

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОРЗЯК ОЛЬГА СЕРГІЇВНА

УДК 691.3: 666.9

ДИСЕРТАЦІЯ

**РЕГУЛЮВАННЯ КОНТАКТНИХ ВЗАЄМОДІЙ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби
19 – архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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


_____ О.С. Борзяк

Науковий консультант: Плугін Андрій Аркадійович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Борзяк О. С. Регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби (19 Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти та науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розвитку наукових основ управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів для забезпечення їхньої стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ.

Для обґрунтування актуальності проблеми проведено аналіз даних про сучасні експлуатаційні впливи, яких зазнають будівельні конструкції та інженерні споруди, що виготовлені та зведені з композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, а також аналіз існуючих даних щодо факторів, що визначають корозійну стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, у т.ч. водонепроникність, тріщиностійкість. Встановлено, що важливе значення для аналізу стійкості в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих має модель дисперсної системи, властивості якої визначають поверхневі явища та електроповерхневі властивості частинок її дисперсної фази та контакти між ними. Для забезпечення достовірності даних електроповерхневі потенціали дисперсних матеріалів мають визначатись одночасно декількома незалежними методами. Отримано емпіричну залежність між величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу ψ^0 мінералів, характерних для мінеральних в'язучих, та їх подвійним кутом відбивання рентгенівського випромінювання

2θ , згідно з якою зі збільшенням 2θ ψ^p зростає за квадратичною залежністю і переходить від негативних до позитивних значень за 2θ близько 35° . Залежність запропоновано використовувати як додатковий незалежний метод визначення ψ^p мінералів.

На основі аналізу складу та кристалічної будови встановлено, що продукти гідратації мінеральних в'язучих – кристалогідрати анізометричної морфології можуть характеризуватись різнойменними електроповерхневим потенціалом і знаком поверхневого заряду подовжніх і торцевих граней у зв'язку з їхнім різним атомарним складом, внаслідок чого однакові кристалогідрати можуть утворювати електрогетерогенні контакти між торцевими і подовжніми гранями. Розкрито роль впливу pH в сумарному агресивному впливі кислих середовищ на цементний камінь і доведено, що, крім хімічної нейтралізації кальціймістких сполук та впливу pH на їхню термодинамічну стійкість, додатковим фактором агресивного впливу зі зниженням pH є збільшення рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^p сполук, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їхні електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується; зі зниженням pH значення ψ^p гідросилікатів кальцію набувають позитивних значень: для CSH – при pH менше 6–5, C_2SH – менше 10–8. Встановлено, що електроповерхневі властивості карбонатних матеріалів залежать від їхнього генезису – органігенні карбонати, зокрема крейда, мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності на поверхні кремнекислоти, на відміну від хомогенних порід – вапняків, поверхня яких характеризується позитивним потенціалом.

З позицій фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їхній основі розвинуто класифікації структур і контактів у них, розраховано енергію взаємодії в контактах, яка зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів зі зростанням внеску іон-дипольних і, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома енергія взаємодії визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між

потенціалвизначальними іонами дисперсних частинок та у підсумку ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу.

Встановлено, що стійка в умовах зовнішніх впливів структура штучного каменю формується у разі поєднання міцності, хімічної і термодинамічної стійкості дисперсної фази з максимально можливою кількістю міцних контактів між частинками дисперсної фази, стабільних за впливів, характерних для умов експлуатації, а також за рахунок балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний S^- і позитивний S^+ поверхневі заряди.

Доведено доцільність регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витoku, агресивних середовищ матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом уведення аніонних ПАР, електролітів з багатовалентними катіонами, добавок, що обумовлюють утворення додаткових кристалогідратів, високодисперсних мінеральних добавок, підвищення концентрації або зміни pH порового електроліту.

Проведено термодинамічні розрахунки з метою дослідження синтезу додаткових кристалогідратів, що зв'язують солі-електроліти комплексної хімічної добавки у стабільні продукти гідратації, а також вірогідності взаємодії мінеральних в'язучих із мінеральними добавками. Обґрунтовано підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композицій у результаті введення мінеральних та органічних волокон і мінеральних мікронаповнювачів з урахуванням їхнього поверхневого заряду. Встановлено, що поверхні волокон і частинок мікронаповнювачів є підкладками для зростання кристалогідратів і між ними утворюються електрогетерогенні контакти. Досліджено вплив структури на електрофізичні властивості, зокрема, питомий електричний опір силікатних композицій. Розроблено алгоритм визначення питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір наповнювача та матриці і складом композиції.

Розвинуто науково-концептуальні засади управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих

за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів; запропоновано шляхи управління фізико-механічними та гідрофізичними властивостями композитів, що забезпечують їхню стійкість в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ, зокрема: підвищення водостійкості гіпсових в'язучих та електропровідних силікатних композицій для захисту від електрокорозії; покращення фізико-механічних та гідрофізичних властивостей і забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від електрокорозії; підвищення корозійної стійкості бетону органо-мінеральною добавкою на основі високодисперсної крейди; підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць.

Розроблено методологічні основи: визначення руйнівних факторів умов експлуатації конструкцій та споруд залізниць; визначення раціональних складів композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими властивостями, у т.ч. високими водостійкістю, водонепроникністю, корозійною стійкістю та розробки на їхній основі конструктивно-технологічних рішень для відновлення несучої здатності, захисту та підвищення довговічності конструкцій і споруд залізниць.

Розроблено: електропровідні композиції проникної дії та конструктивно-технологічне рішення для відновлення несучої здатності, захисту від електрокорозії та підвищення довговічності високих пасажирських платформ заземленими екранами із композиції, впроваджене на з.п. Комарівка Південної залізниці; бетон залізобетонних шпал підвищеної довговічності, який набуває передаточної міцності за 8–48 год за природного твердіння або за малопрогрівним режимом, впроваджений на Гніванському заводі спецзалізобетону та Коростенському заводі залізобетонних шпал; бетон і конструкції підрейкових основ із нього, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів і тріщиноутворення порівняно з традиційними конструкціями, впроваджені під час реконструкції трамвайних колій міст

Харкова, Дніпра, Києва; бетон з органо-мінеральною добавкою високодисперсної крейди для монолітних ділянок збірно-монолітних залізобетонних конструкцій, впроваджений під час зведення будівлі по пр. Олександрівському, 67 у м. Харків; гіпсове в'язуче підвищеної водостійкості, що застосоване під час реконструкції цивільних будівель у містах Ужгород, Хмельницький, Краматорськ.

Розраховано економічну ефективність використання розроблених композиційних матеріалів, що обумовлена зниженням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій, збільшенням довговічності виробів і конструкцій, міжремонтних термінів експлуатації будівель та споруд.

Результати досліджень використано під час розроблення ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування», нормативних та інструктивних документів АТ «Укрзалізниця», у навчальному процесі під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти, магістрантів, аспірантів спеціальностей «Будівництво та цивільна інженерія» та «Залізничний транспорт».

Ключові слова: мінеральні в'язучі, композиційний матеріал, електроповерхневий потенціал, контактні взаємодії, електрогетерогенні контакти, кристалогідрати, мікронаповнювачі

ABSTRACT

Borziak O. S. Regulation of contact interactions to increase the resistance under operating conditions of materials based on mineral binders. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript

Thesis for the doctor of technical sciences in specialty 05.23.05 – Building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021.

Dissertation work is devoted to the development of scientifically proven controls on structure formation in composite materials based on mineral binders. Control of

contact interactions in the materials is achieved by change of surface electrical properties of the material components to increase their stability and durability under extreme conditions e.g. water damage, aggressive environments and influence of electric leakage currents.

To justify the need for this study, an extensive data analysis has been conducted, focusing on modern challenges in exploitation of building and engineering structures made of composite materials with mineral binders, as well as analysis of existing data on factors determining the material qualities such as resistance to corrosion, water damage and cracking.

It has been established that a dispersed system model plays an important role in analysis of durability of composite materials based on mineral binders. The model defines surface qualities and electric surface properties of the material particles during dispersed phase and interactions between them. To ensure the reliability of the data, the electric surface potentials of dispersed materials should be registered by several independent methods simultaneously. An empirical relationship has been obtained between the value of the absolute electric surface potential ψ^0 of minerals (typically mineral binders) and their double angle of reflection of X-rays 2θ , according to which incrementing of 2θ causes ψ^0 to increase in quadratic relationship travelling from negative to positive values of 2θ and reaching about 35° . This dependence has been proposed to be used as an additional independent method for determining ψ^0 of minerals.

Based on the analysis of crystal composition and structure, it has been found that the products of mineral binders' hydration aka crystal hydrates of anisometric morphology can have quite different values for electric surface potential and the surface charge at longitudinal and end crystal faces due to their different atomic orientation. This may cause same crystal hydrates to form electro heterogeneous contacts between end and longitudinal faces of crystals. The role of influence of pH in combined destructive effect of acidic substances on cement stone has been revealed: in addition to chemical neutralization of calcium-containing compounds and pH -related changes to their thermodynamic stability, an additional aggressive factor has

been found: decrease in pH causes increase of distributed surface charge ψ^d , from usually negative to positive values. As a result, the compounds' electro heterogeneous contacts with positively charged particles become electro homogeneous. This affects the compound strength, which, under extremely wet conditions, reduces significantly. With decreasing pH , ψ^d in calcium hydrosilicates acquire positive values, for example, in CSH it happens at pH values less than 6–5, in C_2SH – at pH less than 10–8.

It has been found that electro surface properties of carbonate materials depend on their origin: for example, organogenic carbonates (chalk in particular) have a negative surface charge due to the presence of silicic acid on the surface, in contrast to chemogenic rocks (limestones), whose surface is characterized by a positive potential.

Classifications of structures and contacts in mineral binders for composite materials have been developed using the laws of physicochemical mechanics. The energy of inter-contact interaction has been calculated. With an increase in the contribution of ion-dipole and ion-ion interactions, the energy increases from coagulation to condensation contacts. The specific interaction energy is determined by the surface density of individual contacts between potential ions of dispersed particles. As a result, the specific energy is determined by the part of the contact area in the general section of the material.

It has been established that a structure of an artificial stone that is stable under external influences is formed with a combination of strength, chemical and thermodynamic stability of the dispersed phase and the maximum possible number of contacts between the particles of the dispersed phase that remain strong under operating conditions. The structure should have a balance of the active area of the surfaces of dispersed particles with negative S^- and positive S^+ surface charges.

The expediency of regulating contact interactions for increasing the stability of materials made with mineral binders under exposure to water damage, electric leakage currents, and aggressive environment has been proved. Regulation of contact interactions can be carried out by introducing anionic surfactants, electrolytes with

multivalent cations and additives that cause the formation of additional crystalline hydrates, as well as use of highly dispersed additives and changes in the concentration or pH of the pore electrolyte.

Thermodynamic calculations have been done to investigate the following: the possibility of synthesizing additional crystalline hydrates that bind salts-electrolytes of a complex chemical additive to stable hydration products; the likelihood of the interaction of mineral binders with mineral additives.

An enhancement of the physicommechanical and hydrophysical characteristics of the compositions have been acknowledged with introduction of mineral and organic fibers and mineral microfillers after careful consideration of their surface charge. It has been found that the surfaces of fibers and particles of microfillers serve as substrates for the growth of crystal hydrates, which helps to form electro heterogeneous contacts between them. The effect of the structure-dependent electrical properties, in particular, the electrical resistivity of silicate compositions, has been investigated. An algorithm has been developed for determining the specific electrical resistance of a composite material based on data on the specific electrical resistance of the filler, the matrix and contents of the composition.

The scientific and conceptual foundations for controlling the processes of structure formation of composite materials based on mineral binders by regulating contact interactions in them have been developed, based on the electro surface properties of the components.

The following ways of controlling the physicommechanical and hydrophysical properties of composites, ensuring their stability under exposure to electric leakage currents, corrosive environments and possible water damage, have been proposed: increasing the water resistance of gypsum binders and electrically conductive silicate compositions for better protection against electro corrosion; improving the physical, mechanical and hydrophysical properties and ensuring the electrical conductivity of waterproofing compositions of permeable action based on Portland cement for better protection against electro corrosion; increasing the corrosion proof of concrete by

addition of an organic-mineral additive based on refined chalk; increasing the early strength concrete property of reinforced concrete sub-rail foundations.

Methodological foundations have also been developed: determination of destructive factors of operating conditions of building and railway structures; determination of optimal ingredients of composite materials based on mineral binders with specified properties, including high water resistance and corrosion resistance; development of structural and technological design solutions for restoring the bearing capacity, better protection and increasing the durability of building and railway structures.

The following have been designed: electrically conductive compositions of permeable action; constructive and technological solutions for restoration of the bearing strength, protection against electro corrosion and increasing the durability of railway high passenger platforms by application of electrically conductive compositions (introduced at Komarovka YuZhD station); a concrete material for reinforced concrete sleepers of increased durability, which acquires transfer strength in 8-48 hours with natural hardening or under low-temperature conditions (introduced at the Gnivansky plant of special reinforced concrete and the Korosten plant of reinforced concrete sleepers); a concrete material and under-rail base structures that, in comparison with traditionally used structures, reduce vibration, electrical impacts and increase resistance to cracking (introduced during the reconstruction of tramways in the cities of Kharkov, Dnipro, Kiev); a concrete material with an organic-mineral additive of finely dispersed chalk for monolithic sections of precast-monolithic reinforced concrete structures (introduced during the construction of a building at 67 Aleksandrovsky Avenue in Kharkov); a gypsum binder of increased water resistance (used in the reconstruction of civil buildings in Uzhgorod, Khmelnytsky, Kramatorsk).

The economic efficiency of using the developed composite materials has been calculated. Higher efficiency is achieved through decrease in energy consumption during the production of reinforced concrete structures, as well as due to an increase in the durability of structures and servicing periods.

The research results were used in the development of DBN V.2.3-19: 2018 “Transport structures. 1520 mm gauge railways. Design standards ”, regulatory and instructive documents of JSC “Ukrzaliznytsia”, in the educational process in improving lecture courses, practical and laboratory work for students, undergraduates, graduate students of the specialties “Construction and civil engineering” and “Railway transport”.

Key words: mineral binders, composite material, electrosurface potential, contact interactions, electroheterogenic contacts, crystal hydrates, microfillers

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ***Монографії:***

1. Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3 т. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. Под ред. А.Н.Плугина. Киев: Наук. думка, 2012. 288 с. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

2. Плугін А.А., Костюк Т.О., Прошин О.Ю. [та ін.] Гідроізоляційні цементні композити проникної дії. Харків: Колегіум, 2018. 268 с. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

Статті у наукових фахових виданнях України та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

3. Плугін А.А., Плугін А.М., Борзяк О.С. [та ін.] Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: верхня будова колії в залізничних тунелях. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.122. С. 187–201. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

4. Емельянова И.А., Доброходова О.В., Буцкий В.А., Борзяк О.С. Технологические особенности приготовления строительных смесей в трехвальном бетоносмесителе. *Науковий вісник будівництва*. 2011. Вип.63. С.331-336. (*Вивчення впливу режиму роботи змішувача на поверхневу активацію в'язучих*)

5. Плугин А.Н., Плугин А.А., Подтележникова И.В., Борзяк О.С. Исследование взаимодействий между инден-кумароновой и эпоксидной смолами в защитном составе ЗС-1М. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.125.

С. 139–145. (*Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації*)

6. Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Дудин А.А. [и др.] Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 127. С. 204-212. (*Розробка конструкції кріплення заземлювача*)

7. Борзяк О.С., Плугин Ал.А., Плугин Д.А. Исследование состава водной среды, контактирующей с бетоном, подвергающимся электрокоррозии. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2011. № 27. С. 138-145. (*Розрахунок концентрації робочих розчинів*)

8. Борзяк О.С. Физико-химические исследования фазового состава цементного камня в бетоне, находившемся под воздействием пульсирующего однонаправленного электрического потенциала. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 130. С. 71–78.

9. Плугин А.А., Плугин А.Н., Плугин Д.А., Борзяк О.С. [и др.] Механизм электрокоррозии железобетонных конструкций под действием высоковольтного переменного напряжения в контактных проводах. *Комунальне господарство міст*. 2012. Вип.103. С.13–23. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

10. Борзяк О.С. Исследование механизма воздействия токов утечки на конструкции пассажирской платформы. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 134. С. 271-276.

11. Борзяк О.С. Дослідження бетону монолітних залізобетонних фундаментів при поновленні будівництва. *Науковий вісник будівництва*. 2013. Вип. 71. С. 272–276.

12. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом инфракрасной спектроскопии. *Вісник ОДАБА*. 2013. Вип.52. С. 281–285. (*Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів*)

13. Плу́гин А.А., Винниченко В.И., Борзяк О.С., Рязанов А.Н. Доломитовый цемент, затворяемый водой. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.143. С. 87–97. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

14. Плу́гин А.Н., Трикоз Л.В., Плу́гин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений / *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148, Ч.2. С.5–20. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

15. Плу́гин А.Н., Трикоз Л.В., Плу́гин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые силы, монолитное строительство и высотные дома *Науковий вісник будівництва*. 2014. №3(77). С. 85–93. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

16. Борзяк О.С., Плу́гин Д.А., Герасименко О.С. [и др.] Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути. *Науковий вісник будівництва*. 2014. №1(75). С.80–85. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

17. Плу́гин А.Н., Плу́гин А.А., Борзяк О.С. Зависимость углов отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала кристаллов. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С. 153–158. (*Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів*)

18. Плу́гин А.А., Фішер Х.-Б., Борзяк О.С. [та ін.] Підвищення міцності та водостійкості гіпсових в'язучих нанодисперсними мінеральними добавками. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип.171. С. 37–43. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури*)

штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

19. Плугін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б. Вплив мінеральних наповнювачів на процеси структуроутворення гіпсового каменю. *Науковий вісник будівництва*. 2017. №4(90). С. 116–119. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

20. Борзяк О.С., Чепурна С.М. Гідратація портландцементу в присутності добавки високодисперсної крейди. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 175. С. 110–117. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

21. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Бетони підвищеної водонепроникності з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди). *Містобудування та територіальне планування*. 2018. № 66. С. 629–637. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

22. Плугін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С. [та ін.] Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості композицій на основі портландцементу *Науковий вісник будівництва*. 2018. №1(91). С. 156–163. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

23. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Механізм впливу добавки високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю. *Вісник ОДАБА*. 2018. Вип. 72, С. 99–106. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

24. Плуґин А.Н., Палант Е.В., Плуґин Д.А., Плуґин Ал.А., Борзяк О.С. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 35. С. 25–28. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

25. Борзяк О.С., Дудін О.А., Куценко М.Ю., Познякова В.Г. Розробка заходів по захисту штучних споруд залізничного транспорту від електрокорозії під дією змінного струму витoku і високовольтної напруги. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182, С. 28–36. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

Публікації у міжнародних періодичних виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

26. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V., Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation. *MATEC Web Conf.* 2017. V. 116, 01001. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

27. Borziak O., Cherpurna S., Zidkova T. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures. *MATEC Web Conf.* 2018. V. 230, 03003. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

28. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Mechanism of a Penetrative Action for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. V. 47. P. 34–41. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

29. Chepurna S., Borziak O., Zubenko S. Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. *Materials Science Forum*. 2019. V. 968. P. 82–88. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

30. Borziak O.S., Plugin A.A., Chepurna S.M. The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 708, 012080. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

31. Kostyuk T., Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 1021, 012016. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

32. Plugin A., Borziak O., Pluhin O., Kostuk T., Plugin D. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. *International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020: Proceedings of EcoComfort*. 2020. P. 328–335. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

33. Plugin A., Iefimenko A., Borziak O., Gevorkyan E., Pluhin O. Establishing Patterns in the Influence of Microand Nano-dispersed Mineral Additives on The Water Resistance of Construction Gypsum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. V. 1/6 (109). P. 22–29. (Встановлення закономірностей

формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

Патенти:

34. Композиція проникної дії гідроізоляції та захисту від електрокорозії: Пат. 113600 Україна: МПК (2016.01) С04В 28/00 С04В 41/65 (2006.01) С04В 111/90 (2006.01) С04В 111/20 (2006.01) С04В 111/72 (2006.01); заявл.01.03.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3. 4 с. *(Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)*

35. Електропровідна шпаклювальна композиція: Пат. 117194 Україна: МПК С04В 28/26 (2006.01), С04В 41/65 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01), С04В 111/26 (2006.01), С04В 111/94 (2006.01); Заявл. 24.03.2017. Опубл. 25.06.2018, Бюл.№12. 3 с. *(Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

36. Борзяк О.С., Плугін Д.А. Використання методу інфрачервоної спектроскопії при дослідженні будівельних матеріалів. Тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конфер. (15-17 квітня 2014 р., м. Харків). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. С. 259. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

37. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А. [та ін.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений. Міжнар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (26–28 листопада 2014 р., Харків). Харків: УкрДАЗТ, 2014. С.48. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

38. Плугін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами

твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання та їх фізико-хімічні дослідження. Междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (28–29 октября 2015 р., Харьков). Харьков: ХНУСА, 2015. С.39–50. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

39. Борзяк О.С. Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів. 5-а Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (23–24 квітня 2015 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2015. С.34.

40. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Рентгеновские методы исследования строительных материалов: особенности взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллами. Між нар. науково-техн. семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (27-28 жовтня 2016 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2016. С. 105–111. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

41. Борзяк О.С., Плугин А.А. Фізико-хімічні дослідження впливу добавок суперпластифікаторів та прискорювачів твердіння на продукти гідратації портландцементу. 78 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

42. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Про природу явищ, на яких ґрунтується спектральний аналіз будівельних матеріалів. 78 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С.

78–79. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

43. Борзяк О.С., Чайка В.М., Вандоловський С.С. Формування структури дрібнозернистого бетону. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 42–43. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

44. Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б., Матхес К., Борзяк О.С. [та ін.] Шляхи підвищення міцності гіпсових композицій. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С.50–51. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

45. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Високодисперсна крейда як добавка для бетонів. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 78–79. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

46. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Ресурсоенергозберігаючі бетони з добавкою високодисперсної крейди. VII Міжн. наук.-практ. конф. «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (17-18 травня 2018 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2018. С. 164–167. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

47. Cherpurna S.M., Plugin A.A., Borziak O.S. Structure formation of the cement stone in the presence of fine-grained calcite. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universitet Weimar, 2018.

