

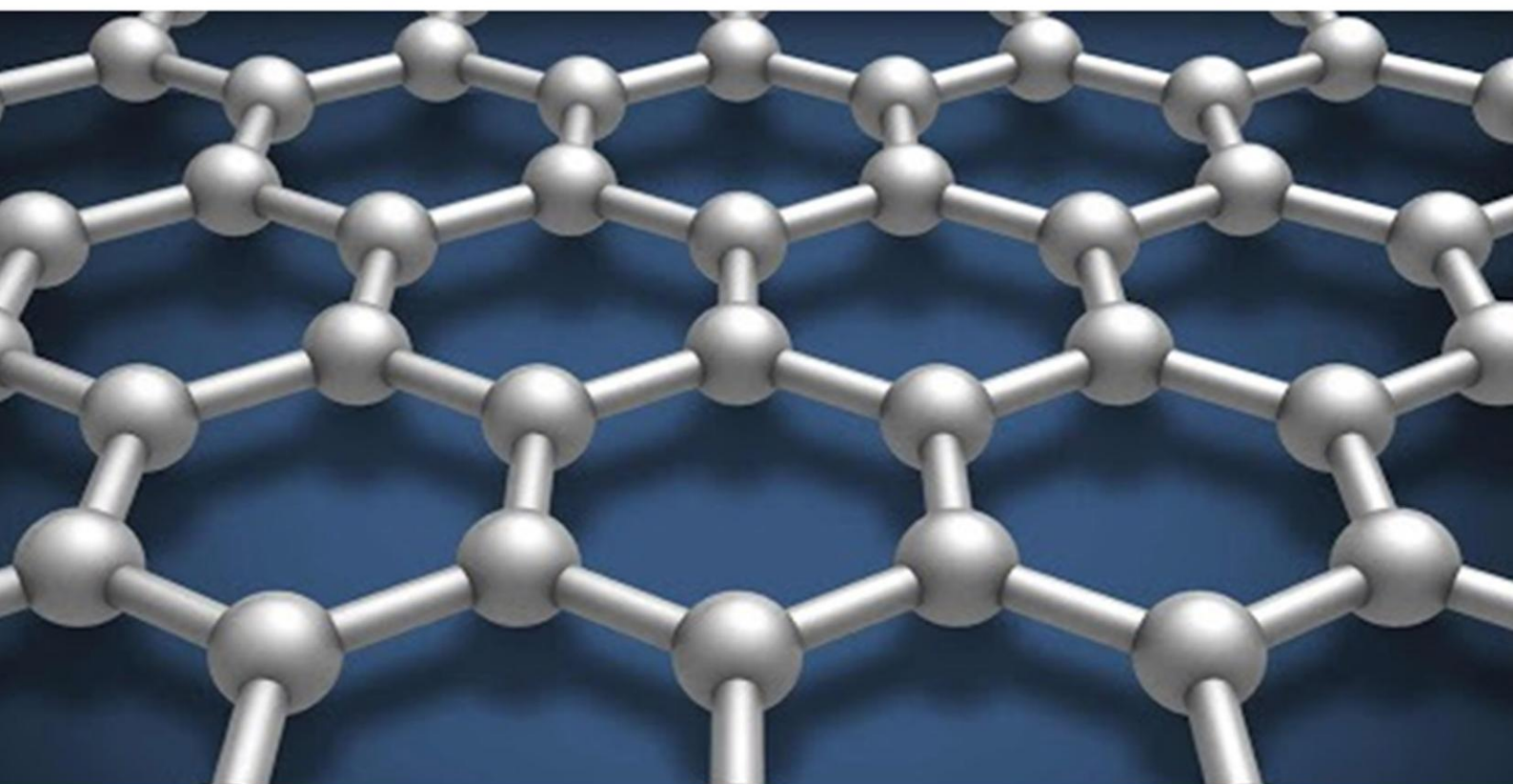
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ ПРИ ВВЕДЕНИИ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ГЛИНИСТОГО СЛАНЦА

Кабулова Лола Балтамуратовна, Оразимбетова Гулистан Жакселиковна

Нукусский государственный педагогический институт

Андижанский государственный технический институт

Аннотация. Методом рентгенофазового анализа исследовано влияние механоактивированного глинистого сланца Джамансайского месторождения на фазовый состав портландцемента. Установлено, что с увеличением содержания добавки с 10 % до 30 % доля аморфной фазы С-S-N возрастает с 72,9 % до 80,1 %, а интенсивность рефлексов портландита снижается. Избыточное накопление портландита при 10 % добавки может приводить к снижению долговечности. Оптимальное фазовое равновесие достигается при 20-30 % сланца.

