

УДК: 691.545
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.9
EDN: JGJHVI



Влияние пластифицирующих добавок на коррозионную стойкость композиционных портландцементов

Е.Ю. Ермилова^{1,2}, З.А. Камалова¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

²ООО «ИЦ ВСТ», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Рост объемов строительства уникальных, высокотажных сооружений с заглубленными свайными фундаментами и подземными парковками, строительство, реконструкция и ремонт ответственных гидротехнических сооружений, ставит перед учеными и исследователями необходимым изучение коррозионных свойств широко распространенных в последнее время композиционных портландцементов, особенно на основе термоактивированных глин и карбонатов. Большую роль, как в изготовлении высокотехнических гидротехнических бетонов, так и применительно к композиционным цементам с минеральными добавками, играют супер- и гиперпластификаторы. *Целью работы* явилось исследование коррозионной стойкости композиционных портландцементов с добавками термоактивированных глин и карбонатных пород как отдельно, так и совместно с пластификаторами. *Задачами исследования* явились оценка коррозионной стойкости в возрасте 6 месяцев композиционного цементного камня и изучение показателей его прочности в зависимости от вида пластификатора и минеральной добавки в портландцемент.

Результаты. Коррозионная стойкость исследуемых образцов композиционных портландцементов с добавками термоактивированных глин и карбонатов, как с пластификаторами, так и без них, была выше 0,8. При этом, использование пластификаторов позволяет повысить коррозионную стойкость композиционного цементного камня в среднем на 5-30 % в зависимости от типа пластифицирующей добавки, типа минеральной добавки и агрессивной среды.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в возможности применения составов композиционных портландцементов с добавками термоактивированных глин и карбонатов, как в сочетании с пластификаторами, так и без них, при изготовлении бетонов, подвергающихся коррозионному воздействию жидких сред при эксплуатации.

Ключевые слова: композиционный портландцемент, коррозионная стойкость, минеральные добавки, термоактивированная глина, известняк

Для цитирования: Ермилова Е.Ю., Камалова З.А. Влияние пластифицирующих добавок на коррозионную стойкость композиционных портландцементов // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 102-111, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.9, EDN: JGJHVI

The influence of plasticizing additives on the composite Portland cements corrosion resistance

E.Yu. Ermilova^{1,2}, Z.A. Kamalova¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

²IC VST LLC, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* In connection with the increase in the volume of construction of unique, high-rise buildings with deep pile foundations and underground parking and construction, reconstruction and repair of important hydraulic structures, it is necessary for scientists and researchers to study the corrosion properties of composite Portland cements, which have become widespread recently, especially those based on thermally activated clays and carbonates. Super- and hyperplasticizers play a major role both in the manufacturing of high-tech hydraulic concretes and in relation to composite cements with mineral additives. *The purpose of the work* was to study the corrosion resistance of composite Portland cements with additives of thermally activated clays and carbonate rocks, both separately and together with plasticizers. *The objectives of the study* were to assess the corrosion resistance of composite cement stone at the age of 6 months and to study the effect of plasticizing additives on corrosion properties depending on the type of plasticizer.

Results. The corrosion resistance of the studied samples of composite Portland cements with additives of thermally activated clays and carbonates, both with and without plasticizers, was higher than 0.8. At the same time, the use of plasticizers allows increasing the corrosion resistance of composite cement stone by an average of 5-30% depending on the type of plasticizing additive, the type of mineral additive and the aggressive environment.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the possibility of using compositions of composite Portland cements with additives of thermally activated clays and carbonates, both in combination with plasticizers and without them, in the manufacture of concretes exposed to the corrosive effects of liquid environments during operation.

Keywords: composite cement, corrosion resistance, mineral additive, thermally activated clay, limestone

For citation: Ermilova E.Yu., Kamalova Z.A. The influence of plasticizing additives on the composite Portland cements corrosion resistance // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p. 102-111, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.9, EDN: JGJHVI

1. Введение

Строительство уникальных, ответственных и многоэтажных зданий с развитой подземной инфраструктурой (многоуровневые парковки) и фундаментами свайного типа, приводит к тому, что перед учеными стоит задача получения высокоэффективных, с точки зрения коррозионных свойств, гидротехнических бетонов [1,2] и призванных обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики при условии постоянного или периодического воздействия воды [3].