Band 2. P. 479–485. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

48. Plugin A.A., Fisher H.-B., Borziak O.S., Iefimenko A.S. Increasing the Water-Resistance of Gypsum Materials Using Polydisperse Mineral Additives. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. Band 2. P. 549–558. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

49. Борзяк О.С., Чепурна С.М., Жидкова Т.В. [та ін.] Вплив добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості бетонів. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.172. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

50. Калюжна О.В., Борзяк О.С., Плугін А.А., Булгаков В.В. Використання потенціометричних методів для оцінки корозійного впливу добавок на сталеву арматуру залізобетонних конструкцій. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.186. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

51. Савчук Ю.Ю., Плугін А.А., Лютий В.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Дослідження впливу лужного компоненту на фізико-механічні властивості безклінкерних і малоклінкерних гідроізоляційних композицій. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 211. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок*

різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

52. Плугін А.А., Бабій А.І., Плугін О.А., Борзяк О.С., Калюжна О.В. Вплив умов зберігання на електропровідність бетону. VI Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (20-24 травня 2019 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 320–324. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

53. Борзяк О.С., Плугін А.А., Чепурна С.М. [та ін.] Вплив добавки високодисперсного кальциту на корозійну стійкість цементних композитів. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.137–138. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

54. Трикоз Л.В., Панченко С.В., Бондаренко Д.О., Борзяк О.С., Плугін А.А. Електроповерхневі взаємодії в системі ґрунт-шлак активний мул. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.209–210. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

55. Жигло А.А., Борзяк О.С. Перспективи зниження енерговитрат на виробництво високоміцного гіпсу. Міжнар. наук.-практ. конф. «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (18-19 листопада 2020 р., Харків). Харків: ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2020. С. 72–73. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

56. Костюк Т.О., Вінниченко В.І., Плугін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Створення ресурсо- та енергозберігаючих композицій важких бетонів на основі шлаків. Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергоефективність на транспорті» (18-20 листопада 2020 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 76–77. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

57. Борзяк О.С., Калюжна О.В., Плугін А.А. Вплив добавок-прискорювачів твердіння на захисні властивості бетону щодо сталевій арматури. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (19-20 листопада 2020 р., Харків). Харків: ХНУБА, 2020. С. 9–10. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

Додаткові публікації

58. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом рентгенофазового анализа. *Сборник научных трудов SWorld*. 2014. Вып. 2, Том 17. С. 10–17. (*Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів*)

59. Гасан Ю.Г., Червенко Є.М., Бердник О.В., Борзяк О.С. Вплив поліфункціональної добавки на характер новоутворень та властивості штучного каменю, виготовленого з композиційної гіпсовміщуючої в'язучої речовини. *Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка*. 2011. Вип. 42. С. 56–62. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

60. Плугін А.А., Воронин С.В., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Повышение водостойкости гипса добавками микронаполнителей. *Науковий вісник*

будівництва. 2016. №2(84). С. 239–242. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

61. Трикоз Л.В., Борзяк О.С., Савчук В.Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ. 2017. Вип.171. С. 44–52. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

62. Пługін Д.А., Пługін А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва. 2017. №4(90). С. 250–254. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)*

63. Чепурная С.Н., Пługин А.А., Борзяк О.С. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита. *Науковий вісник будівництва. 2018. № 1(91). С. 292–298. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

64. Savchuk Y., Plugin A., Lyuty V., Pluhin O., Borziak O. Study of influence of the alkaline component on the physico-mechanical properties of the low clinker and clinkerless waterproof compositions. *MATEC Web Conf. 2018. V. 230, 03018. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

65. Pluhin O., Plugin A., D. Plugin, O. Borziak, Dudin O. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders. *MATEC Web Conf. 2017. V. 116, 01013. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх*

впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

66. Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A., Borziak O.S. The Influence of the Molecular Structure of Polyurethane on Vibro– and Electroinsulation Properties of the Tramway Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. V. 47. P. 346–353. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

67. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Influence of Storage Conditions on the Electric Conductivity of Concrete. *Materials Science Forum*. 2019. V. 968. P. 50–60. (Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)

68. Trykoz L.V., Panchenko S.V., Bondarenko D.O., Plugin A.A., Borziak O.S. The electric surface interaction in the soil-slag-biological solids system. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 708, 012110. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

69. Плуґін А.А., Плуґін А.М., Борзяк О.С. [та ін.] ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна. Київ: ЦП УЗ, 2010. 42 с. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	30
РОЗДІЛ 1 Аналіз факторів, що визначають стійкість в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих..	40
1.1 Існуючі уявлення про формування міцності та довговічності композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих..	40
1.2 Умови експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин.....	48
1.2.1 Проникність штучного каменю для агресивного середовища.....	48
1.2.2 Вплив агресивних середовищ.....	54
1.2.3 Нові дані про електричні впливи на матеріали конструкцій та споруд.....	64
1.3. Характерні пошкодження і технічний стан будівель і споруд залізниць.....	66
1.3.1 Систематизація пошкоджень будівель та споруд станційних комплексів залізниць.....	66
1.3.2 Пошкодження верхньої будови колії.....	81
1.4 Сучасні способи захисту і відновлення споруд в умовах агресивних дій.....	84
1.4.1 Матеріали, які застосовують для захисту і відновлення споруд в умовах агресивних дій.....	84
1.4.2 Принцип підбору складу корозійностійких композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.....	88
1.5 Формулювання наукової гіпотези.....	91
Висновки за розділом 1.....	92
РОЗДІЛ 2 Методологічні принципи і технологія досліджень.....	95
2.1 Обґрунтування вибору вихідних матеріалів та їх характеристика.....	95
2.1.1 Хімічні та мінеральні добавки, що підвищують корозійну стійкість матеріалів на основі мінеральних в'язучих.....	95

	27
2.1.2 Матеріали для експериментальних досліджень.....	111
2.2 Методологічна база досліджень.....	117
Висновки за розділом 2.....	122
РОЗДІЛ 3 Розробка фізичних і математичних моделей структури і властивостей стійких в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.....	124
3.1 Електроповерхневі потенціали і заряди продуктів гідратації мінеральних в'язучих.....	124
3.1.1 Поверхневий заряд та електроповерхневий потенціал частинок неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах.....	124
3.1.2 Методи визначення електроповерхневого потенціалу та густини поверхневого заряду частинок неорганічної дисперсної фази.....	127
3.1.3 Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів.....	135
3.2 Фактори, що впливають на електроповерхневі властивості речовин...	144
3.2.1 Електроповерхневі потенціали кристалогідратів анізотричної форми.....	144
3.2.2 Вплив генезису на електроповерхневі властивості природних матеріалів.....	150
3.3. Теоретичні основи формування структури композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.....	154
3.3.1 Контактні взаємодії в композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих.....	154
3.3.2 Баланс між сумарними площами поверхонь з різними за знаком електроповерхневими потенціалами та його регулювання.....	163
Висновки за розділом 3.....	167
РОЗДІЛ 4 Фізико-хімічні основи регулювання контактних взаємодій в композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих.....	170
4.1 Вплив хімічних добавок на продукти гідратації мінеральних в'язучих.....	170

4.1.1 Термодинаміка процесів гідратації.....	171
4.1.2 Фізико-хімічні дослідження композиційних матеріалів з хімічними добавками.....	179
4.1.3 Механізм проникної дії силікатних композицій.....	191
4.2 Вплив мінеральних добавок на процеси структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.....	199
4.2.1 Формування порового простору композитів з полідисперсними мінеральними наповнювачами.....	199
4.2.2 Теоретичні дослідження впливу структури на електрофізичні властивості композицій.....	202
4.2.3 Вплив поверхневих властивостей мінеральних добавок на формування структури композиту.....	210
4.2.4 Особливості електрогетерогенних контактів кристалогідратів анізотричної форми та їх вплив на структуру штучного каменю.....	216
4.2.5 Дисперсне армування композиційних матеріалів волокнами.....	221
4.3 Вплив агресивних середовищ на контакти між дисперсними частинками в штучному камені.....	223
4.4 Концепція підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій.....	224
Висновки за розділом 4.....	225
РОЗДІЛ 5 Розробка композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими фізико-механічними та гідрофізичними властивостями для зниження агресивних впливів на споруди.....	228
5.1 Гіпсові в'язучі підвищеної водостійкості і композиційні матеріали на їх основі.....	228
5.2 Гідроізоляційні композиційні матеріали на основі портландцементу.....	232
5.3 Забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу.....	238

5.4 Забезпечення водостійкості електропровідних силікатних композицій для захисту від струмів витоку та блукаючих струмів.....	242
5.5 Отримання високої ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць.....	246
5.5.1 Дослідження впливу добавок пластифікуючої (водоредукуючої) групи.....	247
5.5.2 Дослідження впливу добавок прискорювачів твердіння.....	251
5.6 Підвищення корозійної стійкості бетону мінеральною добавкою високодисперсної крейди.....	261
Висновки за розділом 5.....	271
РОЗДІЛ 6. Експлуатаційні випробування і впровадження результатів досліджень.....	274
6.1 Впровадження нових композиційних матеріалів при реалізації конструктивно-технологічних рішень з ремонту і захисту об'єктів інфраструктури.....	274
6.2 Застосування розроблених складів для захисту від електрокорозії (для заземлених екранів).....	281
6.3 Використання результатів досліджень для зниження енергоємності виробництва залізобетонних виробів.....	285
6.4 Застосування розроблених складів у конструкціях трамвайної колії...	290
6.5 Розробка складу гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості.....	293
Висновки за розділом 6.....	295
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	298
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	302
ДОДАТКИ.....	341

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах сучасного рівня обсягів промислового виробництва об'єми агресивних газоподібних, рідких і твердих речовин, електричних струмів витoku, блукаючих струмів і відповідних потенціалів, які впливають на будівельні конструкції та споруди, залишаються суттєвими. Необхідність опиратись цим впливам і визначає напрями вдосконалення будівельних матеріалів.

Переважна кількість сучасних будівельних матеріалів – це матеріали, що виготовляються на основі мінеральних в'язучих – силікатних, алюмінатних, сульфатних сполук, бетони та конструкції з них, силікатні вироби, будівельні розчини, сухі суміші, штукатурки тощо. Ці матеріали часто є недостатньо стійкими в різних умовах експлуатації. Так, матеріали на основі силікатів кальцію (портландцемент і його різновиди, вапняно-кремнеземні в'язучі тощо) є водостійкими, стійкими в лужних середовищах, проте нестійкими в умовах впливу кислих середовищ, електричних струмів. Розповсюджені антикорозійні матеріали на основі силікатів натрію і калію є кислотостійкими, проте неводостійкими і нелугостійкими. Матеріали на основі сульфатів кальцію (гіпсові) не є водостійкими. Підвищити кислотостійкість, лугостійкість, водостійкість цих матеріалів звичайно намагаються емпіричним шляхом, проте такий підхід є дуже трудомістким і тривалим і часто має обмежений успіх.

Більш ефективне удосконалення композитів на основі мінеральних в'язучих з метою забезпечення нових властивостей, відповідних складним умовам експлуатації, можливе на основі розвитку та поглиблення теоретичних та експериментальних основ їхнього структуроутворення, формування властивостей і стійкості в цих умовах експлуатації.

Отже, існує *наукова проблема* розвитку положень фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, які стосуються впливу структури та явищ на границях розподілу фаз на фізико-механічні, гідрофізичні, корозійні властивості композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.

Вирішення цієї проблеми дасть можливість вирішити *актуальне практичне завдання* – визначити шляхи більш ефективного керування структурою та властивостями, підвищення корозійної стійкості, водостійкості, непроникності та інших показників експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту в рамках держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт (НДР), які проводяться згідно з галузевими програмами Міністерства освіти і науки України, АТ «Укрзалізниця», а також планами залізниць України:

- НДР, що фінансувалися за кошти державного бюджету «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» (№ ДР 0113U001030); «Теоретичні та експериментальні дослідження впливу електрокорозійного і напружено-деформованого стану залізничних споруд і колії на їх надійність і безпеку руху» (№ ДР 0113U001031); «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (№ ДР 0115U000276); «Розробка складів неорганічних матеріалів будівельного призначення на основі композицій системи $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ та $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$ » (№ ДР 0115U000277); «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками. Фізико-хімічні та колоїдно-хімічні основи водостійкості та корозійної стійкості композиційних силікатних матеріалів» (№ ДР 0115U000279); «Теоретичні та експериментальні основи визначення, прогнозування та забезпечення несучої здатності та довговічності транспортних споруд в умовах агресивних впливів» (№ ДР 0119U100295); «Розвиток теоретичних основ і експериментальна перевірка нових ефективних способів підвищення несучої здатності та водонепроникності ґрунтів земляного полотна залізниць» (№ ДР 0120U102065);

- госпдоговірні НДР «Проведення досліджень і розробка рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць»; «Розробка конструктивно-технологічних рішень з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів та рекомендацій з їх впровадження при експлуатації» (№ ДР 0112U006827); «Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм»; «Дослідження впливу конструктивно-технологічних та експлуатаційних факторів на утворення тріщин у шпалах типу СБЗ» тощо.

Автор була виконавцем і відповідальним виконавцем зазначених робіт.

Мета роботи – розвиток наукових основ управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів для забезпечення їхньої стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ.

Завдання досліджень:

- виконати аналіз даних про сучасні експлуатаційні впливи, яких зазнають будівельні конструкції та інженерні споруди, що виготовлені та зведені з композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, а також аналіз існуючих даних щодо факторів, що визначають корозійну стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, у т. ч. водонепроникність, тріщиностійкість;

- уточнити уявлення щодо формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю, який утворюється внаслідок гідратації мінеральних в'язучих з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів композиційних матеріалів;

- теоретично та експериментально обґрунтувати можливість підвищення інформативності рентгенівських методів досліджень за рахунок дослідження

закономірностей взаємодії робочого випромінювання з кристалами з певними електроповерхневими властивостями, зокрема для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів;

- дослідити і встановити закономірності впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів;

- уточнити на основі положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки закономірності та розробити фізичні і математичні моделі структур і контактів, що визначають реологічні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин;

- теоретично та експериментально обґрунтувати підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композитів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій компонентів шляхом спрямованого структуроутворення введенням хімічних і мінеральних добавок;

- розробити на основі проведених досліджень нові композиційні матеріали та конструктивно-технологічні рішення з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації;

- провести експлуатаційні випробування та впровадити результати досліджень при новому будівництві і відновленні конструкцій і споруд об'єктів інфраструктури.

Об'єкт дослідження – композиційні матеріали з покращеними експлуатаційними властивостями на основі мінеральних в'язучих.

Предмет дослідження – контактні взаємодії та закономірності формування структури, що забезпечують високі фізико-механічні, гідрофізичні властивості, корозійну стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, що містять хімічні та мінеральні добавки.

Методи досліджень. Для вирішення завдань роботи виконано аналітичний огляд літературних даних, розроблено наукові гіпотези щодо механізмів формування властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Доведення гіпотез виконано шляхом теоретичних досліджень на основі фундаментальних положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки

дисперсних систем і матеріалів. Розроблено методики та проведено експериментальні дослідження з доведення сформульованих гіпотез. Знак електричного поверхневого заряду продуктів гідратації мінеральних в'язучих і частинок мінеральних добавок визначали розрахунком абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів. Можливість хімічної взаємодії мінеральних в'язучих з мінеральними добавками оцінювали шляхом термодинамічного аналізу. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного каменю визначали випробуванням зразків-призм і кубів відповідно до стандартних методик і чинних нормативних документів. Електрофізичні властивості визначали за оригінальними методиками на зразках-призмах із композиції або в покриттях із неї на гранях зразків-призм із цементно-піщаного розчину. Склад продуктів гідратації і характер їхньої взаємодії з мінеральними добавками досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової мікроскопії та скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом.

Наукова новизна одержаних результатів

- розвинуто уявлення щодо можливості управління процесами структуроутворення та формування будівельно-технічних властивостей мінеральних в'язучих і композиційних матеріалів на їхній основі, які забезпечують їх стійкість і довговічність під час експлуатації в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ, шляхом забезпечення поєднання хімічної, термодинамічної стійкості дисперсної фази з максимально можливою кількістю контактів між частинками дисперсної фази, стабільних за впливів, характерних для зазначених умов експлуатації;

- встановлено закономірності впливу електричної природи контактів та іон-іонних, іон-дипольних і диполь-дипольних взаємодій в них на фізико-механічні та гідрофізичні (водостійкість) властивості штучного каменю та композиційних матеріалів; показано, що їх максимальні показники досягаються у випадку

балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний S^- і позитивний S^+ поверхневі заряди;

- встановлено, що продукти гідратації мінеральних в'язучих – кристалогідрати анізометричної морфології можуть характеризуватись різноманітними електроповерхневим потенціалом і знаком поверхневого заряду подовжніх і торцевих граней у зв'язку з їхнім різним атомарним складом, внаслідок чого однакові кристалогідрати можуть утворювати електрогетерогенні контакти між торцевими і подовжніми гранями;

- розкрито роль впливу pH в сумарному агресивному впливі кислих середовищ на цементний камінь і доведено, що, крім хімічної нейтралізації кальціймістких сполук та впливу pH на їхню термодинамічну стійкість, додатковим фактором агресивного впливу зі зниженням pH є збільшення рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^p сполук, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їхні електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується; зі зниженням pH значення ψ^p гідросилікатів кальцію набувають позитивних значень: для CSH – при pH менше 6–5, C_2SH – менше 10–8;

- встановлено емпіричну залежність між величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу мінералів ψ^0 і подвійним кутом відбивання рентгенівського випромінювання 2θ , який відповідає їх найбільш інтенсивному дифракційному максимуму; залежність є квадратичною з коефіцієнтом кореляції 0,95 – зі збільшенням 2θ значення ψ^0 зростає і переходить від негативних до позитивних значень за 2θ близько 35° ; це визначає можливість застосування рентгенофазового аналізу як незалежного методу оцінювання абсолютного електроповерхневого потенціалу мінералів;

- доведено доцільність регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом уведення

аніонних ПАР, електролітів з багатовалентними катіонами, добавок, що обумовлюють утворення додаткових кристалогідратів, високодисперсних мінеральних добавок, підвищення концентрації або зміни pH порового електроліту;

- подальший розвиток отримали науково-концептуальні засади управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів; запропоновано шляхи управління фізико-механічними та гідрофізичними властивостями композитів, що забезпечують їхню стійкість в умовах обводнення, впливу електричних струмів витoku, агресивних середовищ, зокрема: підвищення водостійкості гіпсових в'язучих та електропровідних силікатних композицій для захисту від електрокорозії; покращення фізико-механічних та гідрофізичних властивостей і забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від електрокорозії; підвищення корозійної стійкості бетону органічно-мінеральною добавкою на основі високодисперсної крейди; підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць.

Практичне значення одержаних результатів роботи поширюється на промислове та цивільне будівництво і залізничний транспорт і полягає у створенні нових можливостей для розв'язання прикладних завдань будівельного матеріалознавства і технологій бетону, будівельних сумішей, антикорозійного захисту та ремонту конструкцій і споруд на основі розроблених науково-концептуальних засад і отриманих закономірностей.

Запропоновано та впроваджено методики: визначення руйнівних факторів умов експлуатації конструкцій та споруд залізниць; визначення раціональних складів композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими властивостями, у т.ч. високими водостійкістю, водонепроникністю, корозійною стійкістю та розробки на їхній основі конструктивно-технологічних рішень для

відновлення несучої здатності, захисту та підвищення довговічності конструкцій і споруд залізниць,

Розроблено: електропровідні композиції проникної дії [34, 35] та конструктивно-технологічне рішення для відновлення несучої здатності, захисту від електрокорозії та підвищення довговічності високих пасажирських платформ заземленими екранами із композиції, впроваджене на з.п. Комарівка Південної залізниці; бетон залізобетонних шпал підвищеної довговічності, який набуває передаточної міцності за 8–48 год за природного твердіння або за малопрогрівним режимом, впроваджений на Гніванському заводі спецзалізобетону та Коростенському заводі залізобетонних шпал; бетон і конструкції підрейкових основ із нього, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів і тріщиноутворення порівняно з традиційними конструкціями, впроваджені під час реконструкції трамвайних колій міст Харкова, Дніпра, Києва; бетон з органо-мінеральною добавкою високодисперсної крейди для монолітних ділянок збірно-монолітних залізобетонних конструкцій, впроваджений під час зведення будівлі по пр. Олександрівському, 67 у м. Харків; гіпсове в'язуче підвищеної водостійкості, що застосоване під час реконструкції цивільних будівель у містах Ужгород, Хмельницький, Краматорськ.

Практична значущість одержаних результатів підтверджується також їх використанням під час розроблення ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування», нормативних та інструктивних документів АТ «Укрзалізниця», у навчальному процесі під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти, магістрантів, аспірантів спеціальностей «Будівництво та цивільна інженерія» та «Залізничний транспорт».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота ґрунтується на результатах науково-дослідних робіт, що виконувались на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у 2011-2020 рр., у яких автор безпосередньо брала

участь. Автором особисто проведено аналіз стану проблеми, обґрунтовано та сформульовано мету і завдання дисертації, виконано, виведено та проаналізовано теоретичні залежності, проаналізовано та проведено інтерпретацію результатів експериментальних досліджень, узагальнено інформацію, сформульовано висновки. Сформульовано наукові основи управління процесом структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими фізико-механічними, гідрофізичними, електрофізичними властивостями за рахунок регулювання контактних взаємодій шляхом введення до складу композиту визначених хімічних і мінеральних добавок. Здобувач брала безпосередню участь у дослідних та дослідно-промислових випробуваннях розроблених електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії; бетонів з хімічними та мінеральними добавками, що дозволили з мінімальними енерговитратами отримати вироби підрейкових основ залізниць із заданими ранньою і проектною міцністю, морозостійкістю, водонепроникністю, електричним опором, тріщиностійкістю; гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт.

Дисертація здобувача не містить матеріалів кандидатської дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 2014); 76-й і 78-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2014, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (Харків, 2015); V-VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2015, 2017-2019); Міжнародному науково-технічному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2016);

VII Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (Одеса, 2018); 73-й науково-методичній конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури (Харків, 2018); 20-й Міжнародній конференції з будівельних матеріалів «20' Ibautil» (Німеччина, Веймар, 2018); VI Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 2019); XVII International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv - Košice – Rzeszów (Львів, 2019); Міжнародній науково-практичній конференції «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (Харків, 2020); Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність на транспорті» (Харків, 2020); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (Харків, 2020); International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020 (Львів, 2020).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 69 наукових працях, з яких 2 монографії, 23 статті у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 8 публікацій у міжнародних періодичних виданнях, що індексуються НМБД Web of Science Core Collection та/або Scopus, 2 патенти України, 22 публікації апробаційного характеру, 12 додаткових публікацій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 415 сторінках і складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 370 найменувань, містить 90 рисунків, 29 таблиць, 8 додатків на 75 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТІЙКІСТЬ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

1.1 Існуючі уявлення про формування міцності та довговічності композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих

Відповідно до світових цілей та з урахуванням національних орієнтирів [1] визначальними напрямками сталого розвитку є соціальний розвиток, економічне зростання, ефективне управління та екологічна рівновага. Як справедливо зазначено в [2] на сьогодні гостро стоїть завдання впровадження засад сталого розвитку в секторі будівництва, що ґрунтуються на розробленні та впровадженні заходів покращення енергетичної ефективності будівельних технологій з урахуванням вимог до охорони довкілля. Однією з основних проблем підвищення ефективності будівництва є забезпечення довговічності будівельних матеріалів та конструкцій на їх основі. Різноманіття номенклатури матеріалів та умов їх експлуатації в промислових будівлях, транспортних спорудах та інших об'єктах, у тому числі і спеціального будівництва, вимагає детального і глибокого вивчення стійкості цих матеріалів під впливом твердих, газоподібних або рідких агресивних середовищ. При цьому підвищення стійкості будівельних конструкцій та їх захист від корозії має визначальне значення у вирішенні питань забезпечення довговічності будівель і споруд.

Серед конструкційних матеріалів штучного походження, найбільш широке використання отримали композиційні матеріали на основі мінеральних в'язучих. Сучасні вимоги до композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих полягають у досягненні високих показників фізико-механічних і гідрофізичних властивостей при створенні принципово нових архітектурних проектів з використанням конструкцій низької матеріалоемності (тонкі та надтонкі). Керування властивостями композиційних матеріалів можливе на

стадії формування структури. Доцільно провести аналіз існуючих уявлень щодо формування структури композитів на основі мінеральних в'язучих.

Через декілька десятиліть після винаходу портландцементу були висунуті дві, на перший погляд, взаємовиключні теорії його твердіння: німецьким винахідником автоклавних силікатних бетонів і цегли Вільгельмом Міхаелісом – колоїдно-хімічна (1867); французьким автором однойменного хімічного принципу А. Ле Шательє – кристалізаційна (кристалохімічна, 1883). В. Міхаеліс вважав, що гідратація портландцементу відбувається за топохімічним механізмом, тобто у твердій фазі з наступною колоїдацією продуктів гідратації, а твердіння – за рахунок склеювання гелю. А. Ле Шательє вважав, що гідратація відбувається за крізьрозчинним (кристалізаційним) механізмом, тобто шляхом розчинення клінкерних мінералів, а твердіння – за рахунок кристалізації продуктів гідратації з пересиченого розчину і наступного механічного переплетіння кристалів.

У 1923 р. академік Олександр Байков висунув теорію, у якій зумів поєднати уявлення В. Міхаеліса і А. Ле Шательє. О.О. Байков, погоджуючись з В. Міхаелісом щодо топохімічного механізму гідратації, припустив, що у складі продуктів гідратації наявні як гідросилікатний гель, так і кристалогідрати, які склеюються та переплітаються. П.О. Ребіндер і Є.Є. Сегалова [1], погоджуючись з процесами розчинення та утворення пересиченого розчину, вважали, що далі утворюється кристалічний каркас, який обростає кристалами новоутворень, що призводить до зміцнення структури, при цьому можливе виникнення і внутрішніх напружень. П.О. Ребіндер розрізнив два взаємопов'язаних аспекти твердіння цементу, а, отже, утворення дисперсної системи та формування її властивостей – гідратацію і структуроутворення. При гідратації первинна дисперсна фаза за рахунок розчинення утворює розчин пересичений по відношенню до кристалів новоутворень, що в подальшому призводить до виникнення нової фази кристалічного гідрату за крізьрозчинним механізмом з утворенням коагуляційної структури. У структуроутворенні слід виділити стадії коагуляційної, конденсаційної та кристалізаційної структур з

переважаючими коагуляційними, точковими (хімічними) і фазовими контактами між частинками та кристалами відповідно. Пізніше П.О. Ребіндер і Є.Д. Щукін запропонували рівняння, в якому міцність дисперсної системи на розтяг є добутком міцності індивідуального парного контакту між частинками дисперсної фази та поверхневою щільністю цих контактів.

Друга половина ХХ ст. ознаменувалася завзятою дискусією щодо механізму гідратації портландцементу – топохімічного або крізьрозчинного. У цей період суттєвий внесок у розвиток теорії твердіння в'язучих речовин зробили В.І. Бабушкін, Ю.М. Баженов, П.П. Будников, Ю.М. Бутт, О.В. Волженський, І.П. Виродов, О.П. Мчедлов-Петросян, О.П. Полак, А.М. Пługін, В.Б. Ратінов, В.В. Соломатов, М.М. Сичов, М.І. Стрелков, В.В. Тімашев та ін. [4-14].

Кристалізаційного механізму гідратації в'язучих речовин у своїй теорії дотримувалися О.П. Полак [8] і В.Б. Ратінов. Розчинення в'язучих речовин вони вважали обов'язковою стадією гідратації, підкріплюючи це тим, що швидкість розчинення на 1-2 порядки вище, ніж пряме проникнення води в решітку в'язучого. О.П. Полак вивів залежність, у якій міцність тверднучої системи характеризується добутком площі контактів на міцність реального монокристалу. Ним розроблено математичний опис процесів утворення зародків твердої фази з пересиченого розчину і росту кристалів. При цьому В.Б. Ратінов вважав, що кінцева міцність цементного каменю не залежить від виникаючих напружень.

