Статья поступила в редакцию: 02.09.2026
Статья принята к публикации: 09.10.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 666.9+622.245.4

Влияние микроремнезема на процесс твердение облегчённых тампонажных цементных растворов

Талипов Нигматулла Хамидович
д-р техн. наук, проф.
гл. науч. сотр. Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: bozorboyev1983@mail.ru
Панжиев Олимжон Холлиевич
докторант
Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Салимова Саодат Ашуровна
докторант
Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Абед Нодира Сойибжоновна
д-р техн. наук, проф., директор
Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Туляганова Васила Сунатиллаевна
д-р техн. наук, проф.
зав. лаб. Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Аликабулов Шухрат Абдумаликович
д-р техн. наук, проф.
Джизакский государственный политехнический институт
Республика Узбекистан, г. Джизак
Муллажонов Тулкин Тохтабоевич
соискатель
Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Ражабов Ёркинжон Сайфиддин угли
соискатель
Государственного учреждения "Фан ва тараккиёт" Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Библиографическое описание: Влияние микроремнезема на процесс твердение облегчённых тампонажных цементных растворов // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Талипов Н.Х. [и др.]. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23523

The effect of microsilica on the hardening process of lightweight cement slurries for well cementing

Talipov Nigmatulla Khamidovich
Dr. Tech. sciences, prof.
Ch. scientific co-workers State institution "Fan va Tarakkiyot" Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Panzhiev Olimjon Hollievich
Doctoral student
State institution "Fan va Tarakkiyot"
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Salimova Saodat Ashurovna
Doctoral student
State institution "Fan va Tarakkiyot" Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Abed Nodira Soyibzhonovna
Dr. Tech. sciences, prof., director
State institution "Fan va Tarakkiyot" Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Tulyaganova Vasila Sunatillaevna
Dr. Tech. sciences, prof.
head lab. State institution "Fan va Tarakkiyot" Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Alikabulov Shukhrat Abdumalikovich
Dr. Tech. sciences, prof. Jizzakh State Polytechnic Institute
Republic of Uzbekistan, Jizzakh
Mullajonov Tulkin Tokhtaboyevich
Applicant (Degree Candidate)
State Institution "Fan va taraqqiyot" ("Science and Development"),
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Rajabov Yorkinjon Sayfiddin ugli
Applicant (Degree Candidate)
State Institution "Fan va taraqqiyot"
("Science and Development"),
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В работе изложены результаты изучение процесса твердения растворных смесей на основе облегчённых тампонажных цементов, полученные с применением микрокремнезёма в качестве активной минеральной добавки. Установлено, что при смешивании облегченного тампонажного цемента с водой происходит процесс растворение композиционного цемента, который переходит в пересыщенный раствор и начинается процесс схватывания и гидратация. Показано, что начальные сроки схватывания растворной смесь происходит процесс загустевание растворной смеси. В процессе загустевание начинается формирование кристаллическая структура гидроалюминатов и гидроферритов кальция. Установлено, что переход растворной смеси в твёрдое состояние означает конец схватывания и начало процесса твердения. Показано, что процесс твердения цементных композиции после затворения водой начинаются химические реакции, где происходит образованием

гидросиликата кальция. Установлено, что в начальной период процессе твердения цементной растворной смеси происходит процесс образование гидратных соединение мономинералов и формирование структуры цементного камня, при этом тонкодисперсные частиц микрокремнезема заполняют объем между грубодисперсными частицами гидратных соединение мономинералов цемента. Также установлено, что кристаллизация Ca(OH)2 из пересыщенного раствора цементной композиции понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе.

Abstract

The work presents the results of studying the hardening process of mortar mixtures based on lightweight tamponade cements obtained using microcrystalline as an active mineral additive. It has been established that when the lightened tamponade cement is mixed with water, the dissolution process of the composite cement occurs, which transitions into a supersaturated solution and begins the process of hardening and hydration. It has been shown that the initial time for the solution mixture to set is the thickening process of the solution mixture. During the thickening process, the crystalline structure of calcium hydroaluminates and hydroferrites begins to form. It has been established that the transition of the solution mixture into a solid state signifies the end of hardening and the beginning of the solidification process. It has been shown that the hardening process of cement compositions begins with chemical reactions, where the formation of calcium hydrosilicate occurs. It has been established that during the initial period of cement mortar hardening, the process of hydrate monomineral compound formation and the formation of cement stone structure occurs, while fine-dispersed microsilica particles fill the volume between coarse-dispersed hydrate monomineral cement compound particles. It was also established that the crystallization of Ca (OH) 2 from the supersaturated cement composition solution reduces the concentration of calcium hydroxide in the solution.

