Оригинальная статья / Original article

УДК 666.946

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-4-346-355>

Использование природных глинокарбонатных гипсов в производстве сульфатсодержащих цементов

© Б.Т. Ассакунова¹, Б.Б. Барпиев², Б.С. Ордобаев³,
Ж. Аманжан-кызы⁴, Ш.С. Абдыкеева⁵

^{1,4}Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

²Международный университет инновационных технологий, г. Бишкек, Кыргызская Республика

^{3,5}Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Резюме: Цель работы – исследование находящихся в залежах на территории Кыргызстана сырьевых материалов, используемых для производства сульфатсодержащих цементов, а также установление особенностей технологического процесса клинкерообразования. Проведен анализ месторождений гипсового сырья Кыргызстана. Для наиболее распространенных сырьевых материалов известняков с помощью химических, дериватографических и рентгенографических методов анализа изучен их химический и минералогический состав. На основе расчетов сырьевых смесей составлена шихта для получения сульфатсодержащего цемента из известняка Ташкумырского месторождения, местных су-глинков и глинокарбонатогипсов. Исследован температурный режим технологического процесса клинкерообразования сульфатсодержащих цементов из низкоалюминатного глинистого сырья с использованием в качестве сульфатной составляющей местных глинокарбонатогипсов. Рассмотрено воздействие высоких температур на глинокарбонатогипсы, химико-минералогический состав которых обуславливает снижение температуры декарбонизации, частичное разложение CaSO_4 и раннее образование первичных клинкерных минералов. Показано, что использование гипсовой породы с высоким содержанием карбонатов и глинистых примесей в качестве сульфатного компонента при получении сульфоклинкером способствует снижению температуры разложения карбоната и сульфата кальция в процессе обжига. Приводятся данные интенсификации клинкерообразования в зависимости от состава компонентов шихты и температуры обжига, которые соответствуют малоэнергоёмкой технологии. Делается вывод о том, что предложенные процессы способствуют энергосбережению, снижению выбросов CO_2 и, соответственно, повышению экологической безопасности.

Ключевые слова: сульфоклинкер, сульфатсодержащие цементы, глиногипс, глинокарбонатогипс, свободная известь ($\text{CaO}_{\text{св}}$), степень разложения CaSO_4 , эндотермический эффект, твердофазовые реакции

Для цитирования: Ассакунова Б.Т., Барпиев Б.Б., Ордобаев Б.С., Аманжан К.Ж., Абдыкеева Ш.С. Использование природных глинокарбонатных гипсов в производстве сульфатсодержащих цементов. XXI век. Техносферная безопасность. 2020;5(4):346–355. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-4-346-355>

The use of natural clay-carbonate gypsum in the production of sulfate-containing cements

Bubuzuura T. Assakunova¹, Bakytbek B. Barpiev², Beishenbek S. Ordobaev³,
Zhazgul Amanzhan-kyzy⁴, Shirin S. Abdykeeva⁵

^{1,4}Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,
Bishkek, Kyrgyz Republic

²International University of Innovative Technologies, Bishkek, Kyrgyz Republic

^{3,5}Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyz Republic

Abstract: The purpose of the article is to study the raw materials located in the deposits of Kyrgyzstan and used in the production of sulfate-containing cements. The article aims to identify features of the technological process of clinker formation. An analysis of deposits of gypsum raw materials in Kyrgyzstan was carried out.

For the most common raw materials of limestones, their chemical and mineralogical composition was studied using the chemical, derivatographic and X-ray methods. By calculating raw mixtures, a charge was produced for obtaining sulfate-containing cement from limestone of the Tashkumyr deposit, local loams and clay-carbonate gypsum. The temperature regime of the clinker formation of sulfate-containing cements using local clay-carbonate gypsum was studied. The article analyzes an effect of high temperatures on clay-carbonate gypsum whose chemical and mineralogical composition decreases the decarbonization temperature and causes the partial decomposition of CaSO_4 and the early formation of primary clinker minerals. The use of gypsum rock with a high content of carbonates and clay impurities as a sulfate component in the preparation of sulfoclinkers helps to reduce the decomposition temperature of calcium carbonate and sulfate during burning. The data on the intensification of clinker formation are presented. They depend on the composition of charge components and the burning temperature, which correspond to the low-power technology. The technology can save energy, reduce CO_2 emissions and improve the environmental safety.

