

**ПОРІВНЯННЯ МІЦНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНІВ
НА СУЛЬФАТОСТІЙКОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ ССПЦ 400-Д0
ТА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ З ДОБАВКОЮ ПУЦОЛАНИ ПЦ П/А-П-500 Р-Н**

Кровяков С.О., к.т.н., доцент,
skrovyakov@ukr.net, ORCID 0000-0002-0800-0123

Мішутін А.В., д.т.н., професор,

Дудник Л.В., аспірант,

Заволока М.В., к.т.н., професор,

Ткаченко Г.Г., к.т.н., доцент,

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. Порівняно міцність, морозостійкість, водонепроникність та корозійну стійкість бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 і портландцементу ПЦ П/А-П-500 Р-Н. Встановлено, що бетони на портландцементі з добавкою пуцолани ПЦ П/А-П-500 Р-Н мають морозостійкість та корозійну стійкість в агресивному сульфатному середовищі не нижче бетонів аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 та мають більш високу водонепроникність. Це показує можливість застосування портландцементу з добавкою пуцолани в якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу в бетонах, які експлуатуються в контакт з агресивним сульфатним середовищем при одночасному впливі заморожування і відтаювання.

Ключові слова: бетон, цемент, пуцолан, міцність, довговічність, сульфатостійкість, морозостійкість, водонепроникність.

Вступ. На сучасному будівельному ринку України існує певний дефіцит бездобавочного сульфатостійкого цементу. До 2014 року включно бездобавочний сульфатостійкий портландцемент в Україні виробляв лише Новоамвросіївський цементний завод і виробництво даного типу цементу там було налагоджено на постійній основі. Але з 2015 року через повне припинення роботи Новоамвросіївського цементного заводу єдиним виробником сульфатостійкого портландцементу в Україні стає Івано-Франківський цементний завод. Решта українських виробників цементу пропонують на ринку лише сульфатостійкий шлакопортландцемент, бетон на основі якого, як відомо, гірше працює в конструкціях, що піддаються заморожуванню і відтаюванню [1-3]. Але технологічні особливості виробництва бездобавочного сульфатостійкого цементу, при непостійному попиті на це в'яжуче, обумовлюють певні незручності для його замовників. Основні – це необхідність попереднього замовлення на виготовлення партії такого цементу та обмеження щодо мінімального розміру даної партії. Імпорتنі сульфатостійкі бездобавочні цементы в Україні не є поширеними і мають в декілька разів вищу вартість в порівнянні з вітчизняними. Відповідно при невеликих обсягах виконання робіт з використанням сульфатостійкого цементу виробник бетону не завжди може отримати необхідне в'яжуче, або вимушений чекати на його виготовлення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Описана вище проблеми може бути вирішена за рахунок використання альтернативного цементу, виробництво якого в масовій кількості є технологічно простішим, при цьому дане в'яжуче зможе забезпечити необхідний для більшості конструкцій рівень корозійної стійкості та морозостійкості. Як показують дослідження багатьох вчених [4-7], в якості такої альтернативи сульфатостійкому портландцементу можуть виступати цементы з пуцоланом, бетони з добавкою якого характеризуються високою сульфатостійкістю та задовільною морозостійкістю. Але з врахуванням наявної вітчизняної сировинної бази а також вітчизняних особливостей технології виробництва в'яжучих можливість використання бетонів на основі цементів з пуцоланом в важких агресивних умовах потребує додаткових досліджень.

Сульфатостійкість використаного цементу є обов'язковою умовою довговічності для бетонів конструкцій, які експлуатуються при контакті з агресивним сульфатним середовищем [1-3]. Насамперед це стосується бетонів для морських гідротехнічних споруд [8]. При цьому для конструкції, які частково занурені у воду, а частково знаходяться вище рівня води (палі, причальні стінки, лицювання берегів тощо) довговічність визначається комплексом властивостей бетону. Для підводної частини таких конструкцій найбільш важливими є сульфатостійкість і водонепроникність бетону, для надводної – морозостійкість, а для зони змінного рівня води всі три дані показника: сульфатостійкість, водонепроникність і морозостійкість [4,9,10]. Відповідно для досягнення об'єктивності при оцінці довговічності бетонів на різних типах цементів слід порівнювати весь комплекс даних властивостей.

