

# ПОЛУЧЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 666.940

Комплексное использование  
минерального сырья. № 2. 2016.

*Б. Т. ТАЙМАСОВ\**, *Н. Н. ЖАНИКУЛОВ*, *А. Р. КАЛТАЙ*,  
*Н. НУРМАГАМБЕТ*, *А. КОСЫМБЕКОВА*

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент,*  
*\*taimasovukgu@mail.ru*

## МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

С целью разработки энергосберегающих составов сырьевых шихт и технологий производства портландцементов, уменьшения загрязнения окружающей среды исследованы традиционное природное сырье, нетрадиционные материалы и многотоннажные отходы промышленности. Объектами исследования служили электротермофосфорные, доменные и золошлаки от сжигания углей; в качестве железистой корректирующей добавки – свинцовые и медеплавильные шлаки, заменителей карбонатного и алюмосиликатного компонента – магматические породы (базальт и тефритобазальт) и традиционные сырьевые материалы месторождений Каракус, Састобе, Казыкерт, Отырар, Текесу, Каракудук (известняк, лесс, песок). Изучены химико-минералогический, минералого-петрографический составы, структура и свойства исходных материалов и шихт. Рассчитаны и подобраны малоэнергоемкие сырьевые шихты, проведен обжиг клинкеров. Анализ показал, что исследованные материалы пригодны для получения цементных клинкеров различного назначения, содержание вредных и нежелательных примесей находится в пределах нормы. Шлаки цветной металлургии позволяют заменить дефицитные пиритные огарки. Вулканические породы способствуют появлению легкоплавких эвтектик при 1280 °С, позволяют снизить температуру и ускорить процессы клинкерообразования. Снижаются потери при прокаливании на 2-3 %, удельный расход сырья на 1 т клинкера – на 44-59 кг, что позволит дополнительно снизить расход топлива на обжиг клинкера за счет уменьшения массы материала, температуру которого необходимо довести до 1350-1400 °С. В нетрадиционных малоэнергоемких сырьевых смесях с повышением силикатного модуля от 2,0 до 3,0 (независимо от коэффициента насыщения) снижается доля тефритобазальта, и повышается доля фосфорного шлака и песка. Величина глиноземного модуля возрастает с 1,96 до 2,23, содержание трехкальциевого алюмината, четырехкальциевого алюмоферрита и суммарное содержание минералов-плавней  $C_3A$  и  $C_4AF$  снижается.

**Ключевые слова:** сырье, отходы, нетрадиционные материалы, клинкер, модульные характеристики.

**Введение.** Оптимальными для цементной промышленности являются сырьевые материалы и отходы, используемые в качестве сырья, обладающие следующими свойствами:

– постоянством химического состава при таком содержании главных клинкерообразующих оксидов, которое бы позволяло готовить сырьевые смеси из минимального числа компонентов;

– высокой размалываемостью, реакционной способностью и обжигаемостью.

При этом:

- температурные области реакций диссоциации основных компонентов сырьевых компонентов должны быть максимально приближены с целью снижения влияния рекристаллизационных процессов на ход клинкерообразования;

– физические свойства сырья (природная влажность, структура и содержание кристаллических включений другого химического состава) должны обеспечивать получение качественного клинкера при минимальных энергозатратах.

Актуальность вопроса заключается в том, что на карьерах многих цементных заводов выработаны запасы качественного сырья. Нижние горизонты часто обводнены, увеличилось содержание вредных и нежелательных примесей, приводящих к увеличению расхода топлива и снижению качества клинкера. Это требует изыскания новых нетрадиционных видов сырьевых материалов и отходов промышленности для производства клинкера. Истощение запасов качественного природного сырья требует максимального использования промышленных отходов в производстве

портландцемента и других строительных материалов. Пиритные огарки – железистая корректирующая добавка – стали дефицитными для многих цементных заводов. Для их замены требуется альтернативный материал [1-4].

Удельный расход топлива на обжиг клинкера при мокром способе составляет 200-220 кг/т, при сухом способе – 100-120 кг/т. Это приводит к необходимости изыскания путей снижения энергоемкости цементного производства, замены природных сырьевых компонентов на отходы промышленности [5-7].

Целью исследования является частичная или полная замена природного сырья нетрадиционными материалами и отходами промышленности, позволяющими снизить энергозатраты при производстве цемента.