Key words: sulfoclinker, sulfate-containing cements, clay gypsum, clay carbonate gypsum, free lime (CaOw), degree of decomposition of CaSO_4 , endothermic effect, solid-phase reactions

For citation: Assakunova BT, Barpiev BB, Ordobaev BS, Amanzhan KZh, Abdykeeva ShS. The use of natural clay-carbonate gypsum in the production of sulfate-containing cements. *XXI vek. Tekhnosferная bezopasnost' = XXI century. Technosphere security*. 2020;5(4):346–355. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-346-355>

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития цементной промышленности Кыргызстана актуальным является расширение номенклатуры выпускаемой продукции с максимальным вовлечением местного сырья и получением вяжущих материалов с помощью энергосберегающей технологии [1].

Исследования, проведенные в США, Японии, бывшем СССР [2–4], показали

перспективность переработки гипсосодержащего сырья для получения низкотемпературных сульфоклинкером и цементов на их основе. Теоретические результаты по синтезу и изучению свойств сульфоминералов¹ получили свою практическую реализацию², доказавшую преимущество технологии получения малоэнергоемких сульфоалюминатных цементов по сравнению с традиционной портландцементной технологией.

¹Атакузиев Т.А., Кузнецова Т.В., Искандерова М.И. Цветные цементы по малоэнергоёмкой технологии. Ташкент: Фан, 1988. 101 с.;

Атакузиев Э.Т. Получение цементов с высокой гидратационной активностью на основе алитовых сульфоалюминатных клинкеров с пониженной температурой обжига: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1990.;

Караханиди С.Т. Использование природных сырьевых материалов и попутных продуктов промышленности в производстве строительных материалов. Фрунзе: КиргизНИИТИ, 1990. 54 с.;

Никифоров Ю.В., Сватовская М.Б. Роль сульфатосодержащей добавки в повышении качества цемента // Цемент. 1989. № 3. С. 23.

²Абдыкалыков А.А., Абдылдаев Н.С., Ассакунова Б.Т., Степовая Н.М. Сырьевые ресурсы и перспективы развития основных строительных материалов в Кыргызской Республике. Бишкек: КыргызНИИТИ, 1996. 48 с.;

Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Мамабеталиева Д.А., Маразыкова Б.Б. Применение отходов промышленности при получении вяжущих материалов // Тр. Национальной Академии наук КР. Бишкек, 1998. С. 164.;

Ассакунова Б.Т., Джумагулова Ж.С., Омурбеков И.К. Отделочные материалы на основе глиногипсового сырья // Тр. КыргызНИИПстр-ва (1998–1999 гг.). Бишкек: Илим, 1999. С. 181–185.;

Бакеев Д.М. Технология сульфатсодержащего цемента на низкоалюминатном сырье: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2010.;

Жумалиев К.М., Абдыкалыков А.А., Алымкулов С.А., Барпиев Б.Б., Абытов А.Б. Аксийский портландцемент. Бишкек: Илим, 2013. 160 с.

Сульфатсодержащие цементы относятся к вяжущим, при этом обжиг клинкера производится при более низкой температуре (1250–1300°C), чем клинкер обычного портландцемента (1450°C) [5–10]. Цементы характеризуются повышенной гидратационной активностью и быстрым набором прочности, а также отсутствием усадки или расширения в процессе твердения. В процессе промышленных испытаний установлено, что некоторые составы сульфоклинкеробжигаются при нулевом пылевыхделении, что особенно важно при современном уровне избыточного выделения CO_2 в атмосферу в местах расположения цементных заводов.

Сульфатсодержащие цементы относятся к разновидности сульфоалюминатных цементов, основными клинкерными минералами которых являются сульфоалюминат кальция $\text{C}_3\text{A}_3\text{CS}$, сульфосиликат кальция $(\text{C}_2\text{S})\text{CS}$, которые, в свою очередь, обуславливают особенности физико-механических характеристик вяжущего.

Целью работы было исследование находящихся в залежах на территории Кыргызстана сырьевых материалов, используемых для производства сульфатсодержащих цементов, и особенности клинкерообразования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения сульфатсодержащих цементов были использованы известняк Ташкумырского месторождения Кыргызстана и низкоалюминатные суглинки, химический состав которых приведен в табл. 1.

В производстве сульфатсодержащих цементов одним из сырьевых компонентов является гипсовое сырье, в качестве которого в основном используется гипсовый камень, ангидрит, фосфогипс.