Мета роботи. Для українського ринку самим масовим портландцементом з добавкою пуцолани є ПЦ II/A-II-500 P-H. Відповідно метою даної роботи є порівняння міцності, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості в сульфатному середовищі бетонів на основі сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0 (СЕМ I 32.5 R/SR) і портландцементу ПЦ II/A-II-500 P-H (СЕМ II/A-P 42.5 R). Обидва цементу виробляються ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Таке порівняння необхідно для виявлення можливості використання вітчизняного портландцементу з пуцоланом в якості альтернативи сульфатостійкому цементу.

Об'єкти та методи дослідження. Для здійснення порівняння міцності, морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості бетонів на різних цементах розрахунково-експериментальним методом був проведений підбір 4-х складів бетонів:

- класу В25 (С20/28) на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0;
- класу В25 (С20/28) на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H;
- класу В35 (С30/35) на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0;
- класу В35 (С30/35) на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H.

Всі бетони без хімічних добавок, рухомість бетонної суміші для всіх бетонів Р2. Відсутність хімічних добавок в бетонах при проведенні експериментів була обумовлена необхідністю коректного порівняння властивостей бетонів на різних цементах без впливу модифікаторів, які можуть мати різну ефективність для різних типів в'язучих.

У якості дрібного заповнювача для бетонів в проведених дослідженнях використовувався кварцовий пісок з модулем крупності 2,46, митий. Насипна густина піску складала 1480 кг/м³. У якості крупного заповнювача використовувався гранітний щебінь фракції 5-20 мм насипною густиною 1390 кг/м³. Вміст пилюватих частинок в щебені складав до 0,2%.

Склади підібраних бетонів двох класів наведені у таблиці 1. Для кожного класу один склад бетону підібрано на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0, інший – на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H. Завдяки різній активності в'язучих при забезпеченні заданого класу бетону розрахункова витрата портландцементу ПЦ II/A-II-500 P-H на 1 м³ суміші очікувано була на 20 кг меншою в порівнянні з розрахунковою витратою сульфатостійкого портландцементу ССПЦ 400-Д0.

Таблиця 1 – Склади підібраних бетонів на різних типах цементу (рухомість бетонної суміші Р2, максимальна крупність щебеню 20 мм)

Клас бетону і вид цементу	Цемент, кг/м ³	Щебінь, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Вода, л/м ³	В/Ц
В25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	331	1190	701	178	0,538
В25 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	311	1202	712	176	0,566
В35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	433	1179	585	202	0,467
В35 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	413	1187	606	190	0,460

Результати досліджень. Для всіх чотирьох бетонів підібраних складів визначалися: міцність при стиску у віці 7, 28, 90 і 180 діб, водонепроникність, морозостійкість, водопоглинання і корозійна стійкість в рідкому сульфатному середовищі.

На рис. 1 відображено динаміку набору міцності для бетонів 4-х досліджених складів у віці 7,28, 90 і 180 діб.

