УДК 666.94; 666.95 DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-137-146

ЕФЕКТИВНІСТЬ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ ДЛЯ МОРСЬКИХ СПОРУД

П.В. Кривенко, д.т.н., професор,
pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7697-2437
О.М. Петропавловський, к.т.н., с.н.с.,
ORCID: 0000-0002-3381-1411
О.Ю. Ковальчук, к.т.н., с.н.с.,
ORCID: 0000-0001-6337-0488
Науково–дослідний інститут в'яжучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського (НДІВМ)
Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА),
Цао Хайлин, к.т.н., професор,
Венг Лигуан, к.т.н., професор,
Академії аерокосмічних технологій, м. Шень-Жень, КНР

Анотація: Наведено дослідження з розробки на основі сировинних матеріалів Китаю складів шлаколужних цементів і бетонів, які здатні до забезпечення високих експлуатаційних характеристик матеріалів, виробів і конструкцій в умовах впливу морського клімату. Проведено їх випробування за вимогами стандартів КНР та визначені характеристики за показниками міцності, вологісної усадки, морозостійкості, корозійної та атмосферостійкості, біостійкості, водонепроникненості, зчеплення з арматурою. Це за отриманими позитивними результатами випробувань дозволило рекомендувати та запровадити розроблені матеріали для облаштування конструкцій укріплення морської берегової лінії в КНР.

Ключові слова: шлак, цемент, порошковий лужний компонент, бетон, морські споруди.

Вступ. Високі експлуатаційні властивості і довговічність шлаколужних бетонів загальновідомі та підтверджені їх запровадженням у багатьох напрямках будівельного і спеціального призначення [1, 2]. Це дозволило надати значного поштовху до розвитку таких матеріалів практично по усьому світі [3-5].

Найбільший попит до розвитку та широкого запровадження таких матеріалів, особливо для використання у спеціальних галузях будівельного виробництва, набуває та розповсюджується у Китаї [6, 7].

Значною відмінністю шлаколужних цементів і бетонів є можливість їх багатоцільового призначення. За своїми особливим хіміко-мінералогічним складом та фізико-механічними властивостями такі цементи та бетони найбільше ефективні при використанні для виготовлення корозійностійких, високоміцних, радіаційностійких, біостійких матеріалів без запровадження спеціальних методів корегування їх хімічного складу та використання коштовних технологічних рішень при виготовленні довговічних конструкцій, у т.ч. масивних морських споруд та облаштуванні берегової інфрастуктури (укріплення берегів, будівництво дамб, доріг тощо) [1, 2, 8-10].

Останнім часом технологія виготовлення шлаколужних бетонів набула змін в напрямку використання лужних компонентів у вигляді порошкових товарних продуктів або гранулятів, що значно спрощує виготовлення таких бетонів [11]. При цьому управління показниками шлаколужних цементів та бетонів на їх основі відбувається з урахуванням якісних характеристик мелених шлаків направленим корегуванням аніонної складової лужного компоненту за рахунок суміщення різних за складом лужних сполук [12-15].

Мета та завдання даної роботи полягали у розробці сумісно з спеціалістами Академії аерокосмічних технологій (м. Шень-Жень, КНР) шлаколужних цементів класів 42,5 та 62,5 на основі сировинних матеріалів КНР і бетонів класів С30 та С60 на основі бетонних

сумішей з рухливістю не менше Р3 (ОК=10-15 см) та життєздатністю 60-90 хв., а також у дослідженні їх властивостей за критеріями ефективності у морських спорудах.

Матеріали та методики досліджень. В якості основних складових шлаколужного цементу використовували матеріали промисловості КНР: доменний гранульований шлак промислового помелу (далі шлак) з модулем основності M_o=1,0 і $S_{пит.}$= 475 м^2/кг, кальциновану соду (Na_2CO_3), далі сода, та метасилікат натрію п′ятиводний ($Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$), далі метасилікат.