Анализ месторождений гипсового сырья Кыргызской Республики показал наличие свыше ста месторождений. К числу «чистых», пригодных для получения гипсовых вяжущих высокого качества и добавки в портландцемент могут быть отнесены такие месторождения, как Чангырташское со средним содержанием $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ до 98,58%, Ташлакское – 90,78%, Наукатское – 98,91%, Кургаксайское – 92,88%, Бактерекское – 98,49%, Кырк-Кольское – 91,86%.

Некоторые месторождения гипсов сопровождаются прослоями, линзами разноцветных глин, алевролитов, известковых песчаников, известняков, мергелей. Минералогический состав некоторых гипсоносных пород приведен в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав сырьевых материалов

Table 1. Chemical composition of raw materials

Наименование материала	Содержание оксидов, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.	Сумма
Известняк Ташкумырского месторождения	1,9	0,58	0,28	54,22	0,86	0,1	42,38	100,32
Суглинок	54	10,45	5,31	12,54	2,85	0,84	12,65	98,64

Таблица 2. Минералогический состав гипсоносных пород

Table 2. Mineralogical composition of gypsum-bearing rocks

Месторождение	Содержание минералов в %								
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CaSO_4	CaCO_3	MgCO_3	Глин. минер.	SiO_2	Na_2SO_4	MgSO_4	NaCl
Кара-Кече	80,84	–	6,50	5,20	3,91	4,15	–	0,21	0,2
Шамси	70,93	15,01	2,01	0,31	12,13	–	0,11	0,09	0,12
Сарджи-Агач	35,56	18,8	8,5	9,08	22,54	6,31	0,01	0,72	1,45
Боорду	82,98	2,94	5,67	4,37	1,96	–	0,29	0,29	0,2
Сулу-Терек	41,67	0,97	8,1	4,2	51,2	–	0,41	0,29	0,11
Ташлак	90,78	5,97	1,19	1,2	1,94	–	0,07	0,04	0,12
Наукат	93,12	4,02	0,83	–	2,03	–	0,03	0,12	0,24
Сан-Таш	81,12	4,01	2,04	1,25	10,14	–	0,12	0,34	0,14

Известно, что природные образования тонкозернистого кристаллического гипса, перемешанного с глиной или суглинками, называются глиногипсами. Количество гипса в них колеблется от 50 до 95%. Смеси сернокислого (CaSO_4) и углекислого кальция (CaCO_3) называют глинокарбонатогипсами. Содержание сернокислых солей в них колеблется от 50 до 75%, а количество углекислых солей – более 5%.

Сарджи-Агачское и Шамсинское месторождения отнесены к глиногипсовым. Отмечается высокое содержание карбонатов (12,3%) и глин в Сулу-Терекском месторождении, которое может быть отнесено к глинокарбонатогипсам. Особенность данного месторождения в низком содержании гипсовой субстанции (41,67%).

Вовлечение гипсосодержащих материалов, являющихся некондиционным сырьем для производства гипсовых вяжущих, в производство сульфоцементов представляет интерес, поэтому в качестве сульфатсодержащего компонента в

сырьевые смеси использовали гипсы с содержанием глинистых и карбонатных примесей.

Методика проведения исследований включала применение химических, дериватографических и рентгенографических методов анализа используемых сырьевых материалов, образцов клинкеров сульфоминеральных цементов, определение минералогического состава гипсоносных пород.

Сырьевые материалы измельчали до полного прохождения через сито № 008, перемешивали согласно расчета сырьевой смеси и формовали образцы размером 2х2х2 мм на прессе. Образцы из сырьевых смесей обжигались в лабораторной силитовой печи при температурах 700–1300°C с выдержкой один (1) час при максимальной температуре. Содержание свободного оксида кальция во всем интервале температур определялся этиловоглицератным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Были исследованы усредненные пробы глинокарбонатогипсов, диффе-

ренциально-термический анализ (ДТА) которых приведен на рис. 1.

Рис. 1. Термограмма гипсовой породы с содержанием глины, песка и карбонатов (глинокарбонатогипс)

Fig. 1. The thermogram of a gypsum rock containing clay, sand and carbonates (clay-carbonate gypsum)

Гипсосодержащая порода содержит глинистые примеси и карбонаты кальция и магния. Минералогический состав представлен содержанием гипса, кальция, магнезита, глинистых примесей и кварца.