М.І. Стрелков [6], І.П. Виродов [9] та О.В. Волженський [5] дотримувались топохімічного механізму гідратації. М.І. Стрелков вважав, що при твердінні цементу відбувається три типи перенесення кристалогідратів, що утворюються, від поверхні материнських зерен у проміжки, які були раніше заповнені водою: розчинення речовини і викристалізація гідратів; дифузія частинок колоїдних розмірів; механічне перештурхування (наприклад, при твердінні CaO) кристалогідратів. Особливе значення М.І. Стрелков надавав утворенню дрібних гексагональних пластинок, які потім об'єднуються в звивисті палички,

зчеплення яких призводить до утворення просторової сітки або каркасної структури [6]. І.П. Виродов вважав, що новоутворення не обов'язково повинні бути кінцевими продуктами, а істотною особливістю топохімічного процесу буде утворення продуктів гідратації безпосередньо на поверхні в'язучого на початку процесу, з наступним їх руйнуванням і циклічним відновленням процесу. Він також висловив гіпотезу про істотну роль в процесах гідратації гідратованих електронів [9]. О.В. Волженський при розгляді реакційно-активного в'язучого – напівводного гіпсу в умовах малого вмісту води, вважав, що утворення високодисперсних частинок двоводного гіпсу йде з поверхні зерен в'язучого [5].

О.П. Мчедлов-Петросян і В.І. Бабушкін започаткували встановлення енергетичних уявлень про протікання окремих стадій процесу твердіння. Визнаючи, що для полімінеральних в'язучих процеси твердіння ускладнюються взаємним впливом новоутворень, явищами адсорбції, дифузії і т. д., вони допускали, що залежно від умов взаємодії термодинамічно можлива гідратація як через розчин, так і топохімічно [13].

Зрощення кристалогідратів за рахунок дії Ван-дер-Ваальсових сил пояснював М.М. Сичов [10]. Ці сили можуть виникати тільки в тому випадку, якщо буде правильною взаємна орієнтація цих кристалів в «обмежених» умовах.

Важливим фактором у структуроутворенні є взаємне розташування компонентів твердої фази у тверднучій системі. Більшість дослідників вважають, що продукти гідратації утворюються і зростають на поверхні (або поблизу) зерен вихідного в'язучого, утворюючи плівки, оболонки, що екранують шари. Прихильники топохімічного механізму гідратації [9, 10] наводять цей факт як головний доказ своєї гіпотези. Однак у своїх роботах І.Г. Гранковський, Г.Л. Калоусек, О.М. Розенталь, О.П. Полак, М.М. Сичов, О.Є. Шейкін, Л.Г. Шпинова та ін. [15-20] показали, що кристалізація з розчину на поверхні або поблизу неї – енергетично більш вигідний процес і фактично здійснюється саме таким чином. Г.Л. Калоусек належить також цікаве

припущення про те, що зародки зростаючих кристалів, утворюючись поблизу поверхні вихідного в'язучого, утримуються в такому положенні електростатичними силами. Аналогічну позицію обґрунтовує А.М. Плугін [13]. О. Є. Шейкін [15, 16] вважає, що між новоутворенням і вихідним зерном в'язучого є зона переходу.

Г.Л. Калоусек, П.Г. Комохов, О.П. Мчедлов-Петросян, О.Є. Шейкін, Л.Г. Шпинова та ін. [7, 15, 17, 19, 21] показали, що при твердінні мінералів клінкеру в присутності гіпсу в першу чергу утворюються кристали еtringіту, які і обумовлюють формування кристалізаційного каркаса тверднучого цементу. При подальшому твердінні кристалізаційний каркас проростає, заповнюється гелевими частинками, утворюючи, за Л. Г. Шпиноюю, І. Ф. Єфремовим блочно-ритмічну структуру [17]. В. Lothenbach і К. Scrivener [22, 23, 24, 25] у своїх роботах також дослідили механізм гідратації цементу - вплив на кількість та вид гідратів вмісту кремнезему, а також зміну швидкості реакції C_3A в залежності від вмісту сульфату кальцію. Для детального дослідження домінуючих процесів під час гідратації цементу авторами [26] було проведено термодинамічне моделювання, а також експериментальні спостереження процесу гідратації портландцементу в присутності вапняку та метакаоліну з утворенням *AFm*-фаз, збільшенню загального об'єму гідратних фаз та зменшенню пористості.

Для більш поглибленого опису механізму структуроутворення при твердінні в'язучих велике значення мають фундаментальні уявлення про поверхневі і електроповерхневі явища в дисперсних системах, а також основні положення фізико-хімічної механіки дисперсних систем [15, 17, 27-29].

Великий внесок у розвиток теорії бетонів на основі фізико-хімічної механіки дисперсних систем зробили Г.Р. Вагнер, І.Г. Гранковський, І.М. Грушко, Г.Д. Дібров, В.О. Золотарьов, О.П. Мчедлов-Петросян та ін. [7, 30, 31].

В.В. Ілюхіним, М.А. Саницьким [32] розкрито основні закономірності розвитку процесів гідратації клінкерних мінералів у групах силікатів і

алюмінатів, які визначаються локальною незбалансованістю на атомах кисню в їх кристалічних структурах. Звідси витікає що локальна незбалансованість валентностей та анізотропія хімічних зв'язків всередині кристалічної ґратки, може визначати ще в більшій мірі нерівномірність розподілу зарядів на поверхні. Завдяки працям В. В. Тімашова О. О. Пашенка. Т. В. Кузнецової, Л.Г. Шпинової, Х. С. Соболев, Н. F. W. Taylor, W. Kurdowski, F. P. Glasser та ін. [17, 33-38] на даний час достовірно розроблені фізико-хімічні основи формування та генезису мікроструктури цементного каменю, а також показано морфологію кристалогідрататів (гідроксид кальцію, гідроалюмінатні та гідросульфалюмінатні *AFm*- і *Aft*-фази), які є частинками дисперсної фази. [36, 39-42]. Аналогічно В.Д. Глуховським, П.В. Кривенком, Р.Ф. Руновою, J. Davidovits [43-47] було з'ясовано стехіометричний склад та кристалохімічну будову продуктів гідратації створених ними лужних цементів (геополімерів).

Майже всі вказані дослідники відзначали зв'язок характеру контактів між частинками і кристалами дисперсної системи з їхнім стехіометричним складом і кристалохімічною будовою, а В. В. Капранов, М. М. Сичов, Л. О. Шейніч, К. К. Пушкарьова, В. В. Вировий та ін. [10, 14, 48] на додачу до цього ще й з енергетичними ефектами.

На основі розуміння природи контактів В. Д. Глуховський, Р. Ф. Рунова, D. M. Roy, G. R. Gouda [43, 49] отримали в'язучі та композиційні матеріали контактного твердіння та аналогічні, які за рахунок гарячого пресування мають високі показники міцності одразу після формування, а О. Г. Ольгінському пояснити природу взаємодії між продуктами гідратації портландцементу і заповнювачами та ефективно регулювати зону контакту між ними [50]. М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька [51, 52] поглибили теоретичні уявлення про формування структурно-фазового стану цементуючих матеріалів на різних функціональних рівнях і з використанням спеціально розробленої методології визначення кількісних залежностей полімодального диференційного та інтегрального розподілів розмірів частинок дисперсних систем за питомою поверхнею провели оцінку їх поверхневої активності.

Уточнений опис процесів структуроутворення тверднучих в'язучих на основі електроповерхневих взаємодій представлений у роботах В.І. Бабушкіна, Є.І. Ведя, Г.Л. Калоусека, В.В. Капранова, В.А. Матвієнко, О.Г. Ольгінського, Т.К. Пауерса, Ю.О. Спіріна, О.О. Старосельського, Х.Ф.У. Тейлора, Л.Г. Філатова та ін. [21, 32, 53-59]. Наявності електроповерхневих взаємодій у тверднучій системі бетону присвячені роботи А.І. Бірюкова, І.Г. Гранковського, І.Ф. Єфремова, А.М. Пługіна, О.П. Полака, М.М. Сичова та ін. [10, 15, 20, 55, 60]. Важливим моментом у цих уявленнях є перехід коагуляційних контактів у конденсаційні і кристалізаційні. І.Ф. Єфремов, А.М. Пługін, О.П. Полак, М.М. Сичов розглядають процес структуроутворення з урахуванням уявлень про розклинюючий тиск Б.В. Дерягіна – спочатку утворюється періодична колоїдна структура (за І.Ф. Єфремовим) з фіксацією частинок у дальньому потенційному мінімумі, потім за рахунок збільшення обсягу твердої фази і створення обмежених умов (за М.М. Сичовим) здійснюється перехід частинок через потенційний бар'єр у ближній мінімум, а після цього вже перехід коагуляційних контактів у конденсаційні і кристалізаційні – точкові і фазові. При цьому величина потенційного бар'єра сильно залежить від концентрації електроліту в рідкій фазі.

Більшість сучасних дослідників відзначають значні труднощі при утворенні кристалізаційних контактів (Г.Р. Вагнер, Г.Л. Калоусек, А.М. Пługін, М.М. Сичов, Є.Д. Щукін [10, 13, 19, 59]). Також незрозуміле питання про вплив кристалізаційних контактів на властивості затверділих в'язучих. Так, В.В. Капранов вважає, що міцність двоводного гіпсу обумовлена в основному контактами через водні прошарки товщиною до двох мономолекулярних шарів [54]. А.М. Пługін вважає, що контакти між різнойменно зарядженими частинками (електрогетерогенні) у зв'язку з відсутністю потенційного бар'єра сприяють швидкому утворенню кристалізаційних контактів (і дуже міцні навіть при збереженні тонких водних прошарків), а контакти між однойменно зарядженими частинками (електрогомогенні) переростають у кристалізаційні зі значними труднощами, долаючи потенційний бар'єр [13, 62, 63].

Виходячи з наведених оглядів і ґрунтуючись на роботах В.І. Бабушкіна, А.М. Плуґіна, С.П. Новікової [13, 55, 63], можна зробити висновок, що на підвищення структурної міцності дисперсних систем істотно впливає наявність у них електрогетерогенних контактів, і чим більше таких контактів, тим вище буде структурна міцність таких систем.

Колоїдно-хімічна теорія міцності цементного каменю і бетону, що розроблена А.М. Плуґіним та отримала розвиток учнями його школи [13, 63-65], ґрунтується на моделі структури, в якій одиничним елементом міцності є парний контакт між протилежними потенціалвизначальними іонами кристалогідрату Ca^{2+} і гідросилікатного гелю OH^- (а також цементу, мінеральних добавок, заповнювачів), що здійснюється через дипольну молекулу води. Сила взаємодії в такому контакті визначається відомим законом Кулона та рівнянням взаємодії між зарядом і дипольним моментом, що з нього витікає. Згідно теорії міцності дисперсних систем Ребіндера – Щукіна міцність цементного каменю на розтяг R_t^{DK} , Па може бути визначена як добуток міцності електрогетерогенних контактів між поверхнями дисперсних частинок R_t^{EGK} , Па і поверхневої долі цих контактів у перерізі цементного каменю γ_s^{EGK} . Ці основні первинні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин та композиційних матеріалів на їх основі, рівняння електроповерхневого потенціалу дисперсної фази, міцності електрогетерогенних контактів і каменю дозволяють ефективно керувати властивостями бетону і композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин.

Підвищити вміст електрогетерогенних контактів у композиційних матеріалах можливо різними способами: підвищенням тонини помелу в'язучого з його подальшим перезарядженням, перезарядженням дисперсних частинок системи за допомогою постійного електричного струму, введенням у суміш порошоків з дисперсними частинками, що мають певний заряд поверхні [55, 67]. І.В. Барабашем, Т.П. Кропивницькою, О.С. Шинкевич [52, 68, 69] підтверджено, що різні способи активації поверхні і збільшення дисперсності,

які супроводжуються збільшенням кількості контактів, дають можливість досягти підвищення міцності композиційних матеріалів.

Найбільш доступним з перерахованих способів створення електрогетерогенних контактів у композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих є введення в суміші мінеральних частинок високого ступеня дисперсності, що мають електроповерхневий потенціал із визначеним знаком заряду.

Останні десятиліття дослідження твердіння в'язучих завдяки розвитку методів експериментальних досліджень [70, 71] набувають більш феноменологічного характеру. E. Horszyczaruk, P. Sikora, D. Stephan, O. V. Ушеровим-Маршаком, В. М. Дерев'янком, Л. Й. Дворкіним, Я. Малолепши, Z. Giergiczny, В.І. Гоцем, Т. О. Костюк, В. Р. Сердюком, В. П. Соповим, А.В. Мішутіним, М.В. Шпирьком, В.В.Трояном, І.І. Руденком, Н.-В. Fischer та ін. [22-26, 38, 62, 72-91] уточнено вплив сучасних хімічних і мінеральних добавок, у т. ч. таких, що є відходами виробництва, на процеси гідратації портландцементу та інших мінеральних в'язучих, на формування структури та властивостей силікатних композитів. J. Stark, В. Möser, С.М. Толмачов, У.Д. Марущак, М.В. Суханевич, J. Liu [82, 91, 94] дослідили закономірності впливу нанорозмірних частинок або волокон на властивості портландцементних композитів і отримали, відповідно, тріщиностійкі дорожні бетони, високофункціональні надшвидкотверднучі бетони та гідроізоляційні розчини.

1.2 Умови експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин

1.2.1 Проникність штучного каменю для агресивного середовища

Довговічність композитів на основі мінеральних в'язучих визначають їх проникність для експлуатаційних середовищ і стійкість в них.

Проникність відповідно визначається щільністю складання структурних елементів композиту і щільністю структури матриці, формою і розміром пір, наявністю тріщин. У щільних бетонах і розчинах наявні досить крупні повітряні пори, проте між собою, як правило, вони не сполучаються зіставимими за розміром каналами і розділені перегородками із розчину і затверділого в'язучого. Тому водопроникність бетонів і розчинів визначає переважно поровий простір матриці із штучного каменю затверділого в'язучого.

Пори затверділого в'язучого класифікують за різними ознаками. В [94] розрізняються ультрамікропори, мікропори і резервні пори. В [97] розрізняються також макропори. Ультрамікропори, в яких вода замерзає тільки при температурі $-50-70^{\circ}\text{C}$, прийнято вважати «безпечними» з точки зору морозостійкості. Мікропори або капілярні пори, що легко заповнюються водою при зволоженні матеріалу, обумовлюють руйнування при поперемінному заморожуванні і відтаванні. Великі пори воду не утримують і служать в якості вільних резервуарів для віджимання з капілярів надлишку води при заморожуванні. Такі пори вважаються резервними. Ультрамікропори практично недоступні для води, тоді як через мікрокапілярні пори відбувається вільна фільтрація води.

У [98] наведено класифікацію пор штучного каменю за механізмом перенесення рідин і газів через нього:

- пори розміром до $(0,5-1,0) \cdot 10^{-8}$ є дифузійно, капілярно і фільтраційно непроникними;
- пори розміром $1 \cdot 10^{-8}-1 \cdot 10^{-7}$ м – дифузійно проникні для молекул газів;

– пори розміром $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ – капілярно проникні для води та дифузійно проникні для газів;

– пори розміром понад $1 \cdot 10^{-6}$ м – фільтраційно проникні для газів і води.

На проникність композиту вплив мають також усадкові тріщини в них.

Г.Л. Калоусеком показано [19], що у цементному камені процес усадки визначається втратою міжплощинної води тоберморітового гелю. Чим менше відносна вологість повітря і вище температура, тим більше міжплощинної води видаляється з тоберморітового гелю, що призводить до утворення усадочних напруг і утворення мікротріщин. Отже, причиною усадки бетону в початковий період твердіння є зменшення в гелі цементного каменю кількості вільної води, яка витрачається на випаровування і гідrataцію цементу. Потім витрачається напівзв'язана вода (плівкова вода), яка оточує частинки гелю. Це викликає зближення частинок гелю і подальшу усадку. Крім того капілярний тиск в порах має вельми значну величину і зростає зі зменшенням їх розмірів. Так як мікропори розсіяні в цементному камені в різних напрямках, то тиск, взаємно врівноважуючись, діє як всебічне стиснення, під впливом якого також відбуваються об'ємні деформації. При подальшому висиханні бетону зменшується вологісний градієнт, кристалічні зростки, що ростуть чинять все більший опір внутрішньому тиску і усадочні деформації поступово загасають.

Отже, чим інтенсивніші процеси гідrataції в цементному композиті і чим більше кристалогідратів утворюється в більш ранній термін твердіння, тим раніше буде чинитись опір всебічному стиску в ньому, та, як наслідок, буде підвищуватись стійкість до утворення мікротріщин і, отже, підвищуватиметься водонепроникність.

На розвиток усадкових деформацій у композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин також істотно впливає вид і кількість мінеральних наповнювачів, так як в умовах квазістатичної сушки наявність наповнювача перешкоджає вільній усадці в'язучого, що твердне [99].

Так усадка бетону на портландцементному в'язучому (відносна деформація) ε_y^6 становить частину усадки цементного каменю ε_y^H і залежить від

кількості введеного заповнювача:

$$\varepsilon_y^b = \varepsilon_y^u (1 - a)^n, \quad (1.1)$$

де a – об'ємна частка заповнювача,

n – емпіричний коефіцієнт, що знаходиться в межах від 1,2 до 1,7.

В [100] наведені залежності впливу усадки бетону від вмісту та виду різних заповнювача (рис. 1.1).

З рис 1.1 видно, що зменшення усадки бетону тим менше, чим менше в його складі цементу і більше заповнювача. При цьому величина деформації бетону знаходиться в зворотній залежності від величини модуля пружності заповнювача. В [100] показано, що найкращими для бетонів (найменша величина усадки при твердінні) в якості наповнювачів є кварц і вапняк, тобто, матеріали, що мають силікатну і карбонатну основу.

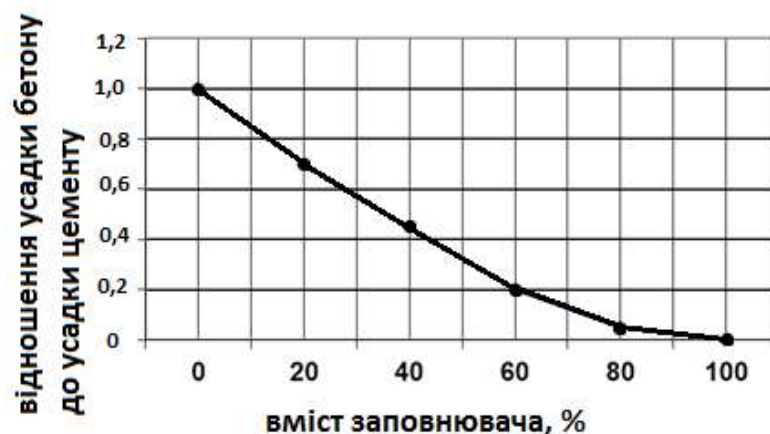


Рис. 1.1 Вплив вмісту заповнювача за об'ємом на відношення усадки бетону до усадки цементного каменю ($n = 1,7$)

Таким чином, підвищення гідрофізичних властивостей композитів і зменшення їх проникності для агресивного середовища може бути досягнуто за рахунок регулювання пористості і тріщиноутворення, що досягається контролем технологічних режимів.

Як відомо [101, 102] рух води в капілярно-пористому матеріалі відбувається під дією не тільки гідростатичного тиску (згідно закону фільтрації Дарсі) або капілярного підняття, а суми зовнішнього гідростатичного p_h і

внутрішніх тисків. Таким чином виявляється безнапірна водопроникність, що відіграє важливу роль при незначному гідростатичному тиску.

Після зіткнення води з поверхнею сухого або вологого композиту починається її проникнення в нього під спільною дією вказаних тисків. Спочатку проникнення відбувається інтенсивно, потім по мірі водонасичення уповільнюється до встановлення стаціонарного потоку.

Означені внутрішні тиски, природу яких детально розкрито у роботах [101, 102], є проявом колоїдно-хімічних явищ і закономірностей.

Стаціонарний потік встановлюється за умови, що суми зовнішнього тиску p_h і внутрішніх тисків, які спричиняють фільтрацію – осмотичного p_{oc} , капілярно-осмотичного $p_{ко}$, капілярного підняття $p_{кп}$, електрокапілярного $p_{ек}$ та перешкоджачих їй – внутрішнього тертя (в'язкісного опору) $p_{мп}$, потенціалу течії $p_{нм}$, дорівнюють нулю. Рівняння стаціонарного потоку безнапірної водопроникності має вигляд:

$$p_h + p_{oc} + p_{ко} + p_{кп} + p_{ек} - p_{мп} - p_{нм} = 0, \quad (1.2)$$

де внутрішні тиски визначаються виразами:

$$p_{oc} = \Delta c RT = RT \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \psi_p^0}{2\pi d_1 r F}; \quad p_{ко} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \zeta \psi_p^0 \delta}{r(1-d/r)^2}; \quad p_{кп} = \frac{2\sigma}{r} \cos \theta; \quad (1.3)$$

$$p_{ек} = \frac{c \psi_p^0}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 (\psi_p^0)^2 d_1}{\delta_{ac} \pi r^2}; \quad p_{мп} = \frac{2l\eta V}{r \delta_{dc}}; \quad p_{нм} = \frac{\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 \psi_p^0 \zeta p}{4\pi^2 dr \eta \chi}; \quad (1.4)$$

Δc – різниця концентрацій електроліту у воді й поровому електроліті композиційного матеріалу (в подвійних електричних шарах ПЕШ на границі розподілу фаз); R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура; ε – діелектрична проникність середовища (вакууму між контактуючими потенціалвизначальними іонами ПВІ і протиіонами у ПЕШ), 1; ε_0 – електрична стала; ψ_p^0 – рівноважний електроповерхневий потенціал стенок капілярів; d_1 – товщина щільної частини ПЕШ (відстань між ПВІ і ПІ); r – радіус капілярів; F – число Фарадея; ζ – електрокінетичний потенціал стінок капілярів; δ , δ_{dc} – товщина дифузної частини ПЕШ; d – розмір часток, що складають стінку

капіляру композиційного матеріалу; σ – поверхневий натяг границі розподілу вода – повітря; θ – крайовий кут змочування стінок капіляру; c – концентрація електроліту; l – довжина капіляру; η – в'язкість води; V – потік (витрата) води в капілярі; P – гідростатичний тиск; χ – питома електропровідність мембрани (обводненого композиційного матеріалу).

В результаті багаторазово виконаних досліджень встановлено [102], що характерну криву безнапірної водопроникності композиційного матеріалу на основі мінеральних в'язучих за аналогією з цементним каменем можна уявити такою, що складається із 4-х розділених переламками ділянок, дві останні з яких практично лінійні (рис. 1.2, дві перші ділянки показані лінійними умовно). Цим ділянкам відповідають швидкості потоку $dV/d\tau$, обумовлені різними сполученнями внутрішніх тисків. Після первинного контакту води з поверхнею сухого композиту її проникнення здійснюється під дією всіх вказаних внутрішніх тисків таким чином, що кут нахилу на її 1-й ділянці кривої безнапірної водопроникності є максимальним (рис. 1.2).

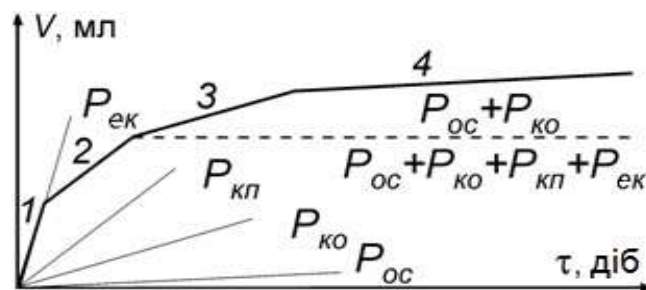


Рис. 1.2 Безнапірна водопроникність цементного каменю або бетону: загальний вигляд кривої водопоглинання – інтегральної залежності від часу τ кількості поглиненої води зразком бетону V

Осмотичний тиск $p_{ос}$ діє постійно, тиски капілярного підняття $p_{кп}$, електрокапілярний $p_{ек}$, капілярно-осмотичний $p_{ко}$ – лише в період водонасичення матеріалу і по мірі його досягнення зникають, призводячи до зниження швидкості потоку $dV/d\tau$ – видимого зменшення кута нахилу кривої рис. 1.2 від ділянки 1 до 4. У разі перевищення швидкості потоку $dV/d\tau$, швидкістю

випаровування з поверхні конструкції навіть після водонасичення композиту по всій товщині конструкції тиски капілярного підняття $p_{кл.}$, електрокапілярний $p_{ек.}$, капілярно-осмотичний $p_{ко}$ не зникають, а швидкість потоку $dV/d\tau$ залишається більш високою.

Отже, на безнапірну водопроникність композиту на стадії водонасичення впливають в найбільшому ступені капілярний і осмотичний тиски, менше – електрокапілярний і капілярно-осмотичний тиски, а на стадії стаціонарного потоку – осмотичний тиск і в'язкісний опір течії.

Закономірності руху води крізь матеріали

Суцільна тверда фаза для води є непроникною. Рух води здійснюється крізь несучільності в її структурі – тріщини, пори тощо. Обов'язковою умовою проникності матеріалу є сполучення між тріщинами або порами – тріщини мають утворювати систему, а пористість бути відкритою. Механізми (фізична природа) руху води у крізь тріщини і пори залежать від розмірів тріщин, пор, капілярів (табл. 1.1).

1.2.2 Вплив агресивних середовищ

Ступінь впливу (агресивності) середовища на будівельні конструкції визначається за СНіП 2.03.11-85 [103]. У першу чергу, не залежно від виду в'язучої речовини, основним показником, що визначає агресивність середовища щодо композиційного матеріалу є вологісний режим. У рідкому середовищі агресивність обумовлена наявністю розчинених солей (хлоридів, сульфатів, нітратів, магнезіальних і амонійних солей), їдких лугів, агресивної вуглекислоти, водневим показником (pH) і показником бікарбонатної лужності, наявністю мастил (мінеральних і органічних), нафти та нафтопродуктів, розчинників (граничних та ароматичних вуглеводів, кетонів), кислот, спиртів, мономерів, амідів тощо. Агресивність твердого середовища залежить від його гігроскопічності та вмісту розчинних сполук. Агресивність газового середовища визначається наявністю і концентрацією агресивних газів

(вуглекислий газ, аміак, сірчаний ангідрид тощо). Наявність грибів і тіонових бактерій обумовлює ступінь агресивного впливу біологічно активного середовища.