В якості модифікуючих добавок шлаколужних цементів і бетонів використовували портландцемент класу 42,5, золу ТЕС сухого видалення з $S_{пит.}$= 380 м^2/кг, лігносульфонат натрію з pH=9 і стеарат кальцію.

Хімічний склад шлаку і золи наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Хімічний склад шлаку і золи

Матеріал	Склад основних оксидів, % за масою							
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O+ Na_2O	SO_3
Шлак	40,2	36,2	12,0	8,0	0,8	0,5	0,90	0,54
Зола	5,2	51,6	32,3	0,82	1,1	6,6	1,365	0,17

При виконанні робіт здійснювали розробку складів цементів класу 42,5 та 62,5 з терміном початку тужавлення не менше 45 хв (стандарт КНР GB 175-2007).

Лужні компоненти, а саме кальциновану соду та метасилікат натрію, а також добавку лігносульфонату натрію вводили до складу цементів і бетонів в сухому стані, а цемент і бетон затворювали водою.

Виготовлення та випробовування цементів для визначення класу міцності проводили згідно стандарту КНР GB 17671-1999 з відмінністю за вмістом води затворювання цементно-піщаного розчину, яка визначалася при підбору її кількості, необхідної для досягнення розпливу стандартного конусу на струшувальному столику розчину у межах 130-150 мм (ДСТУ Б В.2.7-181:2009, Україна).

Виготовлення зразків бетону і їх випробування на міцнісні показники проводили згідно з стандартами КНР, а саме GB/T 50080-2002 та GB/T 50081-2002. Життєздатність бетонних сумішей визначали за стандартом КНР JGJ/T 10-95, яка за умовами роботи повинна складати не менше 60 хв.

Бетонні суміші в лабораторних умовах виготовляли з використанням стандартного обладнання (рис. 1).

Після виготовлення зразки бетонів зберігали у формах 2 доби з накритою поверхнею, після чого їх виймали з форм та зберігали у воді до випробувань (рис. 2).

Рис. 1.Стандартний бетонозміщувач

Рис. 2. Зберігання бетонних зразків

Для визначення ефективності розроблених шлаколужних цементів проведено їх випробування в бетонах за показниками, призначених для бетонів морських споруд, а саме сульфатостійкості (GB/T 50082-2009), дифузії проникнення іонів хлору (GB/T 50082-2009), морозостійкості (GB/T 50082-2009), щеплення арматури з бетоном (DL/T 5150-2001), власних деформацій усадки (GB/T 50082-2009), водонепроникності (GB/T 50082-2009).

Біостійкість бетонів визначали за ГОСТ 27677, а атмосферостійкість – відповідно до методики [16].

Результати досліджень. З урахуванням відомих принципів регулювання властивостями шлаколужних цементів [8, 12-15], попередніх тестувань цементних паст з використанням товарних порошків лужних сполук визначали оптимальний їх склад та вміст для отримання цементів з показниками строків початку тужавлення у межах 45-60 хв. При цьому за результатами твердіння цементних паст також визначали необхідність та ефективність введення до складу цементу добавки портландцементу. Оптимальні склади та показники випробовування таких цементів для визначення їх класу міцності наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Склади та характеристики цементів

Склад цементу, мас.%					Х-ки цементно-піщаного розчину		Міцність Rст/Rзг, МПа, після діб		
Мелений шлак	ОРС 42,5 R	Лужний компонент		ЛСТ, % від маси сухих склад.					
		Метасилікат	Сода		В/Ц	РК, мм	3	7	28
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
85,0	5,0	6,0	4,0	0,5	0,38	145	39,1 / 9,7	47,4 / 12,1	62,5 / 12,1
87,0	5,0	4,0	4.0	0,5	0,39	140	29,4 / 8,5	36,6 / 9,0	49,8 / 9,2

За результатами випробувань визначено, що такі композиції цементів можна віднести до класів 42,5 та 62,5 згідно стандарту КНР GB 17671-1999.

