

Кривенко П.В., Гелевера О.Г., Ковальчук О.Ю.

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського
(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03037, Україна, e-mail: pavlo.kryvenko@gmail.com;
orcid.org/0000-0001-7697-2437, orcid.org/0000-0002-3532-4510)

ВПЛИВ СКЛАДУ ЛУЖНИХ ЦЕМЕНТІВ НА ЛУЖНУ КОРОЗІЮ ЗАПОВНЮВАЧІВ З АКТИВНИМ КРЕМНЕЗЕМОМ

Стаття присвячена дослідженню впливу типу лужного компоненту, алюмосилікатного складу лужного цементу і типів лужно-реакційних заповнювачів на інтенсивність протікання лужної корозії в зоні контакту «лужний цемент лужно-реакційні заповнювачі» для встановлення шляхів управління фізичними і хімічними процесами в цій зоні з метою забезпечення високої довговічності бетонів.

Ключові слова: лужна корозія бетону, лужно-реакційні заповнювачі, довговічність бетону.

Актуальність проблеми. Однією з причин, чому бетон, виготовлений з лужно-реакційними заповнювачами, розширюється і руйнується, є результат фізико-хімічної взаємодії лугів, присутніх в цементному камені, з модифікаціями кремнезему, які потенційно здатні до деструктивної реакції «луг хімічно активний кремнезем» (ASR) [1].

У зв'язку з цим, відповідно до вимог нормативних документів і літературних даних [2], кількість луку в клінкерних цементах не повинна перевищувати 0,6% в Na_2O -еквіваленті. Ці вимоги довгий час були базовими вказівками до розробки рекомендацій по запобіганню небезпечних наслідків цієї реакції і не давали можливості обґрунтувати застосування нового класу лужно-активованих цементів [3-5], у складі яких лугів значно більше (1,5...5%), ніж в традиційних цементах.

Проте, в літературі зустрічаються джерела, в яких робилися спроби пояснити процеси корозії активних заповнювачів у присутності лугів не тільки з погляду кількісного вмісту лугів і вільного $Ca(OH)_2$. Так, в роботі [6] вивчили роль Al_2O_3 , який був присутній у фельшпатоїдному камені, і встановили, що із збільшенням співвідношення Al_2O_3 / SiO_2 лужна реакція заповнювача з деструктивною переходить в конструктивну. Ці дані були підтверджені роботами [7]. На підставі цього автори [8] прийшли до висновку, що зменшення шкідливого впливу лугів при додаванні до портландцементу склоподібного шлаку пояснюється не тільки

нижчою проникністю шлакових паст, але і здатністю шлаку зв'язувати іони лужних металів в нерозчинних лужних гідроалюмосилікатах типу $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot 5,4H_2O$. Надалі в роботах [5, 9-14] показано, що можливість утворення в контактній зоні лужних або змішаних лужно-лужноземельних гідроалюмосилікатів залежить не тільки від виду заповнювача, але і від складу алюмосилікатного компоненту лужного цементу. Було зроблено висновок, що регулюючи вміст Al_2O_3 у складі алюмосилікатного компоненту в'язучого введенням активних Al_2O_3 -вміщуючих добавок можливо запобігати деструктивним наслідкам реакції ASR в бетонах навіть з високим вмістом лугів в досліджуваних цементах.

Мета даної роботи полягала в тому, щоб дослідити вплив типу лужного компоненту, алюмосилікатного складу лужного цементу і типів лужно-реакційних заповнювачів на інтенсивність протікання лужної корозії в зоні контакту «лужний цемент лужно-реакційні заповнювачі» для встановлення шляхів управління фізичними і хімічними процесами в цій зоні з метою забезпечення високої довговічності бетонів.

Необхідність таких досліджень продиктована все більш широким використанням лужно-активованих цементів і бетонів на їх основі як в Україні, так і у світі, а також розробкою стандартів на них.