В ТОО «Стандарт Цемент» используются известняк месторождения Каракус, лесс месторождения Отырар, песок месторождения Каракудук, в АО «Шымкентцемент» используются известняки Казыкуртского, лесс – Текесуйского месторождений, в ТОО «Састобе Технолоджис» используются известняк и лесс Састобинского месторождения. Корректирующими добавками являются железная руда месторождения Абаил или огарки.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** В экспериментах в качестве алюмосиликатного компонента и корректирующей добавки использовали тефритобазальты и базальты, электротермофосфорный и доменный гранулированные шлаки, а также отходы угледобычи ленгерских шахт. В качестве железистой корректирующей добавки предлагается использование свинцовых и медеплавильных шлаков, для частичной замены карбонатного и алюмосиликатного компонента – магматические породы базальт и тефритобазальт.

Химический анализ усредненных проб отходов и материалов выполнен по ГОСТ 5382-91 [8,9]. Рентгенографический анализ выполнен на стационарном рентгенографическом аппарате ДРОН – 3, который работает при следующих факторах: температура окружающей среды 10-35 °С; относительная влажность до 80 % при 25 °С; атмосферное давление 630-800 мм рт. ст. [10].

Химический состав сырьевых материалов ТОО «Стандартцемент», АО «Шымкентцемент», ТОО «Састобе Технолоджис», отходов промышленности и магматических пород приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырья цементных заводов юга Казахстана, магматических пород и отходов промышленности

Материал	Химический состав, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	C1	ппп
Сырьевые материалы ТОО «Стандартцемент»								
известняк каракуский	3,53	0,96	1,17	52,94	1,07	0,04	0,031	40,30
лесс отырарский	40,02	8,53	2,81	21,62	3,62	0,16	0,011	19,12
песок каракудукский	75,72	6,70	1,66	1,79	4,89	0,08	0,046	5,5
огарки	14,91	3,01	61,21	1,79	1,27	0,16	-	-
Сырьевые материалы ТОО «Састобе Технолоджис»								
известняк састобинский (верхний горизонт)	9,48	0,08	следы	50,71	0,12	0,17	-	34,7
лесс састобинский	52,07	13,47	4,65	9,35	3,89	0,26	-	12,07
алюмосодержащая добавка (Састобе)	52,01	14,27	5,10	10,96	3,26	0,26	-	11,5
огарки	13,96	3,87	56,05	1,25	-	3,08	-	18,3
Сырьевые материалы АО «Шымкентцемент»								
известняк казыкуртский	2,15	0,47	0,67	53,51	0,54	0,32	-	41,18
лесс текесуйский	53,8	6,78	3,58	13,08	2,46	0,24	-	14,36
Нетрадиционное сырье и отходы промышленности								
доменный шлак	39,6	13,48	1,54	41,55	5,11	-	-	-
электротермофосфорный шлак	42,68	0,74	0,17	41,18	4,55	0,4	-	-
тефритобазальт даубабинский	45,54	10,7	8,53	10,66	6,95	0,2	-	7,92
базальт суукбулакский	42,19	16,7	9,96	9,98	9,16	0,09	-	7,0
свинцовый шлак	25,94	6,44	37,25	14,71	6,15	0,04	-	0,1
медеплавильный шлак	32,38	6,57	45,48	6,99	1,71	2,99	0,94	-
отходы угледобычи ленгерских шахт	55,50	10,60	2,01	3,21	0,70	0,79	-	24,08

Как видно из данных таблицы 1, известняки Казыкуртского, Састобинского и Каракусского месторождений состоят в основном из  $\text{CaCO}_3$ . Содержание оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{SO}_3$  низкое. Известняки достаточно чистые, высокоосновные, содержание  $\text{CaO}$  составляет более 50–53 %.

Лессы Текесуйского, Састобинского и Отырарского месторождений состоят в основном из оксидов кремния, алюминия, магния и кальция. В лессах присутствует значительное количество  $\text{MgO}$  (3,6-3,9 %), щелочей (2,38-2,4 %) и незначительное количество серы. Лессы традиционно содержат значительное количество известняка, содержание  $\text{CaO}$  составляет 9,5-21,5 %, п.п.п. – 12-19 %.

Рентгенофазовым анализом в лессе выявлены: кальцит  $d = 3,03; 2,54; 2,43; 2,28; 2,0879; 1,91; 1,8655; 1,599; 1,52 \text{ \AA}$ ; кварц  $\beta$  -  $\text{SiO}_2$   $d = 4,24; 3,34; 2,28; 2,13; 1,984; 1,81; 1,665; 1,64 \text{ \AA}$ ; гидрослюда (иллит)  $d = 9,98; 4,47; 2,54 \text{ \AA}$ ; полевой шпат (анортит)  $d = 4,24; 3,16; 2,54; 2,13; 1,81; 1,791 \text{ \AA}$ . Незначительные количества каолинита и доломита обнаруживаются по малоинтенсивным пикам  $d = 7,14; 3,57; 1,4865$  (каолинит) и  $d = 4,1; 2,883; 2,191; 1,791 \text{ \AA}$  (доломит). Песок месторождения Каракудук состоит в основном из кремнезема (75,7 %), оксидов алюминия и магния.