Для підбору складів бетонну С30 використовували цемент класу 42,5, а для бетону С60 – цемент класу 62,5.

Підібрані склади бетонів наведено в табл. 3, а властивості бетонних сумішей та міцнісні показники бетонів в табл. 4.

Таблиця 3 – Склади бетонів

Бетон, клас	Цемент, клас	Складові бетону кг/м^3									
		Склад цементу, кг				Добавки, кг		Зола ТЕС	Заповнювачі, кг		
										Щебінь	
		Мелений шлак	ОРС 42,5	Метасилікат	Сода	ЛСТ	Стеар. кальц.		Пісок	5-10 мм	10-20 мм
С30	42,5	312	18,4	14,4	14,4	1,8	0,54	63	583	412	762
С60	62,5	442	26,0	31,2	20,8	2,6	0,78	104	550	392	728

Таблиця 4 – Властивості бетонних сумішей та бетонів

Бетон	В/Ц	ОК, мм	Життєздатність, хв.	Міцність при стиску, МПа, після, діб		
				3	7	28
С30	0,50	150	90	20,23	25,3	30,4
С60	0,40	150	60	31,6	39,0	60,5

Визначено, що за показниками міцності підібрані бетони відповідають заданим класам відповідно до стандарту КНР GB/T 50081-2002, а саме за набором міцності на 3 добу (не менше 50%) та на 28 добу (100 %).

Отримані позитивні результати по цементах і бетонах дозволили продовжити роботи у напрямку визначення їх потенційної довговічності в умовах дії морського клімату за критеріями вимог стандартів КНР. Для цього були виготовленні зразки та проведені випробування їх властивостей.

В таблиці 5 показано зміну міцності та маси зразків 40×40×160 мм складу цемент: пісок (1 : 3) в залежності від циклів поперемінного зволоження-висушування за методикою [16].

Таблиця 5 – Атмосферостійкійсть шлаколужного бетону

Кількість циклів	Режим зволоження-висушування		Стандартні умови твердження		Втрата маси, %
	Міцність зразків, МПа				
	Згин	Стиск	Згин	Стиск	
Бетон С30					
100	8,3	57,8	9,4	53,9	-0,484
150	7,9	52,0	8,9	46,6	-0,307
200	8,5	58,0	9,2	54,1	0,939
Бетон С60					
100	11.9	62,0	12.2	64.6	0.578
150	11.0	63,0	11.8	66.4	1.402
200	11.3	63,5	11.8	68,8	0.705

За показниками зміни міцності зразків бетонів розміром 100×100×100 мм при визначенні стійкості їх до сульфатної агресії за стандартом GB/T 50082-2009 визначено, що після 90 циклів випробувань вони характеризуються коефіцієнтами стійкості 0,82 для бетону С60 та 0,89 для бетону С30.

Визначено, що за атмосферостійкістю бетони після 200 циклів висушування і зволоження характеризуються коефіцієнтами стійкості 0,92 для бетону С30 та 0,95 для бетону С60 при втратах маси 0,939% та 0,705 % відповідно, що характеризує їх високу спроможність протидіяти атмосферним впливам.

Випробовування зразків 40×40×160 мм за ГОСТ 27677 на біостійкість бетонів в умовах середовища з pH=3 наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Зміна міцності зразків при випробуванні на біостійкість

Клас бетону	4 місяці зберігання		6 місяців	
	Стандартні умови	Кисле середовище	Стандартні умови	Кисле середовище
С30	53.4/9.4	50.5/8.7	54.7/9.6	52.6/8,8
С60	68,4/12.1	60,0/11.0	72,2.1/12.3	65,6/10,8

Визначено, що коефіцієнти стікості бетонів за значеннями втрати міцності при згині характеризуються показниками 0,90-0,92 після 4-х місяців випробувань та 0,87-0,91 після 6 місяців випробувань, що вказує на їх потенційно високу спроможність протидіяти біологічній корозії.