Сировинні матеріали і методи досліджень. Для дослідження процесів внутрішньої корозії шлаколужного бетону

були вибрані такі заповнювачі: основний базальт, нейтральний андезит, кислий перлітова порода і пісковик (як стандартний представник осадових порід). Кварцовий пісок був прийнятий як еталон для порівняння.

Хімічний склад заповнювачів представлено в табл.1.

Реакційність заповнювачів була оцінена петрографічною експертизою і хімічними методами відповідно до [15, 16]. Взаємодія лужно-реакційних заповнювачів з лугом, що міститься в цементі, була визначена вимірюванням деформацій зразків згідно процедури, описаної в [15, 16].

В експериментах використовували тонкодисперсні доменні гранульовані шлаки з питомою поверхнею біля 400 м²/кг за Блейном.

Хімічний склад шлаків представлений в табл. 2.

В експериментах були використані заповнювачі поліфракційного складу, які склалися з 5 фракцій 2,5...5, 1,25...2,5, 0,63...1,25, 0,315...0,63 і 0,14...0,315 мм по 20% за масою кожної.

Зразки (25×25×254 мм) виконані з віброущільненням шлаколужного бетону однакової рухливості з розпливом 170±5 мм. Співвідношення «цемент:заповнювач» було прийнято як 1:2. В якості лужних компонентів використовувались водні розчини Na₂CO₃, Na₂O·SiO₂, Na₂O·2SiO₂, NaOH з середньою густиною 1180, 1250, 1300 і 1300 кг/м³ відповідно.

Тип заповнювача, розчино-шлакове співвідношення і вміст лужного компонента (в Na₂O-еквіваленті) в зразках ілюструється в табл.3.

Таблиця 1 - Хімічний склад заповнювачів

Породи	Вміст оксидів, % за масою, у заповнювачі												в.п.п.	Σ, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃		
Базальт	50,42	14,0	6,14	8,37	2,66	0,243	8,04	5,56	0,316	0,71	2,27	0,07	0,77	99,57
Андезит	67,32	14,91	1,84	1,52	0,36	0,044	3,05	3,04	0,078	2,91	3,71	0,13	0,77	99,68
Перліт	72,82	12,5	0,65	0,9	0,11	0,03	1,07	0,17	0,007	4,51	2,1	0,05	4,75	99,66
Пісковик	90,1	5,18	0,53	1,60	0,14	0,036	0,02	0,42	0,023	0,56	0,03	0,05	0,84	99,53
Пісок	95,94	0,4	0,16	9,24	0,02	0,02	0,23	0,33	0,05	0,29	0,14	0,38		107,2

Таблиця 2 - Хімічний склад доменних гранульованих шлаків

Шлаки	Вміст оксидів, % за масою											Σ, %	Mo
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O		
Шлак № 1	39,81	5,10	48,5	5,40		0,36	1,99					99,23	1,20
Шлак № 2	36,51	8,65	37,9	9,07	0,93	3,63	1,68	0,34	0,02	0,58	0,53	99,80	1,04

Таблиця 3 - Тип заповнювач, тип лужного компонента і розчино-шлакові відношення до вмісту луку (по Na₂O) в шлаколужному цементі

Вид лужного компоненту (густина розчину, кг/м ³)	Тип заповнювача				
	базальт	андезит	перліт	пісковик	пісок
Na ₂ CO ₃ (1180)	0,42	0,44	0,54	0,40	0,36
	4,54	4,75	5,76	4,33	3,92
Na ₂ O·SiO ₂ (1250)	0,40	0,42	0,52	0,38	0,34
	5,7	5,97	7,29	5,43	4,88
Na ₂ O·2SiO ₂ (1300)	0,40	0,42	0,52	0,38	0,34
	4,67	4,89	5,99	4,45	3,99
NaOH (1300)	0,42	0,44	0,54	0,40	0,36
	10,38	10,83	12,97	9,94	9,04

Примітки:

1. Розплив стандартного конуса 170±5 мм.
2. В чисельнику розчинно-шлакове відношення, в знаменнику вміст Na₂O в шлаколужному цементі, % за масою.