Таблиця 1.1

Механізми руху води крізь тріщини, пори та капіляри в залежності від розмірів

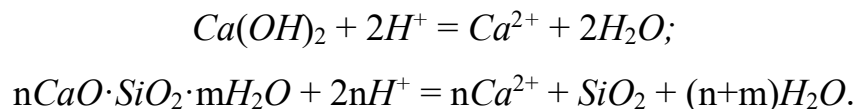
Тип і розмір тріщин, пор, капілярів	Фізична закономірність, що в иайбільшому ступені відбиває закономірність руху води	Приклади матеріалів і конструкцій та несучільностей в них
1	2	3
Тріщини розкриттям понад 1 мм, сполучні пори розміром понад 1 мм, міжзернові пустоти між частинками розміром понад 1 мм	Закон течії Ньютона	Тріщини, стики, пусті шви у скельних породах, конструкціях із бетону, кам'яної кладки розкриттям понад 1 мм, крупноуламкові ґрунти з частками розміром понад 1 мм (гравійні)
Системи тріщин розкриттям понад 10 до 1000 мкм, сполучних пор розміром понад 10 до 1000 мкм, міжзернові пустоти між частинками розміром понад 10 до 1000 мкм	Закон фільтрації Дарсі	Тріщинуваті скельні ґрунти, конструкції із бетону, кам'яної кладки з розкриттям тріщин понад 10 до 1000 мкм, ґрунти з частками розміром понад 10 до 1000 мкм (піщані)
Мікротріщини розкриттям понад 0,1 до 10 мкм, сполучні пори (капіляри) розміром понад 0,1 до 10 мкм, міжзернові пустоти частинок розміром понад 0,1 до 10 мкм	Безнапріна водопроникність (всі складові)	Тріщинуваті скельні ґрунти, конструкції із бетону, кам'яної кладки з розкриттям тріщин понад 0,1 до 10 мкм тріщин, ґрунти з частками розміром понад 0,1 до 10 мкм (глинисті), легкі та нещільні важкі бетони
	Капілярне всмоктування (піднятя)	
	Осмос	
	Дифузія іонів	
Мікротріщини розкриттям понад 1 до 100 нм, сполучні пори розміром понад 1 до 100 нм, міжзернові пустоти частинок розміром понад 0,1 до 10 нм	Безнапріна водопроникність (деякі складові)	Щільні важкі бетони і розчини, цементний камінь
	Осмос	
	Електроосмос	
Дефекти структури розміром до 0,1 нм	Непроникні	Гідросилікатний гель цементного каменю

Найбільш відомою класифікацією агресивних впливів на силікатні композиційні матеріали – є класифікація В.М. Москвіна корозії портландцементних бетонів за трьома видами [104].

Корозія I виду (фізико-хімічна) – вилуговування, що полягає в розчиненні і вимиванні м'якими водами гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$. При цьому по мірі вичерпання $Ca(OH)_2$ відбувається розкладення гідросилікатів кальцію $nCaO \times SiO_2 \times mH_2O$ на $Ca(OH)_2$ і кремнезем SiO_2 з подальшим вилуговуванням. Протікає тільки за умови фільтрації води через бетон або, в меншому ступені, його омивання проточною водою. Показником агресивності рідкого середовища є бікарбонатна лужність – вміст бікарбонатних іонів HCO_3^- , мг-екв/л (або у град. жорсткості) – чим вона нижча (чим м'якша вода), тим агресивніше середовище, причому ступінь дії в усіх випадках не перевищує слабоагресивний.

Корозія II виду (хімічна) – кислотна, лужна, магнезіальна тощо, за якої в результаті взаємодії розчинених у рідкому середовищі кислот, лугів, солей з мінералами цементного каменю утворюються сполуки, що не мають в'язучих властивостей.

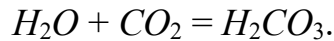
Кислотна корозія полягає у взаємодії гідроксиду і гідросилікатів кальцію з водневим іоном: гідроксид кальцію розкладається з утворенням кальцієвої солі кислоти, гідросилікати кальцію – кальцієвої солі кислоти і кремнезему, що не мають в'язучих властивостей:



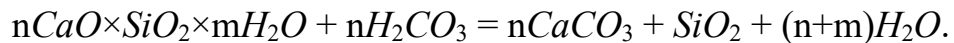
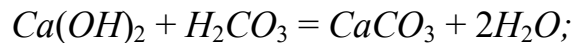
Показником агресивності рідкого середовища є його водневий показник pH – чим він нижчий, тим агресивнішим є середовище. Неагресивними за цим показником в усіх випадках є середовища з pH понад 6,5, сильно агресивними – з pH менше 3.

Вуглекислотна корозія є окремим випадком кислотної. Вона обумовлена наявністю в рідких середовищах агресивної вуглекислоти H_2CO_3 , яка

утворюється внаслідок розчинення у воді та взаємодії з нею вуглекислого газу CO_2 :



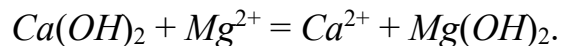
Вуглекислотна корозія полягає у взаємодії гідроксиду і гідросилікатів кальцію з вуглекислою з утворенням кальциту і кремнезему:



Показником агресивності є вміст агресивної вуглекислоти, мг/л – чим він вищий, тим агресивнішим є середовище, але в усіх випадках не вище середньоагресивного ступеня.

Лужна корозія [105] обумовлена взаємодією алюмінатних складових цементного каменю з їдкими лугами. Показником ступеня агресивної дії є вміст їдких лугів в перерахунку на іони Na^{2+} і K^+ – із збільшенням їх вмісту ступінь агресивної дії зростає навіть до сильноагресивного.

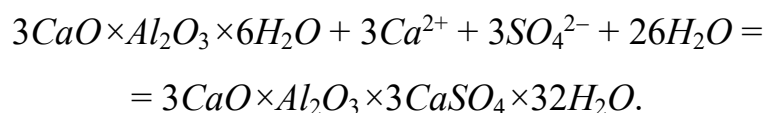
Магnezіальна корозія полягає у взаємодії гідроксиду кальцію з магnezіальними солями з утворенням гідроксиду магнію і кальцієвих солей, що не мають в'язучих властивостей:



Показником агресивності є вміст магnezіальних солей в перерахунку на іон Mg^{2+} , мг/л – чим він вищий, тим агресивнішим є середовище навіть до сильноагресивного ступеня.

Корозія III виду (фізико-хімічна) – сульфатна і сольова, за якої в бетоні кристалізуються солі, що збільшують об'єм його твердої фази, спричиняють виникнення в бетоні внутрішніх напруг і його руйнування.

За сульфатної корозії в результаті взаємодії розчинених у рідкому середовищі сульфатів з алюмінатами цементного каменю утворюється гідросульфоалюмінат кальцію $C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O$ – еtringіт, що збільшується в об'ємі щодо вихідних твердих сполук у 4 рази:

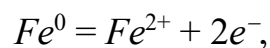


Сольова корозія відбувається, коли конструкція контактує з сольовим розчином і одночасно має поверхні, що випаровують. У цьому разі сольовий розчин підсмоктується до цих поверхонь і випаровується, а під поверхнею кристалізуються означені солі. За відсутності таких поверхонь сольова корозія не відбувається навіть за наявності контакту із сольовими розчинами.

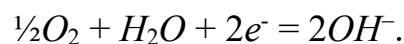
Показниками агресивності рідкого середовища за сульфатною корозією є вміст сульфатів в перерахунку на іон SO_4^{2-} – чим він вищий, тим агресивнішим є середовище; за сольової корозії – сумарний вміст хлоридів, сульфатів, нітратів, інших солей, – чим він більший, тим агресивнішим є середовище.

Класифікація В.М.Москвіна ґрунтується на аналізі хімічних реакцій та уявленнях про фазові переходи (розчинення, кристалізація, кристалізаційний тиск) і передбачає корозію від агресивних впливів лише силікатних композиційних матеріалів, яка відбувається тільки в рідких середовищах. Ф.М. Івановим, С.Н. Алексєєвим, R.D. Hooton, Horszczaruk E., Brzozowski P., Rucinska T. та ін. [106-108] ці уявлення поглиблені на основі аналізу фільтрації, дифузії, осмосу, а також нових результатів експериментальних досліджень (стосовно вилуговування, карбонізації, проникнення електролітів, довговічності в цілому). Окремо, у [104, 107, 109] розглянуто корозію арматури залізобетону, карбонізацію бетону, електрокорозію, тріщиноутворення в бетоні.

Корозія арматурної сталі (електрохімічна) обумовлена електрохімічним процесом окислення заліза, при якому на поверхні арматури при її контакті з електролітичним середовищем виникають анодні і катодні ділянки, на яких відбуваються, відповідно, анодний процес (окислення заліза):



і катодний процес (відновлення кисню):



Вказаний електрохімічний процес протікає за $pH \leq 11,8$. За $pH > 11,8$ залізо знаходиться у пасивному стані за рахунок утворення на поверхні анодних ділянок нерозчинних захисних плівок із гідроксидів заліза. Поровий електроліт портландцементного бетону має $pH = 12-13$, тому він пасивує арматурну сталь,

а захисний шар із щільного бетону без тріщин забезпечує надійний захист арматури.

Корозія арматури відбувається в місцях, де її перетинають тріщини в бетоні, через які до арматури потрапляє волога, кислі гази або іони, особливо хлориди Cl^- , сульфати SO_4^{2-} , що утворюють електролітичне середовище. Тому ступень агресивного впливу газоподібних середовищ залежить від вмісту кислих газів і вологісного режиму приміщення, а рідких середовищ – від вмісту іонів Cl^- , SO_4^{2-} причому ступінь їх дії значно вищий за умови періодичного змочування конструкції, аніж за постійного занурення.

Зниження pH і втрата бетоном захисних властивостей в повітряних умовах відбувається за рахунок його карбонізації – взаємодії з вуглекислим газом CO_2 повітря, який розчиняється у плівках конденсаційної вологи на поверхні конструкцій (див. вуглекислотну корозію). Карбонізація поширюється фронтом від поверхні всередину бетону і корозія арматури розпочинається, коли фронт карбонізації досягає до неї. Показником ступеня агресивного впливу газоподібного середовища є вміст вуглекислого газу, mg/m^3 . Ступінь впливу такого середовища на бетон завжди неагресивний, на залізобетон – збільшується навіть до середньоагресивного.

Специфічним видом корозії арматурної сталі є електрокорозія під впливом блукаючих струмів.

Більш досконалою, що ґрунтується на термодинамічному аналізі реакцій корозії та закономірностях колоїдної хімії (осмотичний тиск, електрокінетичні явища), є класифікація агресивних впливів В.І. Бабушкіна [27], яка передбачає механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні впливи. У доповненому вигляді вона викладена у [110] таким чином.

В процесі експлуатації будівельні конструкції та інженерні споруди піддаються різним експлуатаційним впливам – механічним, фізичним, хімічним, фізико-хімічним, електрохімічним, біохімічним. Ці впливи в залежності від конструктивних особливостей та умов експлуатації конструкцій і споруд, а також від властивостей матеріалів можуть спричинити деструктивні процеси. Ці

процеси можуть призвести до несприятливих змін експлуатаційних властивостей матеріалів навіть до втрати конструкціями і спорудами працездатності.

Механічні впливи – силові, ударні та стираючі, сейсмічні та вибухові, біологічні (механічні впливи біологічних об'єктів).

Силовим впливам – постійним та тимчасовим навантаженням піддаються несучі та інші конструкції. Здатність опиратись ним без втрати властивостей забезпечується конструктивно при розрахунку конструкцій за групами граничних станів з урахуванням міцнісних характеристик матеріалу – марок чи класів з міцності на стиск, розтяг, згин, МПа (кгс/см^2).

Ударним (динамічним) та стираючим впливам, що спричиняють механічний знос, піддаються дорожні та аеродромні покриття, підлоги та сходи виробничих та цивільних будівель, тощо. Здатність опиратись ним забезпечується призначенням вказаних міцнісних характеристик матеріалу, а також стиранності та зносостійкості, кг/м^2 (втрати маси одиницею площі при стандартному випробуванні), динамічної міцності, Дж/м^3 (механічної роботи, витраченої на руйнування одиниці об'єму матеріалу при стандартному випробуванні).

Сейсмічним та вибуховим впливам піддаються конструкції та споруди під час надзвичайних ситуацій – стихійних лих, техногенних катастроф і т.п. або під час військових дій. Вони є специфічним різновидом динамічних дій. Здатність опиратись ним забезпечується конструктивно з урахуванням міцнісних і деформативних характеристик матеріалів, в тому числі динамічної міцності.

Біологічним впливам (механічним діям біологічних об'єктів) піддаються: зростанню кореневої системи рослин – підземні трубопроводи, фундаменти, дорожні та аеродромні покриття, життєдіяльності комах і гризунів – дерев'яні конструкції. Здатність опиратись ним забезпечується призначенням міцнісних характеристик матеріалів, а для деревини – антисептуванням.

Фізичні впливи:

- атмосферні – поперемінне заморожування і танення, вологісні деформації, поперемінне зволоження та висушування, температурні деформації, сонячна радіація;

- техногенні – надвисокі чи наднизькі температури, відкритий вогонь, радіоактивне випромінювання.

Фізичні впливи пов'язані в основному з температурно-вологісними режимами експлуатації конструкцій.

Поперемінному заморожуванню і таненню піддаються пористі матеріали конструкцій, що знаходяться у водонасиченому стані та температура яких багаторазово переходить через точку замерзання води. Її ступінь за інтенсивністю визначається частотою переходів температурою конструкції крізь точку замерзання води та можливістю її водонасичення у процесі експлуатації. Частота переходів крізь точку замерзання обумовлена температурою зовнішнього повітря у найбільш холодний період року, а можливість водонасичення конструкції – конструктивними особливостями, температурно-вологісним режимом експлуатаційного середовища, водопроникністю матеріалу. Ця дія спричиняє морозне руйнування і є найбільш небезпечною для бетонів та будівельних розчинів, природного та штучного каменю. Питання їх захисту від морозного руйнування докладніше розглянуті далі.

Вологісним деформаціям і поперемінному зволоженню та висушуванню піддаються пористі матеріали. Бетон при зволоженні зазнає набухання, при висушуванні – усадку. При багаторазовому зволоженні та висушуванні в ньому розвиваються деструктивні процеси, що призводять до виникнення тріщин і зниження міцності та непроникності. Деревина при зволоженні також зазнає набухання, а при висушуванні – усушку (дерев'яні деталі – короблення). Внаслідок багаторазових повторень це також може призводити до утворення тріщин (наприклад, в залізничних дерев'яних шпалах, дерев'яних опорах електричних мереж). Захистом від цих явищ служить конструктивне забезпечення сприятливих температурно-вологісних умов, гідрофобізація

матеріалу і покриття конструкції водонепроникними складами (лакофарбовими, тощо).

Температурним деформаціям піддаються усі конструкції при зміні температури, в тому числі від сонячних променів. Ці деформації найсуттєвіші у довгомірних конструкціях, особливо металевих, і спричиняють виникнення значних температурних напруг. Для запобігання виникнення цих напруг у конструкціях влаштовують температурні шви, ізолюють їх від джерел тепла. Конструкції, на які падають прямі сонячні промені, фарбують у світлий колір.

Сонячна радіація викликає старіння полімерних матеріалів. Для його запобігання у полімерні матеріали вводять наповнювачі та спеціальні добавки-стабілізатори.

Техногенним впливам піддаються конструкції спеціального технологічного обладнання. Для улаштування цих конструкцій застосовують матеріали, стійкі в даних умовах експлуатації або захищають їх відповідним чином. Так, конструкції, які піддаються радіоактивному випромінюванню, виконують із радіаційно стійких і непроникних особливо важких бетонів на заповнювачах із залізної руди чи чавунного скрапу. Конструкції, що зазнають дію надвисоких температур, футерують вогнетривами. У разі впливу наднизьких температур від нього захищають метали, які становляться крихкими. Полімерні матеріали за низьких температур також становляться крихкими, а у разі впливу радіаційного випромінювання швидко старіють та руйнуються.

Хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні впливи спричиняють хімічно та біологічно активні середовища, а також електричний струм. За походженням вказані середовища є природними та промисловими, за агрегатним станом фази, що визначає агресивну дію – газоподібними, твердими, рідкими.

Вказані впливи можуть бути агресивними, тобто обумовлювати корозію – незворотний процес погіршення характеристик і властивостей матеріалу конструкції. Корозійне руйнування полягає у змінюванні маси, перерізу,

міцності чи погіршенні інших кількісних характеристик і показників якості матеріалу і конструкції.

Хімічні впливи спричиняють хімічну корозію в результаті обмінних реакцій між складовими середовища і матеріалу.

Фізико-хімічні впливи спричиняють фізико-хімічну корозію в результаті фазових переходів – розчинення і вимивання складових матеріалу або кристалізації продуктів корозії у пористому матеріалі.

З цих впливів найменш вивченими стосовно силікатних композитів залишались електрохімічні, біохімічні впливи.

Щодо біологічних впливів Є.І. Андреюк, В.О. Юрченко та ін. [111, 112] уточнено види бактерій, що спричиняють мікробіологічну корозію, та отримано дані про кінетику мікробіологічної корозії, а А.А. Пługінім [102] шляхом термодинамічного аналізу встановлено умови протікання біохімічних реакцій бактерій циклу сірки, обґрунтовано кінетику корозії з урахуванням всіх можливих механізмів переносу, у т.ч. електрофорезу.

На додаток до відомих механічних впливів у роботах [113-115] також розглядається механізм руйнівної дії вібрації. Вібрація – рух точки або механічної системи, при якому відбуваються коливання тих скалярних величин, що їх характеризують. Вібрація – складний коливальний процес, що виникає при періодичному зсуві центру тяжіння тіла від положення рівноваги, а також при періодичній зміні форми тіла, яку воно мало в статичному стані. Джерелами вібрації можуть бути неврівноважені маси двигунів і механізмів, машини для ущільнення бетонних сумішей і т.і.

Як правило, механізмами створюються гармонійні коливання, тобто віброуюча точка відхиляється за часом від середнього положення за синусоїдальним законом. Віброшвидкість і віброприскорення у разі гармонійних коливань визначаються:

$$v = 2\pi fs; a = 4\pi^2 f^2 s. \quad (1.5)$$

Вібрація з віброшвидкістю понад 10 мм/с може бути однією з причин пошкодження конструкцій із бетону низької міцності, розчину швів низької

міцності. Найбільш небезпечним є вплив такої вібрації на основи будівель та споруд, особливо у сполученні з їх зволоженням або обводненням. Вібрація призводить до тиксотропного розрідження ґрунтів основ і до нерівномірних осідань будівель та споруд.

1.2.3 Нові дані про електричні впливи на матеріали конструкцій та споруд

Останніми роками були проведені дослідження і встановлені нові закономірності електричних впливів на бетон, цементний розчин кам'яної кладки, конструкції з них. В роботах О.О. Старосельського [116], наукової школи А.М. Плугіна [117-120] розвинуто уявлення про електричні впливи на силікатні композити, зокрема, бетони. Показано, що вони, як і метали, зазнають електрокорозії, проте вона полягає у розкладанні продуктів гідратації цементу від впливу перемінних струмів критичної частоти (О.О. Старосельський), в електроміграційному вилуговуванні від впливу пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу (наведеного електрорухомим складом залізниць), а також тріщиноутворенні внаслідок впливу надлишкових електричних зарядів природного та антропогенного походження. Узагальнення результатів цих досліджень дозволяє доповнити наведену класифікацію декількома видами електричних впливів та їх наслідків.

Електрокорозія матеріалу – незворотне погіршення властивостей матеріалу в результаті протікання крізь нього електричного струму.

Аналіз літературних даних з питань оцінки ступеня небезпеки електрокорозії бетону і сталі під впливом змінного струму [121-125] показав відсутність єдності поглядів вчених та вимог нормативних документів.

Дослідженню механізмів електрокорозії бетону та залізобетону під впливом постійних і змінних струмів присвячені роботи [116, 126-132]. Слід зазначити, що дослідженням у цій галузі присвячено незначну кількість робіт,

що, ймовірно, пов'язано з прийнятою думкою про слабкий вплив на бетон постійних струмів і повну відсутність впливу змінних струмів.

На відміну від бетону, робіт в галузі впливу змінних і постійних струмів на корозію металів і дослідження механізмів цього впливу набагато більше [133-138]. В цілому погляди окремих учених узгоджуються, оскільки ґрунтуються на традиційних теоріях електрохімічної корозії і електрокорозії металів, що вважаються завершеними. Однак, більш сучасні дослідження, які побудовані на принципово нових уявленнях [139-141], критично оцінюють існуючі погляди, так як вони не дозволяють розкрити механізм корозії сталі під захисними покриттями.

У роботах [129, 130, 142, 143, 144], ґрунтуючись на уявленнях про реальну субмікроструктуру цементного каменю, електроповерхневих властивостях її елементів, електроповерхневих взаємодіях один з одним і з особливостями протікання розчинення портландиту на границі бетону з водою в електричному полі, що виникає під впливом струмів витoku, переконливо довели руйнівний вплив постійного струму. Постійний струм спричиняє електрокорозію у разі його пульсуючого характеру (однонаправлений пульсуючий струм) та водонасиченого або вологого стану бетону, наприклад, на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць під час проходження поїздів обводненою залізобетонною спорудою. У цьому разі струми витoku можуть протікати крізь бетон і обумовлювати розчинення та винесення із цементного каменю $Ca(OH)_2$, отже набагато прискорювати вилуговування цементного каменю.

Змінний струм [120, 145] також спричиняє електрокорозію водонасиченого бетону, але менш інтенсивну, ніж у разі впливу однонаправленого пульсуючого струму. Електрокорозія обумовлена розчиненням продуктів гідратації цементу внаслідок впливу на них так званих струмів критичної частоти: для $Ca(OH)_2$ – близько 80 Гц, гідросилікатів кальцію – 550 Гц, гідромоноссульфоалюмінату кальцію – 40 Гц, еtringіту – 100 Гц.

Електрокорозія арматури під дією високовольтної змінної напруги здійснюється шляхом безповоротного виносу за межі захисного шару бетону

катіонів заліза Fe^{2+} . Цей винос супроводжується переходом з арматури вивільнюваних електронів в гідроксильні комплекси типу $OH-H^+-OH^-$, які переходять до поверхні арматури з естафетного механізму.

У [146-148] були встановлені закономірності впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів природного і антропогенного (техногенного) походження на бетон і розчин кам'яної кладки, конструкції з них. Електричні поля і надлишкові заряди місцевості формуються не тільки від технічних джерел, а і від природного електричного поля Землі (утвореного за рахунок перенесення вільних електронів від ядра до підшви земної кори, утворення у волозі кори надлишку гідроксильних іонів OH^- і їх перенесення до денної поверхні) та розподілу в ньому зарядів, від вимивання катіонів із ґрунтів і їх винесення природними водами і водотоками [149, 150, 151].

1.3. Характерні пошкодження і технічний стан будівель і споруд залізниць

У складі залізничного транспорту України експлуатується значна кількість цивільних і промислових будівель та споруд. В першу чергу це будівлі та споруди станційних комплексів: пасажирського господарства – вокзалів різного класу, у т.ч. великих позакласних, пасажирських павільйонів, пішохідних мостів, конкорсів, перонів, високих та низьких пасажирських платформ, дебаркадерів, туалетів, що стоять окремо; господарства перевезень і вантажного господарства – стрілочних постів, високих та низьких вантажних платформ з рампами (пандусами), пакгаузів, складів; енергетичного господарства та господарства сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) – постів електрифікації і централізації (ЕЦ), тягових підстанцій, контактної мережі, ліній електропередач. Крім будівель та споруд станційних комплексів на залізницях наявна велика кількість цивільних та промислових будівель та споруд інших господарств: колійного господарства - адміністративно-

побутових будівель, майстерень на лінії; господарства будівельно-монтажних робіт і експлуатації будівель (БМЕС) - адміністративно-побутових та виробничих будівель, цехів, котелень, житлових будинків, гуртожитків, громадських будівель - будинків культури, клубів, музеїв, стадіонів, спортивних залів і басейнів, водонапірних веж, каналізаційних насосних станцій, очисних споруд, водопровідних та каналізаційних мереж.

1.3.1 Систематизація пошкоджень будівель та споруд станційних комплексів залізниць

У нормативних та літературних джерелах наводиться ряд класифікацій дефектів і пошкоджень, з яких найбільш корисною з точки зору їх зіставлення з природою та інтенсивністю руйнівних дій і призначенням своєчасного захисту від них є класифікація за ступенем небезпеки або значимості наслідків:

I категорія – надто небезпечні, з високою імовірністю можуть швидко призвести до припинення експлуатації споруди або аварії (тріщини в небезпечній зоні конструкції, втрата стійкості окремих елементів та ін.), охоплюють значну частину або весь будинок, звичайно зв'язані з дефектами проектування, будівництва, стихійними явищами (сильними вітрами, снігопадами, затопленням та ін.), а також порушеннями правил експлуатації будівель і споруд;

II категорія – небезпечні, але не аварійні, що призводить до серйозних порушень нормальної експлуатації (наприклад, розлад заклепочних з'єднань, розвиток сильної корозії та ін.);

III категорія – малонебезпечні, що погіршують умови роботи конструкції, виявляючи вплив на розвиток інших дефектів (наприклад, руйнування захисного шару в залізобетонних конструкціях, перекіс опорних частин, усадочні тріщини в бетоні, відшарування штукатурки або окремих облицювальних плиток та ін.).