На кривой ДТА глинокарбонатогипса эндозэффект при 150–195°C соответствует дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Наличие в породе примесей карбонатов кальция и магния способствует двухступенчатости протекаемой реакции дегидратации. Продукт, подверженный термической обработке до 390°C, обладает вяжущими свойствами и содержит в своем составе $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и растворимый безводный полугидрат. При температуре 390°C начинается переход безводного полугидрата в растворимый ангидрит.

Небольшой эндотермический эффект при 580°C говорит о дегидратации глинистых минералов, содержащихся в породе. Эндотермический эффект при 778°C, 858°C показывает процесс декарбонизации MgCO_3 и CaCO_3 соответственно.

Для того чтобы установить воздействие высокой температуры на гипсовые породы и возможность образования

свободной CaO , нами исследовались месторождения гипсов с очень низким содержанием нерастворимого остатка (0,18–1,24%) и глинокарбонатогипса. Указанные материалы обжигались при температурах 700–1300°C. Была определена свободная известь ($\text{CaO}_{\text{св}}$) в спеках, обожженных при 700–1300°C из образцов чистого гипса и глиногипсокарбонатной породы (ГГП). Содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ в спеках в зависимости от температуры обжига показано на рис. 2.

Рис. 2. Содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ в спеках в зависимости от температуры обжига:

1 – чистый гипс;
2 – глиногипсокарбонатные породы

Fig. 2. The content of $\text{CaO}_{\text{св}}$ in the cakes, depending on the firing temperature:

1 - pure gypsum; 2 - clay-gypsum-carbonate rocks

Содержание свободной извести во всем интервале температур обжига значительно ниже в спеках из чистого гипса, чем из глиногипсокарбонатной породы.

Во всех спеках из чистого гипса обнаруживается незначительное содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$, количество которого увеличивается с повышением температуры, достигая значимой величины (1,9) при температуре 1300°C.

Из приведенных данных видно, что образование $\text{CaO}_{\text{св}}$ обусловлено в основном разложением CaSO_4 , которое начинается с 900°C.

При обжиге ГГП уже при температурах 700–900°C обнаруживается значимое содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ (3,01–3,67%), так как при этих температурах уже интенсивно протекает декарбонизация карбоната кальция CaCO_3 , содержащегося в породе. Дальнейшее повышение содержания $\text{CaO}_{\text{св}}$ говорит о дополнительном образовании $\text{CaO}_{\text{св}}$ за счет разложения CaSO_4 (3,82–5,06%). Снижение количества $\text{CaO}_{\text{св}}$ связано с процессом образования первичных клинкерных минералов (C_2S , CA).

Процесс разложения CaSO_4 в присутствии SiO_2 и R_2O_3 сдвигается в область более низких температур на 100–150°C ниже, чем начинает разлагаться чистый CaSO_4 (1200°C), что связано не только с каталитическими воздействиями последних, но и с модификационным превращением при нагревании. В частности, переход β -кварца, содержащегося в гипсовой породе, в кристобаллит способствует разложению гипса.

Чтобы установить влияние количества глинистых материалов на степень разложения CaSO_4 , нами были приготовлены смеси, состоящие из чистого ангидрита (CaSO_4) и каолина в количестве 5–15%. Каолин был использован как наиболее чистый глинистый мономинеральный компонент.

Образцы из указанных смесей обжигались при температурах 1000, 1100, 1200, 1250 и 1300°C. В продуктах обжига было определено содержание SO_3 . Результаты проведенных исследований приведены на рис. 3.

С увеличением количества каолина в составе шихты повышается степень разложения CaSO_4 при всех температурах обжига. При содержании каолина 15% при температуре обжига 1250°C степень разложения CaSO_4 достигает 21%. Эти результаты показывают, что

при обжиге гипсовой породы с высоким содержанием глинистой составляющей при указанных температурах образуется $\text{CaO}_{\text{св}}$ за счет частичной диссоциации CaSO_4 . Кроме того, наличие CaCO_3 в породе способствует образованию дополнительного активного $\text{CaO}_{\text{св}}$ за счет его декарбонизации.