Зразки тверднули при ТВО по режиму 3+6+3 год. при температурі ізотермії 85°C. Базова довжина зразків приймалась через 48±2 год. після ТВО. Подальші вимірювання виконувалися кожного місяця протягом трьох років при зберіганні зразків в термостаті над водою при температурі 38°C і $W \geq 95\%$.

Довжина зразків фіксувалась за допомогою індикатора з ціною поділок шкали 0,01 мм. Перед виконанням замірів зразки охолоджувалися до температури 20±2°C. Лінійні деформації усіх зразків порівнювалися з деформаціями зразків на піску.

Критично недопустимою деформацією є величина розширення зразка понад 1 мм/м.

Результати і обговорення. Відповідно даним петрографічного аналізу, вміст склофази в базальті складає 8...12, в андезиті 25, перліті 95...97% мас. Пісковик представлений на 92...95% кварцом. Пісок прозорим кварцом.

Таким чином, попередня петрографічна експертиза свідчить, що такі породи як базальт, андезит, перліт, пісковик відносяться до реактивних [15, 16] і тому для подальшої перевірки був використаний хімічний метод.

Результати визначення вмісту розчинного силікату в досліджених породах представлені в табл.4.

Згідно до рекомендацій [15, 16], заповнювачі відносяться до потенційно реактивних, якщо вміст розчинного силікату в умовах експерименту перевищує 50 ммоль/л. Результати хімічних досліджень свідчать, що вміст розчинного силікату в породах знаходиться в межах 40,45...137,9 ммоль/л.

Досліджені заповнювачі з точки зору їх потенційної реактивності можуть бути поміщені у таку послідовність: перліт > андезит > базальт > пісковик > пісок.

Пісок, використовуваний в експериментах, не є потенційно лужно-реактивним заповнювачем, але інші заповнювачі класифікуються як потенційно лужно-реактивні, тому вони були перевірені на лінійні деформації.

Таблиця 4 - Хімічна характеристика реактивності заповнювачів

Тип заповнювача	Вміст оксидів у вилуговуваному розчині, ммоль/л		Кількість зв'язаного Na ₂ O у вилуг. розчині, ммоль/л
	SiO ₂	Na ₂ O	
Перліт	137,9	737,5	198,7
Андезит	129,0	702,2	324,0
Базальт	127,6	664,1	272,1
Пісковик	57,90	908,2	30,0
Пісок	40,45	906,2	28,0

Кінетика лінійних деформацій дослідженого шлаколужного бетону на шлакові №1 (M_0 1,20, вміст Al_2O_3 5,1%) ілюструється на рис.1.