Ключевые слова: цемент, микрокрокремнезёма композиционный вяжущий, облегчённый тампонажный цемент, сроки схватывания, текучести, гидратация и твердения, формирование структуры, кристаллическая структура, фазовый состав, гидроксид кальция.

Keywords: cement, microcrystalline composite binder, lightweight tamponade cement, hardening time, fluidity, hydration and hardening, structure formation, crystalline structure, phase composition, calcium hydroxide.

Введение

Современная промышленность предлагает большой ассортимент облегченных цементов, где в качестве облегчающей добавки используют минеральные наполнители, пуццолановые добавки, модифицирующие химические добавки. Добавки используемые для снижения плотности тампонажного материала и раствора на их основе [1,2,3].

Цементы низкой плотности используется в сложных геологических условиях с наличием пластов, склонных к гидроразрывам. В таком случае в цемент вводят добавки низкой плотности, такие как зола ТЭЦ, опока, трепел, диатомиты и др. Известно, что для улучшения процесса закачивание растворных смесей в тампонажные цементы водят минеральные добавки низкой плотности, так как такую массу легче закачивать, она будет

проявлять адгезионные свойства к старому основанию оболочки и заполнять все дефекты. Тем более в таких ремонтных тампонажных смесях зафиксирован расширяющийся эффект [3, 4, 5].

Известно, что для обеспечения текучести тампонажного раствора объем воды может превышать объем сухих компонентов. Слишком большое количество воды снижает конечную прочность камня. Для регулирования процесса схватывания и управления процесса твердения тампонажных цементов используются различные наполнители. Наполнители с низкой плотности облегчает тампонажного цемента и положительно влияет на физико-механические и эксплуатационные свойства растворных смесей при цементировании скважин. Известно, что цемент при твердение имеет тенденцию к деформационным изменениям, к усадке, что нежелательно применение для цементирование обсадных колон, а также для работ по креплению скважин. Применение тампонажных растворов усложняет задачу, ввиду образования капиллярных пор в цементном камне. Целью настоящей работы является изучение влияние кремнеземистого активной добавки- микрокремнезема на процесса твердение и формирование структуры гидратных соединение цементных минералов в растворных смесях на основе облегченных тампонажных цементов [4, 5].

Объекты и методы исследований

Для изучения влияние микрокремнезема на процесс твердение облегчённых тампонажных цементов поученные на основе цемента и микрокремнезема с применением суперпластификатора использован портлпндцемент цементного завода «Кизилкумцемент», отвечающий требованиям ГОСТ10174-90. Удельной поверхности исходных материалов определяли на приборе ПСХ-4. Подготовленные стандартные образцы на основе цементной композиции с разным количеством микрокрокремнезема испытывали на прочность при изгибе и сжатии на гидравлическом прессе марки ПГМ-500МГ4А. Структурообразование и твердение цемента содержащего микрокремнезема изучали на стандартных образцах в течение 3; 7; 28 суток в затвердевших образцах. Реологические свойства и сроки схватывания растворных смесей, нормальную густоту растворных смесей и плотность изделий определяли согласно ГОСТ 10174-90 [5].

Полученные результаты и их обсуждение

Для разработки и изучение процесса гидратации и твердение облегченных тампонажных цементов было приготовлено восемь составов с разным содержанием микрокремнезема. Смеси готовились методом механической активации исходных материалов в лабораторной шаровой мельнице. В разработанных составах содержание суперпластификатора составляло 0,50 и 0,75 % от массы цемента. Разработанные составы облегченных тампонажных цементов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав композиционных облегченных тампонажных цементов

Наименование компонентов	Составы облегченных тампонажных цементов, масс %							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Портландцемент	94,50	92,0	89,5	87,0	94,25	91,75	89,25	89,25
Микрокремнезем	5,0	7,5	10,0	12,5	5,0	7,5	10,0	12,5
Суперпластифи-катор	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75

Процесс твердение облегчённых тампонажных растворов, содержащего тонкодисперсной активной добавки обусловлено сложными физико-химическими и химическими процессами, которые возникают из-за взаимодействия воды с клинкерными минералами, в результате чего образуются гидратные соединения, почти не подвергнутые процессу растворения.

Результаты исследование показали, что при смешивании облегченного тампонажного цемента с водой в начальные сроки схватывания растворной смесь происходит процесс загустевание растворной смеси. В процессе загустевание начинается формирование кристаллическая структура гидроалюминатов и гидроферритов кальция. В начальные сроки гидратации участвуют алюмоферриты кальция и алюминаты, из-за более высокой скорости растворения, в сравнении с другими составляющими раствора (алит и белит).