Рис. 3. Степень разложения CaSO_4 в присутствии каолина в зависимости от температуры обжига и соотношения (CaSO_4 /каолин): 1 – 95/5; 2 – 90/10; 3 – 85/15

Fig. 3. Degree of decomposition of CaSO_4 in the presence of kaolin depending on the firing temperature and the ratio (CaSO_4 /kaolin): 1 – 95/5; 2 – 90/10; 3 – 85/15

С увеличением количества каолина в составе шихты повышается степень разложения CaSO_4 при всех температурах обжига. При содержании каолина 15% при температуре обжига 1250°C степень разложения CaSO_4 достигает 21%. Эти результаты показывают, что при обжиге гипсовой породы с высоким содержанием глинистой составляющей при указанных температурах образуется $\text{CaO}_{\text{св}}$ за счет частичной диссоциации CaSO_4 . Кроме того, наличие CaCO_3 в породе способствует образованию дополнительного активного $\text{CaO}_{\text{св}}$ за счет его декарбонизации.

Разложение глинистых составляющих, содержащихся в породе, способствует образованию свободных химиче-

ски активных SiO_2 , Al_2O_3 . Свободный кремнезем также, претерпевая модификации, переходит в активную форму – α -кристобаллит, т.е. создаются все предпосылки для направленного образования минералов.

На основе расчетов сырьевых смесей с $\text{KH}=0,9$ и сульфоалюминатным модулем $\text{PS}=0,26$ (смесь 1) и $\text{KH}=0,9$ и $\text{PS}=0,5$ (смесь 2) была составлена сырьевая шихта для получения сульфатсодержащего цемента из известняка Ташкумырского месторождения, местных суглинков и глинокарбонатогипсов.

Термографические исследования сырьевых смесей приведены на рис. 4.

Рис. 4. Термограмма сырьевых смесей сульфатсодержащих цемента:
1, 2 – смеси с гипсом

Fig. 4. The thermogram of raw mixtures of sulfate-containing cements:
1, 2 – mixtures with gypsum

На дериватограмме сырьевой смеси 1 имеются 3 эндотермических эффекта. Первый эффект с максимумом при температуре 180°C соответствует удалению воды из гипса, эндотермический эффект в интервале температур $560\text{--}580^\circ\text{C}$ соответствует дегидратации каолинита. Диссоциация карбоната кальция начинается при температуре 700°C и дости-

гает максимума при 800°C , что подтверждается максимальным содержанием CaO в спеках, обожженных при этой температуре. Присутствие в сырьевой смеси гипса сдвигает диссоциацию карбоната кальция в область более низких температур.

В интервале температур $1020\text{--}1060^\circ\text{C}$ образуются первичные силикатные и алюминатные соединения. Наличие первичных зародышей C_2S обнаружено в спеках, обожженных при температуре 930°C .

После образования некоторого количества C_2S в результате его взаимодействия с сульфатом кальция появляется сульфосиликат кальция $(\text{C}_2\text{S})_2\text{CS}$. На рентгенограммах спеков, обожженных при температуре $800\text{--}900^\circ\text{C}$, уже обнаруживаются линии $1,75$; $2,63\text{\AA}$, относящиеся к белиту.

Наличие в сырьевой смеси оксидов $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, вносимых в шихту глинистой составляющей и свободных сульфат ионов, способствует образованию в пределах температур $800\text{--}900^\circ\text{C}$ двойных солей $2\text{CaSO}_4\cdot\text{K}_2\text{SO}_4$; $\text{CaSO}_4\cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$, при разложении которых выделяется тонкодисперсная и химически активная CaO , что в свою очередь, интенсифицирует процесс клинкерообразования.

Известно, что в смесях, содержащих сульфат кальция, при всех температурах обжига, независимо от соотношения $\text{CaO}:\text{Al}_2\text{O}_3$, образуется однокальциевый алюминат. Следовательно, соединение $n\cdot\text{CA}\cdot\text{CaSO}_4$ образуется непосредственно из оксидов и скорость его образования значительно выше, чем скорость образования алюминатов кальция. Механизм интенсифицирующего влияния извести и глинозема на образование сульфоалюмината кальция выражен в следующей химической реакции:

В рассматриваемых сырьевых смесях обнаружено образование $3(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \text{CaSO}_4$, что подтверждается рентгенограммой спеков с характерными для него линиями с межплоскостными расстояниями 2,16 Å; 1,62 Å; 1,52 Å; $(\text{C}_2\text{S})_2\text{CS}$.

Дифрактограммы полученных клинкеров приведены на рис. 5, из которого видно, что клинкер представлен в основном $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}_4$ β- C_2S .

