

Для цитирования: А.А.Крутилин, Т.В. Крапчетова, Н.А. Инькова, О.К.Пахомова. Исследование физико-химических процессов, сопровождающих коррозию цементов («слёживание») во влажном воздухе, содержащем углекислоту. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(2):103-112. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-103-112

For citation: A. A. Krutilin, T. V. Krapchetova, N.A. Inkova, O. K. Pakhomova. Research of physical and chemical processes associated with corrosion of cements ("Caking") in dampy wet air. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(2):103-112. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-103-112

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.542

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-2-103-112

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ КОРРОЗИЮ ЦЕМЕНТОВ («СЛЁЖИВАНИЕ») ВО ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ, СОДЕРЖАЩЕМ УГЛЕКИСЛОТУ

¹А.А.Крутилин, ²Т.В. Крапчетова, ¹Н.А. Инькова, ¹О.К.Пахомова

¹Волгоградский государственный технический университет (Себряковский филиал),

¹403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, Россия

²АО «Себряковцемент»,

²403343, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Индустриальная 2, Россия

Резюме. Целью работы является изучение механизма и кинетики процессов, приводящих к слёживанию цементов. **Метод.** Для определения фазового состава использовались современные физико-химические методы: РФА, дериватография и электронная микроскопия. **Результат.** Полученные данные показывают, что «лежалость» цемента при его вынужденном хранении во влажном воздухе через адсорбцию паров воды, а затем и CO₂ связана с процессами гидролиза, гидратации в поверхностных слоях частиц, в первую очередь, для наиболее реакционно способных минералов портландцементного клинкера. Углубление этих процессов зависит и от состояния корродированной поверхности минералов. **Вывод.** В результате проведённой работы можно предварительно определить условия хранения свежемолотых портландцементов (по кинетике сорбции – продолжительность хранения, по изотермам – допустимую относительную влажность), при которых величина п.п.п. товарного цемента остается стабильной в необходимое минимальное время.

Ключевые слова: механизм и кинетика процессов, фазовый состав, физико-химические методы, дериватография, электронная микроскопия, сорбция

RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES ASSOCIATED WITH CORROSION OF CEMENTS ("CAKING") IN DAMPY WET AIR

¹A. A. Krutilin, ²T. V. Krapchetova, ¹N. A. Inkova, ¹O. K. Pakhomova

¹Volgograd State Technical University (Sebryakov Branch),

¹21 Michurina Str., Volgograd region, Mikhailovka 403343, Russia

²Sebryakovtsement JSC,

²2 Industrial'naya Str., Volgograd region, Mikhailovka 403343, Russia

Abstract. Objective. The paper is aimed at clarifying the mechanism and kinetics of the processes leading to cement caking. **Methods.** To determine phase composition, the following modern physical and chemical methods were used: XRF, derivatography and electron microscopy. **Results.** The data obtained show that the "aging" of cements during their forced storage in humid air through the adsorption of water vapor, and then CO₂, is associated with the processes of hydrolysis, hydration in surface layers of particles, is primarily relevant for the most reactive minerals of Portland cement clinker. The deepening of these processes also depends on the state of the corroded surface of miner-

als. **Conclusion.** The work carried out makes it is possible to preliminarily outline storage conditions for freshly ground Portland cements (according to the kinetics of sorption – the storage duration, according to isotherms – the permissible relative humidity), at which the LOI value of commercial cement remains stable for the required minimum time.

Keywords: mechanism and kinetics of processes, phase composition, physical and chemical methods, derivatography, electron microscopy, sorption

Введение. Выпускаемые промышленностью портландцементы сразу после помола имеют величину п.п.п. порядка 1%. При транспортировке и хранении портландцементов, особенно в неблагоприятных условиях континентального климата – величина п.п.п. возрастает. Как известно, «слёживание» цемента резко усиливается в случаях выпуска «горячих» цементов. В результате в строительстве имеют дело с «лежалыми» цементами, в некоторой степени, утратившими свою гидравлическую активность, в то время как материал для строительных работ должен быть свежим. Использование его максимальных потенциальных возможностей имеет большое принципиальное и экономическое значение. Этому чрезвычайно важному вопросу до сего времени уделяется незаслуженно мало внимания.

Постановка задачи. Целью работы было изучение механизма и кинетики процессов, приводящих к слёживанию цементов, а также раскрытие роли отдельных минералов, особенностей этих процессов во времени и в условиях различной относительной влажности воздуха.

Методы исследования. Кинетику и изотермы сорбции изучали гравиметрическим методом при температуре 20-22⁰С. Бюксы с навесками клинкерных минералов – алит C₃S, белит β-C₂S, алюминат C₃A, алюмоферрит C₄AF, а так же свежемолотого портландцемента, помещали в эксикаторы, где поддерживалась различная относительная влажность воздуха с помощью следующих гигростатов (табл. 1).