Алюмосодержащая добавка месторождения Састобе – это вскрышная порода, которая периодически, по мере накопления на карьере, используется на заводе в качестве алюмосодержащего компонента сырьевой смеси для получения клинкера. Фактически это отход промышленности, отвальная порода. На рентгенограмме пробы алюмосодержащей добавки отмечены дифракционные максимумы следующих минералов: кварц  $d = 4,26; 3,302; 2,265; 2,458; 2,28; 1,817; 1,670; 1,514 \text{ \AA}$ ; кальцит  $d = 3,018; 2,085; 1,918; 1,870; 1,597 \text{ \AA}$ ; мусковит  $d = 3,337; 2,583; 2,48; 2,123; 1,987; 1,647; 1,498 \text{ \AA}$ ; каолинит  $d = 3,570; 2,242; 2,338 \text{ \AA}$ ; хлорит  $d = 4,874; 3,834; 2,867; 1,533 \text{ \AA}$ ; полевой шпат (анортит)  $d = 3,209; 2,514; 2,135 \text{ \AA}$ .

Тефритобазальт даубабинского и базальт суукбулакского месторождений являются магматическими породами, содержат около 45 % кремнезема, около 10 % оксидов кальция, алюминия и железа. Тефритобазальт – основная эффузивная горная порода нормального ряда, самая распространенная из кайнотипных пород, переходная от тефритов (эффузивные аналоги щелочного габбро) к базальтам (эффузивные аналоги габбро). Это широко распространенная эффузивная гор-

ная порода, на ее долю приходится более 20 % магматических пород, которые по содержанию кремнезема и других оксидов относятся к основным породам. Это позволяет использовать тефритобазальт и базальт в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси и вместо железосодержащей корректирующей добавки. Эти породы способствуют снижению температуры процессов клинкерообразования. Плотность тефритобазальтов  $2,0 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии 47,6-195,8 МПа.

Среди казахстанских месторождений тефритобазальтов наибольший практический интерес представляет месторождение Даубабинское, расположенное в Тюлькубасском районе, в 11 км к юго-востоку от железнодорожной станции Састобе, в 5 км восточнее п. Келтемашат. Залежь тефритобазальтов имеет наклонное северо-восточное направление. Длина 2200 м, ширина 1200 м, мощность от 13 до 70 м. По химическому составу тефритобазальты относятся к основным магматическим породам. Структура породы порфировая. Порфировые вкрапленники представлены моноклинным пироксеном, плагиоклазом, оливином, биотитом и магнетитом. Мелкозернистая стекловатая масса сложена из бурого разложившегося стекла и щелочного минерала - анальцима ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Пустоты и поры в тефритобазальте в результате вторичных гипергенных процессов заполнены цеолитом и кальцитом. Усредненный минеральный состав тефритобазальтов, %: пироксен – 45-55; слюдисто-глинистые минералы – 25-40; плагиоклаз, вулканическое стекло, оливин, роговая обманка, цеолит, рудные минералы (магнетит, апатит, гематит, гетит) – 2-3; кальцит – 2-3.

По химико-минералогическому составу в качестве техногенного сырья для получения клинкера наиболее приемлемы гранулированные электротермофосфорные шлаки Ново-Джамбулского фосфорного завода (НДФЗ г. Тараз), доменные шлаки АО «АрселорМиттал Темиртау», золошлаки от сжигания экибастузских углей, имеющие достаточно стабильный состав и свойства.

Гранулированные электротермофосфорные и доменные шлаки содержат 40-45 %  $\text{CaO}$ , 38-41 %  $\text{SiO}_2$ , незначительные количества оксидов алюминия, магния и железа. Электротермофосфорные шлаки содержат около 1,5 % фтора и 1,4-2,0 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Отходы содержат некарбонатный оксид кальция, что позволяет снизить расход топлива на процесс обжига цементного клинкера, повысить производительность вращающихся печей.

Золосшлаковые отходы от сжигания экибастузских углей содержат, %: 50-54 –  $\text{SiO}_2$ ; 25-27 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 13-15 –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и позволяют полностью заменить алюмосиликатный компонент сырьевой шихты и частично или полностью – корректирующую добавку.