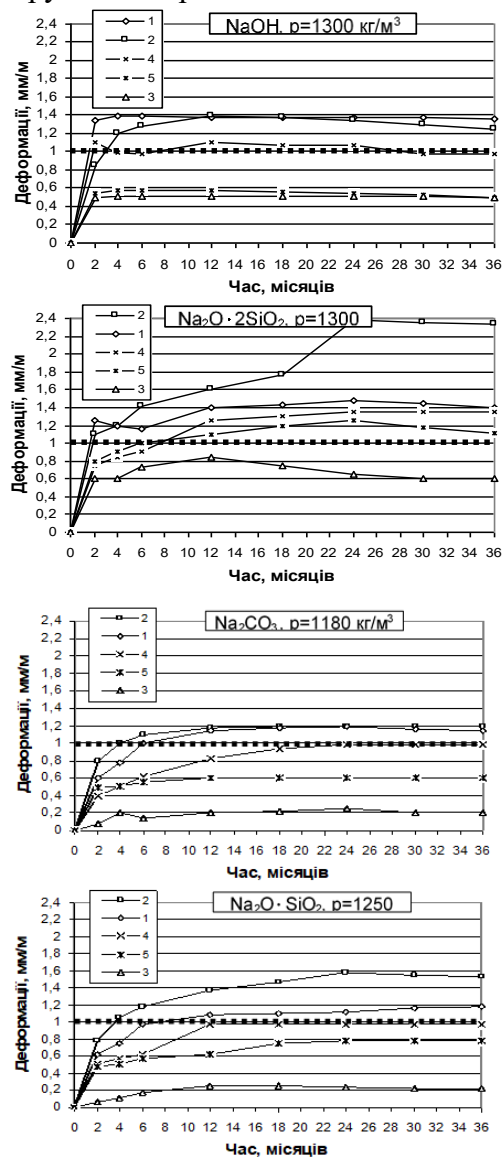


Рис.1. Деформації розширення бетонних зразків, виготовлених з використанням шлаку №1 ($M_0 = 1,20$) і на різних заповнювачах: 1 - базальт; 2 - андезит; 3 - перліт; 4 - пісковик; 5 - пісок

Результати аналізу рис.1 свідчать, що деформації розширення в досліджених екземплярах розвиваються найінтенсивніше протягом перших трьох-чотирьох місяців, а після цього періоду має місце поступова стабілізація.

Незалежно від типу лужного використовуваного компонента, лужно-реактивні заповнювачі за ступенем впливу на деформації розширення шлаколужних бетонів можуть бути поміщені в наступний ряд: андезит > базальт > пісковик > пісок > перліт

Спостерігається тенденція збільшення деформацій розширення зі зростанням вмісту активного кремнезему в заповнювачах. Максимальним значенням відповідають склади з базальтом і андезитом з вмістом в них скловидного кремнезему 8...25% за масою. В той же час, склади на перліті, який містить 95...97% вулканічного скла, демонструють аномально найнижчі деформації розширення в межах 0,2...0,6 мм/м, які не перевищують критично допустиму величину 1 мм/м. Це може бути пояснено присутністю в склофазі перліту активного Al_2O_3 , який в базальті і в андезиті знаходиться переважно в кристалічній неактивній формі [6].

Незалежно від типу заповнювачів, лужні компоненти за ступенем їх впливу на формування розширення в шлаколужних бетонах, виготовлених з реактивними заповнювачами, можуть бути розміщені в такій послідовності: $Na_2O \cdot 2SiO_2 > NaOH > Na_2O \cdot SiO_2 > Na_2CO_3$

Встановлено, що лінійні деформації в системі «шлаколужний цемент реакційний заповнювач», збільшуються зі збільшенням вмісту Na_2O (див.табл.3). Однак, винятком є шлаколужні бетони, виготовлені з лужно-реактивним заповнювачем

на дисилікаті натрію. Як впливає з вищезазначеного ряду, дисилікат натрію за впливом в найбільшій мірі розвиває деформації розширення в порівнянні з іншими лужними компонентами, які використовувалися в дослідженнях. Це можна пояснено присутністю значної кількості гелю в $Na_2O \cdot 2SiO_2$, який у вологих умовах зберігання зразків набухає і викликає додаткові деформації розширення.

Аналіз даних рис.2 вказує, що при використанні в системі «шлаколужний цемент лужно-реакційний заповнювач» нейтрального шлаку (шлак №2, $M_o = 1,04$), зростання лінійних деформацій вище допустимої межі 1 мм/м спостерігається тільки в разі використання двох лужних компонентів $NaOH$ і $Na_2O \cdot 2SiO_2$. Використання Na_2CO_3 і $Na_2O \cdot SiO_2$ не викликає деформації розширення вище допустимої межі 1 мм/м на всіх досліджених заповнювачах.