Таблица 1. Относительная влажность воздуха с гигростатами
Table 1. Relative humidity with hygrometers

Относительная влажность, % Relative humidity,%	99	95	86	75	63	55	44	32
Насыщенные растворы солей Saturated salt solutions	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	KNO_3	KCl	$NaCl$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	$K_2CO_3 \cdot 2H_2O$	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$

Содержание CO₂ в эксикаторах и в атмосфере лаборатории было обычным и относительно постоянным. Помол портландцементного клинкера проводили в лабораторной мельнице с особыми предосторожностями: мельница была предварительно высушена, было выбрано жаркое время года, а после помола цемент был тщательно изолирован от воздействия паров воды и CO₂.

Минералогический состав цемента определялся рентгенофазовым методом РФА на дифрактометре ARL X'TRA: C₃S – 58,7%, белит βC₂S – 20,7%, алюминат C₃A – 6,8%, алюмоферрит C₄AF – 12,1%, SO₃ – 3,0%.

Величина п.п.п. после помола составляла 1,53%, что приблизительно соответствует содержанию кристаллизационной воды во введённом при помолу гипсовом камне. Навески цементов по 0,3 г были распределены тонким слоем по дну бюксов, которые хранились в эксикаторах и через различное время взвешивались на аналитических весах. Для определения фазового состава использовались современные физико-химические методы: РФА, дериватография и электронная микроскопия.

На кривых кинетики суммарной сорбции H₂O и CO₂ для непрокалённого алита с удельной поверхностью 4100 см²/г (по ПСХ-12) наблюдается изменение скорости сорбции на раз-

личных стадиях процесса (рис.1): от 1 до 7 суток идёт нарастание скорости сорбции, от 7 до 20 суток при различных относительных влажностях она снижается.

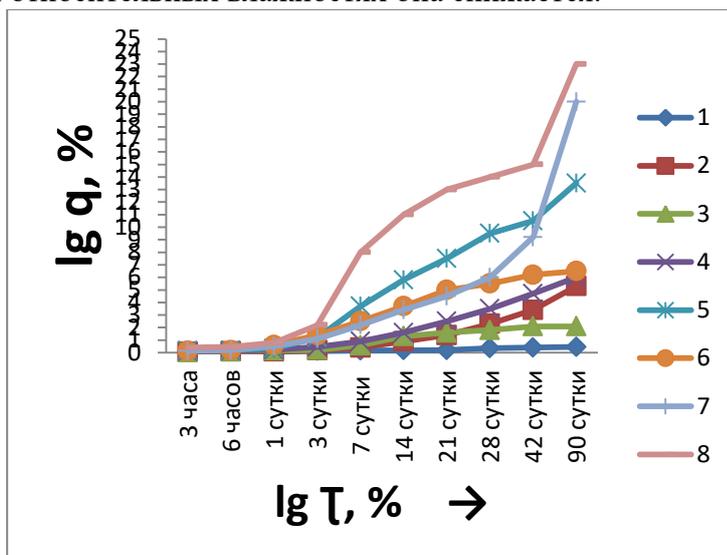


Рис. 1. Кинетика сорбции для непрокаленного C_3S ($S_1 = 4100 \text{ см}^2/\text{г}$, п.п.п. = 0,64%) при различных φ (%): 1 – 32; 2 – 44; 3 – 55; 4 – 63, 5 – 75; 6 – 86; 7 – 96; 8 – 99

Fig. 1. Kinetics of sorption for uncalcined C_3S ($S_1 = 4100 \text{ cm}^2 / \text{g}$, pp = 0.64%) at different φ (%): 1 - 32; 2 - 44; 3 - 55; 4 - 63, 5 - 75; 6 - 86; 7 - 96; 8 - 99

Кинетические кривые имеют чёткий S-образный вид. Скорости сорбции для прокалённого алита C_3S (рис.2) при различных изученных относительных влажностях мало отличаются от непрокалённого алита. Что свидетельствует о несущественном влиянии степени коррозии поверхности при малых величинах п.п.п. (1%) на сорбционную способность, в частности при относительной влажности 75% и более.

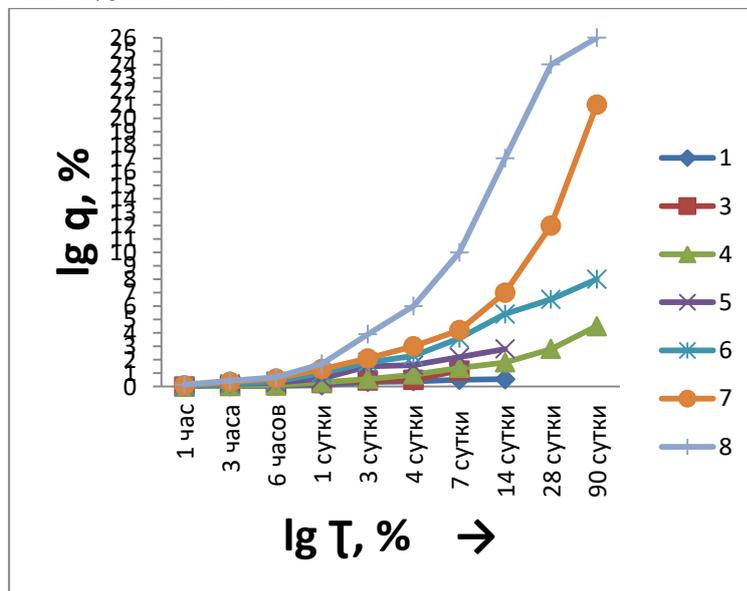


Рис. 2. Кинетика сорбции для свежeproкаленного при 800 – 900 °C C_3S ($S_1 = 4100 \text{ см}^2/\text{г}$) при различных φ (%): 1 – 32; 3 – 55; 4 – 63, 5 – 75; 6 – 86; 7 – 96; 8 – 99

