

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БОЙКО ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 691.5; 691.3

ДИСЕРТАЦІЯ

ЛУЖНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ РУХЛИВИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ З
ПІДВИЩЕНИМИ ЗАХИСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПО ВІДНОШЕННЮ
ДО СТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ

Спеціальність: 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань: 19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії вперше

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Бойко Ольга Володимирівна

Науковий керівник Ковальчук Олександр Юрійович, к.т.н., с.н.с.

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Бойко О.В. Лужні бетони на основі рухливих бетонних сумішей з підвищеними захисними властивостями по відношенню до сталеві арматури.

– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 – Архітектура та будівництво). – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2023.

В дисертаційній роботі встановлено закономірності структуроутворення шлаколуужних цементів систем «доменний гранульований шлак – сода кальцинована» та «доменний гранульований шлак – метасилікат натрію» при введенні в них мінеральних добавок, солей сильних кислот та при замішуванні їх морською водою. За результатами досліджень модельних систем встановлено, що фазовий склад гідратних новоутворень переважно представлений гідросилікатами кальцію та кальцитом. З метою визначення композиційного складу шлаколуужного цементу, який буде забезпечувати максимальне зв'язування агресивних до сталеві арматури аніонів Cl^- , SO_4^{2-} гідратними новоутвореннями досліджено вплив мінеральних добавок та морської води на іммобілізуючу здатність цементу та встановлено залежність властивостей шлаколуужного цементу системи «доменний гранульований шлак – лужний компонент» від виду мінеральної добавки та розчину замішування. Введення до системи добавок портландцементу і кліноптилоліту призводить до підвищення показника ТНГ, але не впливає на строки тужавлення цементу. Модифікація добавкою $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сприяє підвищенню ТНГ та подовженню строків тужавлення незалежно від виду затворювача. Використання добавок портландцементу, кліноптилоліту та $\text{Ca}(\text{OH})_2$ призводить до погіршення показників міцності шлаколуужного цементу, найбільш негативним впливом характеризується добавка $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Добавка глиноземистого цементу несуттєво впливає на показник ТНГ

шлаколужного цементу, однак призводить до розтягування строків тужавлення, особливо кінця. При цьому спостерігається позитивний вплив добавки глиноземистого цементу на формування міцності шлаколужного цементу системи «доменний гранульований шлак – сода кальцинована».

Щодо впливу виду затворювача на властивості шлаколужного цементу визначено, що замішування шлаколужного цементу морською водою призводить до сповільнення процесу тужавлення. При цьому спостерігається незначне погіршення міцнісних властивостей на 28 добу тверднення. Оскільки морська вода представляє собою суміш солей, серед яких превалюють хлориди і сульфати, оцінити роль кожної складової на властивості шлаколужного цементу на основі соди кальцинованої можливо при затворюванні насиченими розчинами NaCl і MgSO₄. Показано, що більшим впливом на сповільнення тужавлення характеризується сульфатна складова. Однак при затворюванні шлаколужного цементу насиченим розчином NaCl спостерігається більше погіршення міцності штучного каменю.

Запропоновано модифікування шлаколужного цементу системи «доменний гранульований шлак – лужний компонент» комплексною добавкою складу «глиноземистий цемент – портландцемент – кліноптилоліт» з метою максимального зв'язування іонів Cl⁻, SO₄²⁻ для попередження корозії сталеві арматури в бетоні. Поєднання глиноземистого цементу і портландцементу при співвідношенні 2,17:1 сприяє найбільш інтенсивному формуванню в складі продуктів гідратації шлаколужного цементу високоосновного гідроалюмінату кальцію 3CaO·Al₂O₃·10H₂O, який забезпечує зв'язування іонів Cl⁻, SO₄²⁻ в водонерозчинні AFm-фази. Використання добавки кліноптилоліту сумісно з портландцементом і глиноземистим цементом сприяє підсиленню оклюдуючої функції шлаколужного цементу внаслідок обміну іонами OH⁻ на іони Cl⁻ і SO₄²⁻.