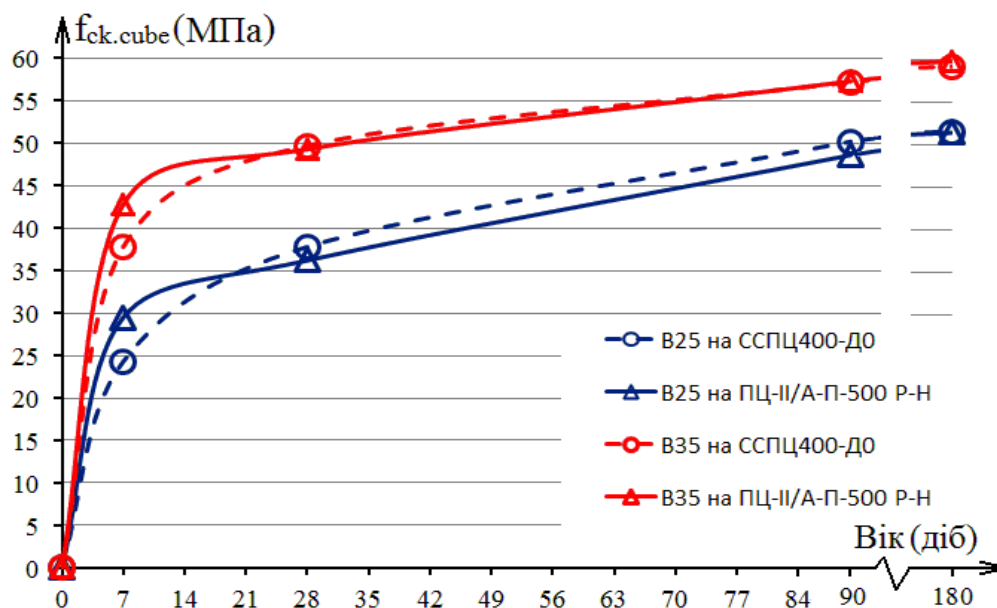


Рис.1. Міцність бетонів на різних типах цементів у віці 7,28, 90 і 180 діб

Завдяки складу в'язучого досить очікувано міцність бетонів на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H у віці 7 діб була вище, ніж аналогічних за класом бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. У віці 28 діб виходячи з умов експерименту міцність всіх бетонів відповідала їх класу.

Подальше зростання міцності бетонів на різних типах цементу проходило приблизно в однаковому темпі. У віці 90 діб міцність бетону класу В25 була вище за стандартну 28-ми денну на 33-35%, а міцність бетону класу В35 за цей період зросла на 15-16%. У віці 180 діб міцність бетону класу В25 була вище за стандартну 28-ми денну на 36-42%, а міцність бетону класу В35 за цей період зросла на 19-21%.

Значення морозостійкості, водонепроникності та величини водопоглинання бетонів 4-х досліджених складів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Морозостійкість, водонепроникність та водопоглинання досліджених бетонів на різних типах цементу

Клас бетону і вид цементу	Морозостійкість	Водонепроникність	Водопоглинання
В25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	F150	W6	4,8
В25 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	F150	W8	4,7
В35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	F200	W10	5,0
В35 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	F200	W12	4,7

Аналіз наведених в таблиці даних показує, що морозостійкість бетонів одного класу на різних типах цементу була однаковою – 150 циклів для бетонів класу В25 і 200 циклів для бетону класу В35. Важливо зазначити, що морозостійкість визначалася прискореним методом згідно з ДСТУ Б В.2.7-49-96, 2-й прискорений метод. Тобто точніше сказати, що при визначенні морозостійкості прискореним методом, рівень даного показника якості для бетонів на різних типах цементу не розрізнявся.

Водонепроникність бетону, яка визначалася за методом мокрої плями згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 залежала і від класу бетону, і від типу цементу, який використовувався у бетоні. Бетони класу В25 мають природньою нижчу водонепроникність, W6 і W8, а бетони класу В35 вищу – W10 і W12. Важливим результатом є те, що бетони на портландцементі з добавкою пуцолани (ПЦ II/A-II-500 P-H) мали водонепроникність на одну марку вище, ніж бетони аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. При цьому водопоглинання всіх 4-х досліджених бетонів знаходилося на приблизно одному рівні – 4,7-5%.

Але, як зазначено вище, основною причиною застосування сульфатостійкого портландцементу для бетону є необхідність чинити опір агресивному впливу сульфатів у середовищі, у якому проходить експлуатація конструкції. Відповідно при розгляді портландцементу з добавкою пуцолани як альтернативи сульфатостійкому портландцементу необхідно порівняти корозійну стійкість бетонів на даних двох цементах в агресивному сульфатному середовищі.

Вивчення корозійної стійкості бетонів в рідкому агресивному середовищі проводилося згідно ДСТУ Б ГОСТ 27677:2011. В якості агресивного було прийняте сульфатне середовище з концентрацією SO_4^{2-} 10000 мг/л (розчин Na_2SO_4). Контролювалася міцність зразків після витримування у агресивному середовищі протягом 1 і 3 місяців та контрольних зразків аналогічного віку після витримування у прісній воді. За цими даними було розраховано коефіцієнт стійкості бетонів у агресивному середовищі (таблиця 3).