Fig. 2. Kinetics of sorption for freshly calcined at 800 - 900 °C C_3S ($S_1 = 4100 \text{ cm}^2 / \text{g}$) at different φ (%): 1 - 32; 3 - 55; 4 - 63, 5 - 75; 6 - 86; 7 - 96; 8 - 99

Уменьшение тонкости помола алита мало влияет на общий характер кинетических кривых, но, естественно, несколько уменьшает величину сорбции (%), особенно при низких значениях относительной влажности. Величина сорбции для трёхкальцевого алюмината (рис.3) через 90 суток при относительной влажности 88% примерно в 3 раза выше, чем у алита при практически равной удельной поверхности исходных материалов. При относительной влажности

75% и ниже величины сорбции для C_3S и C_3A близки. Кинетические кривые для C_3A так же имеют S-образный вид.

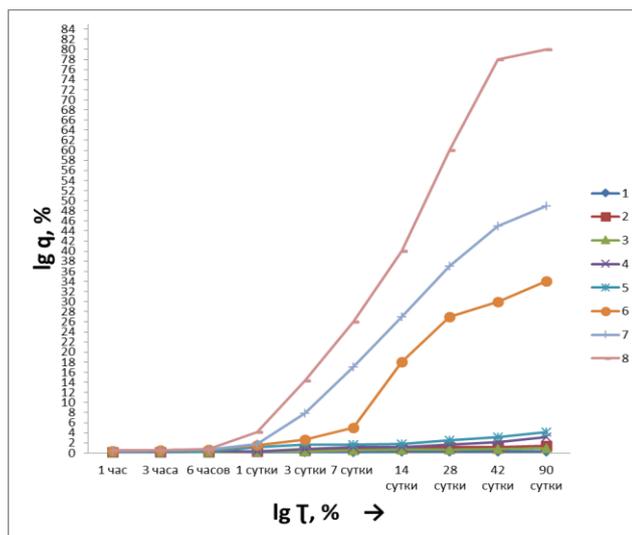


Рис. 3. Кинетика сорбции для прокаленного C_3A ($S_1 = 4050 \text{ см}^2/\text{г}$) при различных ϕ (%): 1 – 32; 2 – 44; 3 – 55; 4 – 63, 5 – 75; 6 – 86; 7 – 96; 8 – 99

Fig.3. Kinetics of sorption for calcined C_3A ($S_1 = 4050 \text{ cm}^2 / \text{g}$) at different ϕ (%): 1 - 32; 2 - 44; 3 - 55; 4 - 63, 5 - 75; 6 - 86; 7 - 96; 8 - 99

В первые часы сорбции для C_4AF (удельная поверхность $2500 \text{ см}^2/\text{г}$) в 2,5-3 раза меньше (рис.4), чем для алюмината с удельной поверхностью $4000 \text{ см}^2/\text{г}$, что объясняется более грубой дисперсностью алюмоферрита.

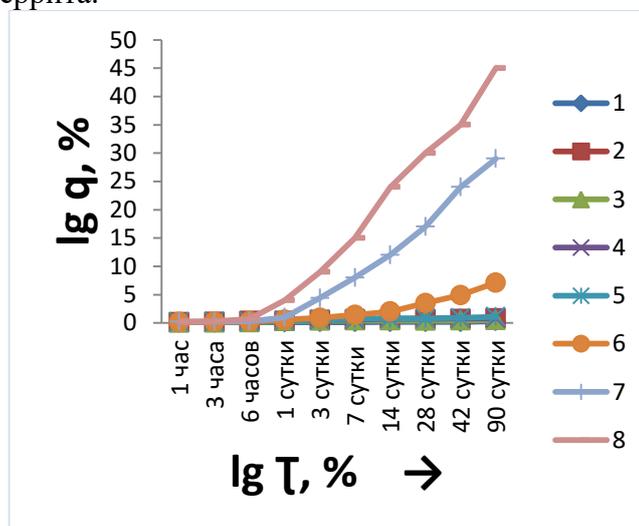


Рис. 4. Кинетика сорбции для непрокаленного C_4AF ($S_1 = 2560 \text{ см}^2/\text{г}$) при различных ϕ (%): 1 – 32; 2 – 44; 3 – 55; 4 – 63, 5 – 75; 6 – 86; 7 – 96; 8 – 99

Fig. 4. Kinetics of sorption for uncalcined C_4AF ($S_1 = 2560 \text{ cm}^2 / \text{g}$) at different ϕ (%): 1 - 32; 2 - 44; 3 - 55; 4 - 63, 5 - 75; 6 - 86; 7 - 96; 8 - 99

После 6 часов величины сорбции для алюмината и алюмоферрита сближаются и при относительной влажности 95% через 1 сутки примерно в три раза превышают сорбционную способность алита. Для алюминатных минералов и портландцемента (рис.5) характерны также весьма существенные различия в величинах сорбции и разных областях относительной влажности: равной либо меньше 75% или более 75%.