Причини пошкоджень класифікують на види, рис.1.3.



Рис. 1.3. Причини пошкоджень будівель

За методикою, розробленою у [152], і даними паспорту ЦБМЕС виконано аналіз ступеня зносу будівель та споруд станційних комплексів. В результаті аналізу встановлено, що найбільшим зносом характеризуються пасажирські платформи – 58,3 % і будівлі та споруди вантажного господарства (вантажні склади, платформи) – 56,4 % (рис. 1.4, а), найбільшими показниками річної амортизації характеризуються павільйони – 8,7 % і будівлі та споруди вантажного господарства – 5,3 % (рис. 1.4, б). Серед залізниць найбільшим зносом характеризуються будівлі та споруди пасажирського господарства Львівської залізниці – 68,9 % і Придніпровської залізниці – 46,7 %, найбільшими показниками річної амортизації – Придніпровської залізниці – 7,6 %.

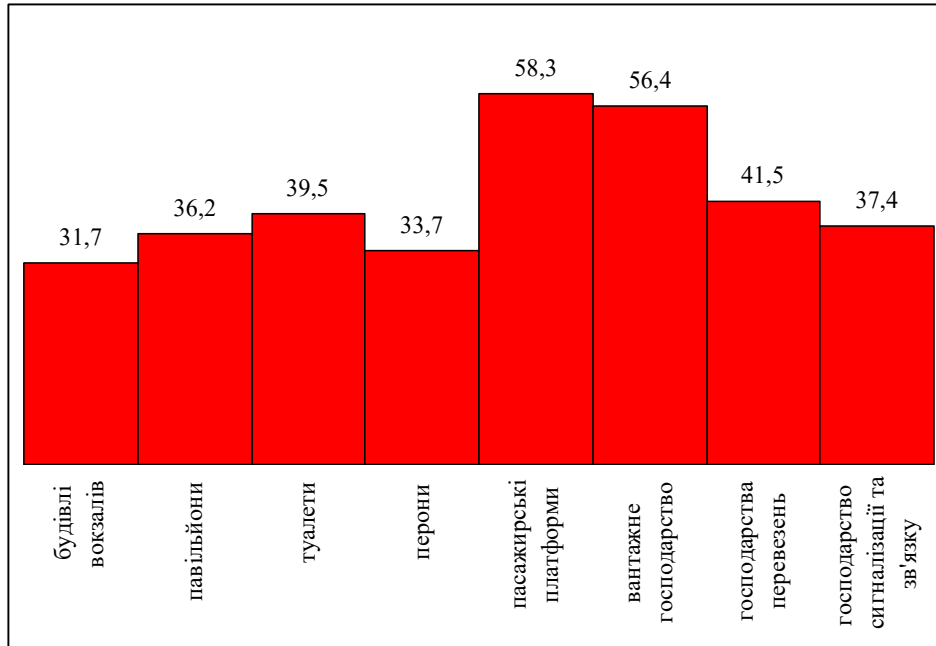
При нагляді в конструкціях будівель і споруд залізниць постійно виявляються пошкодження, розвиток яких призводить до передчасного виходу із ладу конструктивних елементів, зниження надійності, довговічності та безпеки експлуатації будівель та споруд, і вимагає своєчасного відновлення їх експлуатаційних властивостей (ремонт) і захисту від руйнівних дій. Встановлена [155, 153, 154] залежність інтенсивності руйнування будівель і споруд з долею ділянок залізниць, електрифікованих постійним струмом – чим більше таких ділянок (на Придніпровській залізниці 58,2 % протяжності), тим

гіршими є показники швидкості розвитку пошкоджень. При проходженні поїздів з електричною тягою позитивний потенціал на рейках досягає 50 В. Постійний потенціал розповсюджується по місцевості в залежності від вологості середовища на десятки метрів і на конструкціях будівель, розташованих в десятках метрів від колій, досягає 2 В. На всіх досліджених будівлях і спорудах з виявленими пошкодженнями було виявлено такі потенціали. Проте на неелектрифікованих ділянках пошкодження також відмічаються. Спільним для виявлених пошкоджень є наближеність конструкцій з ними до залізничних колій і суб'єктивне відчуття на них вібрацій при проходженні поїздів. Крім того, для цих пошкоджень спільним є обводненість конструкцій, або обводненість ґрунтів основи.

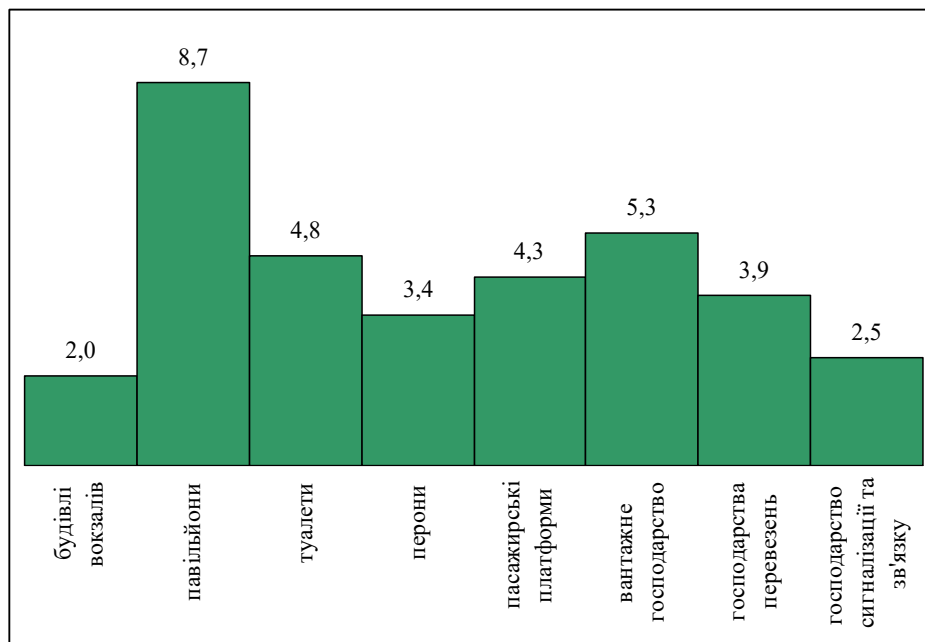
Дані натурних досліджень пошкоджень характерних будівель та споруд станційних комплексів [156] узагальнені у табл. 1.2.

Запропонована нумерація типів пошкоджень, а їх зовнішні ознаки зіставлені з найімовірнішими причинами їх виникнення і категорією технічного стану будівлі (споруди). Проведено анкетування служб БМЕС залізниць та лінійних підприємств щодо пошкоджень будівель та споруд і статистичний аналіз його результатів. Встановлено, що найбільш впливовими факторами пошкодження є корозійна дія ґрунтових вод (вплив – 10,5 %), поперемінне заморожування – відтавання (8,1 %), вібраційні дії (8,0 %), нерівномірне осідання від підвищення рівня ґрунтових вод (7,4 %), вилуговування м'якими водами (6,1 %), агресивна дія ґрунтів вище рівня ґрунтових вод (5,8 %), підвищений вміст кислих газів у повітрі (5,4 %), струми витоку і блукаючі струми (5,2 %).

Своєчасне встановлення причин і ступеня небезпеки дефектів і руйнувань конструкцій дозволяє розробити ефективні способи ремонту й посилення, що забезпечують необхідні вимоги щодо довговічності й надійності подальшої роботи елементів.



а)


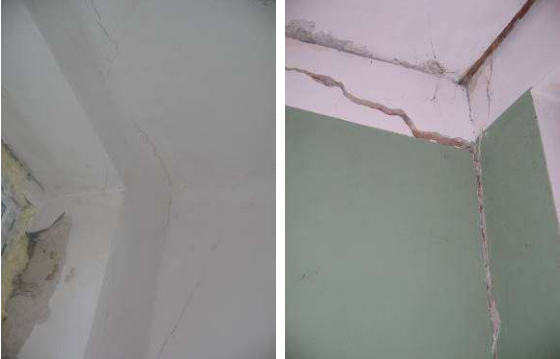


б)



Рис. 1.4 Знос, % (а) та річна амортизація, % (б) будівель та споруд господарств: пасажирського (будівлі вокзалів, павільйони, туалети, перони, пасажирські платформи); вантажного (вантажні склади, платформи); перевезень (адміністративно-побутові будівлі, стрілочні пости); сигналізації та зв'язку (будинки зв'язку, пости ЕЦ, не обслуговувані підсилювальні пункти)

Таблиця 1.2

Пошкодження (дефекти) будівель та споруд станційних комплексів

№	Вид будівлі, споруди, конструкції	№ типу пошкодження	Опис пошкодження	Фото пошкодження	Назва будівлі, споруди	Найімовірніші причини пошкодження	Категорія технічного стану
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.1	Тріщини відшарування фасадної стіни від поперечних стін		Будівля станційного комплексу ст. Чистенька Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів (блукаючих). Сейсмічна дія	I, II
		1.2	Тріщини відшарування фасадної стіни від перекриття		Будівлі вокзалів ст. Саки і ст. Чистенька Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів. Сейсмічна дія	I, II



Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.3	Тріщини прогину або вигину будівлі в зовнішніх стінах, фронтонах, цоколях		Будівля вокзалу ст. Чистенька Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів. Сейсмічна дія	II, III
		1.4	Тріщини прогину або вигину будівлі у внутрішніх стінах, перемичках отворів		Будівля вокзалу ст. Острякове Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів	II, III



Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.5	Тріщини прогину або вигину будівлі у підлозі		Будівля вокзалу ст. Острякове Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів	Ш
		1.6	Тріщини відриву стін і колон від перекриття		Будівлі вокзалів ст. Саки і ст. Чистенька Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів. Сейсмічна дія	І, ІІ




Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.7	Тріщини відшарування прибудов		Прибудова до будівлі 1-го корпусу УкрДАЗТ (вигляд зсередини прибудови). Будівля вокзалу ст. Острякове Придніпровської залізниці (прибудова розібрана)	Нерівномірне осідання внаслідок різної конструкції фундаменту, вібрації і електричних струмів	I, II
		1.8	Морозне руйнування мурування цоколів		Ст. Ловайська Донецької залізниці (спорткомплекс)	Поперемінне заморожування – відтавання	III




Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.9	Відшарування вимощення від стін і тріщини у вимощенні		Будівля вокзалу ст. Чистенька Придніпровської залізниці	Нерівномірне осідання. Вплив вібрації і електричних струмів	III
		1.10	Сирість на стінах і цоколі		Будівлі вокзалів ст. Острякове і ст. Саки Придніпровської залізниці	Погано організовані водовідвід з дахів, поверхневий водовідвід	III




Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Будівлі вокзалів та інші службові будівлі станцій	1.11	Сирість на стінах півпідвальних приміщень		Будівля вокзалу ст. Прилуки Південної залізниці	Капілярне підняття ґрунтових вод, погано організований поверхневий водовідвід	III
		1.12	Сирість на стінах прямиків світлових отворів півпідвальних приміщень		Будівля вокзалу ст. Прилуки Південної залізниці	Капілярне підняття ґрунтових вод, погано організований поверхневий водовідвід	III
		1.13	Руйнування штукатурки на стінах і стелі, гниття дерев'яних конструкцій півпідвальних приміщень		Будівля вокзалу ст. Острякове Придніпровської залізниці	Капілярне підняття ґрунтових вод, погано організований поверхневий водовідвід	III



Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Перони	2.1	Руйнування бетону залізобетонних конструкцій		Перон ст. Острякове Придніпровської залізниці	Спільна дія поперемінного заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів (витоку і блукаючих)	II, III
3	Високі пасажирські платформи	3.1	Перекіс платформ		З.п. Зелений Гай Південної залізниці	Нерівномірне осідання внаслідок замочування ґрунтів, вібрації, електричних струмів	I, II
		3.2	Руйнування бетону опор платформ		З.п. Зелений Гай Південної залізниці	Спільна дія поперемінного заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів	I, II

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Високі пасажирські платформи	3.3	Руйнування бетону опор східців		З.п. Зелений Гай Південної залізниці	Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів	I, II
		3.4	Руйнування бетону плит платформ		З.п. Зелений Гай Південної залізниці	Спільна дія попереминого заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів	I, II
		3.5	Корозія арматури залізобетонних конструкцій		Ст. Дарниця Південно-Західної залізниці	Недостатня товщина захисного шару бетону, вплив електричних струмів	III

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Низькі пасажирські платформи	4.1	Руйнування бетону і корозія арматури залізобетонних конструкцій		Ст. Саки Придніпровської залізниці	Спільна дія поперемінного заморожування – відтавання, вібрації, електричних струмів	III
5	Опори освітлення, ЛЕП	5.1	Подовжні тріщини в залізобетонних освітлювальних опорах		Ст. Острякове Придніпровської залізниці	Дія електричних струмів	I, II

Закінчення табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Опори освітлення, ЛЕП	5.2	Руйнування бетону і корозія арматури залізобетонних приставок дерев'яних освітлювальних опор		Ст. Острякове Придніпровської залізниці	Спільна дія поперемінного заморожування – відтавання, електричних струмів	I, II
6	Фундаменти обладнання, що спричиняє вібрацію	6.1	Руйнування бетону фундаменту і підлоги навколо нього		Ст. Іловайська Донецької залізниці (КНС)	Дія вібрації	III

1.3.2 Пошкодження верхньої будови колії



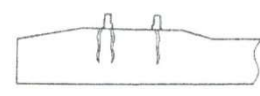
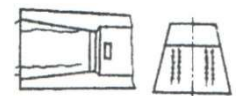
На кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту протягом 2015–19 рр. у межах науково-дослідних робіт було проведено натурні й лабораторні дослідження з виявлення впливу різних факторів на пошкоджуваність шпал [157-161].

Майже всі тріщини та інші пошкодження (дефекти), що утворюються у шпалах під час експлуатації по мірі напрацювання, враховані технічними вказівками ЦП-0150 [162]. Проте починаючи з 2000-х рр. відмічаються нові види пошкоджень, наприклад, сітка тріщин, яка, як правило, виникає через 1-3 роки експлуатації та у подальшому розвивається у більші тріщини та призводить до руйнування шпал. Аналіз даних НДР УкрДУЗТ дозволив удосконалити встановлену у [162] та розвинуту у [159] класифікацію пошкоджень (дефектів) залізобетонних шпал, уточнити причини їх утворення. Удосконалена класифікація дефектів та причини їх утворення наведені у табл. 1.3.

Встановлено закономірності в утворенні в шпалах тріщин певних видів залежно від конструкції вузла скріплення, класу бетону, положення арматурного пакету (відхилення товщини захисного шару), а також відсутність впливу вантажонапруженості ділянки (на накопичення пошкоджень впливає тільки напрацювання), рис. 1.3. Разом з цим отримано дані щодо кількості шпал з ознаками лужної корозії, що викликає в бетоні розтягувальні напруги, які призводять до утворення просторової сітки мікротріщин. Розвиток лужної корозії обумовлює зниження міцності бетону на розтяг. Оскільки шпали є попередньо напруженими з повністю ізотропним армуванням у подовжньому напрямку, а попереднє напруження створило розтягувальні напруження у поперечному напрямку, у шпалах виникають переважно подовжні тріщини.

Таблиця 1.3

Результати аналізу розповсюдженості дефектів шпал на всіх обстежених ділянках за станом на 2016 р.

Обстежені ділянки		Харків – Бурти Південної залізниці	Халимове – Конотоп Південно-Західної залізниці	Одноробівка – Букіне Південної залізниці	Середньо-зважаєне значення	Рейтинг дефектів за розповсюдженістю	Основна причина утворення дефекту (пошкодження)*
Хар-ки ділянок, види дефектів	1	2	3	4	5	6	
Протяжність, км		0,388	10,66	14			
Епюра шпал, шт./км		1840	1840	1640			
Кількість шпал, шт.		713,92	19614,4	22960			
Пропущений тоннаж, млн. т		84,7	385–390	203,8			
12.1в	<p>Стирання кінця шпали від отряски</p> 	0	0	78	41,4	1	Осідання баласту під рейковими нитками, коливання кінців шпали від вертикального навантаження
12.1		6,3	12	35	24,1	2	Осідання баласту під рейковими нитками, вигин і злам шпали від вертикального навантаження
13.1/13.2		0	33	9,5	20,0	3	Утворення тріщин від впливу горизонтальної складової навантаження на анкер. Сприяє осідання баласту під рейковими нитками та зміщення арматурного пакету униз
22.1/22.2		0	41	1,5	19,4	4	Нерівномірне осідання баласту під рейковими нитками, утворення дотичних напруг, тріщин і відколу від нерівножорсткості основи. Сприяють напруження від попереднього натягу арматури

Закінчення табл. 1.3

	1	2	3	4	5	6	7
12.16	Сітка тріщин на кінцях шпали 	0	0	34	18,0	5	Утворення сітки тріщин від корозії заповнювачів лугами цементу, їх розвиток від поперемінного заморожування та відтавання. Сприяє виникненню та розвитку інших пошкоджень
11.1/11.2		0	10	0	4,5	6	Осідання баласту під рейковими нитками, утворення тріщин від вертикального навантаження
21.1		0	4	1,1	2,4	7	Утворення тріщин від впливу горизонтальної складової навантаження на анкер
21.1a	Поздовжні тріщини в середній частині 	0	0	3,9	2,1	8	Корозія заповнювачів лугами цементу, утворення тріщин від попереднього натягу арматури внаслідок втрати бетоном міцності
12.1a	Поперечна тріщина на кінці шпали СБЗ-1 	0	0	2,1	1,1	9	Осідання баласту під рейковими нитками, коливання кінців шпали від вертикального навантаження і утворення тріщини у місці концентратора (тільки у шпал СБЗ-1 «польських»)

* Практично всім пошкодженням сприяє пошкодження 12.16

1.4 Сучасні способи захисту і відновлення споруд в умовах агресивних дій

1.4.1 Матеріали, які застосовують для захисту і відновлення споруд в умовах агресивних дій

Довговічність конструкцій забезпечується тільки за умови правильного вибору засобів антикорозійного захисту, що відповідають умовам експлуатації. Такий захист збільшує міжремонтні терміни в 2-3 рази. Захист від корозії конструкцій споруд розділений на первинний і вторинний. До первинного захисту відносяться всі заходи, котрі виконуються на стадії виготовлення композиту конструкцій: призначення вимог за щільністю і проникністю; вибір в'язучого, заповнювачів; застосування мінеральних і хімічних добавок; вибір арматури і призначення товщини захисного шару для арматури. Первинний захист в основному достатній для конструкцій, призначених для роботи в слабоагресивних і деяких середньоагресивних середовищах, що становить близько 30% від загального обсягу конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах. У більшості середньо- і сільноагресивних середовищ економічно доцільною є вторинний захист поверхні конструкцій матеріалами, що дозволяють зберігати їх експлуатаційні властивості на розрахунковий термін служби будівель і споруд.

Розглянемо найбільш розповсюджені матеріали вторинного захисту.

Обклеювальні гідроізоляції рулонними та плівковими матеріалами: руберойдом, гідроізолом, ізолом, бризолом, фольгоізолом, металоізолом, пергаміном, поліетиленовими та полівінілхлоридними плівками. Як клей для рулонних матеріалів часто застосовують обмазувальну гідроізоляцію. Недоліки рулонних і плівкових матеріалів: трудомісткість внаслідок багатошаровості, необхідності додаткової промазування швів, улаштування захисних стінок при гідроізоляції вертикальних поверхонь; високі вимоги до якості робіт – неприпустимі здуття, складки.

Обмащувальна гідроізоляція наноситься розігрітими бітумами, бітумно-полімерними або полімерними мастиками в кілька шарів – ґрунтовий і кілька основних. Наноситься на матеріали з будь-якою пористістю, проте тільки з напірного боку конструкції. Покриття характеризується високою деформативністю та ізолює конструкцію не тільки від води, а й від парів і газів. Недоліки обмащувальної гідроізоляції: підвищена вимогливість до якості підготовки поверхні; незначна деформація ізолюваної поверхні призводить до втрати водонепроникності; схильність мастик на основі бітумів до опливання; двокомпонентні поліуретани внаслідок небажаних реакцій і порушення порядку розташування молекул на поверхнях схильні до омилення [163]; виробництво полімерів шкідливо для навколишнього середовища і здоров'я людини; полімери дорогі через високі ціни на сировину – газ і нафту [164, 165].

Полімерні еластичні покриття з рідких гум, акрилових полімерів, поліуретанів, епоксидних смол, бітумно-полімерних мастик наносять напиленням. Вони характеризуються високими еластичністю і водонепроникністю, перекривають навіть «дихаючі» тріщини і є ефективними для гідроізоляції фундаментів, покрівель у місцях примикань і з'єднань, очисних споруд промислових стічних вод, резервуарів для зберігання агресивних рідин, захисту від агресивних впливів залізобетонних конструкцій, що згинаються. До їх складу вводять поверхнево-активні речовини, які підвищують адгезію гідроізоляції навіть до вологих поверхонь. Для армування покриттів застосовують неткані синтетичні матеріали.

Просочувальні полімерні системи. При пошкодженій або відсутній горизонтальній протикапілярній гідроізоляції конструкцій відбувається капілярне підняття води по стіні будівлі. Ці ушкодження усувають просоченням та ін'єктуванням полімерними (акриловими, силіконовими, епоксидними) і неорганічними (розчинами рідкого скла, кремнефторидів) в'язучими. Просочення та ін'єктування забезпечують механічне з'єднання дефектних ділянок у єдиний моноліт, надають матеріалу конструкції гідрофобності, різко підвищують водонепроникність і знижують

водопоглинення. Завдяки цим властивостям їх застосовують в умовах підвищеної вологості і в місцях, де необхідно забезпечувати спеціальні санітарно-гігієнічні вимоги. Розчини рідкого скла забезпечують ущільнення пористих бетонів, розчинів і кладки за рахунок набухання, кремнефториди – за рахунок флюатування [101-103]. Органосилікатні (силіконові) композиції можуть готуватися низьков'язкими ($1,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с), що дозволяє забезпечити їх проникнення в матеріал на глибину до 27 мм і знизити його водопоглинення в 2-2,5 разу [169]. Епоксидні композиції характеризуються високими міцністю, зчепленням з сухими і вологими мінеральними основами, зручними рецептурами. Вони забезпечують як ущільнення, так і міцне зчеплення стінок тріщин навіть при їх неповному закритті [165].

Лакофарбові покриття складають до 80 % застосовуваних у світі захисних покриттів. Для захисту конструкцій з бетону застосовують корозійностійкі, лугостійкі, еластичні, тріщиностійкі лакофарбові покриття. Еластичність і тріщиностійкість підвищують термін служби покриття і захищеної конструкції та міжремонтні терміни. Полімерні лакофарбові покриття широко представлені в нормативних документах [103].

Гідроізоляційні штукатурки виконують цементно-піщаними і полімерцементними розчинами (сумішами), мінеральними (порошковими) гідроізоляційними матеріалами тощо. Даний вид гідроізоляційних матеріалів – це цементні склади, у які для підвищення водонепроникності вводять синтетичні смоли, пластифікатори, регулятори тверднення, гідрофобізатори, активні мінеральні наповнювачі [170]. Дані матеріали поставляються на будмайданчик у вигляді сухих сумішей, замішуються водою на місці здійснення робіт, наносяться на поверхню штукатурним способом, не вимагають складного устаткування для влаштування гідроізоляції.

Такі матеріали мають свою нішу застосування, оскільки при гідроізоляції бетонних поверхонь не змінюють зовнішнього вигляду будівель і конструкцій, що важливо також при реставрації культурних пам'яток, гідроізоляції бетонних і цегляних поверхонь, монолітних бетонних підлог, штукатурки та

інших конструкцій і поверхонь, не схильних до утворення тріщин. Наносяться мінеральні гідроізоляційні матеріали на всмоктуючу та шорстку поверхню, яка повинна бути попередньо вирівняна і зволожена. Однак всі види штукатурної гідроізоляції, у т. ч. й активовані торкрети, мають загальний недолік: при порушенні адгезії або механічному пошкодженні на одній ділянці вся гідроізоляція втрачає сенс. Перераховані матеріали належать до категорії традиційних, які застосовувались у будівництві раніше і застосовуються досі. Однак останнім часом вони активно витісняються з ринку технологіями, які вирішують завдання гідроізоляції значно ефективніше.

Сануючі системи гідроізоляції – багат шарові штукатурки для комплексного відновлення і захисту від зволоження фасадів старих будівель, у т. ч. цегляних, при їх ремонті та реконструкції. У цегляній кладці старих будівель внаслідок відсутності або руйнування відсічної гідроізоляції за рахунок капілярного підняття відбувається накопичення вологи. Це призводить до «розморожування» (морозного руйнування) і біопошкодження кладки. Солі, розчинені у воді, що піднімається по капілярах, утворюють висоли на поверхні кладки. Звичайна штукатурка від таких поверхонь відшаровується, цегла під нею продовжує руйнуватися.