Для шлаколужних бетонів, при використанні нейтрального шлаку (шлак №2, $M_o = 1,04$) зменшення значень лінійних деформацій нижче 1 мм/м може бути пояснене фактом присутності в його склофазі більшої, ніж в основному шлакові, кількості Al_2O_3 (8,65% в шлакові №2 проти 5,1% в шлакові №1), в присутності якого зв'язується луг і синтезуються цеолітоподібні новоутворення, які покращують контактну зону і блокують надходження лугу до лужно-реакційного заповнювача [5, 7, 10].

Розвиток лужних процесів корозії, як відомо, викликає ризик появи тріщин в бетоні і втрату міцності [1, 2]. Саме тому одночасно з визначенням лінійних деформацій контролювалась і міцність бетону на стиснення (табл. 5).

Таблиця 5 - Міцність на стиск зразків бетону з різним заповнювачем

Заповнювач	Міцність на стиск, МПа, через, діб							
	Na_2CO_3 , $\rho = 1180 \text{ кг/м}^3$				$Na_2O \cdot 2SiO_2$, $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$			
	1	28	90	1460	1	28	90	1460
Базальт	63,5	75,0	75,8	92,0	100,5	118,0	119,0	115,0
Андезит	73,1	88,0	87,0	112,5	130,0	130,0	130,	117,5
Перліт	51,0	61,0	60,0	75,0	80,0	85,0	88,5	107,0
Пісковик	61,5	72,0	80,0	98,0	130,0	130,0	130,0	118,5
Пісок	47,0	55,0	56,5	55,0	100,0	116,0	116,0	100,0

Примітка. Шлак нейтральний, №2, $M_o = 1,04$.

Аналіз табл.5 показує, що максимальна швидкість набору міцності спостерігається протягом першого місяця, яка стабілізується через 3...6 місяців.