Випробування бетонів в морозильній камері (рис. 3) показало втрату маси зразків після 200 циклів заморожування-відтавання (-20…+18^{0}С), яка не перевищує 0,25…0,75 %, при втраті міцності 5-10 %.

Рис. 3. Морозильна камера для випробовування зразків на морозостійкість

На рис. 4 показано зразки бетону до та після випробовування на визначення міцності зчеплення з арматурою.

Зчеплення арматури (діаметр 20 мм) з бетоном відповідає показникам міцності 30 кН та 66 кН, відповідно при використанні бетонів класів С30 та С60, що задовольняє вимозі стандарту.

Рис. 4. Випробовування зчеплення бетону з арматурою

Визначення коефіцієнту дифузії іонів хлору та водонепроникності (GB/T 50082-2009) бетонів проводили за допомогою обладнання, яке представлено на рис. 5.

а) б)

Рис. 5. Обладнання: а – визначення дифузії хлору; б – визначення водонепроникності

Відмічено, що такі бетони характеризуються дуже низькими ефективними коефіцієнтами дифузії іонів хлору, які відповідають показникам 1,7…2,5·10^{-12} $см^2/с$, і високою водонепроникністю, за якої бетони відносяться до марок W 20…W 40.

Усадка бетонів після 120 діб характеризується значеннями 0,35 мм/м для бетону С60 та 0,58 мм/м для бетону С30.

Аналіз отриманих даних дали можливість зробити висновок, що розроблені бетони характеризуються високими експлуатаційними характеристиками та потенційно високою довговічністю. Це обґрунтовано дозволило почати їх дослідно-промислове виробництво (рис. 6) при виготовленні опорних блоків і плит укріплення берегової морської лінії. Для цього була підготовлена будівельна площадка довжиною берегової лінії по периметру 4 км та глибиною 5 м (рис. 7).

Рис. 6. Лінія виготовлення бетонів

Рис. 7. Зовнішній вигляд берегової лінії призначеної для благоустрою та укріпленню

Для уникнення розмивання берегової лінії за проектом повинні використовуватися шестигранні блоки, які виготовлюють з бетону класу С20-С30.

Для виготовлення таких блоків використовували бетон С30 з використанням шлаколужного цементу класу 42,5 (рис. 8).

а)

б)

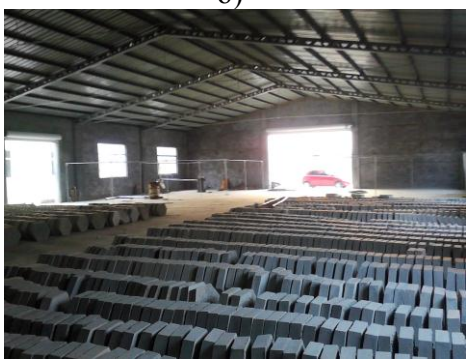

Рис. 8. Виробництво шестигранних блоків:
а – зовнішній вигляд блоку; б – склад готової продукції

Для забезпечення стійкості шестигранних блоків на береговій лінії у підніжжя схилу використовують опорні блоки. Для виробництва опорних блоків використовували бетон класу С60 на основі цементу класу 62,5.

Площадка для зберігання блоків та набору проектної міцності бетону показана на рис. 9.

Рис. 9. Підпірні блоки

Висновки. Показані основні принципи конструювання складів шлаколужних цементів і бетонів, які за своїми властивостями проявляють високу ефективність для спеціального призначення, а саме, у даному випадку, для використання при виготовленні виробів високої стійкості та довговічності в умовах впливу морського клімату, що надає принципову конкурентну спроможність таких бетонів не тільки традиційному цементу, але і їх спеціальним різновидам.

Визначений широкий спектр властивостей шлаколужних цементів і бетонів показав їх відповідність вимогам стандартів КНР та перспективність їх запровадження для підвищення якісних характеристик виробів і конструкцій.