Ключевые слова: портландцемент, глинистый сланец, механоактивация, рентгенофазовый анализ, портландит, фазовый состав.

Введение. Производство портландцемента характеризуется высокой энергоёмкостью и значительными выбросами CO_2 , основная доля которых приходится на обжиг клинкера. Одним из эффективных путей снижения клинкерной составляющей служит частичная замена клинкера активными минеральными добавками пуццоланического типа [1]. Такие добавки взаимодействуют с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимся при гидратации цемента, с образованием дополнительных гидросиликатных фаз [2, 6].

Природные глинистые породы, включая сланцы, в исходном состоянии обладают упорядоченной кристаллической структурой и низкой реакционной способностью [3]. Для раскрытия их скрытых вяжущих свойств необходима механоактивация – процесс интенсивного измельчения, приводящий к частичной аморфизации и образованию активных центров [4, 5].

Глинистые сланцы Джамансайского месторождения (Каракалпакстан) представляют собой доступное местное сырьё. Целью настоящей работы является исследование влияния природного глинистого сланца на фазовый состав портландцемента.

Объекты и методика исследования. Использовали портландцементный клинкер ООО «Каракалпакцемент». Химический состав клинкера, мас. %: SiO_2 – 20,42; Al_2O_3 – 5,20; Fe_2O_3 – 5,52; CaO – 62,87; MgO – 2,61; SO_3 – 2,28; $\text{CaO}_{\text{св}}$ – 2,10; п.п.п. – 0,48. Минералогический состав, мас. %: C_3S – 49,43; C_2S – 21,27; C_3A – 4,42; C_4AF – 16,78.

Глинистый сланец Джамансайского месторождения имеет следующий химический состав, мас. %: SiO_2 – 49,56; Al_2O_3 – 20,73; Fe_2O_3 – 7,18; CaO – 3,03; MgO – 5,08; п.п.п. – 7,10.

Образцы готовили совместным помолом в лабораторной шаровой мельнице. Составы

включали клинкер, 5 % гипса и глинистый сланец в количестве 10, 20 и 30 % от массы вяжущего.

Нормальную густоту, сроки схватывания и равномерность изменения объема определяли по ГОСТ 310.2-76 и ГОСТ 310.3-76.

Рентгенофазовый анализ выполняли на дифрактометре ДРОН-3 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, $\lambda=0,15418$ нм). Идентификацию фаз проводили с использованием базы PDF-2.

Результаты и их обсуждение. Рентгенофазовый анализ выполнен на образцах с содержанием сланца 10, 20 и 30 мас. %. Портландцемент с 10 % глинистым сланцем (рис. 1а) дифрактограмма характеризуется ярко выраженным доминированием α -кварца (SiO_2), поступающего из добавки. Наиболее интенсивный рефлекс наблюдается при $d = 0,334$ нм, что является диагностическим для низкотемпературного α -кварца. Чётко идентифицируются также рефлексы при $d = 0,428$; $0,246$; $0,228$; $0,212$; $0,182$; $0,167$ и $0,154$ нм. Сохраняются интенсивные рефлексы портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (основные пики при $d = 0,492$ нм и $0,263$ нм), а также слабые рефлексы остаточных клинкерных фаз (C_3S , C_2S). Это свидетельствует о том, что при 10 % дозировке добавки пуццолановая реакция протекает не полностью, и значительная часть $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующегося при гидратации силикатов кальция, остаётся несвязанной.

В образце с 20 % глинистого сланца, увеличение содержания добавки (рис. 1б) приводит к дальнейшему росту интенсивности рефлексов α -кварца (главный пик $d = 0,334$ нм). Появляется отчётливый пик при $d = 0,319$ - $0,320$ нм, характерный для полевых шпатов (альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ и другие плагиоклазы), входящих в минералогический состав природного глинистого сланца.