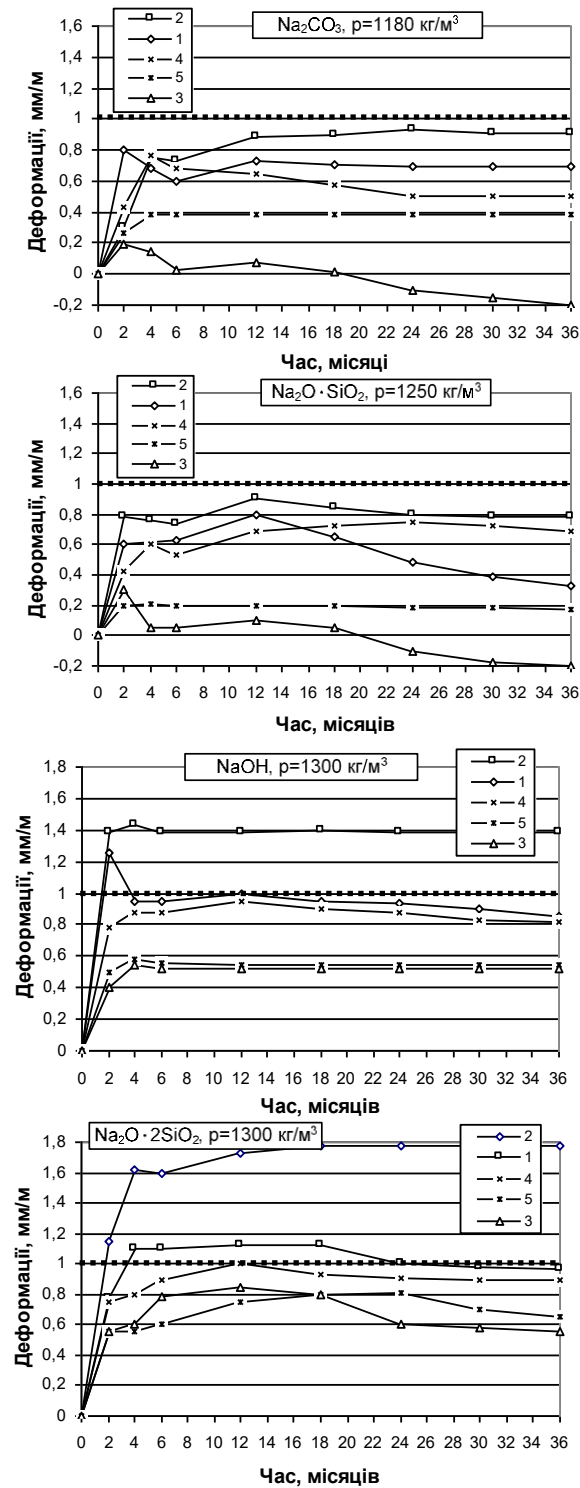


Рис.2. Деформації розширення бетонних зразків, виготовлених з використанням шлаку №2 ($M_0 = 1,04$) і на різних заповнювачах: 1 базальт; 2 андезит; 3 перліт; 4 пісковик; 5 пісок

Дослідження розвитку міцності шлаколуужних бетонів в тривалі терміни

показують, що бетони збільшують міцність з часом. Виняток бетон, в якому використовується дисилікат натрію, де спостерігається незначне зниження міцності при стисненні (до 10%), але це зниження не результат лужної корозії [17].

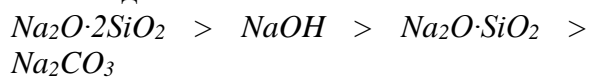
Слід підкреслити, що руйнування зразків при випробуванні відбувається по зерну заповнювачів, що свідчить на користь сильного контакту між заповнювачем і каменем цементу і незначною лужної корозією між заповнювачем і шлаколуужним цементним каменем, яка є не деструктивною, а конструктивною, так як в результаті синтезу цеолітоподібних гідроалюмосилікатів створює міцну контактну зону.

Висновки:

1. Дослідженнями встановлено, що ступінь деформацій розширення шлаколуужних бетонів залежить від типу заповнювача, лужного компонента і шлаку.
2. Лужно-реактивні заповнювачі за ступенем їх впливу на деформації розширення в шлаколуужних бетонах можуть бути розміщені в наступний ряд: андезит > базальт > пісковик > пісок > перліт.

Зростання деформацій розширення спостерігається зі збільшенням вмісту активного кремнезему в заповнювачі. Виняток перліт, який, у порівнянні з іншими реактивними використаними заповнювачами, взаємодіє в меншій мірі на зростання деформацій розширення шлаколуужних бетонів. Деформації розширення шлаколуужних бетонів з перлітом не перевищують допустиму межу 1 мм/м, що пояснюється присутністю в складі вулканічного скла перлітової породи хімічно активного Al_2O_3 .

3. Лужні компоненти, за ступенем їх впливу на ступінь розвитку деформацій розширення в шлаколуужних бетонах, виготовлених з реакційними заповнювачами, можуть бути поміщені в таку послідовність:



Дисилікат натрію впливає в найбільшій мірі на ступінь розвитку деформацій розширення шлаколуужного бетону з дослідженими заповнювачами в порівнянні з

іншими лужними компонентами. Це може бути пояснено підвищеним вмістом гелю в дисилікаті натрію і, отже, в шлаколужному бетоні, який у вологих умовах зберігання розбухає, що призводить до додаткових деформацій розширення.

4. Зниження деформацій розширення шлаколужного бетону з реактивними наповнювачами нижче допустимої межі 1 мм/м спостерігається зі збільшенням вмісту оксиду алюмінію в складі склофази шлаку від 5,1 до 8,65%.