Для их изготовления чаще всего применяется сульфатостойкий цемент, коррозионная стойкость в котором обеспечивается ограниченным содержанием до 7-8 % трехкальциевого алюмината [4]. В условиях кислотной коррозии ограничивается также до 50 % содержание трехкальциевого силиката [4].

Согласно ГОСТ 31384-2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования» для обеспечения коррозионной стойкости помимо сульфатостойкого цемента используют также портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент и глиноземистый цемент в зависимости от конкретной задачи.

В результате гидратации портландцемента в сульфатной среде происходит вторичное образование этtringита ($\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) и, возможно, также гипса

($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [5]. С целью минимизации негативного влияния этих образований в последнее время, внимание ученых направлено на исследование поведения композиционных портландцементов в агрессивных средах [6,7]. Композиционные портландцементы широко применяются как в РФ [8,9], так и за рубежом [10,11], в качестве альтернативных вяжущих традиционному бездобавочному портландцементу и шлакопортландцементу. Использование в их составе минеральных добавок различного происхождения приводит к формированию более плотной структуры цементного камня, а также изменению его химико-минерального состава, что позволяет получать коррозионностойкие материалы с пониженной открытой пористостью, и как следствие, пониженным водопоглощением, деформативными свойствами, повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью за счет увеличенного количества новообразований, заполняющих эти открытые поры [2,12]. Кроме того, введение минеральных добавок позволяет корректировать химический состав исходного портландцемента [13].

Еще в середине прошлого столетия командой ученых под руководством И.С. Канцельпольского была экспериментально доказана эффективность введения в количестве 20% термоактивированных каолиновых глин при температуре до 750°C [14], с целью получения пуццолановых портландцементов, морозостойкость, прочность, водонепроницаемость которых не только не уступала бы бездобавочному, но и превосходила его по коррозионной стойкости.

В работе [15] отмечается повышенная сульфатостойкость композиционных цементов с содержанием 30% кальцинированных глин (иллит, монтмориллонит и каолинит) при воздействии 0,44 % раствора Na_2SO_4 при 5 и 20°C в течение шести месяцев. Исследования других ученых [5] показали, что на эксплуатационные характеристики термоактивированных иллитовых глин сказывается степень замены ими портландцемента и содержания трехкальциевого алюмината в последнем.

С другой стороны, в работах ученых [7,16] говорится о наличии так называемого синергетического эффекта от применения термоактивированных глин совместно с карбонатами. Это приводит к образованию монокарбоалюминатов и гемикарбоалюминатов, которые осаждаются в порах совместно со структурой C-A-S-H, что эффективно способствует уменьшению пористости и увеличению прочности, и как следствие повышению коррозионной стойкости цементного камня.

Однако, в цементном камне возможно протекания процесса образования таумасита ($\text{Ca}_6[\text{Si}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$), который изучен не полностью. Одни исследователи считают, что его образование связано с растворением карбонатов при наличии сульфатного воздействия, другие говорят о переходе этtringита в таумасит [12].

Кроме того, при создании современных высокопрочных бетонов особенно широко применяются супер и гиперпластификаторы [2,3]. Однако, работ, посвященных влиянию пластифицирующих добавок на коррозионные свойства композиционного цементного камня на основе карбонатных пород и термоактивированных глин пока что мало. В работе [17] отмечается высокая диспергирующая способность современных суперпластификаторов в смеси с термоактивированными глинами, что необходимо для снижения водопоглощения, количества пор, и как следствие, повышения плотностью, прочности и коррозионной стойкости. Исследования измерения дзета-потенциала и изотермы адсорбции [18] показали, что при заполнении пор цемента прокаленные глины изначально имеют отрицательный поверхностный заряд, но после сорбции ими огромного количества Ca^{2+} , поликарбоксилатные пластификаторы могут адсорбироваться на поверхности глинистых частиц, в то время как обычно адсорбция происходит в их аморфных слоях, в частности, это показано для метакаолинита в работе [19], что приводит к снижению диспергирующей способности пластификаторов.