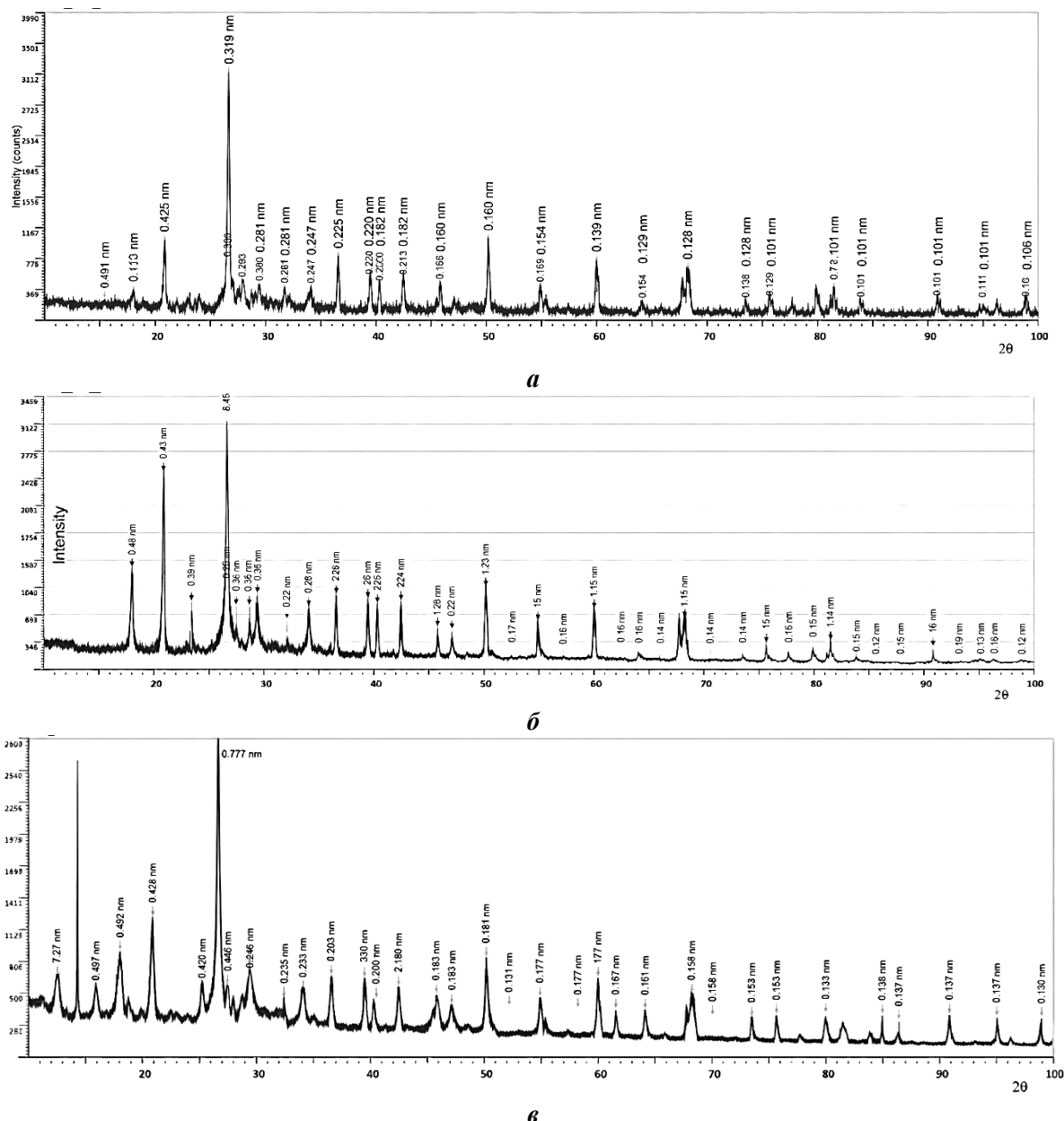


Рис. 1. Дифрактограммы композиционных портландцементов, содержащих 10% (а), 20% (б) и 30% (в) глинистого сланца (CuK α -излучение)

Важным наблюдением является существенное значимое снижение интенсивности пиков портландита по сравнению с образцом 10 %. Одновременно отмечается усиление широкого диффузного гало в области $2\theta \approx 29^\circ$ ($d \approx 0,304$ nm), соответствующего низкоосновных гидросиликатам кальция (C-S-H) гелевидной структуры. Данные изменения подтверждают протекание пуццолановой реакции между активным кремнезёмом (частично аморфизованным в процессе механоактивации) и портландитом с образованием дополнительного цементирующего геля C-S-H.