Эти отходы являются эффективными сырьевыми материалами, поскольку они уже прошли тепловую обработку, содержат некарбонатную известь, позволяют снизить затраты тепла при обжиге клинкера. Шлаки находятся частично в стеклообразном состоянии, что повышает их реакционную способность.

Часть минералов шлаков – минералы клинкера ( $\text{C}_2\text{S}$  и др.). При использовании шлаков усвоение извести происходит несколько медленнее, чем в шихтах на основе глинистых компонентов. Однако другие преимущества (снижение доли тепла, расходуемого на декарбонизацию, наличие в шлаке минералов  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{CA}$ ,  $\text{CS}$ ) компенсируют эту особенность. Вследствие этого при использовании шлаков в качестве сырья, печи работают с большей производительностью, снижается расход тепла. Значительное количество шлаков используется в качестве активной минеральной добавки при помолу цементов.

На Ново-Джамбулском фосфорном заводе производится полусухая грануляция электротермофосфорных шлаков. Доменные шлаки, получаемые в АО «Арселор Миттал Темиртау», также являются продуктом полусухой грануляции. Влажность шлаков при этом не превышает 12 %.

Шлаки электротермофосфорные (ЭТФШ) являются побочным продуктом при производстве желтого фосфора методом возгонки в электропечах и быстрого охлаждения. Они содержат до 90-95 % стекла. На 1 т желтого фосфора образуется 12-13 т шлаков. Гранулированные ЭТФШ состоят в основном из стекла и волластонита  $\text{CS}$ , отвальные шлаки – из псевдоволластонита, ранкинита, флюорита, силикофосфата. Требования ГОСТ 3476-74 к составу фосфорных шлаков следующие, %:  $\text{SiO}_2$  – не менее 40;  $\text{CaO}$  – не менее 43;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – не более 2,5 [11].

Отходы электротермофосфорных гранулированных шлаков размещены в отвалах и хранилищах рядом с Ново-Джамбулским фосфорным заводом, закристаллизованные электротермофосфорные шлаки находятся в отвалах рядом с Таразским металлургическим заводом (бывший ДПО «Химпром»). Доменные и фосфорные шлаки по физическому состоянию представляют собой сыпучий гранулированный материал с влаж-

ностью до 4-8 %, что позволяет осуществлять их погрузку и транспортировку на цементные заводы без всяких затруднений.

Вредными и нежелательными примесями в отходах являются  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в фосфорном шлаке составляет от 1,4 до 2,0 %, что соответствует требованиям ГОСТ, согласно которым  $\text{P}_2\text{O}_5$  должно быть не более 2,5 %. Повышенные количества фосфора препятствуют нормальному протеканию процесса клинкерообразования, тормозят кристаллизацию алита, приводят к нарушению процессов гидратации и твердения цементов, шелушению поверхности гидратированных образцов, снижают их прочность [12].

Содержание в клинкере  $\text{MgO}$  ограничивается 5 %. В процессе обжига часть оксида магния входит в структуру клинкерных минералов, частично замещает  $\text{CaO}$  в кристаллических решетках трехкальциевого, двухкальциевого силикатов и других минералов. Избыток  $\text{MgO}$  образует нежелательный периклаз, способный медленно гидратироваться с образованием  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Это может привести к появлению внутренних напряжений в затвердевшем бетоне.

Вредными и нежелательными примесями в отходах являются также щелочи и  $\text{SO}_3$ , которые в повышенных количествах оказывают отрицательное влияние на процесс обжига клинкера, способствуют образованию колец в печи, настывлей в циклонных теплообменниках и газоходах печей, что нарушает аэродинамический и тепловой режимы работы печных агрегатов сухого способа производства [13]. По данным химического анализа содержание вредных и нежелательных примесей в сырьевых материалах и отходах находится в допустимых пределах.

Фазовый состав доменного шлака в основном представлен следующими минералами: ортосиликат кальция –  $\text{C}_2\text{S}$ , ранкинит –  $\text{C}_3\text{S}_2$ , волластонит –  $\text{CS}$ , ольдгамит –  $\text{CaS}$ , геленит –  $\text{C}_2\text{AS}$ , тридимит.

Свинцовый шлак состоит в основном из частиц фракции 1-2 мм – 50,0 %, а также фракций 0,315-1 мм – 18,75 % и 2-3 мм – 17,75 %. Содержание мелких частиц размером менее 0,2 мм незначительное – 0,5 %. Шлаки свинцового производства относятся к тройной системе  $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$  и состоят в основном из фаялита и мелилита (в сумме до 74 %), сульфидов железа, свинца, меди (до 2 %), вюститы (9-13 %), цинковой шпинели (5-7 %) и стекла (до 10 %). Оксид цинка может оказывать минерализующее действие на процесс обжига клинкера.