В связи с этим, цель работы заключается в изучении влияния пластификаторов на показатели коррозионной стойкости композиционных портландцементов с добавками термоактивированных глин и карбонатных пород.

Основными задачами исследования является оценка коррозионной стойкости в возрасте 6 месяцев композиционного цементного камня и изучение влияния

пластифицирующих добавок на коррозионные свойства в зависимости от вида пластификатора.

2. Материалы и методы

Для проведения эксперимента был принят портландцемент ОАО «Вольскцемент» марки ЦЕМ I 42,5 Н (табл. 1) (содержание C_3S – 68,0; C_2S – 10,0; C_3A – 3,7; C_4AF – 15% от массы вещества).

В качестве минеральных добавок применялись: термоактивированная полиминеральная глина ТГ (минеральный состав: кварц – 35,8 %, монтмориллонит – 17,9 %, плагиоклаз – 17,4 %, ортоклаз – 14,8 %, слюда – 6,0 %, каолинит 4,1 %, хлорит – 4,1 %), подвергнутая термоактивации в лабораторной электропечи SNOL-7,2/1100 со скоростью подъема температуры – 3 °С/мин [20], и известняк с содержанием кальцита 99 % Добрянтинского месторождения Владимирской области (И).

Для оценки влияния пластифицирующих добавок на коррозионные свойства были выбраны зарекомендовавшие себя на строительном рынке пластификаторы:

- отечественный суперпластификатор СП-1 (ТУ 6-36-0204229-625-90 с изм. 1,2) на основе β -нафталинсульфокислоты и сульфата натрия. Вводился в количестве 1% от массы портландцемента.

- гиперпластификатор Pantarhit PC 160 Plv (Plv) – используется в качестве пластификатора нового поколения на основе полиакриловой кислоты. Обладает наименьшей активностью к минералам портландцемента. Вводился в количестве 0,75 % от массы портландцемента.

В таблице 1 приведены данные химического состава экспериментальных материалов. Содержание минеральных добавок в композиционном портландцементе составило 20 % от его массы. Удельная поверхность минеральных компонентов согласно предыдущим исследованиям [21] авторов была принята равной 500 м²/кг.

Таблица 1

Химический состав экспериментальных материалов

Химический состав в % от массы	Портландцемент	Известняк И	Глина ТГ
SiO ₂	20,4	1,2	64,6
Fe ₂ O ₃	4,4	0,07	7,3
CaO	63,0	54,6	2,15
Al ₂ O ₃	4,6	0,1	13,95
MgO	1,6	1,0	2,17
SO ₃	3,1	-	< 0,05
K ₂ O	-	-	1,96
Na ₂ O	-	-	0,99
Na ₂ O _{экв}	0,6	-	2,27
ZrO	-	-	0,87
TiO ₂	-	-	1,96
MnO	-	-	0,11
P ₂ O ₅	-	-	0,10

Для проведения испытаний готовились образцы-кубики со стороной грани 2 см. Коррозионная стойкость определялась согласно методике В.В. Кинда: образцы после воздушно-влажностного хранения по истечении первых суток помещались в 5% растворы следующих агрессивных сред: сульфата натрия, как наиболее часто встречаемой неблагоприятной для цементных бетонов среды, и азотной кислоты, как наиболее агрессивной кислоты. Каждые 2 месяца производилась замена раствора кислот из расчета 100 мл на каждый образец. Некоторая часть образцов находилась в это же время в дистиллированной воде.

Другая часть образцов хранилась в нормально влажностных условиях при температуре (20±2)° С и относительной влажности воздуха не менее 95 %. Таким образом определялось выщелачивание из образцов образовавшегося гидроксида кальция.

Коррозионная стойкость определялась согласно методике В.В. Кинда, по которой коррозионностойкими являются образцы с коэффициентом более 0,8. Коэффициент коррозионной стойкости вычислялся как отношение прочности образца, хранившегося в агрессивной среде к прочности образца, хранившегося в воде одинаковое количество времени.