Растворные смеси приготовленное путем смешивания облегчённого тампонажного цемента с водой показали, что вначале (в течение 1 – 3 ч после затворения) цементная теста обладает хороший текучести и легко формуется.

Установлено, что в процессе схватывания растворной смесь загустевает, утрачивая подвижность, но его механическая прочность ещё невелика. Результаты исследование показали, что процесс схватывание, который заканчивается обычно через 2 – 12 ч после затворения. Переход цементной тесты в твёрдое состояние означает конец схватывания и начало твердения, которое характерно возрастанием прочности. Твердение при благоприятных условиях длится годами – вплоть до полной гидратации мономинералов цементного клинкера [6, 7]. Исследование процесса формирование структуры растворных смесей на основе облегчённых тампонажных цементов сразу после затворения композитного вяжущего водой начинаются химические реакции. Уже в начальной стадии гидратации облегченных композиционных облегченных тампонажных цементов происходит быстрое взаимодействие алита с водой, сопровождающееся образованием гидросиликата кальция и гидроксида кальция.

На основание проведенных физико-химических и физико-механических исследование процесса твердения растворных смесей на основе композиционных облегченных тампонажных цементов установлено, что низкоосновных силикатов кальция повышает прочностные характеристики цементного камня. Полученные результаты приведен в таблице [8, 9, 10]. На основание проведенных экспериментальных исследование установлено, что наличие микрокремнезема в составе композиционных облегченных тампонажных цементов увеличилась прочность при сжатии. Наилучший показатель был достигнут при добавлении 10 % марки МК-85, в результате прочность выросла на 13,0 %. С повышением содержание

микрокремнезема более 10 % прочностные характеристики цемента возросли, но при этом показатель растекаемости сильно снизился. Так, при добавлении до 10 % МК-85 цементный раствор соответствует ГОСТ 26798.1 – 96.

Таблица 2. Прочностные характеристики композиционных облегченных тампонажных цементов

№	Соотношение компонентов, масс., %			Предель прочности $R_{сж}$, МПа		
	портланд цемент	микро кремнезем	суперпласти- фикатор	3 сут.	7 сут.	28 сут.
1	94,50	5,0	0,50	18,7	26,7	39,8
2	92,0	7,5	0,50	19,8	28,4	42,0
3	89,5	10,0	0,50	23,6	32,0	47,5
4	87,0	12,5	0,50	27,3	36,7	49,3
5	94,25	5,0	0,75	30,3	38,7	50,2
6	91,75	7,5	0,75	31,2	39,5	50,4
7	89,25	10,0	0,75	32.0	40,1	51,6
8	86,25	12,5	0,75	32,2	40,1	50,9

Изучение процесса твердение композиционных облегченных тампонажных цементов показали, что в процессе образования гидратных соединений мономинералов цемента тонкодисперсные частицы микрокремнезема заполняют объем между грубодисперсными частицами гидратных соединений композиционного вяжущего, что приводит резкому сокрушению водоотделение из растворной смеси. На основание проведённых исследование установлено, что при правильной дозировке компонентов в составе облегченного тампонажного, вяжущего является не только регулятором сроков схватывания и процесса твердения облегченных композиционных тампонажных цементов. Также установлено, что кристаллизация $Ca(OH)_2$ из пересыщенного раствора цементно через 6 – 8 час перекристаллизовывается в виде длинных иглоподобных-кристаллов гидроксида кальция в растворе, и кристаллы эттрингита, которые создают начальную волокнистую структуру твердеющего цементного камня.

Заключение

На основание проведённых исследование установлено, что введение микрокрокремнезема и суперпластификатора в тампонажные смеси значительно улучшает процесс гомогенизации и их физико-химические и технологические свойства. Микрокремнезем повышает удельную поверхность вяжущих, в процессе твердение уплотняет структуру и снижает водоотделение и удлиняет сроки схватывания. Наличие суперпластификатора в состав облегченного тампонажного цемента положительной влияние на реологические свойства растворной смеси, так и на объёмный вес затвердевщего материала. Изучение процесса твердения облегчённых там понажных цементов показали, что в процессе образование гидратных соединение мономинералов цемента тонкодисперсные частиц микрокрокремнезема ускоряет процесс формирование кристаллическую структуру, что способствует повышение прочностных характеристик в начальные сроки твердения