Таблица 2 - Химико-минералогический состав клинкеров на основе энергосберегающих трехкомпонентных сырьевых смесей

Смеси	Состав сырьевой смеси, мас. %			Удельный расход сырья, т/т клинкера			КН	Модули		Минералогический состав клинкера, %				Пригодность для получения клинкера	
	известняк (Састобе)	фосфорный шлак	тефритобазальт	известняк	фосфорный шлак	тефритобазальт		п	р	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Сульфатостойкого ШПЦ	нормированного состава (дорожный)
1	74,20	3,35	22,45	1,089	0,049	0,330	0,85	2,0	1,95	43,51	27,00	8,39	7,30	Нет	Нет
2	70,21	11,89	17,9	1,018	0,172	0,260	0,85	2,5	2,08	45,59	28,28	7,49	5,93	Да	Да
3	67,27	18,18	14,55	0,967	0,261	0,209	0,85	3,0	2,23	47,09	29,21	6,82	4,93	Да	Да
4	75,03	3,09	21,87	1,106	0,046	0,322	0,88	2,0	1,96	49,77	21,24	8,22	7,14	Нет	Нет
5	73,34	6,76	19,9	1,075	0,099	0,292	0,88	2,2	2,01	50,80	21,68	7,83	6,55	Да	Да
6	71,19	11,43	17,39	1,037	0,166	0,253	0,88	2,5	2,09	52,10	22,24	7,33	5,79	Да	Да
7	68,36	17,55	14,09	0,987	0,253	0,203	0,88	3,0	2,23	53,78	22,95	6,68	4,81	Да	Да
8	75,57	2,92	21,5	1,116	0,043	0,317	0,90	2,0	1,96	53,82	17,52	8,12	7,04	Нет	Нет
9	73,92	6,54	19,54	1,086	0,096	0,287	0,90	2,2	2,01	54,93	17,88	7,73	6,45	Да	Да
10	71,81	11,13	17,06	1,048	0,162	0,249	0,90	2,5	2,09	56,31	18,33	7,23	5,70	Да	Да
11	69,05	17,15	13,8	1,000	0,248	0,200	0,90	3,0	2,23	58,11	18,91	6,58	4,73	Да	Да
12	76,10	2,767	21,14	1,126	0,041	0,313	0,92	2,0	1,96	57,78	13,87	8,01	6,94	Да	Да
13	72,42	10,84	16,74	1,060	0,159	0,245	0,92	2,5	2,09	60,42	14,51	7,14	5,62	Да	Да
14	69,72	16,76	13,51	1,012	0,243	0,196	0,92	3,0	2,24	62,33	14,96	6,49	4,65	Да	Да
15	76,86	2,53	20,61	1,141	0,038	0,306	0,95	2,0	1,97	63,56	8,56	7,86	6,79	Да	Да
16	73,3	10,43	16,27	1,077	0,153	0,239	0,95	2,5	2,1	66,41	8,95	7,00	5,49	Да	Да

По данным рентгенофазового анализа свинцовый шлак Шымкентского завода содержит следующие минералы: фаялит (ортосиликат Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), конечный член ряда оливина; мелилит – минерал смешанного состава от геленита C<sub>2</sub>AS до окерманита C<sub>2</sub>MS<sub>2</sub>; шпинель цинка и железа; вюстит FeO (закись железа). Фаялит (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) – d = 3,70; 3,08; 2,7698; 2,44; 2,29; 2,044; 1755 Å; окерманит (C<sub>2</sub>MS<sub>2</sub>) – d = 3,08; 2,88; 2,48; 2,044; 1755 Å; геленит (C<sub>2</sub>AS) – d = 2,44; 2,2906; 1755 Å; вюстит FeO – d = 2,48; 2,14; 1,506 Å; шпинель Zn и Fe – d = 2,97; 2,53; 2,14; 1,7159; 1,6191; 1484 Å.

Расчеты сырьевых смесей для получения портландцементного клинкера производили по формулам С.Д. Огорокова [9]. При выполнении расчетов использовали программу для расчетов сырьевых смесей на компьютере РСС2 и РСС3 [1]. Химический состав исходных сырьевых материалов и добавок приводили к 100 %, и после этого производили расчеты. Программа позволяет определить процентный состав смеси, теоретический удельный расход сырья, химический состав и модули сырьевой смеси, теоретический расчетный минералогический состав клинкера.

Результаты расчетов сырьевых смесей и их пригодность для получения дорожных и сульфатостойких клинкеров приведены в таблице 2.