Рис. 5. Дифрактограммы образцов клинкеров сульфоминеральных цементов

Fig. 5. Diffraction patterns of clinker samples of sulfomineral cements

Содержание свободного оксида кальция, определяемого этиловоглицератным методом, в спеках, обожженных при 1250°C и 1300°C приведены в табл. 3.

Таблица 3. Содержание CaO_{св} в спеках, %
Table 3. CaOs content in cakes, %

Температура обжига, оС	Содержание гипсовой породы в смеси, %		
	5	10	15
1250	2,0	1,5	1,0
1300	1,0	0,5	0,5

В спеках, обожженных при 1250°C с содержанием гипса 15%, обнаруживается ангидрит с характерными линиями с межплоскостными расстояниями 2,85; 1,86; 1,48 Å.

Процесс клинкерообразования во всех смесях с различным содержанием глиногипсовой породы завершается при температурах 1250–1300°C, т.е. на стадии протекания твердофазовых процессов.

ВЫВОДЫ

1. Использование гипсовой породы с высоким содержанием карбонатов и глинистых примесей в качестве сульфатного компонента при получении сульфоклинкером способствует снижению температуры разложения карбоната и сульфата кальция в процессе обжига, что приводит к образованию первичных клинкерных минералов и интенсификации клинкерообразования.

2. При использовании в качестве сульфатной составляющей глинокарбонатогипсов первичными клинкерными минеральными являются C_2S , CA (моноалюминат кальция). В дальнейшем на их основе образуются сульфосиликат и сульфоалюминат кальция.

3. При содержании гипсовой породы свыше 15% при температуре обжига 1250°C происходит разложение ранее образовавшегося сульфосиликата кальция на C_2S и CaSO_4 .

4. Обжиг сульфатсодержащего клинкера протекает на стадии твердофазовых реакций, т.е. по малоэнергоёмкой технологии.

Список литературы

1. Ассакунова Б.Т., Барпиев Б.Б., Аманжан К.Ж. Сульфатсодержащие цементы с использованием природных глинокарбонатогипсов // Наука и инновационные технологии. 2018. № 8 (8). С. 143–147.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химиче-

ская технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1980. 472 с.

3. Gartner E. Industrially interesting approaches to «low-CO₂» cements // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. P. 1489–1498.

4. Sytschowa L.I., Bakeew D.W. Synthese und Eigenschaften von Sulfathaltigen Zementen [Электронный ресурс] // gbv.de. URL: https://www.gbv.de/dms/weimar/toc/518747441_toc.pdf (14.11.2020).
5. Сычева Л.И., Бакеев Д.В. Получение и свойства сульфатсодержащих цементов на основе низкоалюминатных сырьевых материалов // Цемент и его применение. 2009. № 6. С. 117–120.
6. Сычева Л.И., Бакеев Д.В. Исследование свойств композиционного вяжущего на основе сульфатсодержащего и портландского цементов // Техника и технология силикатов. 2010. Т. 17. № 1. С. 1–7.
7. Сычева Л.И., Бакеев Д.В. Композиционное вяжущее на основе сульфатсодержащего и портландского цементов // Сухие строительные смеси.

2019. № 2. С. 16–19.
8. Wang Junjie, Fang Jingrui, Wang Lan. The Sulfur Cycle Mechanism in the Whole Process of Cement Manufacturing: a Review // *Materials Reports*. 2018. Vol. 32. No. 23. P. 4160–4169. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1005-023X.2018.23.018>
9. Guo Wei, Wang Chun, Sun Jiasheng, et al. Study on Low-temperature Preparation and Hydration Properties of Calcium Sulphoaluminate-Belite Cement Clinker // *Materials Reports*. 2017. Vol. 31. No. 24. P. 35–39.
10. Liang Jiao, Chu Wanyi, Huang Yongbo et al. Utilizing Decomposed Phosphogypsum for the Preparation of Belite-Calcium Sulphoaluminate Cement // *Materials Reports*. 2017. Vol. 31. No. 24. P. 1–5.