Дослідження поверхні сколу штучного каменю показало, що при замішуванні систем «доменний гранульований шлак – лужний компонент – комплексна добавка» морською водою в складі продуктів гідратації штучного

каменю на 28 добу тверднення згідно ДТА поряд з кальцитом, гідросилікатами та гідроалюмінатами кальцію, ідентифіковано хлоридо-сульфатні AFm-фази у вигляді солі Кузеля $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 0,5\text{CaCl}_2\cdot 0,5\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$. За допомогою методів фізико-хімічного аналізу показано ефективність використання в шлаколужних цементах системи «доменний гранульований шлак – лужний компонент» комплексної добавки складу «глиноземистий цемент – портландцемент – кліноптилоліт», яка забезпечує формування в складі гідратації малорозчинних AFm-фаз для надійного зв'язування агресивних до сталевій арматури іонів Cl^- та SO_4^{2-} з формуванням щільної мікроструктури. Використання комплексної добавки визначеного складу запропоновано як метод управління транспортними властивостями бетону на основі шлаколужного цементу.

Досліджено вплив солей сильних кислот на процеси структуроутворення шлаколужного цементу. Показано, що введення добавок NaNO_3 , Na_3PO_4 і NaCl до складу шлаколужного цементу призводить до додаткового ущільнення мікроструктури штучного каменю і підвищення міцності внаслідок збільшення ступеня закристалізованості гідратних новоутворень, а також інтенсифікації кінетики структуроутворення цементу. Визначено, що ефективність солей сильних кислот за їх впливом на кінетику структуроутворення зменшується в ряду: нітрат натрію > хлорид натрію > фосфат натрію. Показано, що добавка NaNO_3 забезпечує найбільший ступінь закристалізованості мікроструктури внаслідок найінтенсивнішого впливу на розвиток конденсаційно-кристалізаційної структури після сповільюючого ефекту на розвиток коагуляційної.

Отже, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено на модельних системах можливість зв'язування іонів Cl^- , SO_4^{2-} в малорозчинні AFm-фази у вигляді солей Фріделя, моноссульфоалюмінату кальцію та солі Кузеля із забезпеченням підвищених захисних властивостей штучного каменю лужного цементу по відношенню до сталевій арматури.

В роботі досліджено залежність транспорту іонів Cl^- , SO_4^{2-} з агресивних середовищ від особливостей макроструктури шлаколужних бетонів,

отриманих з високорухомих сумішей (марка P4). З метою управління транспортними властивостями бетону щодо агресивних до сталевій арматури іонів Cl^- і SO_4^{2-} шляхом їх зв'язування гідратними новоутвореннями шлаколузний бетон модифікували комплексною добавкою складу «глиноземистий цемент – портландцемент – кліноптилоліт».

Згідно отриманим значенням коефіцієнтів корозійної стійкості (близько 1,0) зразки дрібнозернистих шлаколузних бетонів після 90 діб тверднення в агресивних середовищах характеризуються щільною макроструктурою, яка запобігає руйнуванню штучного каменю внаслідок проникання агресивних іонів Cl^- і SO_4^{2-} . Значення коефіцієнтів хімічної стійкості дрібнозернистих шлаколузних бетонів, які дещо менші за 1,0, обумовлені сповільненням гідратаційних процесів внаслідок модифікування складів поверхнево-активними речовинами та комплексною добавкою. Для визначення глибини проникнення хлорид-іонів на половини зразків дрібнозернистих шлаколузних бетонів, які знаходились в морській воді, розприскували розчин 0,1 М AgNO_3 згідно з Nordtest NT Build 492, а для визначення глибини проникнення сульфат-іонів на половини зразків дрібнозернистих шлаколузних бетонів, які знаходились в розчині Na_2SO_4 , розприскували розчин 0,5 Н ацетату свинцю (II). Глибина проникнення хлорид- та сульфат-іонів вимірюється за білими осадами хлориду срібла та PbSO_4 відповідно. Відсутність на перерізах білого осаду свідчить про відсутність транспорту іонів Cl^- і SO_4^{2-} в зразках дрібнозернистих шлаколузних бетонів на 90 добу тверднення в агресивних середовищах внаслідок щільної структури, обумовленої формуванням АFm-фаз за участю в процесах гідратації комплексної добавки.