Таблиця 3 – Визначення корозійної стійкості бетонів в рідкому агресивному сульфатному середовищі

Клас бетону і вид цементу	1 місяць витримування			3 місяця витримування		
	міцність контрольних зразків	міцність зразків в агресивному середовищі	коефіцієнт стійкості	міцність контрольних зразків	міцність зразків в агресивному середовищі	коефіцієнт стійкості
В25 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	44,9 МПа	44,0 МПа	0,981	47,2 МПа	47,8 МПа	1,013
В25 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	41,2 МПа	39,9 МПа	0,968	44,2 МПа	44,1 МПа	0,998
В35 на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0	52,7 МПа	54,8 МПа	1,041	55,1 МПа	57,9 МПа	1,051
В35 на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H	52,9 МПа	55,6 МПа	1,051	55,7 МПа	58,3 МПа	1,047

Аналіз наведених у таблиці даних показує, що всі досліджені бетони мали приблизно однаковий рівень стійкості у рідкому сульфатному середовищі. Коефіцієнт стійкості для бетонів класу В25 після 1 і 3 місяців експонування зразків у розчині SO_4^{2-} з концентрацією 10000 мг/л складав від 0,968 до 1,013, для бетонів класу В35 – від 1,041 до 1,051, що є

практично рівними одиниці показниками з врахуванням статистичної точності методу. Тобто міцність досліджених бетонів у воді та у сульфатному середовищі змінювалася у приблизно одному темпі.

Таким чином, проведені дослідження показали, що бетони на портландцементі з добавкою пуцолани ПЦ II/A-II-500 P-H мають морозостійкість та корозійну стійкість в агресивному сульфатному середовищі не нижче бетонів аналогічного класу на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 та мають більш високу водонепроникність. При цьому такі показники якості були отримані при дослідженні бетонів однакових класів, а не з однаковою витратою в'язучого на 1 м³. Тобто без врахування того, що бетони на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H виходячи з результатів підбору складу мали меншу витрату цементу в порівнянні з аналогічними за класом бетонами на сульфатостійкому портландцементі. Це підтверджує перспективну можливість застосування портландцементу з добавкою пуцолани в якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу в бетонах, які експлуатуються в контакт з рідким агресивним сульфатним середовищем при одночасному впливі заморожування і відтаювання. Для більш детального визначення даної можливості бажано провести додаткові дослідження властивостей бетонів на наведених вище типах цементу в натурних умовах, зокрема конструкціях морських гідротехнічних споруд.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

– міцність бетонів на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H у віці 7 діб є на 14-21% вищою, ніж аналогічних за класом бетонів на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0. У віці 28 діб виходячи з умов експерименту міцність всіх бетонів відповідала їх класу. Подальше зростання міцності бетонів на різних типах цементу проходило приблизно в однаковому темпі;

– бетони на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H мають водонепроникність на одну марку вище, ніж аналогічні за класом бетони на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0;

– аналогічні за класом бетони на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H та на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 мають однакову морозостійкість (при визначенні показника F прискореним методом);

– аналогічні за класом бетони на портландцементі ПЦ II/A-II-500 P-H та на сульфатостійкому портландцементі ССПЦ 400-Д0 мають приблизно однаковий рівень стійкості у рідкому сульфатному середовищі з концентрацією SO₄²⁻ 10000 мг/л (розчин Na₂SO₄) після 1 і 3 місяців експонування зразків;

– викладене вище показує можливість застосування портландцементу з добавкою пуцолани в якості альтернативи сульфатостійкому портландцементу в бетонах, які експлуатуються в контакт з рідким агресивним сульфатним середовищем при одночасному впливі заморожування і відтаювання. Але для точного підтвердження цієї можливості необхідним є проведення натурних досліджень довговічності бетонів на різних типах цементів в агресивних умовах експлуатації, зокрема в конструкціях морських гідротехнічних споруд.

Література

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 544 с.
2. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. К.: Оранта, 2004. 301 с.
3. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений. Одесса: Эвен, 2011. 292 с.

4. Kwon S.-J., Lee, H.-S., Karthick S., Saraswathy, V., Yang, H.-M. Long-term corrosion performance of blended cement concrete in the marine environment – A real-time study. *Construction and Building Materials*. Volume 154, 15 November 2017, pp. 349-360.

5. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М., Котів М.В. Бетони поліфункціонального призначення на основі композиційних цеолітвісних портландцементів. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". "Теорія і практика будівництва". 2016. № 844. С.188-193.

6. Fodil D., Mohamed M. Compressive strength and corrosion evaluation of concretes containing pozzolana and perlite immersed in aggressive environments. *Construction and Building Materials*. Volume 179, 10 August 2018, pp. 25-34.

7. Massazza F. Pozzolanic cements. *Cement and Concrete Composites*. Volume 15, Issue 4, 1993, pp. 185-214.

8. Holland R.B., Kurtis K.E., Kahn L.F. Sulfate resistance of ternary blend concretes: Influence of binder composition on performance. American Concrete Institute, ACI Special Publication. Volume 2016-January, Issue SP 317, 2016, pp. 5-16.