3. Результаты и обсуждение

Из графика на рис. 1 следует, что при добавлении 1 % суперпластификатора СП-1 прочность образцов повышается на 6 %, известняком в количестве 20 % предел прочности на сжатие составил 78 % от прочности бездобавочного образца, а с добавкой термоактивированной глины при замене портландцемента в количестве 20% прочность составила 63 %.

Совместное введение СП-1 и минеральной добавки повысило прочность цементного камня. При этом предел прочности на сжатие составил 95 % и 76 % от прочности бездобавочного образца соответственно для добавки известняка и глины. Если сравнивать с пределом прочности цементного камня без пластификатора, то прочность образцов с минеральными добавками и СП-1 увеличилась на 4 и 19 % соответственно.

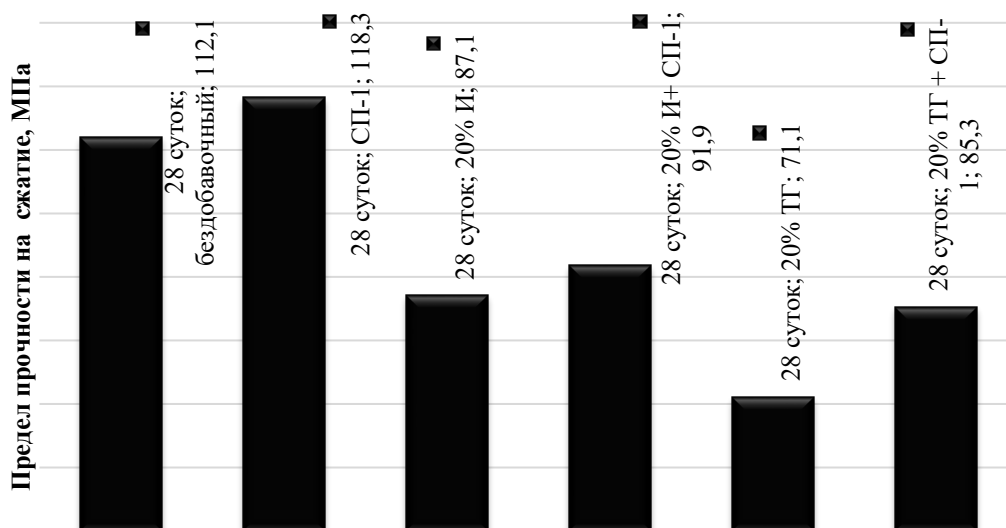


Рис. 1. График изменения предела прочности на сжатие в возрасте 28 суток при хранении в нормально влажностных условиях с применением СП-1 в зависимости от вида добавки (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Graph of compressive strength changes at the age of 28 days in normal humidity conditions using SP-1, depending on the additive type (illustration by the authors)

В таблице 2 представлены результаты прочности на сжатие образцов как традиционного бездобавочного, так и композиционного цементного камня в возрасте 6 месяцев с применением пластификатора СП-1 и без так него в зависимости от влияния агрессивной среды.

Таблица 2

Предел прочности на сжатие образцов композиционного цементного камня с СП-1 и без него

Вид добавки	Прочность цементного камня, МПа		
	Коррозионная стойкость в среде:		
	Дистиллированная вода	раствор сульфата натрия 5%	раствор азотной кислоты 5%
Без добавки	$\frac{104,5}{0,93}$	$\frac{103,4}{0,99}$	$\frac{108}{1,03}$
1% СП-1	$\frac{102,8}{0,87}$	$\frac{110}{1,07}$	$\frac{109,1}{1,06}$

Окончание таблицы 2

20% И (известняк)	$\frac{98,9}{1,14}$	$\frac{89,7}{0,91}$	$\frac{98,7}{1,00}$
20 % И и 1% СП-1	$\frac{102,6}{1,12}$	$\frac{90,8}{0,88}$	$\frac{93,2}{0,91}$
20% ТГ (термоактивированная глина)	$\frac{69,7}{0,98}$	$\frac{64,1}{0,92}$	$\frac{69,5}{1,00}$
20 % ТГ и 1% СП-1	$\frac{82,8}{0,97}$	$\frac{86,1}{1,04}$	$\frac{90,5}{1,09}$

Из таблицы 2 следует, что наилучшие показатели прочности и соответственно коррозионной стойкости показали все образцы при нахождении их в растворе азотной кислоты. Наблюдается незначительное повышение прочности у образца с добавкой СП-1 в среде 5-го раствора сульфата натрия.