Досліджено вплив умов експлуатації на властивості модифікованого шлаколузного бетону. Визначено особливості карбонізації в структурі пластифікованого шлаколузного бетону при його модифікації добавками солей сильних кислот, виявлених за їх ефектом дії на ущільнення мікроструктури внаслідок підвищення ступеня закристалізованості гідратних новоутворень.

Показано вплив добавок солей сильних кислот і морської води на міцнісні властивості на 28 добу тверднення шлаколужного бетону. Так, модифікація шлаколужного бетону на основі соди кальцинованої добавкою нітрату натрію забезпечує підвищення міцності на стиск на 9,5 % (з 33 до 35 МПа) відносно контрольного складу. Зменшення показників міцності на 9,8 % (з 33 до 29 МПа) спостерігається при модифікації шлаколужного бетону добавкою ТНФ. Шлаколушний бетон, замішаний морською водою, характеризується найбільшим зниженням відносно контрольного складу показників міцності на стиск – на 19,7 % (з 33 до 26 МПа).

Аналогічні закономірності впливу солей сильних кислот і морської води на міцнісні властивості шлаколужного бетону спостерігаються і при використанні метасилікату натрію як лужного компонента. Використання нітрату натрію призводить до збільшення міцності на стиск на 9,3 % (з 53 до 56 МПа) відносно контрольного складу. Добавка ТНФ обумовлює зменшення міцності на стиск на 3,8 % (з 53 до 50 МПа). Замішування морською водою призводить до зменшення міцності на стиск – на 14,9 % (з 53 до 44 МПа).

Визначено, що введення добавки NaNO_3 до складу пластифікованого шлаколужного бетону на основі метасилікату натрію, що зазнає дії агресивного середовища комбінованого класу впливу ХС4+ХС3 впродовж 90 діб, забезпечує ущільнення структури, а також зниження загальної пористості на 24,6 %, що обумовлює підвищення міцності на згин і міцності на стиск матеріалу на 8,3 і 7,5 %. Заміна добавки NaNO_3 на Na_3PO_4 призводить до незначного падіння міцності на згин і міцності на стиск на 8,3 і 5,2 % внаслідок сповільнюючого ефекту добавки на кінетику структуроутворення. У разі використання як лужного компонента соди кальцинованої при модифікації шлаколужного бетону солями у вигляді NaNO_3 і Na_3PO_4 спостерігається ущільнення структури внаслідок заповнення порового простору гідросилікатним гелем. При цьому на зниження загальної пористості ефекту солей не зафіксовано.

Запропоновано методика випробування карбонізації пластифікованого

шлаколужного бетону, який використовується в конструкціях, поверхні яких періодично знаходяться в контакті з морською водою. Вказане агресивне середовище класифікується як комбінація класів впливу XC4 (періодичний контакт з морською водою) + XS3. Доцільність методики обумовлена відсутністю об'єктивної оцінки стану карбонізації шлаколужного бетону в умовах підвищеної концентрації CO₂.

Показано, що модифікація бетону добавками NaNO₃ і Na₃PO₄ призводить до зменшення глибини карбонізації з 2 до 1 мм на 90 добу тверднення в умовах поперемінного зволоження та висушування. Замішування шлаколужного бетону морською водою не забезпечує зменшення глибини карбонізації, що також обумовлює доцільність вживання заходів по зв'язуванню солей морської води для підвищення ефективності її використання.

Отже, визначено значимі чинники дифузії вуглекислого газу в структуру і експериментально обґрунтовані ефективні заходи по раціональному обмеженню карбонізації в його захисному шарі.