Энерго- и ресурсосберегающие смеси содержат 11-18 % фосфорного шлака и 14-21 % тефритобазальта. ЭТФШ содержат до 1-2 % фтора, который оказывает минерализующее действие на процесс спекания клинкера, понижает темпе-

ратуру процессов обжига клинкера на 50-120 °С, уменьшает удельный расход топлива. Более раннему завершению процессов обжига способствует также тефритобазальт, который образует легкоплавкие эвтектики в сырьевых смесях. Совместно с фтором он приводит к улучшению свойств клинкерной жидкой фазы и ускорению клинкерообразования.

Потери при прокаливании смесей составляют 30,7-32 %, что на 2-3 % ниже, чем в традиционных сырьевых смесях, состоящих из известняково-лессовых смесей. Это обусловлено заменой части карбоната кальция природного известняка некарбонатной известью фосфорного шлака. Теоретический удельный расход сырья на 1 т клинкера снижается с 1,481-1,510 (традиционные известняково-лессовые смеси) до 1,437-1,451 т/т (смеси № 3, 14 и др.) или на 44-59 кг/т клинкера, что позволит дополнительно снизить расход топлива на обжиг клинкера за счет уменьшения массы обжигаемого материала. Разработанные составы энерго- и ресурсосберегающих сырьевых смесей позволяют получить клинкеры общестроительных и специальных дорожных портландцементов и сульфатостойких шлакопортландцементов. Содержание наименее сульфатостойкого минерала – трехкальциевого алюмината – не превышает 8 %.

**Выводы.** Изучен химико-минералогический состав нетрадиционного сырья и многотоннажных отходов промышленности. Показано, что шлаки цветной металлургии позволяют заменить дефицитные пиритные огарки, а вулканические породы –

получить легкоплавкие эвтектики при 1280 °С, снизить температуру и ускорить процессы клинкерообразования.

Разработаны составы оптимальных энергосберегающих двух- и трехкомпонентных сырьевых смесей для получения клинкеров. При этом наблюдается снижение потерь при прокаливании на 2-3 %, снижение удельного расхода сырья на 1 т клинкера на 44-59 кг и, как следствие, снижение расхода топлива на обжиг клинкера за счет уменьшения массы материала, температуру которого необходимо довести до 1350-1400 °С.

В нетрадиционных малоэнергоемких сырьевых смесях с повышением силикатного модуля от 2,0 до 3,0, независимо от коэффициента насыщения, снижается доля тефритобазальта и повышается доля фосфорного шлака и песка. Величина глиноземного модуля возрастает с 1,96 до 2,23.

Проведенные исследования показали возможность энергосберегающего получения цементных клинкеров различного состава, что позволяет значительно расширить минерально-сырьевую базу для малоэнергоемкого процесса получения клинкеров с использованием традиционного природного сырья, нетрадиционных материалов и многотоннажных отходов промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Таймасов Б.Т. Химическая технология вяжущих материалов. Т. 1. Учебник. – Алматы: Эверо, 2015. – 332 с.
- 2 Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента: монография. – Белгород: БГТУ, 2008. – 126 с.
- 3 Таймасов Б.Т., Альжанова А.Ж., Есжанов С.Б. Перспективная сырьевая база цементных заводов Казахстана // Наука и образование Южного Казахстана. – 2011. – № 1(87). – С.100-105.
- 4 Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. 2-е издание. Учебник. – Киев: Вища школа, 1985. – 440 с.
- 5 Худякова Т.М., Вернер В.Ф. Пути ресурсосбережения в производстве цемента // XXIV Всерос. (VIII Междунар.) совещ. начальников лаб. цементных заводов: Сб. трудов. – Москва, Россия, 2013. – С. 34-38.
- 6 Сабиржанов А.А., Пулатов З.П., Суюнов Т.Х. Диабаз-порфириды Узбекистана – ценное сырье для производства малоэнергоемкого клинкера // Республ. науч. практ. конф: Сб. матер. – Ташкент, Узбекистан, 2012. – С. 261-264.
- 7 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Альжанова А.Ж. Синтез клинкеров из нестандартного сырья // Цемент и его применение. – 2014. – № 1. – С. 138-141.
- 8 ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. Введ. 1991-01-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1996. – 22 с.
- 9 Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1973. – 504 с.
- 10 Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Физико-химические методы исследования вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

11 ГОСТ 3476-74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента. Технические условия. Введ. 1975-01-01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.

12 Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.

13 Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций. Учеб. пособие. – Белгород: БГТУ, 2012. – 308 с.