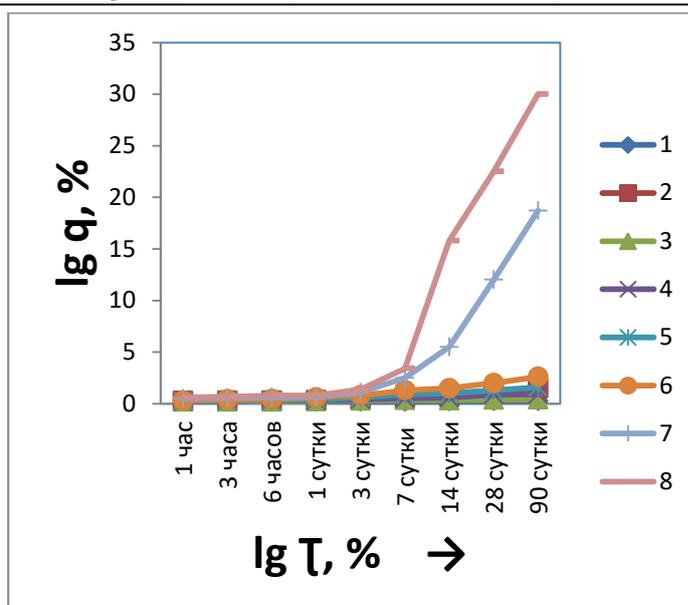


Рис.5. Кинетика сорбции для свежемолотого портландцемента ($S_1 = 4500 \text{ см}^2/\text{г}$) при различных ϕ (%): 1 – 32; 2 – 44; 3 – 55; 4 – 63, 5 – 75; 6 – 86; 7 – 96; 8 – 99

Fig. 5. Kinetics of sorption for freshly ground Portland cement ($S_1 = 4500 \text{ cm}^2 / \text{g}$) at different ϕ (%): 1 - 32; 2 - 44; 3 - 55; 4 - 63, 5 - 75; 6 - 86; 7 - 96; 8 – 99

По своей сорбционной способности по отношению к парам воды и CO_2 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ резко отличается от других исследованных минералов (табл.2) при относительной влажности менее 55% поглощение влаги практически не происходит вплоть до 3-х месяцев, а при влажности 99% сорбция становится заметной только через 24 часа.

Таблица 2. Увеличение массы (сорбции, %) у свежепрокалённого при 800-900 $^\circ\text{C}$ $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (удельная поверхность 3000 $\text{см}^2/\text{г}$)
 Table 2. Increase in mass (sorption, %) in freshly calcined at 800-900 $^\circ\text{C}$ $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (specific surface area 3000 cm^2/g)

Относительная влажность, % Relative humidity, %	Время выдерживания во влажных условиях, сут. Holding time in humid conditions, days							
	1	4	7	14	21	28	42	90
32	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0,30	0,33	0,23	0,23	0,33	0,48
63	0	0	0,10	0,10	-	-	-	-
75	0	0	0,20	0,33	0,20	0,29	-	-
86	0	0	0,20	0,20	0,07	-	0,33	0,44
95	0	0	0,13	0,26	-	-	-	-
99	0,34	0,55	0,45	0,89	0,33	0,27	0,86	0,79

Как видно, сорбция для $\beta\text{-C}_2\text{S}$ очень мала и не может быть определена достаточно точно вследствие малой величины взятых навесок (по 0,3г). Кроме того, агрегирование частиц $\beta\text{-C}_2\text{S}$ может вносить некоторые изменения в процесс сорбции. По этим причинам для получения низких величин сорбции белита наблюдается разброс их значений. Однако, и при этих условиях изотермы сорбции для $\beta\text{-C}_2\text{S}$ имеют тот же характер, что и для других минералов. Следует отметить, что для алита (удельная поверхность 4100 $\text{см}^2/\text{г}$ и 2800 $\text{см}^2/\text{г}$) при относительной влажности равной либо менее 63% сорбция паров воды практически отсутствует в течении первых 6 часов, но за сутки достигает 1%.

По величинам сорбции свежемолотый портландцемент близок к алиту с удельной поверхностью 4100 $\text{см}^2/\text{г}$. Но интервал относительной влажности, соответствующий наличию плато на изотермах сорбции для портландцемента – шире (рис.6). Это может быть связано с наличием в нём минерала C_4AF (рис.10).