Проникна (інтегрально-капілярна) гідроізоляція застосовується у вигляді сухих сумішей портландцементу, тонкомеленого кварцового або силікатного піску, хімічно активних речовин (добавок). Призначена для ремонту і захисту конструкцій з матеріалів з розвиненою капілярною пористістю – бетону, залізобетону, цегляної кладки і т. п. Забезпечує регенерацію «старих» бетонів без необхідності їх очищення та сушіння. Наноситься на вологі поверхні у вигляді штукатурки товщиною 2-5 мм. Принцип дії такої гідроізоляції заснований на проникненні в бетон по капілярах і порах хімічно активних речовин, які реагують з вільним вапном з конденсацією на поверхні пор, капілярів і тріщин продуктів цієї реакції – нерозчинних кристалічних сполук [171, 172]. У результаті цього відбувається звуження просвіту капілярів, кольматація мікротріщин порового простору і, відповідно, підвищення

водонепроникності – істотне, а міцності – на 18-20 %. При цьому структура кристалічних продуктів залишається повітропроникною, дозволяючи бетону «дихати». Одночасно штукатурне покриття захищає бетон і перешкоджає вимиванню активних речовин навіть при значному напорі води. Частина хімічно активних речовин у процесі експлуатації конструкції може залишатися нез'язаною. При новому контакті з водою реакція відновлюється, процес ущільнення матеріалу розвивається в глибину, новоутворені тріщини «самозаліковуються». Процес може тривати роками до повного вироблення реагентів.

Проникна гідроізоляція захищає бетон і залізобетон від карбонізації та корозії, підвищує їх довговічність, при цьому сама характеризується довговічністю, що дорівнює подовженій таким чином довговічності бетону. При товщині покриття до 5 мм забезпечується захист бетону від більшості агресивних середовищ. У роботах [173, 174] зазначається, що між підкладкою (поверхнею бетону) і покриттям створюється проміжний буферний шар, який регулює температурно-вологісні та усадочні деформації шарів і знижує концентрації напружень у конструкції як у процесі твердіння штукатурки, так і при експлуатації. Недоліком проникної гідроізоляції, як і всіх матеріалів на основі портландцементу, є невисока тріщиностійкість.

1.4.2 Принцип підбору складу корозійностійких композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих

Від початку використання підбір складу композиційних матеріалів здійснювався емпіричним шляхом на основі встановлених залежностей фізико-механічних властивостей від вмісту компонентів.

Цементний бетон – найбільш важливий і масовий конструкційний матеріал сучасності і недалекого майбутнього. Одночасно він є одним з найбільш мінливих під дією різних факторів матеріалів. Це обумовлено його обмеженою хімічною, фізико-хімічною, фізико-механічною стабільністю в

реальних умовах експлуатації, особливо для конструкцій, що піддаються дії динамічних навантажень, струмів витoku та блукаючих струмів, обводнення, агресивних вантажів. Залежності властивостей бетону від його складу розпочали досліджувати, отримувати у вигляді математичних рівнянь і застосовувати в технології бетону з останніх років ХІХ – початку ХХ століть з залежності міцності від водоцементного відношення (І.Г. Малюга, І. Болемей, М.М. Беляєв та ін.). До 1950–60-м рр. були встановлені кількісні залежності міцності від часу твердіння при різних температурах, зручноукладальності від витрати води, морозостійкості і водонепроникності від водоцементного відношення і т.п.

Сучасні найбільш розповсюджені і стандартизовані способи і методики визначення складу бетону сформувались к 1980-м рр. і ґрунтуються на фізично обґрунтованих законі водоцементного відношення, принципі абсолютних об'ємів, законі постійності водопотреби (Б.Г. Скрамтаєв, Ю.М. Баженов та ін.). З того ж часу для визначення складу бетону розпочинають застосовувати багатофакторні математичні моделі, в основному поліноміальні, отримані виключно на експериментальних даних методом «чорного ящика» (В.А. Вознесенський, Ю.М. Баженов та ін.).

Проте останніми роками вимоги до бетону підвищуються, склади стають більш багатокомпонентними, зростають вимоги до енергозбереження при його виробництві. Для бетонів конструкцій загальнобудівельного призначення традиційні способи визначення складу бетону або способи, основані на побудові поліноміальних моделей, в цілому забезпечують потрібні властивості бетону, надійність та довговічність конструкцій та споруд. Проте для спеціальних бетонів, наприклад з яких зводяться конструкції та споруди залізниць, що піддаються дії динамічних навантажень, струмів витoku та блукаючих струмів, обводнення, агресивних вантажів, ці способи часто не дозволяють забезпечити потрібні властивості бетону, в першу чергу водонепроникність, тріщиностійкість. Це призводить до передчасного виходу із ладу за рахунок утворення тріщин, електрокорозії і т.п. багатьох конструкцій

– залізобетонних шпал і плит безбаластного мостового полотна, прогонових споруд, обробки тунелів і водопропускних труб, пасажирських платформ і т.п. На основі аналізу найбільш поширених пошкоджень, які виникають при експлуатації конструкцій із бетону, зроблено висновок, що для збільшення довговічності конструкцій слід в першу чергу звертати увагу на забезпечення саме водонепроникності й тріщиностійкості бетону.

Рішення проблеми забезпечення водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць стає можливим на основі кількісних уявлень про багаторівневу структуру бетону і розчину і впливу макро- і мікроструктурних характеристик на їх міцнісні, деформаційні та фільтраційні характеристики. Ці характеристики забезпечуються в цементному камені, розчині або бетоні ще на стадії приготування сумішей і, як показали численні дослідження, залишаються визначальними протягом тривалої експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій. В якості структурних характеристик розглядаються дійсні величини коефіцієнтів розсунення зерен крупного заповнювача – щебеню α (макрорівень) і дрібного заповнювача – піску μ (мезорівень), водоцементного відношення В/Ц (мікрорівень), а також їх оптимальні величини $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $(\text{В/Ц})_{\text{опт}}$. Способи підбору складу бетону та інших матеріалів на в'язучих, що забезпечують оптимальні значення коефіцієнтів розсунення зерен крупного $\alpha_{\text{опт}}$ і дрібного заповнювача $\mu_{\text{опт}}$ і $(\text{В/Ц})_{\text{опт}}$, розроблені в УкрДАЗТ [176-180]. Ці способи були прийняті за основу для розробки складів бетону [181], що забезпечують при виготовленні залізобетонних шпал відмову від ТВО або скорочення її режиму, без погіршення вище названих характеристик бетону.

Висновки, отримані в результаті критичного аналізу літературних джерел з питань призначення складу і забезпечення властивостей бетону, умов експлуатації конструкцій із бетону конструкцій і споруд залізниць, факторів, що впливають на властивості бетону, у т.ч. водонепроникність, тріщиностійкість, дозволяють визначити подальші нові шляхи керування структурою і властивостями композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.

1.5 Формулювання наукової гіпотези

Знання причин і механізму руйнування різних матеріалів при експлуатації їх в агресивних середовищах дає можливість грамотно і ефективно здійснювати заходи захисту та підвищення довговічності будівельних конструкцій і виробів.

У результаті аналітичного огляду джерел встановлено, що руйнівними факторами умов експлуатації, що впливають на бетон конструкцій та споруд залізниць, є, у порядку вагомості: обводнення, агресивні середовища, особливо рідкі кислоти, струми витоку та блукаючі струми, поперемінне заморожування-танення.

Існує необхідність удосконалення композитів на основі мінеральних в'язучих до досягнення ними властивостей, відповідних складним умовам експлуатації.

Найбільш продуктивною для аналізу стійкості в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, є модель дисперсної системи, властивості якої визначають електроповерхневі властивості частинок її дисперсної фази та контакти між ними.

Підвищення гідрофізичних та фізико-механічних характеристик, тріщиностійкості, корозійної стійкості композитів можливе за рахунок уведення комплексних хімічних добавок та мінеральних мікронаповнювачів, механізми впливу яких можуть бути обґрунтовані на основі положень фізичної хімії, зокрема, термодинаміки, і колоїдної хімії, зокрема, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів.

Наукова гіпотеза. Підвищити стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих в умовах експлуатації можливо за рахунок:

- спрямованого регулювання контактних взаємодій складових – корегування значення рівноважних електроповерхневих потенціалів мінеральних частинок за рахунок зміни pH середовища, збільшення концентрації протіонів за рахунок уведення електролітів, нейтралізації або перезарядження поверхонь за рахунок вибіркової адсорбції ПАР;

- спрямованого регулювання процесів гідратації з утворенням позитивно заряджених кристалогідратів до досягнення відповідності сумарної площі поверхонь, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, для збільшення кількості електрогетерогенних контактів у системі.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. Сучасні вимоги щодо композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих полягають у досягненні високих показників фізико-механічних властивостей і корозійної стійкості при створенні принципово нових архітектурних проектів з використанням конструкцій низької матеріалоємності (тонкі та надтонкі).

2. Для опису механізму структуроутворення при твердінні в'язучих велике значення мають фундаментальні уявлення про поверхневі і електроповерхневі явища в дисперсних системах, а також основні положення фізико-хімічної механіки дисперсних систем. Основні первинні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин та композиційних матеріалів на їх основі, рівняння електроповерхневого потенціалу дисперсної фази, міцності елементарних контактів дозволять ефективно керувати властивостями бетону і композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин.

3. Проведено аналіз існуючих даних щодо проникності композиційних матеріалів для агресивного середовища. Хімічно активні речовини проникають у зволожені композити шляхом дифузії крізь їх капіляри у вигляді розчинів різної концентрації. Проникнення рідин відбувається за закономірностями безнапірної водонепроникності під впливом зовнішнього гідростатичного та внутрішніх тисків – капілярного, електрокапілярного, осмотичного, капілярно-осмотичного, внутрішнього тертя (в'язкої течії), потенціалу течії. Проникність визначається щільністю складання структурних

елементів композиту і щільністю структури матриці, формою і розміром пір, наявністю тріщин. Непроникними для фільтрації є матеріали з розміром капілярів до 1 мкм, для капілярного підняття (всмоктування) – до 100 нм, для дифузії та безнапірної водопроникності – до 10 нм.

4. Відомі уявлення про експлуатаційні (агресивні) впливи доповнено новими даними про електричні впливи на бетон, цементний розчин, конструкції з них. Постійний струм у разі його однонаправленого пульсуючого характеру та водонасиченого або вологого стану конструкції спричиняє електрокорозію бетону, яка полягає у розчиненні та винесенні із цементного каменю $Ca(OH)_2$, отже набагато прискорює вилуговування. Перемінний струм у разі його критичної частоти також спричиняє електрокорозію водонасиченого бетону. Встановлені закономірності впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів природного і антропогенного (техногенного) походження на бетон і розчин кам'яної кладки, конструкції з них.

5. Проаналізовано існуючу систематизацію пошкоджень будівель та споруд станційних комплексів з нумерацією за типами, в якій зовнішні ознаки пошкоджень зіставлені з найімовірнішими причинами їх виникнення і категорією технічного стану будівлі (споруди). Очевидно, що заходи із ремонту і захисту будівель і споруд повинні призначатись в залежності від категорії їх технічного стану і причин виникнення пошкоджень (руйнівних дій), причому ці заходи мають запобігати подальшій руйнівній дії на конструкції або захищати від них.

6. Захист від корозії конструкцій споруд розділений на первинний – комплекс заходів, що виконуються на стадії виготовлення композиту конструкцій, найважливішим етапом з яких є підбір складу корозійностійких композиційних будівельних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, і вторинний – використання матеріалів, що формують непроникну для агресивних середовищ поверхню конструкції (плівки, покриття, штукатурки, просочувальні і проникні композити тощо).

7. Сформульовану наукову гіпотезу щодо підвищення стійкості в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Гіпотеза щодо формування міцності й водостійкості штучного каменю мінеральних в'язучих і композиційних матеріалів на їх основі полягає у спрямованому регулюванні контактних взаємодій складових – корегуванні значення рівноважних електроповерхневих потенціалів мінеральних частинок за рахунок зміни pH середовища, збільшенні концентрації протиіонів за рахунок уведення електролітів, нейтралізації або перезарядженню поверхонь за рахунок вибіркової адсорбції ПАР; спрямованому регулюванні процесів гідратації з утворенням позитивно заряджених кристалогідратів до досягнення відповідності сумарної площі поверхонь, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, для збільшення кількості електрогетерогенних контактів у системі.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ І ТЕХНОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обґрунтування вибору вихідних матеріалів та їх характеристика

2.1.1 Хімічні та мінеральні добавки, що підвищують корозійну стійкість матеріалів на основі мінеральних в'язучих

Для покращення властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих здійснюють їх модифікацію введенням хімічних і мінеральних добавок [26, 41, 52, 72, 76, 91, 181-186].

На сьогодні добавки поділяють на мінеральні, хімічні та комплексні, які складаються як і з декількох різних хімічних добавок (як правило, солі-електроліти і ПАР), так і з мінеральних та хімічних (частіше органо-мінеральні). Мінеральні добавки є порошками – наповнювачами, що не беруть участь у гідратації в'язучого, наприклад мелений кварц, або активними, що беруть участь у гідратації в'язучого: доменні гранульовані шлаки, пуцолани, аморфний кремнезем, метакаолін тощо. Хімічні добавки є розчинними у воді речовинами – солями-електролітами або органічними поверхнево-активними речовинами (ПАР).

Класифікація хімічних добавок за призначенням є основою нормативних документів [187-191]. ДСТУ Б В.2.7-65-97 і ДБН В.2.7-64-97 [189-190]. За призначенням поділяють добавки на пластифікуючі та водоредукуючі; стабілізуючі, водоутримуючі, такі, що покращують перекачуваність і збережність бетонної суміші; уповільнюючі та прискорюючі тужавлення і твердіння; кольматуючі (ущільнюючі) – такі, що знижують проникність, підвищують корозійну стійкість, морозостійкість; поризуючі – повітроутягувальні, піноутворюючі та газоутворюючі; інгібітори корозії сталі; протиморозні; гідрофобізуючі; бактерицидні. Аналогічна класифікація застосовується і в європейських нормах [72].

За механізмом дії В.Б. Ратінов класифікує хімічні добавки на 4 класи, у яких наявні й групи [183]:

1 клас – речовини, що змінюють розчинність в'язучих і не вступають з ними в хімічну реакцію, прискорювачі тужавлення і твердіння та протиморозні:

- 1 група – солі-електроліти, що не містять однойменні з в'язучим іони та підвищують їх розчинність ($NaCl$, KCl , Na_2SO_4 , K_2SO_4);

- 2 група – солі-електроліти, що містять однойменні з в'язучим іони та знижують їх розчинність, але прискорюють кристалізацію продуктів гідратації ($CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$ для гіпсу, C_3S , C_2S);

- 3 група – неелектроліти;

2 клас – електроліти, що реагують з в'язучим з утворенням важкорозчинних продуктів гідратації, прискорювачі тужавлення і твердіння та протиморозні:

- 1 група – кислоти і солі, що нейтралізують $Ca(OH)_2$ (HCl , $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Al_2(SO_4)_3$);

- 2 група – солі, що вступають з $Ca(OH)_2$ в обмінні реакції з утворенням окисолей (K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $Na_2O \cdot Al_2O_3$): гідроксихлоридів $Ca(OH)_2 \cdot CaCl_2 \cdot mH_2O$, де $m=1$ або 12; гідроксинітрати $CaO \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot mH_2O$, де $m = 0,5-3$; гідроксинітрит $Ca(OH)_2 \cdot Ca(NO_2)_2 \cdot 2H_2O$;

- 3 група – солі, що беруть участь у реакціях приєднання з утворенням подвійних солей типу $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaX_2 \cdot (10 \div 12)H_2O$, де X – однозарядний аніон (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , CH_3COO^- і т. д.) або $\frac{1}{2}$ двозарядного аніона (CO_3^{2-} , SO_4^{2-}) – $CaCl_2$, $CaSO_4$, $Ca(NO_3)_2$, $NaNO_3$;

3 клас – готові центри кристалізації, затравки для продуктів гідратації, прискорювачі: для гіпсових в'язучих – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, для портландцементу – гідросилікати кальцію, мікрокремнезем, метакаолін;

4 клас – поверхнево-активні речовини (ПАР), що адсорбуються на частинках в'язучого – поліелектроліти, які містять гідрофобний вуглеводневий

радикал і гідрофільні активні функціональні групи ($R-SO_3H$, $R-COOH$, $R-PO_3H$, $R-SO_3Me$, $R-COOMe$, $R-PO_3Me$ тощо):

- 1 група – гідрофілізуючі – пластифікуючі та водоредукуючі: лігносульфонати, сульфомеламінформальдегіди, сульфонафталінформальдегіди, полікарбоксилати (поліакрилати);

- 2 група – гідрофобізуючі – власне гідрофобізуючі, повітроутягувальні, піноутворюючі: етилсиліконат, метилсиліконат, алюмометилсиліконат, абіетат натрію, фенілетоксисилоксан, полігідросилоксани, деревний пік.

Застосовувані в Україні в тій чи іншій мірі добавки ПАР та електролітів різних торговельних марок наведені у табл. 2.1.-2.3.

Комплексні добавки складають з декількох добавок різного хімічного складу і різного або однакового механізму дії. Роботами [189, 190] передбачено такі комплексні добавки: суперпластифікатор + пластифікатор (ЛСТ); суперпластифікатор + гідрофобізуючо-повітроутягувальна (ГКЖ-10, ГКЖ-11); суперпластифікатор + повітроутягувальна (СНВ, СДО); суперпластифікатор + прискорювач (НК, ННК, ННХК, СН); пластифікатор (ЛСТ) + повітроутягувальна (СНВ, СДО); пластифікатор (ЛСТ) + прискорювач (СН, НН, ХК, НК, ННХК); гідрофобізуючо-повітроутягувальна (ГКЖ-10, ГКЖ-11) + прискорювач (НК); повітроутягувальна (СНВ, СДО) + прискорювач (НК, ННК, ННХК, СН); комбіновані прискорювачі – ХК + (СН, ННК). Комплексні органомінеральні добавки [184], що складені з суперпластифікатора та мікродисперсної активної мінеральної добавки: С-3 + мікрокремнезем (+ кисла зола винесення), наприклад модифікатори бетону МБ-01, МБ-30С, МБ-50С, МБ-80С, МБ-100С (Мастер Бетон, м. Москва); С-3 + метакаолін, наприклад модифікатор Геокон-Г (Євроресурс Корп., м. Київ) [184] є досить ефективними прискорювачами твердіння.

Таблиця 2.1

Основні типи пластифікуючих добавок для бетонів та інших силікатних композитів (4 класу 1 групи, за В.Б. Ратіновим)

Типи пластифікуючих добавок за хімічним складом	Структурна формула, спрощені формули	Механізм пластифікуючої дії	Водоредукуючий ефект, % (тип добавки за ефективністю)	Марки добавок (фірма, країна-розробник, виробник)
Лігносульфонати	$[R]_n-(SO_3Na)_2$ $[R]_n-(SO_3^-)_2$	Адсорбція $[R]_n-(SO_3^-)_2$ на позитивно заряджених ділянках поверхні частинок цементу (рис. 2.1, б), їх нейтралізація і виключення електростатичного притягання між ними і негативно зарядженими ділянками поверхні суміжних частинок	5÷15 (від слабо- до сильнопластифікуючих)	СДБ, ССБ, ЛСТ, ЛТМ, ЛСТМ-2 (СРСР, Росія); НЛК (Курязький ДБК, Україна); SL (УкрДУЗТ, Україна); Релаксол* (Будіндустрія ЛТД, Україна); Stacheplast (Stachema, Словаччина); Универсал-П (СКТ-Стандарт, Росія)
Сульфомеламін-формальдегіди	$-[R-SO_3Na]_n-$ $-[R-SO_3^-]_n-$	Адсорбція $-[R-SO_3^-]_n-$ на позитивно заряджених ділянках поверхні частинок цементу (рис. 2.1, в), їх перезарядження і заміна електростатичного притягання відштовхуванням (через подвійні електричні шари, за теорією ДЛФО)	5÷25 (від слабопластифікуючих до суперпластифікаторів)	Melment (SKW Trostberg, Німеччина); 10-03 (м. Єнакієве, Україна), МФ-АР (м. Перм, Росія); Peramin FS (Brenntag N.V., Бельгія); Sikament-FF (Sika, Швейцарія)
Сульфонафталін-формальдегіди	$-[R-SO_3Na]_n-$ $-[R-SO_3^-]_n-$	Адсорбція $-[R-(COO^-)_2]_n-$, $-[R-(PO_3^{2-})_n-$ на позитивно заряджених ділянках поверхні частинок цементу (рис. 2.1, з), стеричний ефект	15÷25 (від сильнопластифікуючих до суперпластифікаторів)	Irgament Mighty (Onoda Cement Co Ltd, Kao Soap Co, Японія); С-3, СП-1 (Поліпласт, Росія); Adi-Con SP100 (Jemite Products Inc., Канада); Sikament-N (Sika, Швейцарія); Marefluid IF (Marefi, Італія); Muraplast (MC Bauchemie, Німеччина);
Полікарбоксилати	$-[R-COONa]_n-$ $-[R-(COO^-)]_n-$ $-[R-PO_3Na_2]_n-$ $-[R-(PO_3^{2-})]_n-$	Адсорбція $-[R-(COO^-)_2]_n-$, $-[R-(PO_3^{2-})_n-$ на позитивно заряджених ділянках поверхні частинок цементу (рис. 2.1, з), стеричний ефект	20÷45 (від суперпластифікаторів до «гіперпластифікаторів»)	Melflux (SKW Trostberg, Німеччина); Sika VisoCrete (Sika, Швейцарія); Dynamon SR (Marefi, Італія); Stachement (Stachema, Словаччина); Хидетал-ГП (СКТ-Стандарт, Росія); MC-Powerflow (MC Bauchemie, Німеччина)

*Примітка. Добавка базового складу була продуктом коксохімічного виробництва з додаванням лігносульфонатів

Гідрофобізуючі, повітроутягувальні добавки (4 класу 2 групи,
за В.Б. Ратіновим)

Вид добавки за хімічним складом (структурна формула)	Марки добавок (виробник)	Призначення				Клас (група), за В.Б. Ратіновим
		пластифікуючі	гідрофобізу ючі	повітроутягу вальні	газоутворюючі	
Етилсиліконат натрію	ГКЖ-10	+	+	+		4 (2)
Метилсиліконат натрію	ГКЖ-11	+	+	+		4 (2)
Метилсиліконат калію	ГКЖ-11К (ДП «Кремнійполімер», м. Запоріжжя)	+	+	+		4 (2)
Алюмометилсиліконат натрію	АМСР-2		+			4 (2)
Фенілетоксисилоксан	113-63 (ФЭС-50)		+			4 (2)
Полігідросилоксани	136-41 (ГКЖ-94)		+		+	4 (2)
	136-157М (ГКЖ-94М) (ДП «Кремнійполімер, м. Запоріжжя)		+		+	4 (2)
	Силол (НПП «Шаг», м. Дніпропетровськ)		+			4 (2)
Абістат натрію	СНВ (Росія); СДО (м. Свалява)			+		4 (2)
Деревний пік	КТП; ОТП			+		4 (2)

Пластифікуючі добавки та механізм їх дії. Пластифікуючі добавки, за ДСТУ Б В.2.7-65, класифікуються на групи, які залежать від їх ефективності: суперпластифікатори (І група), що підвищують рухливість від 4 до 25 см і більше або дозволяють знизити витрату води на 20 % і більше; сильнопластифікуючі (ІІ група), що підвищують рухливість від 4 до 20 см і більше або дозволяють знизити витрату води на 12–19 %; середньопластифікуючі (ІІІ група), що підвищують рухливість від 4 до 15 см і більше або дозволяють знизити витрату води на 6–11 %; слабопластифікуючі (ІІІІ група), що підвищують рухливість від 4 до 9 см і менше або дозволяють знизити витрату води на 5 % і менше.

Добавки-електроліти: прискорювачі твердіння, протиморозні, інгібітори корозії сталі, ущільнюючі

Добавка	Хімічна формула	Позначення	Призначення				Клас (група), за В.Б. Ратіновим
			прискорювачі твердіння	протиморозні	інгібітори корозії сталі	ущільнюючі	
Хлорид натрію	$NaCl$	ХН	+	+			1(2); 2(1)
Хлорид кальцію	$CaCl_2$	ХК	+	+			1(1); 2(1)
Хлорид заліза	$FeCl_3$	ХЖ				+	2 (2)
Нітрит натрію	$NaNO_2$	НН		+	+		1(2); 2(1)
Нітрат натрію	$NaNO_3$	НН ₁	+				1(2); 2(1)
Нітрат кальцію	$Ca(NO_3)_2$	НК	+	+			1(1); 2(1)
Нітрит-нітрат кальцію	$Ca(NO_2)_2+Ca(NO_3)_2$	ННК	+	+			1(1); 2(1)
Нітрит-нітрат-хлорид кальцію	$Ca(NO_2)_2+Ca(NO_3)_2++CaCl_2$	ННХК	+	+			1(1); 2(1)
Поташ	K_2CO_3	П	+	+			2 (2)
Сульфат натрію	Na_2SO_4	СН	+				1(2); 2(1)
Сульфат алюмінію	$Al_2(SO_4)_3$	СА				+	2 (2)
Сульфат заліза	$Fe_2(SO_4)_3$	СЖ				+	2 (2)
Тринатрійфосфат	Na_3PO_4	ТНФ	+				2 (2)
Тетраборат натрію (бура)	$Na_2B_4O_7$	ТБН (Б)			+		2 (2)
Біхромат натрію	$Na_2Cr_2O_7$	БХН			+		2 (2)
Біхромат калію	$K_2Cr_2O_7$	БХК			+		2 (2)
Аміачна вода	NH_4OH	АВ		+			2 (1)
Карбамід	$CO(NH_2)_2$	М	+	+			2 (1)
Нітрат кальцію з карбамідом	$Ca(NO_3)_2+CO(NH_2)_2$	НКМ		+			1(1); 2(1)

Пластифікуючі добавки є аніонними ПАР і за хімічним складом представлені в основному [72] лігносульфонатами ($R-SO_3^-$, знижують витрату води на 5–15 %, відомі з 1939 р.); сульфонафтальінформальдегідами ($R-SO_3^-$, знижують витрату води на 15–25 %, відомі з 1932 р.);

сульфомеламінформальдегідами ($R-SO_3^-$, знижують витрату води на 10–25 %, відомі з 1960 р.); полікарбоксилатами ($R-COO^-$, знижують витрату води на 20–40 %, запатентовані в 1993 р.).