Встановлені залежності відкривають можливість управляти фізичними і хімічними процесами на кордоні між шлаколужним цементом і заповнювачем за рахунок регулювання вмісту активного оксиду алюмінію в складі шлаколужного цементу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Штарк Й., Вихт, Б. *Долговечность бетона*. Київ: Оранта, 2004. 301 с.
2. Штарк Й. *Щелочная коррозия*. Київ: УЦРП, 2010. 166 с.
3. Глуховский В.Д. *Грунтосиликаты*. К: Госстройиздат УССР, 1959. 127 с.
4. Глуховский В.Д., Волянский А.А., Гончаров В.А., Кривенко П.В. *Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны*. К: Вища школа, 1979. 232 с.
5. Кривенко П.В., Руденко І.І., Петропавловський О.М., Константиновський О.П. Високо-рохомі шлаколужні бетони з підвищеною ранньою міцністю. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 93. № 3. С. 117- 124.
6. Effect of Slag Cements and Aggregate Type on Alkali-Aggregate Reaction and its Mechanism: 6 *Inter. Confer. Alkalies in Concrete, Research and Practice*. / ред. кол. Malek R.I.A., Roy D.M. Denmark. 1983. С. 223-230.
7. Tang M.S., Han S.F. Effect of Ca(OH)₂ on Alkali-silica Reaction. *Journal of Chinese Silicate Society*. 1991. Т. 43. № 156. С. 160-166.
8. Alkali-Aggregate Reaction Resistance of Granulated Blast Furnace Slag Cement. *Slag Cements Workshop / Malek R.I.A., Roy D.M.P.* State University, Mater. Res. Laboratory. 1984.
9. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Petropavlovsky O.N., Kavalerova E.S. Role of metakaolin additive on structure formation in the interfacial transition zone «Cement Alkali-susceptible aggregate». *International Symposium «Non-Traditional Cement and Concrete II»*, Brno. 2005. Brno: Brno University of Technology & ZPSV Uhersky Ostroh. С. 83-95.
10. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Petropavlovsky O.N. Alkaline Portland cements highly filled

by products of a technogenic and natural parentage. *Third International Conference «Alkaline activated materials - research, production and use»*. 21-22 June 2007, Prague. 2007.

11. Krivenko P.V. Structure-forming Processes in a Contact Zone «Slag Alkali – activated Cement — Aggregate». *Journal Tsement*, 1991. Т. 11. № 12. С. 64-70.
12. Krivenko P.V., Ilyin V.P., Zgardan E.P. Durability of Slag Alkaline Concrete with Aggregates Susceptible to Alkali-silica Reaction. *Beijing Int. Symp. Cement and Concrete*. 27-30 October 1998. Beijing.
13. Krivenko P.V., Pushkareva E.K. Durability of Alkaline Portland Cement Concretes made with Alkali-Reactive Aggregates. *ACI International Conference on Durability of Concrete*. Sydney, August 1997.
14. Krivenko P.V. A Role of Metakaolin Additive on Structure Formation in the Contact Zone «Cement-Alkali-susceptible Aggregate». *Inter. Symp. «Non-Traditional Cements»*, Brno. 14-16 June 2005. С.83-95.
15. *Рекомендации по определении взаимодействия заполнителей бетона со щелочью цемента*: Под ред. В.А. Волженского. Москва: 1972. 372 с.
16. *ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний*. 1998. 51 с.
17. Більченко А.В., Кіслов О.Г., Синьковська О.В., Ігнатенко А.В. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 93. № 3. С. 140-144.

Кривенко П.В., Гелевера А.Г., Ковальчук А.Ю. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТОВ НА ЩЕЛОЧНУЮ КОРРОЗИЮ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ С АКТИВНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ.

Статья посвящена исследованию влияния типа щелочного компонента, алюмосиликатного состава щелочного цемента и типов щелочно-реакционных заполнителей на интенсивность протекания щелочной коррозии в зоне контакта «щелочной цемент щелочно-реакционные заполнители» для установления путей управления физическими и химическими процессами в этой зоне с целью обеспечения высокой долговечности бетонов.

Ключевые слова: щелочная коррозия бетона, щелочно-реакционные заполнители, долговечность бетона.