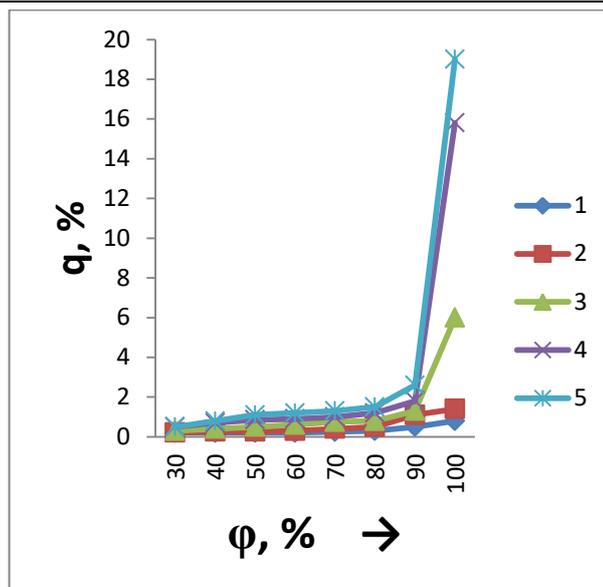


Рис. 6. Изотермы сорбции при 21 ± 1 °C для свежемолотого портландцемента ($S_1 = 4500 \text{ cm}^2/\text{г}$)

Fig. 6. Sorption isotherms at 21 ± 1 °C for freshly ground Portland cement ($S_1 = 4500 \text{ cm}^2/\text{g}$)

Следует учитывать, что наряду с адсорбцией паров воды твёрдой поверхностью цементов с образованием мономолекулярного слоя, в порах между частицами происходит так же капиллярная конденсация паров воды после образования там менисков жидкости и тем интенсивнее, чем выше относительная влажность. Область плато на изотермах сорбции, очевидно, соответствует образованию монослоя; резкий подъем кривых при относительной влажности более 75% связан с образованием полимолекулярных слоёв и капиллярной конденсацией. У «лежалого» алита свободная вода появляется при сорбции 1,3%, а при сорбции 2,7% свободная вода уже имеется в количестве 0,3%.

Следовательно, цемент, хранящийся длительное время при высокой влажности, находится в условиях, когда наиболее вероятны процессы его поверхностной гидратации и гидролиза с образованием малорастворимых, обычных для этих процессов продуктов – гидратов в виде тонких плёнок на поверхности исходных частиц мономинералов.

В случае алита после образования плёнок жидкой воды между частицами мономинерального цемента происходит его растворение и гидролиз с образованием насыщенного (и пересыщенного) раствора извести; последний, как известно, является хорошим поглотителем CO_2 . Вследствие поглощения CO_2 из воздуха при хранении цемента происходит карбонизация возникших продуктов гидратации и гидролиза с образованием CaCO_3 в качестве вторичного продукта.

Таким образом, в случае алита сначала сорбируется преимущественно вода, а в дальнейшем так же и CO_2 . Различие в характере и интенсивности сорбции паров воды и разных областях относительной влажности и через различное время находит отражение в форме изотерм сорбции.

Для алита с удельной поверхностью $4100 \text{ cm}^2/\text{г}$ (рис.7) в течении первых 8-14 суток пребывание во влажном воздухе характерно наличие отчётливого плато на изотермах сорбции в области относительной влажности 45-75%, которая со временем исчезает вследствие поглощения CO_2 . Величина сорбции этой части S-образных изотерм изменяется мало или практически остается постоянной и составляет 1-1,5% в период менее 16 суток. Это может быть связано с образованием адсорбционных слоёв воды определённой толщины.

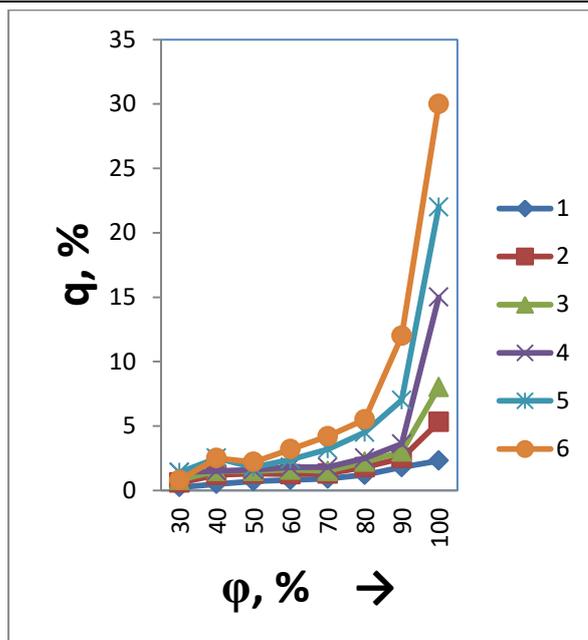


Рис.7. Изотермы сорбции при 21 ± 1 °C для свежепрокаленного при 900 – 1000 °C C_3S ($S_1 = 4100 \text{ cm}^2/\text{г}$)
 Fig. 7. Sorption isotherms at 21 ± 1 °C for freshly calcined at 900 - 1000 °C C_3S ($S_1 = 4100 \text{ cm}^2/\text{g}$)

В полимолекулярных адсорбционных слоях воды и особенно при относительной влажности 75-80% интенсивно развивается капиллярная конденсация и происходит растворение поверхностных слоёв частиц минералов, что приводит к образованию соответствующих гидратов. Это подтверждается данными дериватографических исследований (рис.8). наиболее интенсивно с ростом значения сорбции для алита возрастает содержание $CaCO$ и гидросиликатов кальция.