Для образцов, хранившихся в дистиллированной воде предел прочности на сжатие по сравнению с пределом прочностью на сжатие образцов, составил для бездобавочного образца – 93 %, для образцов с добавкой известняка – 114 %, термоактивированной глины – 98%. При использовании пластификатора СП-1 прочность составила 112 % и 97 % для известняка и термоактивированной глины соответственно.

Предел прочности образцов композиционного цементного камня, при воздействии 5-го раствора сульфата натрия составил 91-92 % соответственно для добавок известняка и термоактивированной глины.

Введение пластификатора СП-1 увеличивает предел прочности на сжатие до 88 % и 104 % по сравнению с пределом прочности образца бездобавочного цементного камня.

В случае с агрессивной средой 5-го раствора азотной кислоты с целым предел прочности образцов не снизился по сравнению с пределом прочности на сжатие бездобавочных образцов.

Введение пластификатора СП-1 позволяет получить предел прочности образцов равный 91 % и 109 % для композиционного цементного камня с добавками известняка и термоактивированной глины соответственно.

Из диаграммы на рис. 2 видно, что введение в цемент гиперпластификатора Pantarhit PC 160 Plv в количестве 0,75 % от его массы, приводит к повышению предела прочности на сжатие бездобавочного цементного камня на 9 %, а при замещении 20 % портландцемента добавкой молотого известняка прочность составила 91 % от прочности бездобавочного образца. В то время как предел прочности на сжатие с добавкой термоактивированной глины составил 78 %.

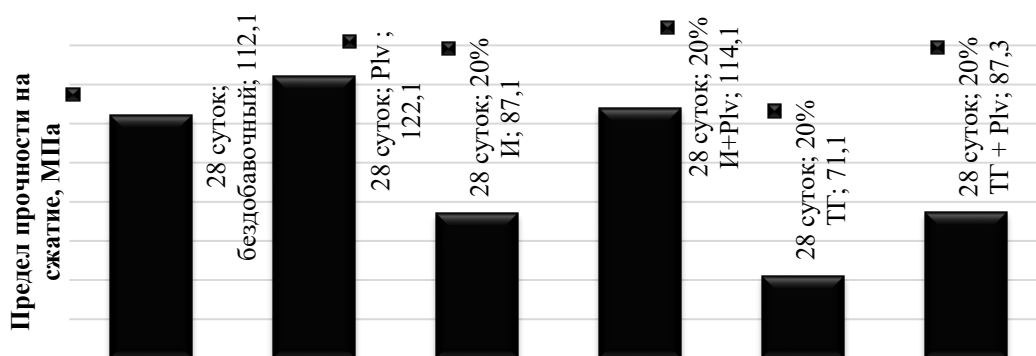


Рис. 2. График изменения предела прочности на сжатие в возрасте 28 суток при хранении в нормально влажностных условиях с применением Pantarhit PC 160 Plv в зависимости от вида добавки (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graph of changes in compressive strength at the age of 28 days in at normal humidity conditions using Pantarhit PC 160 Plv depending on the type of the additive (illustration by the authors)

В таблице 3 представлены результаты испытаний образцов цементного камня в возрасте 6 месяцев на прочность при сжатии в зависимости от вида агрессивной среды с как с применением гиперпластификатора Pantarhit PC 160 Plv, так без так него.