Проведена перевірка розроблених бетонів при виготовленні блоків у дослідно-промислових умовах для облаштування кріплення морської берегової лінії та показана їх висока технологічність та перспективність розвитку виробництв виробів і конструкцій різного призначення.

Література

1. Alkaline cements and concretes: Матеріали Другої міжнародної конференції [“Лужні цементи та бетони»] (Київ, 18-20 березня 1999 р.) / Київ, Науково-дослідний інститут в’яжучих речовин і матеріалів імені В.Д. Глуховського. Київ: ORANTA, 1999. 743 с.

2. Krivenko P. Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials (Review) / Journal of Ceramic Science and Technology. 2017. № 8(3). С. 323-333.

3. Caijun Shi, Pavel. V. Krivenko, Della Roy. Alkali-Activated Cements and Concretes / Taylor & Francis Group. Лондон, 2006. С. 376.

4. Xu Hua, Provis J.L., Deventer Jannie S.J., Krivenko P.V. Characterization of Aged Slag Concretes / ACI Materials, March-April. 2008. № 105(2). С. 131-139.

5. John L. Provis, Jannie S.J., van Deventer, Krivenko P.V., Kavalerova E.S. and other. Alkali Activated Materials: RILEM State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM: Springer Dordrecht Heidelberg New York, 2014. Т. 13. 388 с.

6. Pu Xincheng. Researchs on durability of alkali activated slag concrete / Concrete. 1991. № 5.

7. Effect of technology of manufacturing the alkali activated cement concretes: porous structure and frost résistance : праці конф., “Non-traditional cement & Concrete V”, 16-19 лип. 2014 р. Брно: Brno University of Technology, 2014. С. 119-122.

8. Специальные шлакощелочные цементы / Кривенко П.В. Київ, 1992. 192 с.

9. Omelchuk V., Ye, G., Runova, R., Rudenko, I. Shrinkage behavior of alkali-activated slag cement pastes / Key Engineering Materials. 2018. № 761. С. 45-48.

10. Alkali-activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions : праці 7ої міжнародної наукової конф., “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Building”, 14-16 лист., 2018, Харків / MATEC Web of Conferences 230, 06007 (2018), 2018. С. 7.

11. Кривенко П.В., Петропавловський О.М., Вознюк Г.В., Пушкарь В.І. Оцінка товарних лужних цементів в бетонах // Строительные материалы и санитарная техника, 2010. № 35. С. 14-218.

12. Кривенко П.В., Петропавловский О.Н., Пушкарь В.И., Вознюк Г.В., Лакуста С.О. Управління технологічними властивостями лужних цементів і бетонів на їх основі // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 2015. № 31. С. 222-229.

13. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O. A Comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and ctructure of of alkali-activated slag cement and concrete // Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2018. №1 (6-91). С. 33-39.

14. Петропавловський О.М., Вознюк Г.В., Пушкарь В.І., Лакуста С.О. Вплив аніонної складової лужного компоненту на формування властивостей цементів та бетонів // Вісник

Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2016. № 62. С. 136-142.

15. Krivenko P., Petropavlovskii O., Vozniuk H., Lakusta S. The development of alkali-activated cement mixtures for fast rehabilitation and strengtening of concrete structures // Journal Procedia Engineering. 2017. № 195. С. 142-146.

16. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов / Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Москва, 1973. 504 с.

References

[1] P. Krivenko, Alkaline cements and concretes, in *Second International Conference held at the V.D.Glukhovsky Scientific Research Institute of Binders and Materials in Kyiv*, Kyiv, Ukraine: ORANTA, 1999.

[2] P. Krivenko, "Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials" (Review), *Journal of Ceramic Science and Technology*, no 8 (3), pp. 323-333, 2017.

[3] Caijun Shi, Pavel Krivenko, Della Roy. *Alkali-Activated Cements and Concretes.* Copyright, Taylor & Francis Group, 2006.