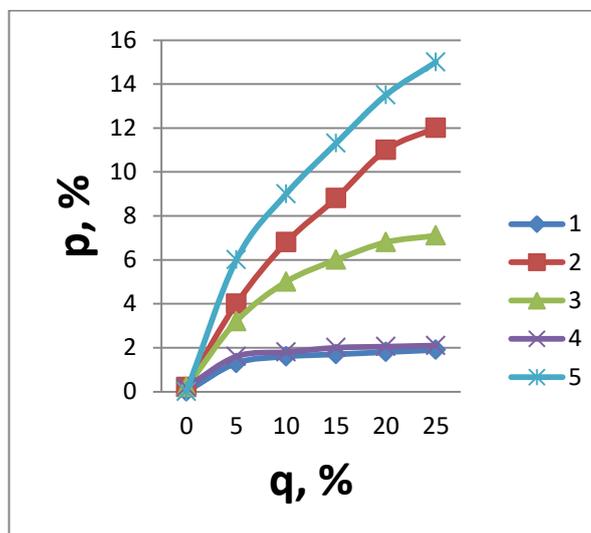


Рис. 8. Зависимость содержания (p,%) свободной воды (1), воды в составе гидроксида кальция (2), CO_2 (3), $Ca(OH)_2$ (4) и $CaCO_3$ (5) от общей величины сорбции (q, %) алита после его выдерживания во влажном воздухе (по данным дериватографии)
 Fig. 8. Dependence of the content (p,%) of free water (1), water in the composition of calcium hydroxide (2), CO_2 (3), $Ca(OH)_2$ (4) and $CaCO_3$ (5) on the total sorption value (q,%) of alite after keeping in humid air (according to derivatography data)

Из цементов из C_3A (рис.9) в области относительной влажности 45-70% на изотермах сорбции так же наблюдается отчётливое плато, которое, однако, в отличие от алита сохраняется вплоть до 28 суток, т.к. очевидно в этом случае не имеет места интенсивное поглощение CO_2 из воздуха на этот период.

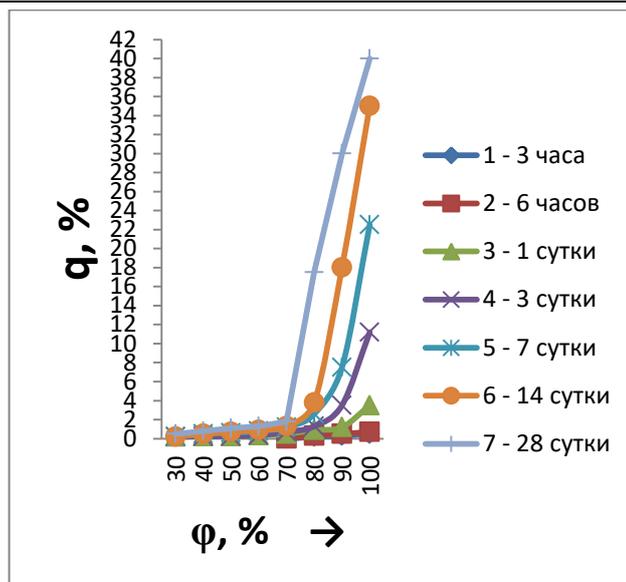


Рис. 9. Изотермы сорбции при 21 ± 1 °C для не прокаленного C_3A ($S_1 = 4050 \text{ см}^2/\text{г}$)
 Fig. 9. Sorption isotherms at 21 ± 1 °C for uncalcined C_3A ($S_1 = 4050 \text{ см}^2/\text{г}$)

Аналогичная картина наблюдается для цемента из C_4AF (рис.10) и портландцемента (рис.6) до 28 суток. Очевидно, в последнем случае исчезновение плато и более крутой подъем изотерм сорбции будут иметь место позже и в менее интенсивной степени, чем для минерала алита.

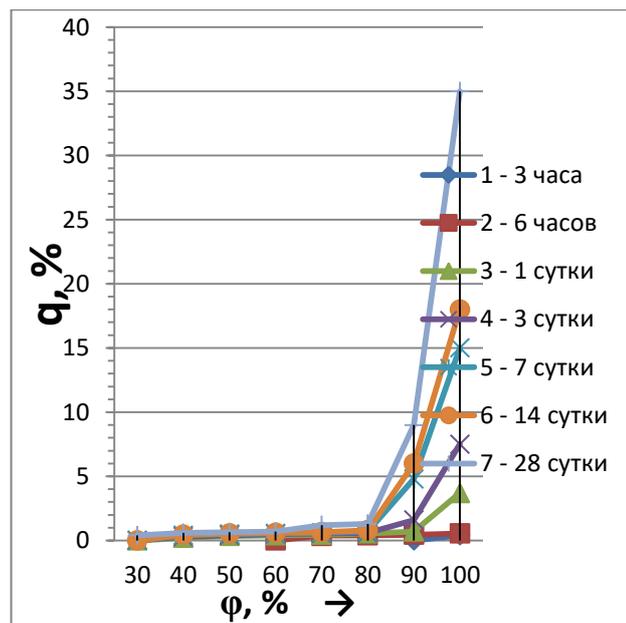


Рис. 10. Изотермы сорбции при 21 ± 1 °C для не прокаленного C_4AF ($S_1 = 2560 \text{ см}^2/\text{г}$)
 Fig. 10. Sorption isotherms at 21 ± 1 °C for uncalcined C_4AF ($S_1 = 2560 \text{ см}^2/\text{г}$)