Дифрактограмма образца с 30 % глинистым сланцем (рис. 1в) демонстрирует максимальное содержание кристаллического α -кварца среди

всех исследованных композиций. Главный рефлекс ($d = 0,334$ nm) обладает наибольшей интенсивностью. Хорошо выражены дополнительные рефлексы кварца при $d = 0,428$; $0,492$; $0,446$; $0,246$; $0,235$; $0,233$; $0,203$; $0,181$; $0,177$; $0,167$ nm. Низкоугловой рефлекс при $d = 0,777$ nm может быть отнесён к остаточным слоистым силикатам (иллит, хлорит или смешаннослойные фазы) исходного сланца. Интенсивность рефлексов портландита достигает минимальных значений, что указывает на наиболее полное связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При этом наблюдается наибольшая интенсивность диффузного максимума C-S-H, что согласуется с данными количественного анализа (доля аморфной фазы + C-S-H достигает 80,1 %).

Таблица 1.

Основные фазовые характеристики образцов композиционного портландцемента с глинистым сланцем после 28 суток твердения (по данным рентгенофазового анализа)

Фаза / Параметр	10 % гл.сланца	20 % гл.сланца	30 % гл.сланца
Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $d=0,492$ нм	Сильный	Средний	Слабый
Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $d=0,263$ нм	Средний	Слабый	Очень слабый
α -Кварц SiO_2 , $d=0,334$ нм	Сильный	Очень сильный	Максимальный
α -Кварц SiO_2 , $d=0,428$ нм	Средний	Сильный	Сильный
Полевой шпат (альбит), $d\approx 0,319$ нм	Отсутствует / следы	Средний	Средний
C-S-H (диффузный максимум, $d\approx 0,304$ нм)	Умеренный	Сильный	Очень сильный
Доля рентгеноаморф-ной фазы + C-S-H, %	72,9	71,8	80,1
Остаточные клинкерные фазы	Присутствуют	Слабо выражены	Минимальные
Низкоугловой пик (глинистые минералы), $d = 0,777$ нм	Слабый	Средний	Средний

Сравнительный анализ фазового состава (табл. 1) показывает чёткую зависимость от дозировки добавки:

- Снижение содержания портландита с ростом количества сланца;
- Прогрессирующее увеличение доли гелевидной фазы C-S-H;
- Накопление инертного (в данных условиях) α -кварца и полевых шпатов.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой пуццолановой активности механоактивированного природного глинистого сланца Джамансайского месторождения. Механоактивация в процессе совместного помола способствует частичной аморфизации структуры сланца, увеличению удельной поверхности и образованию активных центров на поверхности частиц, что существенно ускоряет взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В результате формируется более плотная микроструктура цементного камня с

повышенным содержанием низкоосновных гидросиликатов кальция, обладающих высокой прочностью и улучшенной долговечностью.

Заключение. Установлено, что введение механоактивированного глинистого сланца Джамансайского месторождения в количестве 10-30 % приводит к увеличению содержания α -кварца ($d = 0,334$ нм) и снижению количества портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне после 28 суток твердения.

Оптимальные результаты получены при дозировках 20 и 30 %, где наблюдается максимальное связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и наибольшее содержание гидросиликатов кальция (C-S-H), доля которых возрастает до 80,1 %.

Применение глинистого сланца позволяет снизить клинкерный фактор портландцемента на 20-30 % при сохранении благоприятного фазового состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. – London: Thomas Telford, 1997.
2. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. P. 1244-1256.
3. Shi C., Fernández-Jiménez A., Palomo A. // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. P. 750-763.
4. Болдырев В.В. // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 3. С. 203-216.
5. Кляровский В.М., Молчанов Н.И. Механохимические явления при сверхтонком измельчении. – Новосибирск: Наука, 1971.
6. Кабулова Л.Б. Коррозия цементов с гидравлической добавкой // Научный журнал «Universum». – 2025. – № 11(140), ч. 7. – С. 57-60. <http://7universum.com/ru/tech/archive/category/11140>