Досліджено процеси корозії арматури в бетоні прискореним методом та у природніх умовах. Показано, що після 90 діб тверднення в умовах дії агресивного середовища комбінованого класу впливу XC4+XS3 модифікований шлаколужний бетон характеризується високими захисними властивостями, що підтверджується значеннями втрати маси стрижнів, вбудованих в зразки шлаколужного бетону, в 1,8...2,7 рази меншими в порівнянні з немодифікованим аналогом при використанні метасилікату натрію як лужного компонента. Довготривалі дослідження доводять, що після 180 та 360 діб тверднення у звичайній та морській воді модифікований солями сильних кислот та комплексною добавкою шлаколужний бетон також характеризується високими захисними властивостями, що підтверджується значеннями втрати маси стрижнів в 1,9...2,4 рази меншими в порівнянні з немодифікованим аналогом. Отже, підтверджено ефективність використання солей сильних кислот і морської води сумісно з комплексом добавок, який містить портландцемент, глиноземистий цемент і кліноптилоліт, як засобу

запобігання корозії сталевій арматурі в пластифікованому шлаколужному бетоні.

Ключові слова: лужний цемент, лужний бетон, корозія сталевій арматурі, хлорид-іони, сульфат-іони, карбонізація, замішування морською водою, хімічне зв'язування.

Список публікацій здобувача:

1. Ковальчук О.Ю., Бойко О.В. (2019). Розробка засобів протидії корозії сталевій арматурі в пластифікованих шлаколужних бетонах для підвищення їх довговічності в умовах дії агресивних середовищ. *Збірник тез конференції «Build-master-class-2019»*, Київ, КНУБА. С. 172-173.
2. Бойко О.В., Ковальчук О.Ю., Кривенко П.В. (2020). Роль Al_2O_3 у складі шлаку у запобіганні корозії арматури у шлаколужному бетоні. *Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і методи будівельного матеріалознавства»* 5-6 листопада 2020 р. Харків, ХНУБА
3. Бойко О.В., Ковальчук О.Ю. (2020). Корозія арматури у лужних бетонах: проблеми і шляхи запобігання. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. – 2020. – Вип.38. – С. 78-83.
4. О.В. Бойко, О.Ю. Ковальчук (2020). Дослідження впливу композиційного складу і особливостей мікроструктури шлаколужного цементу на зв'язування іонів Cl^- , SO_4^{2-} в системі. *Збірник тез конференції «Build-master-class-2020»*, Київ, КНУБА. С.162-163.
5. Бойко О.В., Ковальчук О.Ю., Кривенко П.В. (2021). Роль Al_2O_3 у складі шлаку у запобіганні корозії арматури у шлаколужному бетоні. *Науковий вісник будівництва* – 2021. – т. 103, №1 – с. 140-144
6. Бойко О.В., Ковальчук О.Ю. (2021). Вплив компонентного складу на транспорт іонів Cl^- та SO_4^{2-} в шлаколужному бетоні. *Тези доповідей III науково-практичної конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції»*. 22-23 квітня 2021 р. Київ, КНУБА с. 122-123
7. P Kryvenko, I Rudenko, O Konstantynovskyi, and O Boiko (2021) Restriction of

Cl⁻ and SO₄²⁻ Ions Transport in Alkali Activated Slag Cement Concrete in Seawater. *APEM 2021 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1164 (2021) 012066 doi:10.1088/1757-899X/1164/1/012066