Обсуждение результатов. Различный характер изотерм сорбции для алита и алюминатных минералов на поздних стадиях процесса и в наших опытах показывает разную химическую природу минералов и принципиально разный ход процессов взаимодействия их с водой. В первом случае гидратация сопровождается гидролизом, интенсивным накоплением извести с образованием её насыщенных растворов, активно поглощающих CO_2 . Во втором случае CO_2 связано, главным образом, с его химическим взаимодействием с гидратами и образованием гидрокарбоалюмината кальция, а затем его постоянным разложением. Полученные данные показывают, что «лежалость» цемента при их вынужденном хранении во влажном воздухе через адсорбцию паров воды, а затем и CO_2 связана с процессами гидролиза, гидратации в поверхностных слоях частиц, в первую очередь для наиболее реакционно способных минералов портланд-

цементного клинкера. Углубление этих процессов зависит и от состояния корродированной поверхности минералов. Комкование, по-видимому, происходит в результате связывания – «цементации» отдельных частиц цемента кристаллическими продуктами гидратации и гидролиза минералов цемента, а так же вторичными продуктами карбонизации гидратов.

Вывод. В результате проведённой работы можно предварительно наметить условия хранения свежемолотых портландцементов (по кинетике сорбции – продолжительность хранения, по изотермам – допустимую относительную влажность), при которых величина п.п.п. товарного цемента остается стабильной необходимое минимальное время.

Цемент при +20⁰С следует изолировать от воздействия влаги при относительной влажности 75% и более. Коррозия цемента зависит от его минералогического состава. Минералы пртландцемента обладают резко различной сорбционной способностью. Тонкость помола исследованных цементов в изученных пределах 2800-4100 см²/г мало влияет на величины их сорбции. «Лежалые» цементы твердеют при затворении, но этим процессам мешают возникшие коррозионные плёнки. Структура цементного камня на «лежалом» цементе будет иметь другие физические характеристики, что многократно наблюдалось практически.

Библиографический список:

1. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Повышение эффективности залежалого цемента путем механоактивации. Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. XVII Международная научно-практическая конференция: сборник статей. Редактор: В. А. Селезнев, И. А. Лушкин. 2015. С. 15-19.
2. Головизнина Т.Е. Влияние длительного хранения на свойства цементов. В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации. Сб. докл. межд. научно-практической конференции. 2016. С. 70-74.
3. Ильина Л.В. Повышение прочностных характеристик цементных композитов на основе цемента длительного хранения. Фундаментальные исследования. 2011. № 12 (часть 1). С. 112-116.
4. Классен В.К., Михин А.С. Анализ изменения активности клинкера на ОАО "Себряковцемент". Фундаментальные исследования. 2006. № 2. С. 63.
5. Козлова В.К., Григорьев В.Г., Малова Е.Ю., Божок Е.В., Мануйлов Е.В. Сравнительные результаты определения фазового состава и микроструктуры клинкеров методами физико-химического анализа. Цемент и его применение. 2013. № 3. С. 34-38.
6. Лотов В.А. Изменение фазового состава системы цемент-вода при гидратации и твердении. Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 3. С. 42-45.
7. Назимов С.А., Чиркин Д.Б. Определение показателей качества цемента при помощи автоматических анализаторов. Цемент и его применение. 2017. № 2. С. 63-65.
8. Саввинова М.Е. Исследование прочности образцов из залежалого цемента. В сборнике: Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. 2019. С. 48-51.
9. Тутов Е.А., Голощапов Д.Л., Гребенкин С.Д., Артамонова О.В. Сорбция паров воды на поверхностно-модифицированном портландцементе. В сборнике: Физико-химические основы ионообменных и хроматографических процессов - "Иониты-2017". Материалы XV Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию открытия хроматографии и 100-летию Воронежского государственного университета. Редактор: В.Ф. Селеменев. 2017. С. 318-320.
10. Чулкова И.Л., Галдина В.Д. Влияние состава жидкой фазы на процесс твердения цементов. Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 12. С. 48-54.