[4] Xu Hua, J.L. Provis, Jannie S.J. Deventer, P.V. Krivenko, Characterization of Aged Slag Concretes. *ACI Materials*, 105(2), pp.131-139, 2008.

[5] John L. Provis, and Van Deventer Jannie SJ, eds. *Alkali activated materials: state-of-the-art report, RILEM TC 224-AAM*. Vol. 13. Springer Science & Business Media, 2013.

[6] Pu Xincheng et al, "Researchs on durabilite of alkali activated slag concrete", *Concrete,* no 5, 1991 (in Chinese).

[7] P. Krivenko, Cao Hailin, O. Petropavlovsky, Weng Luqian, V. Pushkar, *"*Effect of technology of manufacturing the alkali activated cement concretes: porous structure and frost résistance*", International Conference "Non-traditional cement & Concrete V*", Brno University of Technology, Brno, pp. 119-122, 2014

[8] P.V. Krivenko, *Special'nye shlakoshchelochnye cementy.* Kyiv, Ukraine, Budivelnik, 1992.

[9] V. Omelchuk, R. Runova, I. Rudenko, "Shrinkage behavior of alkali-activated slag cement pastes", *Key Engineering Materials*, Vol. 761. pp. 45-48, 2018.

[10] O. Kovalchuk, V. Grabovchak, Y. Govdun, *"*Alkali-activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions", in *MATEC Web of Conferences 230, 06007 (2018), Proceed. 7th International Scientific Conferece "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Building",* Kharkiv, p. 7, 2018.

[11] P.V. Kryienko, O.N. Petropavlovskii, V.I. Pushkar, "Ocinka tovarnih luzhnih cementiv v betonah", *Building materials and sanitary engineering,* no 35, pp. 14-218, 2010.

[12] P.V. Kryienko, O.N. Petropavlovskii, V.I. Pushkar, G.V. Vozniyk, S.O. Lakusta, "Upravlinnya tekhnologichnimi vlastivostyami luzhnih cementiv i betoniv na ïh osnovi", Res*ource-saving materials, constructions, buildings and structures,* no 31, pp. 222-229, 2015.

[13] P.Krivenko, O. Petropavlovsky, O. Kovalchuk, "A Comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and ctructure of of alkali-activated slag cement and concrete", *Eastern European Journal of Enterprise Technologie,* Vol. 1, Issue 6-91, pp. 33-39, 2018.

[14] O.M. Petropavlovskii, G.V. Vozniyk, V.I. Pushkar, S.O. Lakusta, "Vpliv anionnoï skladovoï luzhnogo komponentu na formuvannya vlastivostej cementiv ta betoniv", *Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 62, pp. 136-142, 2016.

[15] P. Krivenko, O. Petropavlovskii, H. Vozniuk, S. Lakusta, "The development of alkali-activated cement mixtures for fast rehabilitation and strengthening of concrete structures", *Journal Procedia Engineering,* no 195, pp. 142-146, 2017.

[16] Yu.M. Butt, V.V. Ty`mashev, *"Praktikum po himicheskoj tekhnologi vyazhushchih materialov. Uchebnoe posobie dlya himiko-tekhnologicheskih special'nostej vuzov"*. Moscow: Higher school, 1973.

ЭФЕКТИВНОСТЬ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

П.В. Кривенко, д.т.н., профессор,
pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7697-2437
О.Н. Петропавловский, к.т.н., с.н.с.,
ORCID: 0000-0002-3381-1411
А.Ю. Ковальчук, к.т.н., с.н.с.,
ORCID: 0000-0001-6337-0488
Научно–исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В.Д. Глуховского Киевского национального университета строительства и архитектуры
Цао Хайлин, к.т.н., профессор,
Венг Лигуан, к.т.н., профессор,
Академия аэрокосмических технологий г. Шень-Жень, КНР

Аннотация. Высокие эксплуатационные свойства и долговечность шлакощелочных цементов подтверждены многими примерами их реального использования в строительном производстве. Это привело к развитию таких материалов по всему миру и особенно в Китае. Отличительной особенностью шлакощелочных материалов являются их высокие показатели противодействия к различным агрессивным средам, морозной деструкции, водопроницаемости и др., что предопределило специалистов Академии аэрокосмических технологий (г. Шень-Жень, КНР) обратить свой интерес к организации производства шлакощелочных бетонов в ряде специальных областей строительства, в том числе для обустройства морских объектов.