8. Кривенко П.В., Руденко І.І., Константиновський О.П., Бойко О.В. (2021) Обмеження транспорту іонів Cl⁻ і SO₄²⁻ в шлаколужному бетоні при експлуатації в морській воді. *Тези доп. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми інженерної механіки»* 11-14 травня 2021 року, Одеса, с.242-245.
9. Кривенко П.В., Руденко І.І., Константиновський О.П., Бойко О.В. (2021). Протидія дифузії іонів морської води в структуру шлаколужного залізобетону. *Науковий вісник будівництва* – 2021. – т. 104, №2 – с. 246-256
10. Кривенко П.В., Руденко І.І., Константиновський О.П., Бойко О.В. (2021). Підвищення захисних властивостей шлаколужного бетону щодо сталевій арматури при замішуванні морською водою. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* – 2021. – Вип. 83. – С. 67-76.
11. P Kryvenko, I Rudenko, O Konstantynovskyi, and O Boiko (2021). Prevention of steel reinforcement corrosion in alkali-activated slag cement concrete mixed with seawater. *E3S Web of Conferences* 280(6-106):07004 DOI: 10.1051/e3sconf/202128007004
12. О.В. Бойко, В.О. Лісогор (2021). Дослідження впливу морської води як середовища замішування на захисні властивості шлаколужного бетону по відношенню до сталевій арматури. *Збірник тез конференції «Build-master-class-2021»*, Київ, КНУБА. С.150-151.
13. O.V. Boiko, O.P. Konstantynovskyi, O.Yu. Kovalchuk, V.O. Lisohor (2022). The role of sodium nitrate in counteracting the carbonation of plasticized alkali-activated slag cement concrete under cyclic influence of sea water. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture* – 2022. – Вип. 87. – С.32-39.

ABSTRACT

Boiko O.V. Alkali activated concrete based on high-slump concrete mixes with increased protective properties to steel reinforcement. – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

The thesis for scientific degree of the Doctor of Philosophy by specialty 192 “Construction and Civil Engineering” (19 – Architecture and Construction). – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The PhD thesis covered the regularities of structure formation of alkali activated cements in the systems «granulated blast furnace slag - soda ash» and «granulated blast furnace slag - sodium metasilicate» when mineral additives, salts of strong acids were introduced into them and when they were mixed with sea water. According to the results of studies of model systems, it was established that the phase composition of hydrated products is mainly represented by calcium hydrosilicates and calcite. In order to determine the composition of alkali activated cement, which will ensure the maximum binding of Cl^- , SO_4^{2-} anions aggressive to steel reinforcement by hydrated products, the influence of mineral additives and sea water on the immobilizing capacity of cement was investigated and the dependence of the properties of alkali activated cement system «granulated blast furnace slag – alkaline component» on the type of mineral additive and the mixing solution was determined. The introduction of Portland cement and clinoptilolite additives into the system leads to an increase in the standard consistence of cement paste index, but does not affect the cement hardening period. Modification with the addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ contributes to the increase of normal consistence of cement paste and lengthening of hardening periods, regardless of the type of mixing solution. The use of additives of Portland cement, clinoptilolite and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ leads to deterioration of the strength indicators of alkali activated cement, the most negative effect is characterized by the addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

The addition of alumina cement does not significantly affect the standard

consistence of cement paste index of alkali activated cement, but it leads to stretching of the hardening period, especially the end. At the same time, there is a positive effect of the addition of alumina cement on the formation of the strength of alkali activated cement of the «granulated blast furnace slag - soda ash» system.

Regarding the effect of the type of mixing solution on the properties of alkali activated cement, it was determined that mixing alkali activated cement with seawater slows down the hardening process. At the same time, there is a slight deterioration of the strength properties on the 28th day of hardening. Since sea water is a mixture of salts, among which chlorides and sulfates prevail, it is possible to evaluate the role of each component on the properties of alkali activated cement based on soda ash when mixed with saturated solutions of NaCl and MgSO₄. It is shown that the sulfate component has a greater effect on slowing down hardening. However, when alkali activated cement is mixed with a saturated NaCl solution, there is a greater deterioration in the strength of the artificial stone.

It is proposed to modify the alkali activated cement of the system «granulated blast furnace slag - soda ash» with a complex additive of the composition «alumina cement - portland cement – clinoptilolite» in order to maximally bind Cl⁻, SO₄²⁻ ions to prevent corrosion of steel reinforcement in concrete. The combination of alumina cement and portland cement at a ratio of 2.17:1 contributes to the most intensive formation of highly basic calcium hydroaluminate 3CaO·Al₂O₃·10H₂O as part of the hydrated products of alkali activated cement, which ensures the binding of Cl⁻, SO₄²⁻ ions in the water-insoluble AFm phase. The use of clinoptilolite additive in combination with portland cement and alumina cement helps to strengthen the occlusive function of alkali activated cement due to the exchange of OH⁻ ions for Cl⁻ and SO₄²⁻ ions.