Из таблицы 3 следует, что наилучшие показатели прочности и соответственно коррозионной стойкости также, как и в случае с суперпластификатором СП-1, несмотря на ее сильнейшие окислительные способности, показали почти все образцы в растворе азотной кислоты, за исключением композиционного камня с комплексной добавкой термоактивированной глины и гиперпластификатора. Как ни странно, в последнем случае наблюдается обратная тенденция – наибольшую прочность камень обрел в растворе сульфата натрия, с коррозионной стойкостью 1,18, в то время как в растворе азотной кислоты - 1,04.

При добавлении пластификатора образцы с 20 % содержанием минеральных добавок, хранившиеся в 5%-м растворе сульфата натрия показали прочность 111 % и 99 % от прочности бездобавочного цементного камня, для известняка и термоактивированной глины соответственно, а при хранении в растворе азотной кислоты прочность составила 120 и 87 % соответственно.

При анализе данных, представленных в таблице 3, видно, что совместное введение гиперпластификатора в композиционный портландцемент наряду с 20% минеральной добавки от его массы, приводит к увеличению коэффициента коррозионной стойкости образцов до 1,0-1,07 для известняковой муки и до 1,04-1,18 для добавки на основе термоактивированной глины.

Таблица 3

Предел прочности на сжатие образцов цементного камня
с добавкой Pantarhit PC 160 Plv и без него

Вид добавки	Прочность цементного камня, МПа		
	Коррозионная стойкость в среде:		
	Дистиллированная вода	5% раствор сульфата натрия	5% раствор азотной кислоты
Бездобавочный	<u>104,5</u> 0,93	<u>104,5</u> 0,93	<u>104,5</u> 0,93
0,75% Pantarhit PC 160 Plv	<u>114,7</u> 0,94	<u>107,5</u> 0,94	<u>111</u> 0,97
20% И (известняк)	<u>98,9</u> 1,14	<u>89,7</u> 0,91	<u>98,7</u> 1,00
20 % И и 0,75% Pantarhit PC 160 Plv	<u>111,9</u> 0,98	<u>110,8</u> 0,99	<u>119,7</u> 1,07
20% ТГ (термоактивированная глина)	<u>69,7</u> 0,98	<u>64,1</u> 0,92	<u>69,5</u> 1,00
20 % ТГ и 0,75% Pantarhit PC 160 Plv	<u>83,8</u> 0,96	<u>99,3</u> 1,18	<u>87,3</u> 1,04

Потеря прочности образцов, хранившихся это же самое время в дистиллированной воде по сравнению с прочностью образцов, хранившихся в нормально влажностных условиях, составила в среднем 2-7 %. Стоит отметить прирост предела прочности на сжатие на 14 % у образца цементного камня с 20 % добавкой известняковой муки.

Таким образом, стоит отметить, что полученные образцы с коэффициентом коррозионной стойкости выше 0,8, можно рекомендовать в качестве вяжущего для изготовления гидротехнических бетонов и обеспечивающих должную устойчивость воздействию как сульфат ионов, так и нитрид ионов.

Приведенные в работе результаты эксперимента, согласуются с результатами, полученными учеными в данной области исследования [13,14], а также дополняют их и расширяют знания по применению композиционных цементов в гидротехнических бетонах.

4. Заключение

В результате полученных экспериментальных данных можно заключить:

- использование пластифицирующих добавок в композиционных цементах позволяет повысить прочность цементного камня в среднем на 5-30% в зависимости от типа пластификатора.
- коррозионная стойкость в возрасте 6 месяцев всех образцов согласно методике В.В. Кинда была выше 0,8, следовательно, полученные составы коррозионностойкие по отношению к растворам азотной кислоты и сульфата натрия.
- пластификаторы повышают коррозионную стойкость композиционного цементного камня в среднем на 5-30 % в зависимости от вида пластифицирующей добавки, типа минеральной добавки и агрессивной среды, что коррелирует в целом с изменением прочности цементного камня.
- суперпластификатор СП-1 повышает коррозионную стойкость цементного камня на 5-20 % по сравнению с составами без пластификатора.
- гиперпластификатор Pantarhit PC 160 Plv повышает коррозионную стойкость цементного камня на 5-30 % по сравнению с составами без пластификатора.