#### REFERENCES

- 1 Taimasov B.T. *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov. T. 1. Uchebnik* (Chemical technology of binding materials. Part. 1. Tutorial). Almaty: Evero, 2015. 332 (in Russ.).
- 2 Klassen V.K., Borisov I.N., Manuilov B.E. *Tehnogennye materialy v proizvodstva tsementa* (Secondary materials in production of cement). Belgorod: BGTU, 2008. 126 (in Russ.).
- 3 Taymasov B.T., Al'zhanova A.Zh., Eszhanov S.B. *Perspektivnaya syr'evaya baza tsementnykh zavodov Kazakhstana* (Perspective source of raw materials for Kazakhstan cement factories). *Nayka i obrazovnie Yuzhnogo Kazakhstana = Science and education of south of Kazakhstan*. 2011. 1, 100-105 (in Russ.).
- 4 Pashchenko A.A., Serbin V.P., Starchevskaya E.A. *Vyazhushchie materialy. Uchebnik* (Binding materials. Tutorial). Kiev: High school, 1985. 440 (in Russ.).
- 5 Khudyakova T.M., Verner V.F. *Puti resursosberezheniya v proizvodstve tsementa* (Ways of resource-saving in cement production). XXIV Vserossiskij, VIII Mezhdunarodnaya soveshchaniya nachal'nikov laboratorii tsementnykh zavodov: Sb. mrudov (All-Russian VIII International meetings of chiefs of laboratory of cement plants: proceedings). Moscow, Russia, 2013. 34-38 (in Russ.).
- 6 Sabirzhanov A.A., Pulatov Z.P., Suyunov T.Kh. *Diabaz - porfirity Uzbekistana – tsennoe syr'e dlya proizvodstva maloenergoemkogo klinkera* (Diabase - porfirit of Uzbekistan – valuable raw materials for production of low-power-intensive clinker). *Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: Sb. Mater.* (Republican scientific-practical conference: proceedings). Tashkent, Uzbekistan, 2012. 261-264 (in Russ.).
- 7 Taimasov B.T., Khudyakova T.M., Al'zhanova A.Zh. *SynteZ klinkerov iz nestandartnogo syr'ya* (Synthesis of clinkers from non-standard raw materials). *Tsement i ego primenenie = Cement and its application*. 2014. 1, 138-141 (in Russ.).
- 8 GOST 5382-91. *Tsementy i materialy tsementnogo proizvodstva. Metody khimicheskogo analiza* (Cements and materials of cement production. Methods of the chemical analysis). Moscow: Russia standards. 1996. 22 (in Russ.).
- 9 Butt Y.M., Timashev V.V. *Praktikum po khimicheskoy tekhnologii vyazhushchikh materialov* (Practical course on chemical technology of binding materials). Moscow: High school, 1973. 504 (in Russ.).
- 10 Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelev V.G. *Fiziko-khimicheskie metody issledovaniya vyazhushchikh veshchestv* (Physico-chemical methods of research of the binding material). Moscow: High school. 1981. 335 (in Russ.).
- 11 GOST 3476-74. *Shlaki domennye i ehlektrotermofosfornye granulirovannye dlya proizvodstva tsementa. Tekhnicheskie usloviya*. (Slags domain and electrothermophosphoric granulated for production of cements. Technical conditions). Moscow: USSR standards. 1974. 8 (in Russ.).

12 Gorshkov V.S., Aleksandrov S.E., Ivanshenko S.I. Gorshkov I.V. *Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve* (Complex processing and use of metallurgical slags in construction). Moscow: Stroizdat, **1985**. 272 (in Russ.).

13 Klassen V.K. *Tehnologiya i optimizatsiya proizvodstva tsementa: cratkij kurs lektsij. Uchebnoe posobie* (Technology and optimization of production of cement. Tutorial). Belgorod: BG TU, **2012**. 308 (in Russ.).