The study of the chipped surface of artificial stone showed that when mixing the systems «granulated blast furnace slag - alkaline component - complex additive» with sea water in the composition of artificial stone hydrated products for 28 days of hardening according to DTA along with calcite, hydrosilicates and calcium hydroaluminates, chloride-sulfate AFm-phases in the form of Kuzel's salt

$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 0.5\text{CaCl}_2\cdot 0.5\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ were identified. Using the methods of physico-chemical analysis, the effectiveness of the use in the «granulated blast furnace slag - alkaline component» system of the «alumina cement - portland cement – clinoptilolite» complex additive, which ensures the formation of poorly soluble AFm phases in the hydrated composition for reliable binding of aggressive to the steel reinforcement of Cl^- , SO_4^{2-} ions with the formation of a dense microstructure was shown. The use of a complex additive of a specified composition is proposed as a method of controlling the transport properties of concrete based on alkali activated cement.

The influence of salts of strong acids on the processes of structure formation of alkali activated cement was studied. It is shown that the introduction of NaNO_3 , Na_3PO_4 and NaCl additives into the composition of alkali activated cement leads to an additional compaction of the microstructure of artificial stone and an increase in strength due to an increase in the degree of crystallization of hydrated products, as well as an intensification of the kinetics of cement structure formation. It was determined that the effectiveness of salts of strong acids in terms of their influence on the kinetics of structure formation decreases in the order: sodium nitrate>sodium chloride>sodium phosphate. It is shown that the addition of NaNO_3 provides the highest degree of crystallization of the microstructure due to the most intense effect on the development of the condensation-crystallization structure after the retarding effect on the development of the coagulation structure.

So, the possibility of binding Cl^- , SO_4^{2-} ions in poorly soluble AFm-phases in the form of Friedel salts, calcium monosulfoaluminate, and Kuzel salt was theoretically substantiated and experimentally confirmed on model systems, providing increased protective properties of artificial stone of alkaline cement in relation to steel reinforcement.

The paper examines the dependence of Cl^- , SO_4^{2-} ion transport from aggressive environments on the macrostructure features of alkali activated concretes obtained from high-mobility mixtures (P4). In order to control the transport properties of concrete in relation to Cl^- and SO_4^{2-} ions, which are aggressive to steel

reinforcement, by binding them with hydrated products, alkali activated concrete was modified with a complex additive of the composition «alumina cement - Portland cement – clinoptilolite».

According to the obtained values of corrosion resistance coefficients (about 1.0), samples of fine-grained alkaline concrete after 90 days of hardening in aggressive environments are characterized by a dense macrostructure that prevents the destruction of artificial stone due to the penetration of aggressive Cl^- and SO_4^{2-} ions. The values of the coefficients of chemical resistance of fine-grained slag-alkaline concrete, which are slightly less than 1.0, are due to the slowing down of hydration processes due to the modification of compositions with surface-active substances and a complex additive. To determine the depth of penetration of chloride ions on half of the samples of fine-grained alkaline concrete that were in seawater, a solution of 0.1 M AgNO_3 according to Nordtest NT Build 492 was sprayed, and to determine the depth of penetration of sulfate ions on half of the samples of fine-grained alkaline concrete that were in a Na_2SO_4 solution, a solution of 0.5 N lead acetate (II) was sprayed. The penetration depth of chloride and sulfate ions is measured by white precipitates of silver chloride and PbSO_4 , respectively. The absence of white sediment on the cross-sections indicates the absence of transport of Cl^- and SO_4^{2-} ions in samples of fine-grained alkaline concrete after 90 days of hardening in aggressive environments due to the dense structure caused by the formation of AFm phases with participation in the hydration processes of the complex additive.

