных остатков в ОУ: 1-25%; 2-18%; 3-10% по массе

Рис. 1. Расчетное содержание $CaO_{св}$ в ИГЦ в зависимости от состава шихты ($P_1 = 43\%$)

$g_{г}$ – теплосодержание смеси газов, равное сумме теплосодержаний, составляющих смесь газообразных продуктов реакции декарбонизации:

$$g_{г} = (m_1 CO_2 \cdot c_{CO_2} + m_2 CO_2 \cdot c_{H_2O}) \cdot t, \quad (12)$$

где t – температура продуктов сгорания, °С;

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

c_{CO_2}, c_{H_2O} – массовая теплоемкость продуктов сгорания, кДж/кг °С.

Удельное содержание отходов в шихте при $K_3 \geq 1$ (условие обеспечения самообжига шихты):

$$m_o^{yd} = \frac{Q_{TP}^{yd}}{Q^o}, \text{ кг.} \quad (13)$$

Содержание отходов в 1 т шихты:

$$m_o^{yd.ш} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q^o}, \text{ кг.} \quad (14)$$

Содержание отходов в 1 т цемента:

$$m_o^{yd.ц} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q^o \cdot K_B}, \text{ кг,} \quad (15)$$

где K_B – коэффициент выхода вяжущего (0,7-0,8).

Требуемый расход натурального топлива на обжиг 1 т шихты (при $K_3 < 1$) составит:

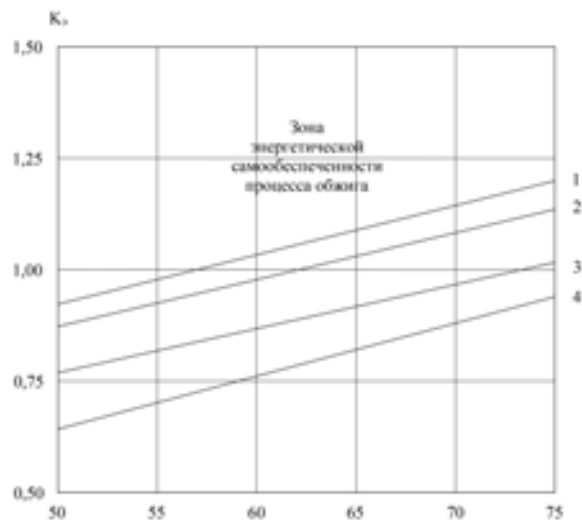
$$B_H^{ш} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q_H^T} \cdot (1 - K_3), \text{ кг,} \quad (16)$$

где Q_H^T – теплотворная способность используемого вида топлива, кДж/кг.

В пересчете на 1 т вяжущего расход натурального топлива составит:

$$B_H^B = \frac{1000 \cdot B_H^{ш}}{K_B}, \text{ кг.} \quad (17)$$

Графическая интерпретация зависимости коэффициента энергетической эффективности K_3 от содержания отходов ОУ в шихте представлена на рис. 2.



Содержание отходов в шихте, % масс.

1 – $P_2 = 28\%$; 2 – $P_2 = 26\%$; 3 – $P_2 = 23\%$; 4 – $P_2 = 19\%$

Рис. 2. Зависимость коэффициента энергетической эффективности K_3 от содержания ОУ в двухкомпонентной шихте

Как следует из графика (рис. 2), энергетический (тепловой) баланс процесса обжига сырьевых составов, характеризующихся $K_3 \geq 1$, обеспечивается за счет энергетического потенциала самой шихты и не требует использования технологического топлива при установившемся процессе.

Выводы. Разработанная методика расчета количественного состава двухкомпонентной сырьевой шихты известково-глинистого цемента низкотемпературного обжига на основе известняка и гравитационных отходов углеобогащения позволяет корректировать количество вводимых в шихту отходов как по активности получаемого гидравлического вяжущего, так и по условию обеспечения энергетической сбалансированности процесса обжига за счет энергетического потенциала ОУ, в зависимости от их теплотворной способности.

Ключевым параметром предлагаемой методики является коэффициент энергетической эффективности K_3 . Целью расчета является подбор сырьевого состава с $K_3 \geq 1$. При этом условии возможен самообжиг шихты при установившемся процессе с полным исключением технологического топлива из производственного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е., Ходыкин Е.И. Теоретическое обоснование и эффективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 20–21.
2. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 2–5.
3. Рязанов А. Н., Винниченко В. И., Плагин А. А. Теоретическое обоснование комплексного использования доломита и угольных отходов для получения строительных материалов // Сб. науч. трудов. Вып. 138. Харьков: УкрГАЗТ, 2013. С. 77–85.

Об авторах:

РЯЗАНОВ Антон Александрович

аспирант кафедры строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический университет
450062, Россия, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
тел. (987) 107-99-38
E-mail: stow-team@live.ru

ЛАТЫПОВ Валерий Марказович

доктор технических наук, профессор кафедры
строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический университет
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1,
тел. (917) 456-03-54
E-mail: stexpert@mail.ru

4. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З., Сагдиев Р.Р., Стоянов О.В. Низкообжиговые гидравлические вяжущие. Проблемы и решения // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 2 (17). С. 59–64.

5. Винниченко В.И., Рязанов А.Н. Получение цемента из отходов доломита // Экология и промышленность России. 2013. № 2. С. 111.

6. Винниченко В.И., Рязанов А.Н. Ресурсо- и энергосберегающие вяжущие из отходов доломита // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник докладов международной научно-технической конференции. / Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. 2015. С. 29–39.

7. Барбане И., Витыня И., Линдыня Л. Исследование химического и минералогического состава романце-мента, синтезированного из латвийской глины и доломита // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 40–43.

8. Tislova R., Kozlowska A., Kozlowski R., Hughes D., Porosity and specific surface area of Roman cement pastes // Cement.Concrit. Res. 2009. № 39 (2). Pp. 950–956.

9. Hages D.C., Jaglin D., Kozlowski R., Mucha D. Roman cements – Belite cements calcined at low temperature // Cement.Concrit. Res. 2009. № 39 (2). Pp. 77–89.

10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 541 с.

RIAZANOV Anton A.

Postgraduate Student of the Building Structures Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa,
Cosmonavtov str., 1,
tel. (987) 107-99-38
E-mail: stow-team@live.ru

LATYPOV Valery M.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Building Structures Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Cosmonavtov str., 1,
tel. (917) 456-03-54
E-mail: stexpert@mail.ru

РЯЗАНОВ Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический
университет
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1,
тел. (987) 091-02-01
E-mail: aryazanov@hotmail.com

РЯЗАНОВА Виктория Альбертовна

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных
конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический
университет
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1,
тел. (987) 091-02-03
E-mail: vryazanova@hotmail.com

RIAZANOV Aleksander N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head
of the Building Structures Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa,
Cosmonavtov str., 1,
tel. (987) 091-02-01
E-mail: aryazanov@hotmail.com

RIAZANOVA Victoriia A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Building Structures Chair
Ufa State Petroleum Technological University
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Cosmonavtov
str., 1,
tel. (987) 091-02-03
E-mail: vryazanova@hotmail.com

Для цитирования: *Рязанов А.А., Латыпов В.М., Рязанов А.Н., Рязанова В.А.* Оптимизация состава сырьевой шихты низкотемпературного цемента на основе топливосодержащих отходов углеобогащения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №3. С. 68-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.15.

For citation: *Ryazanov A.A., Latypov V.M., Ryazanov A.N., Ryazanova V.A.* Optimization of the Composition of the Raw Material Mixture of Low-temperature Cement on the Basis of Fuel-containing Coal Preparation Waste // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 68-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.14.