Список литературы/ References

1. Wagner M., Decker M., Kunther W., Machner A., E. Beddoe R., Heisig A., Heinz D. Gypsum formation mechanisms and their contribution to crystallisation pressure in sulfate resistant hardened cement pastes during early external sulfate attack at low sulfate concentrations // Cement and Concrete Research. 2023. № 168. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107138>.
2. Когай В.В., Лейцин В.Н., Дмитриева М.А. Особенности выбора материалов для изготовления гидротехнических бетонов // Современные перспективы строительства: сборник научных статей по материалам Молодежной научной школы. – Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта. 2023. С. 87-97. – EDN MDXZAQ
Kogai V.V., Leitsin V.N., Dmitrieva M.A. Specifics of the choice of materials for the manufacture of hydraulic concrete // Modern prospects of construction: a collection of scientific articles based on materials from the Youth Scientific School. – Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University. 2023. P. 87-97. – EDN MDXZAQ
3. Вишторский Е.М., Белов И.В., Назарова А.В. Высокофункциональные цементные бетоны для гидротехнического строительства // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 1(67). С. 49-53. – EDN MTKTKZ
Vishtorsky E.M., Belov I.V., Nazarova A.V. Highly functional cement concretes for hydraulic engineering // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. 2023. № 1(67). P. 49-53. – EDN MTKTKZ
4. Кривобородов Ю. Р. Специальные цементы: разновидности, свойства и применение // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 1. С. 84-91. EDN BANTUI
Krivoborodov Yu. R. Special cements: varieties, properties and application // Engineering and technology of silicates. 2023. V. 30. № 1. P. 84-91. EDN BANTUI
5. Shi Z., Ferreira S., Lothenbach B., Geiker M. R., Kunther W., Kaufmann J., Herfort D., Skibsted J. Sulfate resistance of calcined clay – Limestone – Portland cements // Cement and Concrete Research. V. 116. 2019. Pages 238-251. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.11.003>.
6. Rossetti A., Ikumi T., Segura I., Irassar E. F. Sulfate performance of blended cements (limestone and illite calcined clay) exposed to aggressive environment after casting // Cement and Concrete Research. Volume 147. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106495>.
7. Рахимова Н.Р., Сагдиев Р.Р., Ахметгараева А.Ф., Хизбуллина А.Н. Исследование влияния добавок термоактивированных глин со средним содержанием глинистых минералов на коррозионную стойкость портландцементного камня // Известия

- высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 10 (754). С. 25-33. DOI 10.32683/0536-1052-2021-754-10-25-33. – EDN PCUYOE
- Rakhimova N.R., Sagdiev R.R., Akhmetgaraeva A.F., Khizbullina A.N. Study of the influence of additives of thermally activated clays with an average content of clay minerals on the corrosion resistance of Portland cement stone // News of higher educational institutions. Construction. 2021. № 10 (754). P. 25-33. DOI 10.32683/0536-1052-2021-754-10-25-33. – EDN PCUYOE
8. Кряжиков И.А., Завадская Л.В., Козлова В.К. Композиционные портландцементы с максимальным содержанием минеральных добавок // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2023. № 1. С. 254-255. – EDN SWHSEQ
- Kryazhikov I.A., Zavadskaya L.V., Kozlova V.K. Composite Portland cements with the maximum addition of minerals // Young scientists – to the Development of the National Technology Initiative (SEARCH). 2023. No.1. P. 254-255. – EDN SWHSEQ
9. Рахимова Н.Р., Рахимов Р. З. XVI Международный конгресс по химии цемента «Дальнейшая декарбонизация и циркуляционное производство и применение цемента и бетона» // Строительные материалы. 2024. № 1-2. С. 95-99. DOI 10.31659/0585-430X-2024-821-1-2-95-99. – EDN MDFBCC.
- Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. XVI International Congress on Cement Chemistry “Further decarbonization and circulating production and application of cement and concrete” // Construction materials. 2024. No. 1-2. P. 95-99. DOI 10.31659/0585-430X-2024-821-1-2-95-99. – EDN MDFBCC
10. Wang T., Medepalli S., Zheng Y., Krishnan S., Li N., Ishida T., Zhang Z., Bishnoi S., Zhang K. An efficient method for determining the pozzolanic reaction degrees of low-calcium supplementary cementitious materials in blended cement pastes // Cement and Concrete Composites. V. 151. 2024. 105595. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2024.105595>.
11. Wang C., Xiao J., Long C., Zhang Q., Shi J., Zhang Z. Influences of the joint action of sulfate erosion and cementitious capillary crystalline waterproofing materials on the hydration products and properties of cement-based materials: A review // Journal of Building Engineering. V. 68. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106061>.
12. Wang L., Lu X. A review of the influence of aluminum phases from cement, SCMs and external aluminum phases on the thaumasite sulfate attack in cement-based materials // Journal of Building Engineering. V. 94. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109966>.
13. Шарифов А., Гайбуллаева З.Х., Немаматзода Д.С., Гозиев З.А. Коррозия гидротехнического бетона и причины ее протекания // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. 2021. Т. 64, № 3-4. С. 224-231. EDN FQMEZN
- Sharifov A., Gaibullaeva Z.Kh., Nematzoda D.S., Goziev Z.A. Corrosion of hydraulic concrete and the reasons for its occurrence // Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan. 2021. V. 64, No. 3-4. P. 224-231. EDN FQMEZN
14. Канцепольский И.С., Жабицкий М.С. Влияние глиежа на сульфатостойкость цементов различного минерального состава. Ташкент: ДАН УзССР, 1952. 10 с.
- Kantsepolsky I.S., Zhabitsky M.S. Influence of glyage on sulfate resistance of cements of different mineral composition. Tashkent: DAN UzSSR, 1952. 10 p.
15. Trümer A., Ludwig H.-M., Schellhorn M., Diedel R. Effect of a calcined Westerwald bentonite as supplementary cementitious material on the long-term performance of concrete // Applied Clay Science. V. 168. 2019. P. 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.10.015>.
16. Zunino F., Scrivener K. The reaction between metakaolin and limestone and its effect in porosity refinement and mechanical properties // Cement and Concrete Research. V. 140. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106307>.
17. Li R., Lei L., Sui T., Plank J. Effectiveness of PCE superplasticizers in calcined clay blended cements // Cement and Concrete Research. V. 141. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106334>.

18. Li R., Lei L., Plank J. Impact of metakaolin content and fineness on the behavior of calcined clay blended cements admixed with HPEG PCE superplasticizer // *Cement and Concrete Composites*. V.133. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104654>
19. Sposito R., Beuntner N., Thienel K.-Ch. Characteristics of components in calcined clays and their influence on the efficiency of superplasticizers // *Cement and Concrete Composites*. V. 110. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103594>.
20. Ермилова Е.Ю., Камалова З.А. Композиционные портландцементы с комплексными минеральными добавками как решение проблемы утилизации техногенных отходов промышленности // *Строительные конструкции, здания и сооружения*, 2023. № 2(3). С. 4-10.
Ermilova E.Yu., Kamalova Z.A. Composite Portland cements with complex mineral additives as a solution of the problem man-made industrial waste disposal // *Construction, buildings and structures* // 2023. № 2(3). P. 4-10
21. Ермилова Е.Ю., Камалова З.А. Влияние комплексных добавок на прочностные свойства композиционного портландцемента // *Строительные конструкции, здания и сооружения*. 2024. № 4 (9). С. 46-53
Ermilova E.Yu., Z.A. Kamalova. Influence of complex additives on the strength properties of composite Portland cement // *Construction, buildings and structures*. 2024. № 4(9). P. 46-53

Информация об авторах

Ермилова Елизавета Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, главный технолог ООО «ИЦ ВСТ», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: 447-7@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8091-4851

Камалова Загиря Абдулловна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru, ORCID: 0009-0005-7583-6704

Information about the authors

Elizaveta Yu. Ermilova, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Chief Technologist of IC VST LLC, Kazan, Russian Federation

E-mail: 447-7@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8091-4851

Zagirya A. Kamalova, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru, ORCID: 0009-0005-7583-6704