9. *Marine Concrete Structures: Design, Durability and Performance*. Editor – Mark Alexander, 2016, 504 p.

10. Кровяков С.О. Наукові та практичні основи підвищення довговічності модифікованих бетонів на легких заповнювачах для тонкостінних гідротехнічних споруд. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2018, №73, С.73-80.

References

- [1] L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin, *Stroitel'nyye mineral'nyye vyazhushchiye materialy*. M.: Infra-Inzheneriya, 2013.
- [2] I. Shtark, B. Vikht, *Dolgovechnost' betona*. Pod red. P. Krivenko. K.: Oranta, 2004.
- [3] A.V. Mishutin, N.V. Mishutin, *Povyshenie dolgovechnosti betonov morskikh zhelezobetonnykh plavuchikh i statsionarnykh sooruzhenii*. Odessa: Even, 2011.
- [4] S.-J. Kwon, H.-S. Lee, S. Karthick, V. Saraswathy, H.-M. Yang, "Long-term corrosion performance of blended cement concrete in the marine environment – A real-time study", *Construction and Building Materials*, Vol. 154, pp. 349-360, 2017.
- [5] М.А. Sanytskyu, Т.П. Кропивницька, І.М. Hevyuk, М.В. Kotiv, "Betony polifunktsionalnoho pryznachennya na osnovi kompozytsiynykh tseolitivmisnykh portlandtsementiv", *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika"*. "Teoriya i praktyka budivnytstva", no. 844, pp.188-193, 2016.
- [6] D. Fodil, M. Mohamed, "Compressive strength and corrosion evaluation of concretes containing pozzolana and perlite immersed in aggressive environments", *Construction and Building Materials*, Vol. 179, pp. 25-34, 2018.
- [7] F. Massazza, "Pozzolanic cement", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 15, Issue 4, pp. 185-214, 1993.
- [8] R.B. Holland, K.E. Kurtis, L.F. Kahn, "Sulfate resistance of ternary blend concretes: Influence of binder composition on performance", *American Concrete Institute, ACI Special Publication*, Vol. 2016-January, Issue SP 317, pp. 5-16, 2016.
- [9] *Marine Concrete Structures: Design, Durability and Performance*. Editor – Mark Alexander, 2016.
- [10] S.O. Krovlyakov, "Naukovi ta praktychni osnovy pidvyshchennya dovhovichnosti modyfikovanykh betoniv na lehkykh zapovnyuvachakh dlya tonkostinnykh hidrotekhnichnykh sporud", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, no. 73, pp.73-80, 2018.

**СРАВНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ
НА СУЛЬФАТОСТОЙКОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ССПЦ 400-Д0
И ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С ДОБАВКОЙ ПУЦЦОЛАНЫ ПЦ П/А-П-500 Р-Н**

Кровяков С.А., к.т.н., доцент,
skrovyakov@ukr.net, ORCID 0000-0002-0800-0123

Мишутин А.В., д.т.н., профессор,

Дудник Л.В., аспирант,

Заволока М.В., к.т.н., профессор,

Ткаченко Г.Г., к.т.н., доцент,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Аннотация. На рынке Украины существует дефицит бездобавочного сульфатостойкого портландцемента. Для выявления возможности использования отечественного портландцемента с пуццоланом в качестве альтернативы сульфатостойкому цементу были проведены данные исследования. Выполнялось сравнение прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и коррозионной стойкости в жидкой сульфатной среде бетонов на основе сульфатостойкого портландцемента ССПЦ 400-Д0 и портландцемента с пуццоланом ПЦ П/А-П-500 Р-Н.

Были подобраны составы 4-х бетонов без химических добавок: класса В25 на сульфатостойком портландцементе и на портландцементе с пуццоланом, а также класса В35 на аналогичных двух цементах. Установлено, что прочность бетонов на портландцементе ПЦ П/А-П-500 Р-Н в возрасте 7 суток выше, чем аналогичных по классу бетонов на сульфатостойком портландцементе ССПЦ 400-Д0. В возрасте 28 суток, исходя из условий эксперимента, прочность всех бетонов отвечала классу. Дальнейший рост прочности бетонов на различных типах цемента проходил примерно в одинаковом темпе.