References:

1. Andreyeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Davaasenge S.S., Savvinova M.Ye. Povysheniye effektivnosti zalezhalogo tsementa putem mekhanoaktivatsii. [Andreyeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Davaasenge S.S., Savvinova M.E. Increasing the efficiency of stale cement by mechanical activation. In the collection: Cities of Russia: problems of construction, engineering, improvement and ecology. XVII International Scientific and Practical Conference: collection of articles. editor: V. A. Seleznev, I. A. Lushkin. 2015. pp. 15-19. (In Russ)]
2. Goloviznina T.Ye. Vliyaniye dlitel'nogo khraneniya na svoystva tsementov. V sbornike: Naukoyemkiye tekhnologii i innovatsii. Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Goloviznina T.E. The influence of long-term storage on the properties of cements. In the collection: Science-intensive technologies and innovations. Collection of reports of the international scientific and practical conference. 2016. pp. 70-74. (In Russ)]
3. Il'ina L.V. Povysheniye prochnostnykh kharakteristik tsementnykh kompozitov na osnove tsementa dlitel'nogo khraneniya. Fundamental'nyye issledovaniya [Ilyina L.V. Improving the strength characteristics of cement composites based on long-term storage cement. Basic research. 2011. No. 12 (part 1). pp. 112-116. (In Russ)]

4. Klassen V.K., Mikhin A.S. Analiz izmeneniya aktivnosti klinkera na OAO "Sebryakovtsement". Fundamental'nyye issledovaniya. [Klassen V.K., Mikhin A.S. Analysis of changes in the activity of clinker at JSC "Sebryakovtsement". Basic research. 2006. No. 2.P. 63. (In Russ)]
5. Kozlova V.K., Grigor'yev V.G., Malova Ye.YU., Bozhok Ye.V., Manuylov Ye.V. Sravnitel'nyye rezul'taty opredeleniya fazovogo sostava i mikrostruktury klinkerov metodami fiziko-khimicheskogo analiza. Tsement i yego primeneniye. [Kozlova V.K., Grigoriev V.G., Malova E.Yu., Bozhok E.V., Manuylov E.V. Comparative results of determining the phase composition and microstructure of clinkers by methods of physical and chemical analysis. Cement and its application. 2013. No. 3. pp. 34-38. (In Russ)]
6. Lotov V.A. Izmeneniye fazovogo sostava sistemy tsement-voda pri gidratatsii i tverdenii. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. [Lotov V.A. Change in the phase composition of the cement-water system during hydration and hardening. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. T. 321. No. 3. pp. 42-45. (In Russ)]
7. Nazimov S.A., Chirkin D.B. Opredeleniye pokazateley kachestva tsementa pri pomoshchi avtomaticheskikh analizatorov. Tsement i yego primeneniye. [Nazimov S.A., Chirkin D.B. Determination of cement quality indicators using automatic analyzers. Cement and its application. 2017. No. 2. pp. 63-65. (In Russ)]
8. Savvinova M.Ye. Issledovaniye prochnosti obraztsov iz zalezhalogo tsementa. V sbornike: Perspektivnyye nauchnyye issledovaniya: opyt, problemy i perspektivy razvitiya. Sbornik statey po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Savvinova M.E. Investigation of the strength of samples from stagnant cement. In the collection: Perspective scientific research: experience, problems and development prospects. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. 2019.pp. 48-51. (In Russ)]
9. Tutov Ye.A., Goloshchapov D.L., Grebenkin S.D., Artamonova O.V. Sorbtsiya parov vody na poverkhnostno-modifitsirovannom portlandtsemente. V sbornike: Fiziko-khimicheskiye osnovy ionoobmennyykh i khromatograficheskikh protsessov - "Ionity-2017". [Tutov E.A., Goloshchapov D.L., Grebenkin S.D., Artamonova O.V. Sorption of water vapor on surface-modified Portland cement. In the collection: Physical and chemical foundations of ion exchange and chromatographic processes - "ion exchangers-2017". Materials of the XV International Scientific and Practical Conference dedicated to the 115th anniversary of the discovery of chromatography and the 100th anniversary of Voronezh State University. Editor: V.F. Selemenev. 2017.pp. 318-320. (In Russ)]
10. Chulkova I.L., Galdina V.D. Vliyaniye sostava zhidkoy fazy na protsess tverdeniya tsementov. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. [Chulkova I.L., Galdina V.D. Influence of the composition of the liquid phase on the process of hardening of cements. Industrial and civil construction. 2019.No. 12. pp. 48-54. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Александр Александрович Крутилин, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; kotyra84@bk.ru

Татьяна Владимировна Крапчетова, инженер-аналитик, iwankra@mail.ru

Надежда Александровна Инькова, старший преподаватель, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; coyote@bk.ru

Олеся Константиновна Пахомова, старший преподаватель, кафедра «Строительные материалы и специальные технологии»; pahomovaolesia@yandex.ru

Information about the authors:

Alexander A.Krutilin, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Materials and Special Technologies; kotyra84@bk.ru

Tatiana V. Krapchetova, Analytical Engineer, iwankra@mail.ru

Nadezhda A.Inkova, Senior Lecturer, Department of Building Materials and Special Technologies, coyote@bk.ru

Olesya K.Pakhomova, Senior Lecturer, Department of Building Materials and Special Technologies; pahomovaolesia@yandex.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.03.2021.

Принята в печать 15.04.2021.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.03.2021.

Accepted for publication 15.04.2021.