Список литературы

1. Овчинников П.В. Специальные тампонажные композиции для цементирования газовых скважин // Известия вузов. Нефть и газ. – 2002. – № 6. – С. 14–18.
2. Мариампольский Н.А., Савенок Н.Б., Савенок О.В. Разработка облегченных цементов для работы с поглощениями тампонажного раствора // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 1997. – № 10–11.
3. Негматов С.С., Талипов Н.Х., Абед Н.С., Тулягонова В.С., Абдуллаев М.А., Пирматов Р.Х., Эшмуродов Б.Б.Умаров Ш.Ш. Исследование влияние микрокремнезём на свойства композиционных тампонажных материалов, применяющих в процессе бурения нефтегазовых скважин // Композиционные материалы. – 2024. – № 2. – С. 181–184.
4. Чистов Ю.Д., Тарасов А.С. Разработка многокомпонентных минеральных вяжущих веществ // Рос. Хим. Ж. – 2003. – № 4. – С. 12–17.
5. 5 Negmatov S.S., Abed N.S., Talibov N.X., Tulyaganova V., Abdullayev M., Raximov X. Investigation of rheological and mechanical properties of cement–microsilica composite grouting materials for soil wall stabilization in oil and gas well // Universum: Технические науки, Москва. – 2025. – № 9.
6. Величко Е.Г., Белякова Ж.С. Некоторые аспекты физикохимии и механики композитов многокомпонентных цементных систем // Строительные материалы. – 1997. – № 2. – С. 21–25.
7. Talipow N.H. DosanowaG.M., TuljaganowA.A.,ReimowA.M. Die Anwendung des porösen Füllstoffs bei der Produktion von Wärmedämmstoffen // InternationaleBaustofftagung: Tagungsband. – 2018. – P. 2–1153.
8. Эркенов М.М. Изменение состава и свойств жидкой фазы в ранние сроки гидратации портландцемента/ Изв. ВУЗов. Строительство и архитектура. -1984.-№ 12.- С. 68–71.
9. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и промывочных растворов // Недра. М. – 2011.
10. Юдович Б.Э., Зубехин С.А., Фаликман В.Р., Башлыков Н.Ф. Цемент низкой водопотребности: новые результаты и перспективы // Цемент и его применение. – 2006. – № 4. – С. 80–84.

References

1. Ovchinnikov P.V. [Special grouting compositions for cementing gas wells]. Izvestiya vuzov. Neft’ i gaz, 2002, no. 6, P. 14–18. (In Russ.).
2. Mariampol’skii N.A., Savenok N.B., Savenok O.V. [Development of lightweight cements for operations with losses of grouting slurry]. Stroitel’stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more, 1997, no. 10–11, P. 26. (In Russ.).
3. Negmatov S.S., Talipov N.Kh., Abed N.S., Tulyagonova V.S., Abdullaev M.A., Pirmatov R.Kh., Eshmurodov B.B., Umarov Sh.Sh. [Investigation of the effect of microsilica on the properties of composite grouting materials used in drilling oil and gas wells]. Kompozitsionnye materialy, Tashkent, 2024, no. 2, P. 181–184. (In Russ.).

4. Chistov Yu.D., Tarasov A.S. [Development of multicomponent mineral binders]. Rossiiskii Khimicheskii Zhurnal, Moscow, 2003, vol. XLVII, no. 4, P. 12–17. (In Russ.).
5. Negmatov S.S., Abed N.S., Talibov N.X., Tulyaganova V., Abdullayev M., Rakhimov X. Investigation of rheological and mechanical properties of cement–microsilica composite grouting materials for soil wall stabilization in oil and gas well. Universum: Tekhnicheskie nauki, Moscow, 2025, no. 9, P. 37–41. (In Russ.).
6. Velichko E.G., Belyakova Zh.S. [Some aspects of the physical chemistry and mechanics of composites in multicomponent cement systems]. Stroitel’nye materialy, 1997, no. 2, P. 21–25. (In Russ.).
7. Talipow N.H., Dosanowa G.M., Tuljaganow A.A., Reimow A.M. Die Anwendung des porösen Füllstoffs bei der Produktion von Wärmedämmstoffen. Internationale Baustofftagung: Tagungsband, Weimar, 2018, P. 2–1153–2–1156. (In Russ.).
8. Erkenov M.M. [Changes in the composition and properties of the liquid phase in the early stages of Portland cement hydration]. Izvestiya VUZov. Stroitel’stvo i arkhitektura, 1984, no. 12, P. 68–71. (In Russ.).
9. Agzamov F.A., Izmukhambetov B.S., Tokunova E.F. Chemistry of grouting and flushing fluids. Nedra, Moscow,. – 2011. – 245 P. (In Russ.).
10. Yudovich B.E., Zubekhin S.A., Falikman V.R., Bashlykov N.F. [Low-water-demand cement: new results and prospects]. Tsement i ego primenenie, 2006, no. 4, P. 80–84. (In Russ.).