Морозостойкость бетонов одного класса на разных типах цемента была одинаковой – 150 циклов для бетонов класса В25 и 200 циклов для бетонов класса В35. Водонепроницаемость бетона зависела и от класса бетона, и от типа цемента. Бетоны класса В25 имели водонепроницаемость W6 и W8, а бетоны класса В35 – W10 и W12. При этом бетоны на портландцементе с добавкой пуццоланы имели водонепроницаемость на одну марку выше, чем бетоны аналогичного класса на сульфатостойком портландцементе. Все бетоны имели примерно одинаковую коррозионную стойкость в жидкой сульфатной среде. Коэффициент стойкости для бетонов класса В25 после 1 и 3 месяцев экспонирования образцов в растворе SO_4^{2-} составлял от 0,968 до 1,017, для бетонов класса В35 – от 1,014 до 1,051. То есть прочность исследованных бетонов в воде и в сульфатной среде изменялась в примерно одинаковом темпе.

Полученные результаты показывают возможность применения портландцемента с добавкой пуццоланы в качестве альтернативы сульфатостойкому портландцементу в бетонах, эксплуатируемых в контакте с жидкой агрессивной сульфатной средой при одновременном воздействии замораживания и оттаивания, например в конструкциях морских гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: бетон, цемент, пуццолан, прочность, долговечность, сульфатостойкость, морозостойкость, водонепроницаемость.

**COMPARISON OF STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETES ON
SULFATE-RESISTANT PORTLAND CEMENT CEM I 32.5 R/SR AND PORTLAND
CEMENT WITH THE ADDITION OF POZZOLAN CEM П/А-П 42.5 R**

Kroviakov S.O., PhD., Assistant Professor,
skrovyakov@ukr.net, ORCID 0000-0002-0800-0123

Mishutin A.V., Doctor of Engineering, Professor,

Dudnik L.V., graduate student,
Zavoloka M.V., Ph.D., Professor,
Tkachenko G.G., Ph.D., Associate Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. On the Ukrainian market there is a shortage of non-additive sulfate-resistant Portland cement. These studies were conducted to identify the possibility of using Ukrainian Portland cement with pozzolan as an alternative to sulfate-resistant cement. A comparison of strength, frost-resistance, water-tightness and corrosion resistance in a liquid sulfate environment of concrete based on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR and Portland cement with pozzolan CEM II/A-P 42.5 R was performed.

The 4 concrete mixtures without chemical additives were designed: concrete grade B25 (C20/28) on sulfate-resistant Portland cement and on Portland cement with pozzolan, concrete grade B35 (C30/35) on similar two cements.

It was found that the strength of concrete on Portland cement CEM II/A-P 42.5 R at the age of 7 days is higher than that of similar in class concrete on sulfate-resistant Portland cement CEM I 32.5 R/SR. At the age of 28 days, the strength of all concretes corresponded to the grade. This strength was determined by the conditions of the experiment. The growth of concrete strength on various types of cement with an increase in their age occurred at about the same pace.

The frost-resistance of concrete of the same grade on different types of cement was the same: F150 for concrete grade B25 and F200 for concrete grade B35. The water-tightness of concrete depended on its grade and type of cement. Concretes of grade B25 (C20/28) had water-tightness W6 and W8, concretes of grade B35 (C30/35) – W10 and W12. At the same time, concretes on Portland cement with the addition of pozzolans had a water resistance one grade higher than concretes of a similar grade on sulfate-resistant Portland cement.

All concretes had approximately the same corrosion resistance in a liquid sulfate environment. The resistance coefficient for grade B25 (C20/28) concrete after 1 and 3 months of exposure of samples in a SO_4^{2-} solution ranged from 0.968 to 1.017. The coefficient of resistance for concrete grade B35 (C30/35) ranged from 1.014 to 1.051. That is, the strength of the investigated concretes in water and in sulfate environment changed at approximately the same pace.

The obtained results show the possibility of using Portland cement with the addition of pozzolans (CEM II/A-P 42.5 R) as an alternative to sulfate-resistant Portland cement (CEM I 32.5 R/SR) in concrete, which are used in contact with an aggressive liquid sulfate environment while simultaneously freezing and thawing. For example, when using concrete in the construction of marine hydraulic structures.

Keywords: concrete, cement, pozzolan, strength, durability, sulfate-resistance, frost-resistance, water-tightness.

Стаття надійшла 08.05.2019