References

1. Bubuzura A, Bakyrbek B, Amanzhan kZ. Sulfate-containing cement with use of natural glynocarbonate gyps. *Nauka i innovatsionnye tekhnologii. Science and innovative technologies*. 2018;8:143–147. (In Russ.)
2. Butt YuM, Sychev MM, Timashev VV. Chemical technology of binding materials. Moscow: Vysshaya shkola; 1980. 472 p. (In Russ.)
3. Gartner E. Industrially interesting approaches to «low-CO₂» cements. *Cement and Concrete Research*. 2004;34:1489–1498.
4. Sytschowa LI, Bakeew DW. Synthese und Eigenschaften von Sulfathaltigen Zementen. gbv.de. Available from: https://www.gbv.de/dms/weimar/toc/518747441_toc.pdf [Accessed 14th November 2020].
5. Sycheva IL, Bakeev DV. Herstellung und Eigenschaften сульфатсодержащих Zemente auf der Basis von низкоалюминатных Rohstoffe. *Tsement i ego primenenie*. 2009;6:117–120. (In Russ.)
6. Sytcheva LI, Bakeev DV. Proprieties investigation of composition binder on basis of sulfatcontaining cement and portland cement. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2010;17(10):1–7. (In Russ.)
7. Sychyova LI, Bakeev DV. Composition binder on the basis of sulfatcontaining cement and portland cement. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2019;2:16–19. (In Russ.)
8. Wang Junjie, Fang Jingrui, Wang Lan. The Sulfur Cycle Mechanism in the Whole Process of Cement Manufacturing: a Review. *Materials Reports*. 2018;32(23):4160–4169. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1005-023X.2018.23.018>
9. Guo Wei, Wang Chun, Sun Jiasheng, et al. Study on Low-temperature Preparation and Hydration Properties of Calcium Sulphoaluminate-Belite Cement Clinker. *Materials Reports*. 2017;31(24):35–39.
10. Liang Jiao, Chu Wanyi, Huang Yongbo et al. Utilizing Decomposed Phosphogypsum for the Preparation of Belite-Calcium Sulphoaluminate Cement. *Materials Reports*. 2017;31(24):1–5.

Сведения об авторах

Ассакунова Бубузур Ташеновна,

кандидат технических наук,
профессор кафедры производства
и экспертизы строительных материалов,
изделий и конструкций,
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова,
720000, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б,
Кыргызская Республика.

Information about the authors

Bubuzuura T. Assakunova,

Cand. Sci. (Eng),
Professor of the Department of Production
and expertise of building materials,
products and structures,
Kyrgyz State University of Construction,
Transport and Architecture named after N. Isanov,
34 b, Malydybaeva St., Bishkek, 720000,
Kyrgyz Republic.

Барпиев Бакытбек Боронбаевич,

кандидат физико-математических наук,
исполняющий обязанности профессора,

Bakytbek B. Barpiev,

Cand. Sci. (Phys-Math),
acting professor,

Международный университет инновационных технологий,
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, 1/17,
Кыргызская Республика,
✉ e-mail: bakyt62@bk.ru

International University of Innovative Technologies,
1/17, Ankara St., Bishkek, 720000,
Kyrgyz Republic,
✉ e-mail: bakyt62@bk.ru

Ордобаев Бейшенбек Сыдыкбекович,
кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой защиты
в чрезвычайных ситуациях,
Кыргызско-Российский Славянский
университет,
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,
Кыргызская Республика,
e-mail: zchs@krsu.edu.kg

Beishenbek S. Ordobaev,
Cand. Sci. (Eng), professor,
Head of the Department of Defense in emergency
situations,
Kyrgyz-Russian Slavic university,
44, Kievskaya St., 720000, Bishkek,
Kyrgyz Republic,
e-mail: zchs@krsu.edu.kg

Аманжан-кызы Жазгуль,
магистрант,
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова,
720000, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б,
Кыргызская Республика,
e-mail: jarkyn_89@list.ru

Zhazgul Amanzhan-kyzy,
graduate student,
Kyrgyz State University transport and architecture
construction them. N. Isanova,
34 b, Malydybaeva St., Bishkek, 720000,
Kyrgyz Republic,
e-mail: jarkyn_89@list.ru

Абдыкеева Ширин Суюнбаевна,
старший преподаватель,
Кыргызско-Российский Славянский
университет,
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44,
Кыргызская Республика,
e-mail: shirin_280990@mail.ru

Shirin S. Abdykeeva,
Senior Lecturer,
Kyrgyz-Russian Slavic university,
44, Kievskaya St., 720000, Bishkek,
Kyrgyz Republic,
e-mail: shirin_280990@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию 03.11.2020.
Поступила после рецензирования
и доработки 26.11.2020.
Принята к публикации 30.11.2020.

Receive 03.11.2020.

Revised 26.11.2020.
Accepted 30.11.2020.