### ТҮЙІНДЕМЕ

Зерттелінген дәстүрлі шикізат материалдарынан, дәстүрлі емес шикізат материалдарынан және көптонажды өндіріс қалдықтарынан энергия үнемдейтін, энергия аз тұтынатын шикізат қоспасының құрамын, өндірістің жалпы құрылыстық және арнайы сульфатқа төзімді, тампонажды және жолға арналған портландцементтерді, отын-энергетикалық шығындарды азайту және қоршаған ортаның ластануы мақсатында әзірлеу. Зерттеу объектілері – элетротермофосфорлы және доменді шлактар, көмір жағудан қалған күлді шлактар, темірді реттеуші қоспа ретінде қорғасын және мыс балқыту шлактары зерттелінді, ішінара алюмосиликатты және карбонатты компонентті алмастыруға - магматикалық жыныстар – базальт және тефритобазальт, сонымен қатар сондай-ақ дәстүрлі шикізат материалдары: әк, саз, құм (Каракус, Састөбе, Қазығұрт, Отырар, Текесу, Қарақұдық кен орындарының). Дәстүрлі және дәстүрлі емес түрдегі шикізаттардың, өндіріс қалдықтарының химия-минералогиялық, минералды-петрографиялық құрамдары оқып зерттелінді. Талдау көрсеткендей, зерттелінген материалдар мен қалдықтар цемент клинкерін түрлі мақсатта алу үшін жарамды, зиянды және жағымсыз қоспаларды шегі орналасқан нормадан аспайды. Түсті металлургия шлактары пиритті оғарканың орнын алмастыруға мүмкіндік береді. 1280 °С температурада вулканды жыныстар оңайбалқитын эвтетика пайда болуына мүмкіндік береді, бұл клинкер түзілу процессін жылдамдатып және температураны төмендетуге мүмкіндік береді. Жалпықұрылыстық және арнайы цемент клинкерлерін алу үшін оңтайлы энергия үнемдейтін екі және үш компонентті шикізат қоспаларының құрамы әзірленді. Күйдіру кезіндегі жоғалту 2-3 %-ға, 1 т клинкер алуға қажетті меншікті шикізат шығыны 44-59 кг төмендейді, бұл шикізат материалының салмағының азыюна байланысты клинкер күйдіруге отын шығынының қосымша төмендеуіне мүмкіндік береді, қажетті 1350-1400 °С-қа температураға дейін қыздырғаны үшін. Белгіленген заңдылықтар шикізат материалдары мен түрлері модуль көрсеткіштерінің әсер етуін, шикізат қоспасының химия-минералогиялық және заттық құрамын, өнеркәсіп қалдықтары қамтиды. Дәстүрлі емес аз энергияны тұтынатын шикізат қоспадағы силикатты модульдің 2,0-3,0 артырумен, қанығу коэффициентіне қарамастан тефритобазальттың үлесі азаяды және фосфорлы шлак және құмның үлесі артады, глиноземді модульдің шамасы 1,96-2,23 артыпұшкальцийлі алюминат және төрткальцийлі алюмоферрит мөлшері төмендейді, сонымен қатар, C<sub>3</sub>A және C<sub>4</sub>AF минерал-балқыманың жиынтық саны төмендейді.

**Түйінді сөздер:** шикізаттар, қалдықтар, бейтрадициялы материалдар, клинкер, модульді мінездеме.

### SUMMARY

Traditional natural raw materials, nonconventional materials and large-tonnage waste of the industry are investigated for development of energy saving compositions of raw charge mixture and technologies for production of Portland cements, and for decrease of environmental pollution. Objects of research are electro thermo phosphoric and blast furnace slags, ash slag from combustion of coals; as the ferriferous correcting additive – lead and copper-smelting slags. For the purpose of partial replacement of a carbonate and aluminosilicate component – magmatic rocks – basalt and teffritobazalt, and also traditional raw materials – limestone, loess, sand (from deposits Karakus, Sastobe, Kazykurt, Otyrar, Tekesu, Karakuduk) are studied. Chemical and mineralogical, mineralogo-petrographic composition, structure and properties of initial materials and charge mixture were studied. Composition of energy saving raw charge mixture was calculated and selected, roasting of clinkers was led. The analysis has shown that the studied materials and wastes are suitable for obtaining cement clinkers of different function, the content of harmful and undesirable impurity is in norm limits. Slag of nonferrous metallurgy allows replace scarce pyritic cinders. Volcanic rocks promote emergence of fusible eutectics at 1280 °C, allow to reduce temperature and to accelerate processes of a clinker formation. The losses at roasting decrease by 2-3 %, the specific consumption of raw materials on 1 t of clinker – by 44-59 kg that will decrease of fuel consumption on roasting of clinker due to reduction of mass of material which heats up to 1350-1400 °C. In nonconventional energy saving raw mixes with increase of the silicate module from 2.0 up to 3.0 irrespectively of saturation coefficient the part of teffritobazalt decreases and the part of phosphoric slag and sand raises. The aluminous module value increases from 1.96 to 2.23, content of tri-calcium aluminate, a tetra-calcium alumoferrite and total content of flux minerals C<sub>3</sub>A and C<sub>4</sub>AF decreases.

**Keywords:** raw material, wastes, nonconventional materials, clinker, module characteristics.

*Поступила 02.03.2016*