Джандуллаева М.С., Бекчанов Б.Б., Эркаев А.У., Кучаров Б.Х. Влияние режима термической обработки на физико-химические свойства серпентинита Султануиздагского месторождения	137
Бобокулова О.С., Зулярова Н.Ш., Самадий М.А., Тожиев Р.Р., Усманов И.И., Кенжаев М.Э. Кинетические характеристики процесса разложения доломита азотной кислотой	140
5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов	
Утемуратов Б.М., Тўраев Т.Б., Алламбергенов А.Дж. Табиий газни қувур орқали ташишда иссиқлик алмашинув жараёنларини интенсивлаштириш ва қурилмани танлаш	144
Radjabov O.I., Muinova N.B., Azimova L.B., Filatova A.V., Turaev A.S. Kollagen va inulin kompozitsiyasini molekulyar modellashirilishda strukturaviy xususiyatlar	147
Alimov A.F., Qurbanova L.M., Eshmamatova N.B., Akbarov X.I., Kuronboyev D.P., Norqobilova Sh.D., Ismoilova D.F. Po'lat korroziyasida mahalliy xom ashyolar asosida olingan yashil ingibitorlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari	150
Orzikulov B.T., Xaydarova S.R. Poliakrilonitril asosida tarkibida sulfo guruh tutgan ion almashinuvchi materiallar sintezi	154
Алимджанова Дж.И., Бабаханова З.А. Оптимизация процесса измельчения керамической массы в шаровых мельницах	157
Axmedova M.F., Ubaydullayeva D.H. Trikotaj matolarining ko'p davrli cho'zilish deformatsiyasini aniqlashda sinov ko'rsatkichlarini optimallashtirish	160
Ergashev M.A., Qulmatov R.B. Markazdan qochma konsentratorda oltin va kumushni ajratib olishda yuvuvchi suv bosimi, pulpa qattiqligi va oziq sarfining ta'siri	162
Тажиева Г.Р., Сафаров А.Р. Спектроскопическое исследование комплексов Co(II) и Cu(II) с семикарбазидом	165
Djumayeva M.S., Amonov M.R. Modifikatsiyalangan va bo'yalgan matolarning mikroskopik tahlili	169
Abdullayeva G.A. Kobalt(II) ning 2-merkaptobenzotiazol bilan kompleks birikmasining sintezi va tadqiqoti	171
6. Проблемные обзоры	
Холмуродова Д.К., Негматова К.С., Иброхимова Д.М. Анализ состояние технологии и применения хлопкового линта и основание требование к хлопковой целлюлозы на их основе для ацетилирования (Краткий обзор)	175
Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Мирзарахимова З.Б. Отходы резиновых производств – перспективный материал для создания новых изделий	179
Кабулова Л.Б., Оразимбетова Г.Ж. Фазовые превращения в портландцементе при введении механоактивированного глинистого сланца	182
Razzoqov H.Q., Amonov M.R., Askarova G.A. Shofirkon bentoniti va sapropel asosidagi kompozitsion sorbentlarni shakllantirish hamda ularning koagulyant va polimer flokulyantlar ishtirokida sanoat oqova suvlarini tozalash samaradorligini tadqiq etish	185
Suyarova D.A., Erbo'tayev D.Sh., Djurayev T.A., Usmonov F.D. Indol-3-sirka kislotasi va aminokislotalar asosida sintez qilingan yangi amid hosilalarining arpa (Hordeum Vulgare L.) o'sishi va rivojlanishiga biologik ta'siri	188
Холмуродова Д.К., Негматова К.С. Изучение и анализ влияния органоминеральных ингредиентов и технологических фаторов на процесс ацетилирования. <i>Краткий обзор</i>	192
Файзиев М.М., Каршиев М. Газ ва суюқликларни чуқур тозалашга мўлжалланган анизотроп структурали фильтрлар олишнинг илғор технологиялари тахлили	195
Panjiyev A.X. Kalsiy siyanamidini olish jarayonining kinetik tahlili	199
Gulova M., Bo'rixonov B., Sapayev F. Monoxlorsirka kislotasining butil efirining uchlamchi aminlar bilan kvaternizatsiya reaksiyalarini o'rganish	201
Kasimova A.B., Yoqubjonova O'F. Antibakterial materiallar asosida erkaklar uchun zamonaviy sport kostyumini ishlab chiqish (tennis sporti misolida)	205