The influence of operating conditions on the properties of modified alkaline concrete was studied. The features of carbonization in the structure of plasticized alkaline concrete during its modification with the addition of salts of strong acids, revealed by their effect on the compaction of the microstructure due to the increase in the degree of crystallization of hydrated products, were determined.

The effect of the addition of salts of strong acids and sea water on the strength properties on the 28th day of hardening of alkaline concrete is shown. Thus, the modification of concrete based on soda ash with the addition of sodium nitrate

provides an increase in compressive strength by 9.5% (from 33 to 35 MPa) relative to the control composition. A decrease in strength indicators by 9.8% (from 33 to 29 MPa) is observed when alkaline concrete is modified by addition of sodium phosphate. Concrete, mixed with sea water, is characterized by the greatest decrease in strength indicators relative to the control composition - by 19.7%.

Similar regularities of the influence of salts of strong acids and sea water on the strength properties of alkaline concrete are observed when sodium metasilicate is used as an alkaline component. The use of sodium nitrate leads to an increase in compressive strength by 9.3% (from 53 to 56 MPa) relative to the control composition. The addition of sodium phosphate causes a decrease in compressive strength by 3.8% (from 53 to 50 MPa). Mixing with sea water leads to a decrease in compressive strength - by 14.9% (from 53 to 44 MPa).

It was determined that the addition of NaNO_3 to the composition of plasticized alkaline concrete based on sodium metasilicate, exposed to the aggressive environment of the combined XC4+XS3 exposure class for 90 days, ensures the compaction of the structure, as well as a decrease in total porosity by 24.6%, which causes an increase in strength on bending and compressive strength of the material by 8.3 and 7.5%. Replacing NaNO_3 additive with Na_3PO_4 leads to a slight drop in flexural strength and compressive strength by 8.3 and 5.2% due to the retarding effect of the additive on the kinetics of structure formation. In the case of using soda ash as an alkaline component in the modification of alkaline concrete with salts in the form of NaNO_3 and Na_3PO_4 , a compaction of the structure is observed due to the filling of the pore space with hydrosilicate gel. At the same time, the effect of salts on the reduction of the total porosity was not recorded.

A method of testing the carbonation of plasticized alkaline concrete, which is used in structures whose surfaces are periodically in contact with sea water, is proposed. This aggressive environment is classified as a combination of exposure classes XC4 (periodic contact with seawater) + XS3. The feasibility of the technique is due to the lack of an objective assessment of the state of carbonation of alkaline concrete under conditions of increased CO_2 concentration.

It is shown that the modification of concrete with NaNO_3 and Na_3PO_4 additives leads to a decrease in the depth of carbonation from 2 to 1 mm per 90 days of hardening in conditions of alternating wetting and drying. Mixing concrete with sea water does not reduce the depth of carbonation, which also determines the feasibility of measures to bind sea water salts to increase the efficiency of its use.

Therefore, significant factors of diffusion of carbon dioxide into the structure have been identified and effective measures for rational limitation of carbonation in its protective layer have been experimentally substantiated.

Corrosion processes of reinforcement in concrete by the accelerated method and under natural conditions were studied. It is shown that after 90 days of hardening in the aggressive environment of the combined influence class XC4+XS3, the modified alkaline concrete is characterized by high protective properties, which is confirmed by the values of the mass loss of the rods embedded in the samples of concrete, which are 1.8...2.7 times smaller in compared with the unmodified analogue when sodium metasilicate is used as an alkaline component. Long-term studies prove that after 180 and 360 days of hardening in ordinary and sea water, alkaline concrete modified with salts of strong acids and a complex additive is also characterized by high protective properties, which is confirmed by the values of the weight loss of rods 1.9...2.4 times lower compared to unmodified analog. Therefore, the effectiveness of the use of salts of strong acids and sea water in combination with a complex of additives containing portland cement, alumina cement and clinoptilolite as a means of preventing corrosion of steel reinforcement in plasticized alkaline concrete has been confirmed.

Key words: alkali activated cement, alkali activated concrete, corrosion of steel reinforcement, chloride ions, sulfate ions, carbonation, mixing with sea water, chemical binding.