Krivenko P.V., Gelevera O.G., Kovalchuk O.Yu. INFLUENCE OF COMPOSITION OF ALKALINE CEMENTS ON ALKALINE CORROSION OF AGGREGATES WITH ACTIVE SILICA.

The article is devoted to the study of the influence of the type of alkaline component, the alumina silicate composition of alkaline cement and the types of alkaline-

reactive aggregates on the intensity of alkaline corrosion flow in the contact zone "alkaline cement alkaline reaction aggregates" to establish ways to control the

physical and chemical processes in this zone in order to ensure high durability of concrete.

Key words: alkaline corrosion of concrete, alkaline-reactive aggregates, durability of concrete.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-98-4-230-239

УДК 691.5

Анопко Д.В., Гончар О.А., Кобылянский И.З.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
(Воздухофлотский пр-т, 31, Киев, 03037, Украина; e-mail: anopko1973@gmail.com, oagon@ukr.net,
sheriffxq@gmail.com; orcid.org/0000-0002-2585-2512, orcid.org/0000-0002-1071-7553)*

КОМПОЗИЦИОННЫЙ РАДИАЦИОННОЗАЩИТНЫЙ ЦЕМЕНТ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМО- И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬЮ

Показано, что введение добавки, состоящей из смеси аморфного микрокремнезема и тонкодисперсного железа, увеличивает сопротивляемость цементного камня деструктивному действию температуры. Достигнутый положительный результат объясняется управлением процессом трещинообразования, где аморфный микрокремнезем с одной стороны, обладая невысокой плотностью и прочностью, выполняет роль демпфирующей добавки, действующей преимущественно при 20°C, а с другой - является достаточно химически активным и связывает образующуюся при твердении цементного камня свободную известь, выполняя роль преграды для развивающейся трещины. Введение тонкодисперсного железа приводит к образованию микротрещинообразной структуры, которая обеспечивает высокие прочностные характеристики композиции при повышенных температурах. Оптимальная дисперсность железного порошка составляет 0,08...0,16 мм. Совместное введение этих добавок позволило получить цементный камень с микротрещинообразной крупно-фрагментарной структурой, обладающего стабильными показателями физико-механических свойств в интервале температур 20...300°C. Размер фрагментов составляет от 10 до 20мм².

Ключевые слова: радиационнозащитный, трещиностойкость, демпфирующая добавка, микротрещиноватая структура.

Вступление. В связи с широким использованием атомной энергии, развитием радиохимических производств, широкого применения радионуклидов в различных областях народного хозяйства особо актуальна проблема создания радиационнозащитных материалов на основе сырья Украины. Такие материалы в соответствии с требованиями современных ядерных технологий должны содержать высокое количество химически связанной воды при температурах до 300...500°C, обладать повышенной термостойкостью и быть безугадочными.

Анализ литературных источников и постановка проблемы. Проведенный анализ влияния ионизирующего облучения на свойства бетона [1] показал, что радиационнозащитные свойства бетона зависят от его состава: выбранных вяжущих и заполнителей.

Комплексное повышение термостойкости искусственного камня возможно за счет: связывания свободной

извести, выделяющейся при твердении портландцемента [2, 3]; управление трещинообразованием (создание структуры с микротрещинами), создание центров релаксации внутренних напряжений в композите, как при комнатных, так и при повышенных температурах путем введения демпфирующих добавок [2].

При использовании в качестве демпфирующей добавки микрокремнезема возникает проблема стабильного совместного существования высокоосновного гидросульфферрита кальция и низкоосновных гидросиликатов кальция. Исследованиями [4, 5] установлено, что образование высокоосновных комплексных соединений в присутствии кремнезема зависит от активности и количества последнего.

Целью работы является получение комплексной добавки полифункционального действия, позволяющая не только связывать избыточное количество извести, но и управлять процессом