Із вказаних добавок лігносульфонати є менш ефективними, сульфомеламінформальдегіди в Україні не розповсюджені, полікарбоксилати і поліакрилати дорогі. Прийнятними є сульфонафталінформальдегіди. Основні типи пластифікуючих добавок, які застосовують зараз, наведені в табл. 2.1. Ці добавки є переважно натрієвими органічними солями, аніонними поверхнево активними речовинами (поліелектролітами) з функціональними групами: лігносульфонати, сульфомеламінформальдегіди і сульфонафталінформальдегіди – сульфогрупами $-SO_3Na$; полікарбоксилати (поліакрилати) – карбоксильними групами $-COONa$. Функціональні групи набувають негативного заряду внаслідок дисоціації:



Оскільки достатньо високі опір зсуву і в'язкість цементних паст обумовлені електростатичним притяганням між протилежно зарядженими ділянками поверхонь частинок цементу (рис. 2.1, а), механізм дії пластифікуючих добавок полягає в адсорбції їх молекул на цих ділянках [182-183, 195].

У разі адсорбції лігносульфонатів, молекули яких містять невелику кількість функціональних груп, відбувається нейтралізація позитивно заряджених ділянок поверхні частинок цементу і виключення електростатичного притягання між ними і негативно зарядженими ділянками поверхні суміжних частинок (через подвійні електричні шари, рис. 2.1, б) [196], що обумовлює ефект цих добавок до сильнопластифікуючого (табл. 2.1).

У разі адсорбції сульфомеламінформальдегідів і сульфонафталінформальдегідів, молекули яких містять велику кількість функціональних груп, відбувається перезарядження позитивно заряджених ділянок поверхні на негативні та заміна електростатичного притягання відштовхуванням (через подвійні електричні шари згідно з теорією ДЛФО,

рис. 2.1, в) [196], що обумовлює ефект цих добавок до суперпластифікуючого (табл. 2.1).

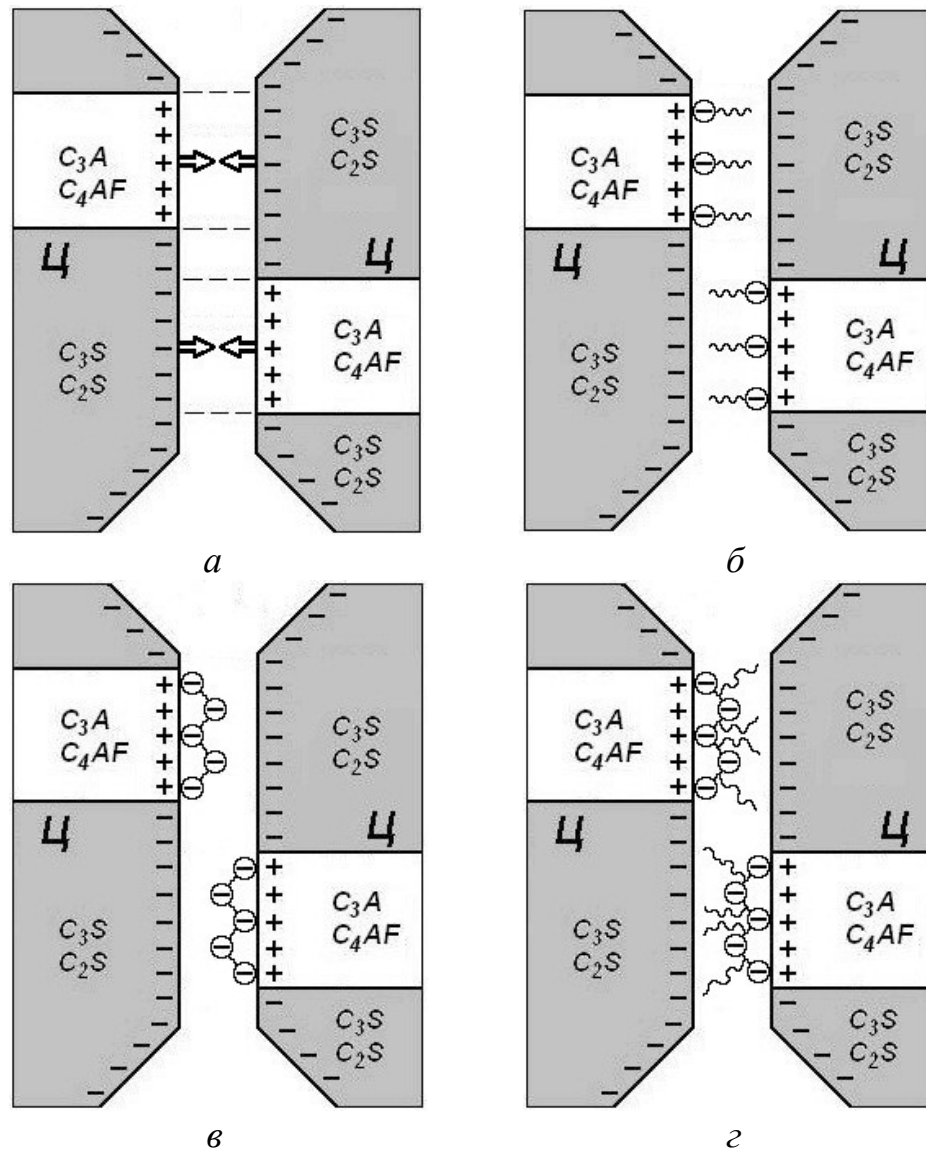


Рис. 2.1. Схеми взаємодії між частинками цементу в цементній пасті: *а* – без добавок; *б* – після адсорбції лігносульфонату; *в* – після адсорбції сульфомеламін- і сульфонафталінформальдегіду; *г* – після адсорбції полікарбоксилату

У разі адсорбції полікарбоксилатів, молекули яких містять велику кількість функціональних груп і довгих вуглеводневих радикалів, спостерігається стеричний ефект (рис. 2.1, г) [72, 197]. Це пояснюють відштовхуванням між

електронними хмарами атомів суміжних ланцюжків молекули, яке обумовлює ефект цих добавок до «гіперпластифікуючого» (табл. 2.1).

Крім безпосереднього виключення електростатичного притягання між частинками цементу пластифікуючі добавки обумовлюють пептизацію агрегатів частинок в'язучого на окремі частинки.

Добавки-прискорювачі твердіння. Із добавок-прискорювачів найбільш ефективними є хлориди, потім нітрити, нітрати, сульфати. При цьому в залізобетоні не повинно залишатись вільних хлоридів. Так, СНиП 2.03.11 [103] і ДСТУ Б В.2.6-145 [198], що замінив його в частині бетону та залізобетону, не допускають застосовувати хлориди для виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Йде активний пошук шляхів підвищення ефективності прискорювачів, що не містять хлориди [199].

Хлорид кальцію $CaCl_2$, доданий у кількості 2-3 % від маси цементу, є найбільш ефективним прискорювачем твердіння цементного каменю і бетону [200, 201]. За даними [201] уведення 3 % ХК підвищує ступінь гідратації C_3S через 12 годин твердіння в 4,5 разу, через 24 год – в 1,9 разу, через 28 діб – в 1,2 разу; C_2S через 12 год – в 1,9 разу, через 24 год і 28 діб – до 1,6 разу; C_4AF через 12 год – у 3 разу, через 28 діб – у 1,5 разу. Тобто відбувається значне підвищення швидкості гідратації силікатних мінералів і C_4AF . Прискорення процесу гідратації клінкерних мінералів у присутності ХК призводить до більш швидкого зростання міцності цементного каменю. За даними [201] добавка 3 % ХК підвищує міцність цементного каменю на стиск через 3 доби твердіння в 1,5–2,2 разу, через 7 діб – в 1,7÷2,8 разу, через 28 діб – в 1,9÷2,6 разу.

За роботами [183, 201], $CaCl_2$ при його вмісті до 2 % від маси цементу зв'язується C_3A за рахунок реакції приєднання з утворенням стабільної сполуки – гідрохлоралюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$. Його кристалізація відбувається, як правило, на стадії формування структури цементного каменю і тому не супроводжується деструктивними процесами. Гідрохлоралюмінат кальцію стійко існує в цементному камені протягом тривалого часу і експериментально виявлявся через 5 років.

При більш високому вмісті $CaCl_2$ разом з гідрохлоралюмінатом кальцію утворюється нестабільна сполука – гідрооксихлорид кальцію $3Ca(OH)_2 \cdot CaCl_2 \cdot 12H_2O$. У подальшому він розкладається з виділенням хлорид-іонів, тому вміст ХК понад 2 % від маси цементу потрібно виключати.

За роботами [183; 201, 203, 204, 205, 206], добавка нітрату або нітриту кальцію або натрію призводить до утворення стабільних гідронітроалюмінатів або гідронітриалюмінатів кальцію, подібних за морфологічними ознаками моносульфоалюмінату кальцію, гідрохлоралюмінату кальцію, наприклад $C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$ [205]. Нітрат кальцію, крім того, взаємодіє з $Ca(OH)_2$ з утворенням однієї сполуки – низькоосновної форми оксинітрату кальцію $3CaO \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot (3-3,5)H_2O$. Присутність $Ca(NO_3)_2$ прискорює гідrataцію цементу в цілому і кристалізацію еtringіту. Міцність та інтенсивність її наростання у зразках з добавкою $Ca(NO_3)_2$ помітно більша, ніж таких самих зразків без добавки. Наприклад, у віці 1 доби міцність дорівнює 24,5 і 18 МПа, 7 діб – 37,5 і 35 МПа, 28 діб – 46 і 41 МПа, відповідно.

Добавка нітрату натрію NaN_1 прискорює в основному гідrataцію силікатних клінкерних мінералів, а також C_4AF і забезпечує значну тривалість прискорюючої дії. Наприклад, за першу добу твердіння NaN_1 збільшує ступінь гідrataції C_2S у 2 рази. Прискорення гідrataції силікатів кальцію в присутності NaN_1 пояснюють підвищенням концентрації іонів кальцію в рідкій фазі, а також збільшенням швидкості утворення зародків нових фаз. Структура цементного каменю разом з цим стає більш рівномірно кристалічною (за рахунок високого ступеня гідrataції) і щільною (за рахунок додаткової кристалізації комплексної сполуки). NaN_1 прискорює також кристалізацію еtringіту. За даними роботи [201] добавка NaN_1 збільшує міцність через 1 добу твердіння на 36 %, через 7 діб – на 7 %, через 28 діб – на 12,2 %. Ці показники набагато нижчі, ніж у разі застосування ХК, оскільки нітрати для максимального прискорення твердіння менш ефективні.

Комбіновані добавки-прискорювачі також прискорюють гідrataцію цементу. За роботою [201], уведення хлориду, нітрату і нітриту кальцію разом з

гіпсом прискорює утворення еtringіту в цементному камені та бетоні. У присутності нітрату або нітриту кальцію хлорид кальцію швидше і повніше взаємодіє з алюмінатною складовою цементу. У присутності хлориду кальцію або гіпсу кількість зв'язаного нітрату кальцію, навпаки, зменшується у два рази. За наявності четвертої добавки реакції взаємодії сульфату, хлориду, нітрату і нітриту кальцію з алюмінатною складовою цементу протікають як паралельні, але швидкість і повнота кристалізації комплексних сполук зменшується в послідовності гідросульфо-, гідрохлор-, гідронітро-, гідронітриталюмінат кальцію. Звідси зрозуміло, що кожна наступна добавка в зазначеному ряді прискорює, а кожна попередня уповільнює реакцію. Комбіновані добавки-прискорювачі ННК, ННХК забезпечують підвищення ранньої міцності бетону на 10–20 % або скорочення часу тепловологісної обробки на 30–50 %. Ці показники набагато нижчі, ніж у разі застосування ГК, оскільки комбіновані добавки-прискорювачі для максимального прискорення твердіння є менш ефективними.

Комбінована добавка НКМ, що містить нітрат кальцію і сечовину, забезпечує отримання високоміцних бетонів за температур до -20°C [205]. Оптимальна кількість добавки складає 16 % за масою від води замішування.

Вплив комбінованих добавок на властивості цементного каменю вивчено в роботі [206]. Показано, що, підбираючи склад і кількість добавки, можна задати швидкість твердіння цементу і регулювати структуру і властивості цементного каменю.

На практиці знаходять все більше застосування комбіновані добавки ННК (нітрит-нітрат кальцію) і ННХК (нітрит-нітрат-хлорид кальцію). За допомогою цих добавок можна підвищити міцність бетону на 10–20 % або скоротити тривалість теплової обробки виробів на 30–50%.

У роботі [37] показано, що за рахунок введення солей калію, карбонату і силікату натрію суттєво прискорюється процес гідратації мінералів клінкеру. Це пояснюється здатністю катіону калію до комплексоутворення з катіоном кальцію у ранній період гідратації, при цьому гіпс не сповільнює тужавіння

трикальцієвого алюмінату за рахунок того, що карбонати і силікати лужних металів вступають в обмінні реакції.

Комплексні добавки суперпластифікатор+прискорювач. У сучасних умовах застосовують переважно комплексні добавки, з яких найбільш поширене поєднання суперпластифікатора і прискорювача [72, 195, 207, 208]. При цьому звертається особлива увага на проблему сумісності добавок (в основному суперпластифікатора) з цементами у зв'язку з мінеральним складом клінкерів [201, 209, 210, 211, 212, 213].

Мінеральні добавки. Застосування активних мінеральних добавок і добавок-наповнювачів привиробництві цементу як основних або додаткових компонентів речовинного складу нормується національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-128:2006 [214]. Питаннями введення мікродобавок у бетони займалися такі вчені, як В.С. Рамачандран, Ю.М. Баженов, П.Г. Комохов, І.Ш. Карімов, В.К. Власов, С.С. Капрієлов, О.Г. Ольгинській, В.І. Бабушкін, А.А. Пługін [164, 182, 215, 216, 218, 219]. Сьогодні загально визнано, що введення мінеральних наповнювачів у якості самостійної складової бетонних і розчинних сумішей є одним з істотних факторів зниження вартості цементних композицій. Однак серед учених і досі ведуться дискусії щодо механізму впливу мінеральних наповнювачів високої дисперсності на структуру і властивості цементного каменю. Відомо, що гідравлічно активні мікронаповнювачі підвищують щільність структури цементного каменю [220]. На думку авторів [182, 221, 222], це відбувається в період зростання структурної міцності системи і зв'язування портландиту $Ca(OH)_2$ і високоосновних гідросилікатів кальцію $C_2SH(II)$ додатковими низькоосновними більш стійкими дрібнокристалічними $CSH(I)$, що веде до утворення додаткових фазових контактів і, отже, збільшення щільності і міцності всієї структури в цілому.

Підвищення міцності цементного каменю спостерігається і при введенні інертних мікронаповнювачів. У якості мінеральних мікронаповнювачів використовують побічні продукти різних виробництв. До таких продуктів належать металургійні шлаки, золи теплових електростанцій, відходи

виробництва феросиліцію, при цьому розміри частинок повинні бути менше 0,16 мм. Якщо мікронаповнювач вводиться до складу бетону як фракція, яка має менший, ніж у цементу, розмір частинок, то зниження пористості відбувається за рахунок заповнення простору між цементними зернами мікронаповнювачем [182]. Ефект заповнення пустот є фізичним фактором і спостерігається незалежно від гідравлічної активності ультрадисперсного матеріалу. При збільшенні дозування мікронаповнювача більше об'єму пор може спостерігатися, на думку авторів [218], зниження міцності цементного каменю за рахунок зменшення площі контактів зрощення. Дослідження деяких авторів показують, що тонкодисперсні інертні наповнювачі виконують роль центрів кристалізації, таким чином прискорюючи процеси твердіння цементу і набору міцності [221, 223, 224]. Дослідження J.A. Larbi і J.M. Vijen, проведені з добавкою кремнеземистого пилу у вигляді відходу виробництва феросиліцію (питома поверхня 19300 см²/г) і меленого кварцового піску, показали, що вже в перші години після замішування процес гідратації цементу прискорюється за рахунок того, що на мікрочастинках кремнезему осідають продукти гідратації, які служать центрами кристалізації і зростання кристалогідратів. Автори вважають, що тільки через 24 год після початку гідратації на поверхні частинок відбувається хемосорбція іонів OH^- , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ з рідкої фази, що перешкоджає кристалізації еtringіту, а тільки через 72 год починається пуцоланова реакція. Збільшення вмісту води в таких композиціях полегшує переміщення іонів Ca^{2+} і OH^- до поверхні частинок мікрокремнезему, що призводить до інтенсифікації процесу утворення і росту кристалів $Ca(OH)_2$.

В.М. Вировий і В.І. Соломатов [14] пов'язують поверхневу активність мікронаповнювачів з їх природою і ступенем дисперсності. У зв'язку з цим і їх роль у формуванні структури може бути різною. Тобто мікронаповнювачі можуть бути активними центрами і утворювати кластери "в'язуче – наповнювач" ($F_f/F_c > 1$) або власні кластери ($F_f/F_c < 1$), де F_f і F_c - поверхнева активність частинок мікронаповнювача і цементу.

У роботах [182, 225, 226] на основі проведених досліджень зазначається,

що в контактній зоні між заповнювачами і цементним каменем концентрація гідроксиду кальцію більше, ніж у камені, що призводить, на думку авторів, до утворення мікротріщин, тобто є найбільш слабкою ланкою в бетоні і впливає на його показники міцності. У присутності тонкодисперсних наповнювачів відбувається зміцнення контактної зони між цементним каменем і заповнювачем у бетонах. Причому введення інертних мікронаповнювачів у кількості менше 10 % практично не впливає на мікроструктуру контактної зони (крім сумішей з підвищеним водовідділенням) [225]. При введенні пуцоланових мікронаповнювачів пористість контактної зони за рахунок різкого зменшення загального вмісту $Ca(OH)_2$ значно знижується. А підвищений вміст CSH(I) у контактній зоні позитивно впливає на її мікроструктуру. Наприклад, при отриманні високоміцних самоущільнюючихся бетонів введення 20 кг активного кремнезему замінюють 60 кг цементу і забезпечують рівнозначну міцність, причому в ранні терміни, так само як тріщиностійкість і водонепроникність бетону [227].

Великим кроком вперед можна вважати зменшення розмірів частинок наповнювачів до нанорівня, що дозволило направлено керувати процесами структуроутворення і одержати матеріали нового покоління із новим рівнем показників властивостей. Значний внесок у розвиток даного напрямку досліджень внесли J. W. Bullard, Н. М. Jennings, У.Д. Марущак, К.К. Пушкарьова, М.А. Саницький, М.В. Суханевич, С.М. Толмачов та ін. [22, 51, 73, 82, 87, 91, 94]. Реакційно-хімічна активність мінеральних складників відповідає рівню їх надлишкової поверхневої енергії, отже збільшення дисперсності частинок сприятиме прискоренню процесів структуроутворення. Як відзначено у роботах [51, 52], використання мінеральних добавок з питомою поверхнею більшою порівняно з портландцементним клінкером, призводить до збільшення площі поверхні всієї системи, що в свою чергу сприяє збільшенню об'єму фізично зв'язаної води в цементі.

Всі дисперсні матеріали у водному середовищі мають поверхневий заряд, який необхідно правильно враховувати при розробленні рецептур цементних

складів. Тому дуже важливо при виборі тонкодисперсного наповнювача враховувати його електроповерхневі властивості для забезпечення мінімальної усадки будівельної суміші при твердінні. Авторами [197, 228] показано, що в цементному камені і розчині для забезпечення найбільшої структурної міцності повинен бути дотриманий баланс між позитивно і негативно зарядженими поверхнями дисперсних частинок.

Дослідження [229 та ін.] показали, що тонкомелені мінеральні добавки підвищують міцність, морозостійкість, водонепроникність, хімічну стійкість бетону. Таке підвищення відзначалося в тому випадку, якщо сумарна поверхня клінкерних частинок в'язучого в одиниці маси суміші відповідала сумарній поверхні частинок портландцементу без тонкомелених добавок і тонкомелена добавка представлена більш великими частинками, а клінкерна частина – дрібними і дрібнішими.

Підвищення гідрофізичних та фізико-механічних характеристик, тріщиностійкості, корозійної стійкості композитів на основі мінеральних в'язучих можливе також за рахунок дисперсного армування, кількісні характеристики якого мають бути визначені з урахуванням пружно-деформативних характеристик матриці та армуючих волокон. Комплексні хімічні добавки мають забезпечувати утворення кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом, які зростатимуть від силікатних поверхонь складових композиту, у т.ч. волокон, а також поверхонь капілярно-порового простору, у т.ч. «старого» бетону. На поверхні волокон кристалогідрати мають утворювати кристалічні обійми. Товщина прошарків матриці композитів не повинна перевищувати певних величин.

Обмеження на застосування добавок в бетони

У ДСТУ Б В.2.7-65-97 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація і ДБН В.2.7-64-97 Будівельні матеріали. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах для попередньо напружених залізобетонних конструкцій дозволялось застосування пластифікуючих добавок, а також таких прискорювачів (електролітів), як НК,

ННК, НКМ, НК+М, ННК+М. Для залізобетонних конструкцій електрифікованого транспорту і промислових підприємств, які споживають постійний електричний струм, застосування пластифікуючих добавок дозволялось, а всіх добавок прискорювачів (електролітів) – не дозволялось.

У 2010 р. ДСТУ Б В.2.7-65-97 було замінено на ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (EN 934-2:2001, NEQ) Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови, а ДБН В.2.7-64-97 – на ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008 Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах, в яких таке обмеження не наводиться.

У чинному ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) [230] у п.5.2.7.4 міститься пряма заборона застосування хлориду кальцію і добавок на основі хлоридів (хлоридмістких добавок) до використання в бетонній суміші, що передбачена для виготовлення залізобетонних виробів і конструкцій із напруженою і ненапруженою арматурою та закладними деталями. Там же у п.2.5.3.4 міститься обмеження на застосування сировинних матеріалів, що містять луги і солі лужних металів (у т.ч. добавок – солей натрію) у випадку наявності у заповнювачах включень реакційноздатного кремнезему (опалу, халцедону, обсидіану тощо). Застосування таких матеріалів допускається після перевіряння вмісту у заповнювачах включень реакційноздатного кремнезему, у разі наявності якого повинні бути вжиті запобіжні заходи для попередження негативних наслідків використання заповнювачів із реакційною здатністю до лугів.

Як вже відзначалось, відомо, що в портландцементі, що твердіє, хлорид-іон зв'язується C_3A і чотирьохкальцієвим алюмоферитом C_4AF в комплексні сполуки – $Al_2O_3-Fe_2O_3$ -моно фази (AFm -фази).

Аналіз літературних даних не дозволив однозначно визначити умови зв'язування хлориду і нітрату кальцію в малорозчинні продукти гідратації цементу і їх допустиму кількість, яка буде гарантовано зв'язана.

Для прискореного визначення захисної дії бетону по відношенню до сталеві арматури доцільно застосовувати електрохімічні методи. Методи

засновані на оцінюванні пасивуючого впливу бетону на сталеву арматуру за отриманими залежностями щільності струму від електричного потенціалу сталеві арматури (потенціодинамічний метод). Отримані результати порівнюються з встановленими критичними значеннями.

Так у роботах [231, 232] встановлено, що помірний вміст добавок електролітів у сполученні з суперпластифікаторами не погіршує захисні властивості бетону щодо арматури. Дослідження зміни захисних властивостей бетону у часі дозволяє припустити, що використання даних добавок в оптимальній кількості сприятиме ущільненню структури бетону і поліпшенню його захисних властивостей щодо арматури.

2.1.2 Матеріали для експериментальних досліджень

У роботі досліджено зразки композиційних матеріалів – штучного каменю з мінеральних в'язучих, розчинів і бетонів.

Заповнювачі для бетону:

- пісок річковий кварцовий згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95, з модулем крупності 2–2,4 Безлюдівського кар'єру Харківської області
- пісок з відсіву дроблення скельних гірських порід фракцій 0,63...2,5 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-76-98,
- щебінь гранітний фракцій 2,5÷5 мм і 5÷10 мм 5÷20 мм, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-75-98.

Для застосовуваних заповнювачів оптимальні величини коефіцієнтів розсунення зерен щебеню та піску складають $\alpha_{\text{опт}} - 1,17-1,2$, $\mu_{\text{опт}} - 1,09$. На Гніванському заводі спецалізобетону, де оснащення бетонних вузлів дозволяє одночасно застосовувати заповнювачі чотирьох фракцій, проведено дослідження із роздільного дозування щебеню фракцій 5–10 і 10–20 мм, піску з модулем крупності 2–2,4 і подрібненого піску (гранітного відсіву) з модулем крупності близько 3 (рис. 2.2, в). У виробничих дослідженнях Щ_{5–10}/Щ_{5–20}

варіювали у межах 5–45 %, отримавши максимальні величини ранньої міцності бетону за середнім значенням $\frac{\text{Щ}_{5-10}}{\text{Щ}_{5-20}} = 9,4 \%$.

Експериментально уточнене оптимальне співвідношення вказаних фракцій. Для цього здійснювали ретельне змішування фракцій в різних співвідношеннях і вимірювали насипну густину отриманих сумішей. За оптимальне приймали таке співвідношення, за якого відзначалась максимальна величина насипної густини (рис. 2.3): $\frac{\text{Щ}_{5-10}}{\text{Щ}_{5-20}} = 0,1$ (10 %); ГВ/П = 0,03 (3 %). Таке дозування компонентів наближає заповнювачі до безперервної фракції без визначальних окремих фракцій. У такому разі залежності властивостей бетону від коефіцієнтів розсунення зерен заповнювачів набувають менш екстремального характеру, проте стають менш чутливими до неоднорідності заповнювачів і неточності дозування.