Поставлена задача разработать на основе сырьевых материалов КНР шлакощелочные цементы классов 42,5 и 62,5 с последующим их использованием для получения подвижных (ОК=10-15 см) бетонов классов С30 и С60 и провести их проверку по ряду критериев, характерных для эксплуатации бетонов в условиях морского климата.

Проведенная оценка качества шлакового компонента и способность проявления им вяжущих свойств в условиях щелочной активации, позволили разработать и оптимизировать цементные композиции с использованием в качестве щелочного компонента сухих порошков кальцинированной соды и метасиликата натрия с дополнительным введение в состав цемента добавок портландцемента (5%) и пластификатора (0,5%). Такие композиции позволили получить шлакощелочные цементы классов 42,5 и 62,5, которые полностью удовлетворяют требованиям стандартов КНР на цементы.

С использование таких цементов разработаны составы бетонов С30 и С60 и проведены их полномасштабные испытания, результаты которых показали высокую эффективность таких бетонов и позволили организовать опытно-промышленное производство для изготовления изделий укрепления береговой линии в КНР.

Ключевые слова: шлак, цемент, порошковый щелочной компонент, бетон, морские сооружения.

EFFICIENCY OF SLAG ALKALI ACTIVATED CONCRETES FOR MARINE CONSTRUCTIONS

P.V. Krivenko, DSc., Professor,
pavlo.kryvenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7697-2437
O.M. Petropavlovskyy, PhD., senior researcher,
ORCID: 0000-0002-3381-1411
O.Yu. Kovalchuk, PhD., senior researcher,
ORCID: 0000-0001-6337-0488
Scientific-research Institute for Binders and Materials named after. V.D. Glukhovskii
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
Cao Hailin, PhD., Professor,
Weng Liquan, PhD., Professor,
Shenzhen academy of Aerospace technologies, Shenzhen, PRC

Abstract. High service properties and durability of slag alkali activated cements (SAAC) are proved by various examples of their application in constructions. This has led to the development of their real application all over the world and particularly in China. The features of SAAC are high resistance to different aggressive environments, frost resistance, water permeability and others, that encouraged the specialists of Shenzhen Academy of Aerospace technologies (Shenzhen, China) to pay their attention to the organization of SAAC concretes manufacture in a number of special construction branches, including marine construction engineering.

The aim of the research was to develop slag alkali activated cements of strength classes 42.5 and 62.5 on the basis of China raw materials, with their subsequent application for obtaining flow able concretes (slump=10-15 cm) of strength classes C30 and C60 and to provide their tests according to different criteria, characterizing the application of concretes in the sea climate.

The determination of slag component quality and its ability to display binding properties under alkaline activation made it possible to develop and optimize cement compositions using as an alkaline component dry salts of sodium carbonate and sodium metasilicate with additional use of OPC admixtures (5%) and plasticizer (0.5%). Such compositions made it possible to obtain slag alkali activated cements of strength classes 42.5 and 62.5, which meet the requirements of PRC Standard for cements.

Using such cements were developed concrete compositions with strength classes C30 and C60 and their tests were provided. The results of these tests have showed high efficiency of such concretes and made it possible to organize pilot manufacture for producing sea coast line reinforcement constructions in China.

Keywords: slag, cement, powder alkaline component, concrete, marine constructions.

Стаття надійшла 14.03.2019