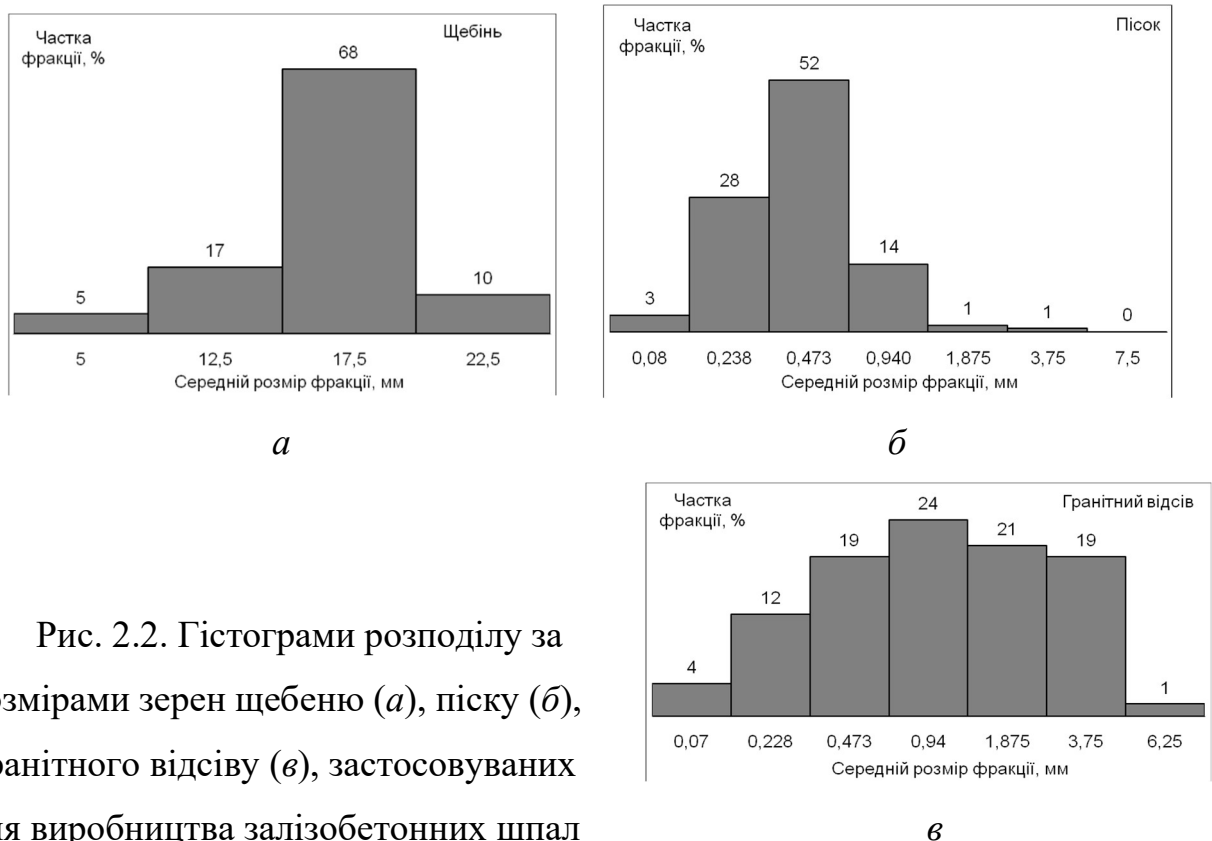


Рис. 2.2. Гістограми розподілу за розмірами зерен щебеню (а), піску (б), гранітного відсіву (в), застосовуваних для виробництва залізобетонних шпал

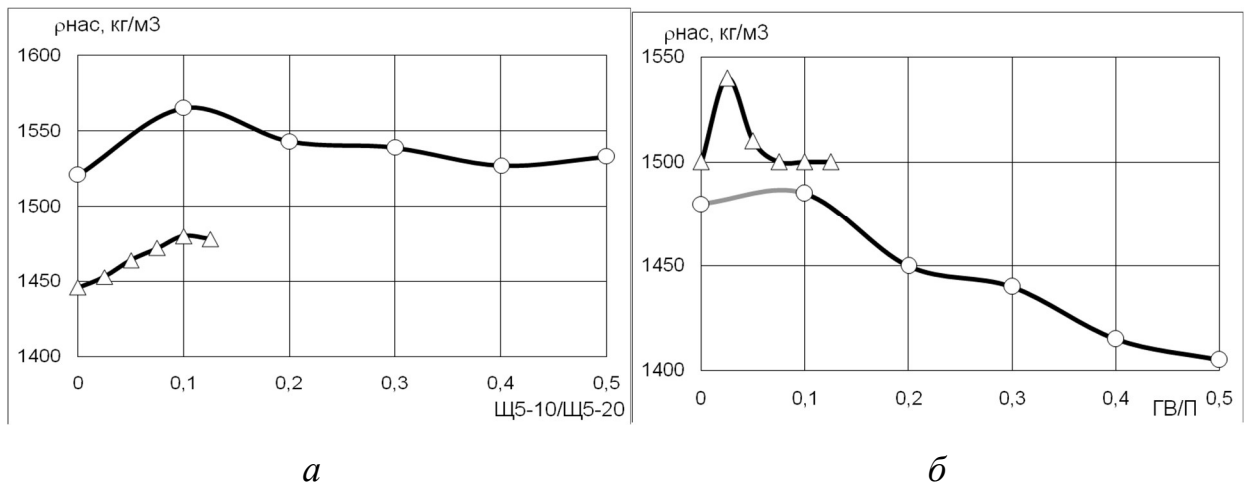


Рис. 2.3. Залежність насипної густини $\rho_{\text{нас}}$ суміші щебеню різних фракцій (а) і піску з гранітним відсівом (б) від співвідношення кількостей фракцій щебеню 5–10 і 5–20 мм Щ_{5–10}/Щ_{5–20} (а) і гранвідсіву та піску ГВ/П (б)

Добавки для бетону пластифікуючої групи за ДСТУ Б В.2.7-171:2008:

- нафталінформальдегідного типу (НФ) – Поліпласт СП-1 (С-3) у вигляді порошку (дозування 0,35 % від маси цементу);
- Muraplast FK48 у вигляді 41% водного розчину (дозування 1,2 %);
- К-8 (ТОВ НВП «Містім», дозування 1 % від маси цементу);
- полікарбосилатного типу (ПК) – MC-Powerflow 3100;
- полікарбосилатного типу SikaPlast 2508;
- поліакрилатного типу – ЖК-04ПП (ТОВ «Реатекс») в сухому вигляді;
- полікарбосилат (ПК) MasterGlenium ACE 430, BASF;
- лігносульфонат технічний (ЛСТ).

Мінеральні добавки і добавки-наповнювачі для бетонів:

- метакаолін МК Centrilite NC, ТУ У 14.2-36363275-001:2009;
- мікрокремнезем, що відповідає [233];
- пил газоочищення виробництва феросиліцію, хімічний склад, %: SiO₂ – 95,6; Fe₂O₃ – 0,5; Al₂O₃ – 0,9; CaO – 0,8; MgO – 0,2; SO₃ – 0,5; Na₂O – 0,3; K₂O – 0,3; істинна густина – 2400 кг/м³;

- нанодисперсний глинозем: хімічний склад, %: α - Al_2O_3 – не менше 99,8; Si – 0,15; Fe – 0,009; Mg – 0,001; Cu – $<0,001$; Na – 0,008; розмір частинок – 50–80 нм;

- сталевий порошок марки «ПЖР 3» ГОСТ 9849 – 86, розмір частинок: $>0,16$ мм - 5,9%; $0,16 \div 0,045$ мм - 75,3%; $<0,045$ мм - 18,8%;

- скловолокну з алюмоборосилікатного скла, довжина волокон 2-3 мм, діаметр – від 3 до 100 мкм, міцність при розтягу – 3,5 ГПа, щільність стекловолокна 2,48 г/см³;

- спучений перлітовий пісок Закарпатського родовища, що відповідає наступним вимогам: середня щільність – не більше 250 кг/м³; хімічний склад - SiO_2 – 65-75 %; CaO – 1,5-2,5 %; Al_2O_3 – 12-15 %; MgO – 0,01-1,5 %; Fe_2O_3 – 1,5-2,5 % і луги – 3,5 %;

- графітовий порошок – графіт змащувальний ГС-1 та ГЛ-1 ГОСТ 8295, ГОСТ 17022;

- високодисперсна крейда Слов'янського родовища, хімічний аналіз крейди наведений в табл. 2.4. Для виготовлення високодисперсної крейди використовувалася крейда розмір частинок якої становив 0,1 до 20 мм. До складу зразків високодисперсну крейду вводили у вигляді суспензії. Суспензія являла собою комплексну добавку, що містить високодисперсну крейду і пластифікатор, добавку готували за допомогою лабораторного диспергатору типу СПЕМ-2/1,0-ВК-Р32. Після диспергації в суспензії переважну кількість склали частинки крейди розмір яких не перевищував 5 мкм, рис. 2.4.

Таблиця 2.4

Хімічний склад крейди

Оксид	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3
Вміст, %	1,11	0,23	0,12	97,82	0,56	0,16

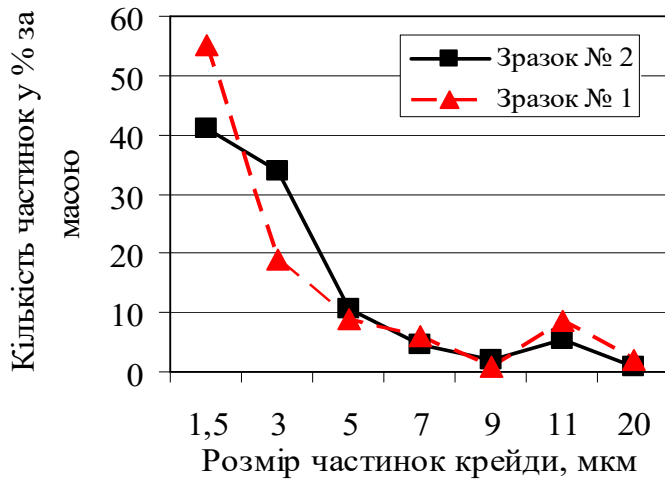


Рис. 2.4. Графік розподілу зернового складу частинок дисперсної крейди

Хімічні добавки:

- ХК кальцію хлорид $CaCl_2$ – молярна маса 110,99 г/моль, густина 2150 кг/м³, температура плавлення 772 °С, температура кипіння 1935 °С, розчинність у воді 74,5 г/100 мл (при 20 °С), константа дисоціації pK_a 8-9;

- ХН натрію хлорид $NaCl$ – прозорі кристали, молярна маса 58,443 г/моль, густина 2165 кг/м³, температура плавлення 801 °С, температура кипіння 1413 °С, розчинність у воді 35,9 г/100 мл (при 20 °С);

- СН натрію сульфат Na_2SO_4 – білі гігроскопічні кристали, молярна маса 142,04 г/моль, густина 2680 кг/м³, температура плавлення 884 °С, ентальпія утворення у стандартних умовах 1387,9 кДж/моль, розчинність у воді 16,3 г/100 мл (при 20 °С);

- КН натрію карбонат Na_2CO_3 (натрій вуглекислий, сода кальцинована) – молярна маса 105,99 г/моль, густина 2530 кг/м³, температура плавлення 852 °С, температура кипіння 1600 °С; розчинність у воді 21,8 г/100 мл (при 20 °С), pK_a 3,67; у водному розчині гідролізується, що забезпечує лужну реакцію: $CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$;

- НН натрію нітрат $NaNO_3$ (натрій азотнокислий, натрієва селітра) – безкольорові кристали, молярна маса 84,99 г/моль, густина 2257 кг/м³, температура плавлення 308 °С, температура розкладання 380 °С (на $NaNO_2$ і O_2), розчинність у воді 87,6 г/100 мл (при 20 °С);

- НК кальцію нітрат $Ca(NO_3)_2$ (Кальцієва селітра, нітрокальцит, норвезька селітра, вапнякова селітра) – молярна маса 164,088 г/моль, густина 2504 кг/м³, температура плавлення 561 °С, розчинність у воді 121,2 г/100 мл (при 20 °С);

- НК* кальцію нітрит $Ca(NO_2)_2$. молярна маса 132,09 г/моль, густина 2230 кг/м³, температура плавлення 392 °С, розчинність у воді 94,6 г/100 мл (при 20 °С);

- НН* – нітрит натрію $NaNO_2$. молярна маса 68,995 г/моль, густина 2170 кг/м³, температура плавлення 271 °С, розчинність у воді 84,8 г/100 мл (при 20 °С);

- ГК кальцію гідроксид $Ca(OH)_2$ (вапно гашене) – білі кристали, молярна маса 74,093 г/моль, густина 2211 кг/м³, температура плавлення 512 °С, розчинність у воді 0,185 г/100 г (при 20°С, з підвищенням температури знижується);

- калію гексаціаноферат $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ (калій залізістосиньородистий, жовта кров'яна сіль) – світло-жовті кристали; з солями металів у ступені окиснення +2 і +3 утворює малорозчинні сполуки гексаціанофератів, у т. ч. з Fe^{3+} – синій осад берлінської лазури: $4Fe^{3+} + 3[Fe(CN)_6]^{4-} = Fe_4[Fe(CN)_6]_3$;

В'язучі речовини [234-237]

- ПЦ I-500 виробництва ВАТ «Волинь-Цемент», Dickerhoff AG за [234, 235], портландцемент бездобавочний з нормованим мінеральним складом і високою активністю після пропарювання – 36–39 МПа та у віці 2 діб – 38–43 МПа;

- ПЦ I-500Н ПАТ «Євроцемент Україна», що виготовлений, найбільш імовірно, із клінкера виробництва ЗАТ «Осколцемент»;

- ПЦ I-400 ВАТ «Балцем»;

- ПЦ Ш/А-Ш-400, ПЦ Ш-Б/Ш-400 ПрАТ «Євроцемент-Україна»;

- гіпс будівельний марок Г-4, Г-7, що відповідає [236];

- розчин силікату натрію ГОСТ 13078 з силікатним модулем 2,7;

- шлак доменний гранульований мелений, що відповідає [237] використано двох складів – кислого і основного, виробництва ПАТ «ММК «Азовсталь»

(маріупольського), «Запоріжсталь», ВАТ «МітталСтіл Кривий Ріг» (криворізького), хімічний склад наведено у табл. 2.5 і 2.6. Помел шлаку проводився до до проходу крізь сито 008 не менше 85 %.

Таблиця 2.5

Хімічний склад шлаку

Вміст, %	Оксид							
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	MnO	FeO	TiO ₂
Основний	14,36	7,51	31,23	2,2	31,75	2,2	1,5	0,34
Кислий	5,72	18,02	38,44	1,43	44,17	0,25	0,47	0,64

2.2 Методологічна база досліджень

Приготування бетонних сумішей для лабораторних досліджень виконувалось вручну, або з використанням бетонозмішувача [238].

Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів проводились за стандартними методиками згідно чинних державних стандартів:

- цементів за ДСТУ Б В.2.7-185:2009; ДСТУ Б В.2.7-187:2009; ДСТУ Б В.2.7-124:2004; ДСТУ EN 196-1:2007 (EN 196-1:2005, IDT) СТУ EN 196-1:2007 (EN 196-1:2005, IDT); ДСТУ EN 196-3:2007 (EN 196-3:2005, IDT) СТУ EN 196-3:2007 (EN 196-3:2005, IDT); ДСТУ Б EN 196-7:2010;

- бетонів за ДСТУ Б В.2.7-114-2002; ДСТУ Б В.2.7-176:2008; ДСТУ Б В.2.7-170:2008; ДСТУ Б В.2.7-214:2009; ДСТУ Б В.2.7-216:2009; ДСТУ Б В.2.7-217:2009; ДСТУ Б В.2.7-219:2009; ДСТУ Б В.2.7-223:2009; ДСТУ Б В.2.7-227:2009; ДСТУ Б В. 2.7-42-97; ДСТУ Б В.2.7-43-96; ДСТУ Б В.2.7-47-96; ДСТУ Б В.2.7-48-96; ДСТУ Б В.2.7-49-96; ДСТУ Б В.2.7-215:2009; ДСТУ Б EN 12504-1:2013;

- будівельного гіпсу за ДСТУ Б В.2.7-82:2010;

- добавок, що підвищують стійкість проти корозії, що обумовлена реакцією кремнезему заповнювачів з лугами цементу і добавок за ДСТУ Б В.2.7-171.

Для визначення коефіцієнта розм'якшення (водостійкості) експериментально досліджували залежності міцності штучного каменю з добавками в сухому стані f і водонасиченому до постійної маси стані f_w .

$$Kp = f_w/f \quad (2.1)$$

Зв'язок між складом і фізико-механічними властивостями композитів оцінювали за величиною коефіцієнту кореляції за шкалою Чеддока (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Характеристики кореляції між фактором x і результатом y (шкала Чеддока)

Кількісна міра зв'язку R^2	Коефіцієнт кореляції R	Якісна характеристика зв'язку
0	0	залежність відсутня
0,1÷0,3	0,316÷0,548	слабка кореляція
0,3÷0,5	0,548÷0,707	помірна кореляція
0,5÷0,7	0,707÷0,837	помітна кореляція
0,7÷0,9	0,837÷0,949	висока кореляція
0,9÷0,99	0,949÷0,995	дуже висока кореляція
1	1	функціональна залежність

Умовну в'язкість оцінювали часом витoku суспензії із віскозиметра ВЗ-1, с, або розпливом конуса, мм.

При проведенні дослідження впливу вмісту добавок за допомогою віскозиметра ВЗ-1 послідовно готують потрібну кількість порцій досліджуваної суспензії з різним вмістом добавок суперпластифікатора – від 0 до 1 % з кроком 0,2 %. Кожну порцію суспензії дозують в чашу і енергійно перемішують протягом 2,5 хвилин, після чого заповнюють нею доверху резервуар віскозиметра при закритому каліброваному отворі. Калібрований отвір

відкривають і відраховують за секундоміром час витікання суспензії до контрольної мітки в резервуарі віскозиметра (65 см^3), а потім – всього її обсягу (умовну в'язкість t , с). За отриманими значеннями будують графік залежності t від кількості добавки.

При утрудненому витіканні суспензії з віскозиметра допускається всю серію вимірювань проводити на включеній стандартній лабораторній віброплощині.

При оцінці в'язкості розпливом конуса РК, мм, використовували стандартну методику ГОСТ 310.4, в якій застосовуються струшуючий столик і форма-конус.

Для визначення електрофізичних характеристик гідроізоляційних покриттів використовували методику, що була запропонована у [317].

Досліджувану композицію наносили на поверхню зразків балочок розміром $160 \times 40 \times 40$ мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3. Питомий електричний опір ρ , Ом \cdot м та питому електропровідність σ , См/м покриття із досліджуваної композиції визначали за величиною електричного опору R , Ом. Електричний опір вимірювали за схемою, наведеною на рис. 2.5, шляхом вимірювання напруги U , В і сили струму I , А у колі вимірювання (або безпосередньо). Величини питомого електричного опору та питомої електропровідності розраховували за формулами:

$$\rho = Ubh/IL = R \times S/L = [\text{Ом} \cdot \text{м}^2/\text{м} = \text{Ом} \cdot \text{м}]; \quad (2.2)$$

$$\sigma = 1/\rho = [1/(\text{Ом} \cdot \text{м}) = \text{См}/\text{м}], \quad (2.3)$$

де b – ширина покриття, 40 мм; h – вимірювана товщина покриття між електродами, мм; S – площа поперечного перерізу покриття, $S = bh$, L – відстань між електродами, якими вимірюють напругу або безпосередньо електричний опір, 30 мм (рис. 2.5).

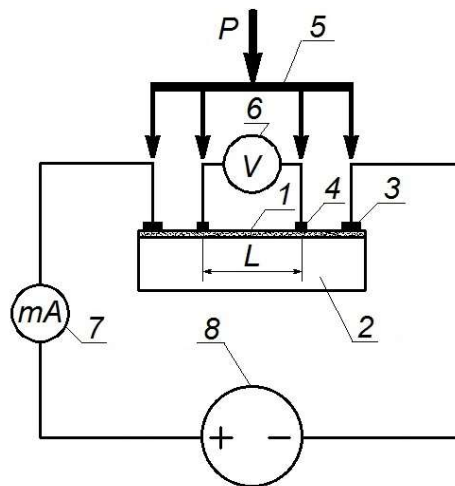


Рис. 2.5 Схема установки для вимірювання електричного опору електропровідних покриттів: 1 – досліджуване покриття; 2 – зразок-балочка із цементно-піщаного розчину; 3, 4 – накладні електроди (пластини із неіржавіючої сталі, що накладаються на покриття через прокладки із синтетичного нетканого матеріалу товщиною 1,5–2 мм, просочені насиченим розчином мідного купоросу, 3 – розміром 40×20 мм для вимірювання сили струму, 4 – розміром 40×5 мм для вимірювання напруги); 5 – портальне пристосування для притискання електродів загальним зусиллям $P = 5$ Н; 6 – вольтметр (у разі вимірювання без джерела живлення та міліамперметра – омметр); 7 – міліамперметр; 8 – джерело живлення

Фізико-хімічні методи дослідження. Дослідження структури штучного каменю проводили методами світової мікроскопії у відбитому і проходячому світлі при збільшенні $\times 48$ -250 разів за допомогою світових поляризаційних мікроскопів NU-2E, МИН-8, МБИ-6.

Метод електронної мікроскопії. Мікроскопічні дослідження проводилися з метою вивчення структури зразків цементного каменю на мікро- і субмікромолекулярному рівні. Дослідження виконувались за допомогою скануючого електронного мікроскопу JSM-6390/6390LV (Японія). Роздільна здатність в режимі високого вакууму – 3 нм при 30 кВ, 8 нм при 3кВ, 15 нм при 1кВ; в режимі низького вакууму – 4 нм при 30 кВ. Прискорююча напруга – от 0,5 до 30 кВ. Діапазон збільшення від $\times 8$ до $\times 300000$.

Метод інфрачервоної спектроскопії. Інфрачервоні спектри поглинання [239, 240, 241, 242] знімали за допомогою спектрометра «ALPHA», що підключається до ЕОМ з програмним комплексом OPUS, в інфрачервоній частині довжин хвиль 400-4000 см^{-1} . При вивченні досліджуваних зразків використовується приставка «ALPHA-T», що призначена для вивчення спектрів пропускання. Зразки являли собою пресовані під тиском 8÷8,5 МПа диск-зразки досліджуваних матеріалів з додаванням бромистого калію (KBr) у співвідношенні 1:200. Ідентифікація фазового складу зразків проводилася за інтенсивністю і зміщенням характерних смуг поглинання відповідних фаз.

Рентгенографічний аналіз фазового складу штучного каменю [240] проводили на дифрактометрі ДРОН-3, з виходом на ПК. Управління дифрактометром, зображення рентгенограм і запис даних здійснюється за допомогою ПК і програмного забезпечення DifWin1. Використовувалося випромінювання $Fe K_{\alpha}$, інтервал кутів 2θ становив 7-90°, напруга – 30 кВ, сила струму – 20 мА. Зразок і лічильник рентгенівських імпульсів обертається автоматично в горизонтальній площині навколо спільної вертикальної осі гоніметра зі співвідношенням швидкостей $V_{ЛЧ}=2V_{ОБР}$. При цьому лічильник вимірює інтенсивність дифракційної картини послідовно під різними кутами відображення. Показники лічильника реєструються на екрані ПК. Аналіз рентгенограм заснований на виявленні ліній, що відповідають міжплощинним відстаням мінералів.

Термографічні дослідження виконували за допомогою дериватографа Паулік-Паулік-Ердеї при нагріві до 1000 °С зі швидкістю нагріву 10°/хв. Реєстрували три криві: Т – температурну, TG – термогравіметричну, що характеризує зміну маси, ДТА – диференційно-термічну, що характеризує зміну ентальпії.

Метод люмінесцентної дефектоскопії заснований на здатності люмінофорів, що заповнюють пори і дефекти, світитися під дією ультрафіолетового світла. Основним приладом, на якому ґрунтується

застосування методу, є ультрафіолетовий освітлювач. За допомогою цього методу оцінювали пористість досліджуваних зразків і дефекти їх структури.

Метод використано при дослідженні кінетики дифузії солей комплексної хімічної добавки, а отже, і глибини їх проникнення у бетон. Досліджувану суху суміш замішували водним розчином люмінофору – нафтоїленбензимідазолу, наносили шаром товщиною не менше 3 мм на грань попередньо водонасичених зразків-балочок цементно-піщаного розчину. Після 28 діб твердіння зразки розколювали перпендикулярно покриттю. Отриманий розріз оглядали у білих та ультрафіолетових променях (у світлі лампи ДРШ-400) і фотографували. В ультрафіолетових променях шар бетону, у який проник люмінофор, а отже, і солі, світився.

За даними фізико-хімічних досліджень ідентифікацію мінералів проводили за [201, 240].

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Для виконання експериментальних досліджень з розроблення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, що є стійкими в умовах експлуатації в якості вихідних матеріалів були прийняті

- в'язучі речовини: портландцементи I типу ПЦ I-500, ПЦ I-500Н; ПЦ I-400; II типу ПЦ II/A-Ш-400, ПЦ II-Б/Ш-400; гіпс будівельний марок Г-4, Г-7; розчин силікату натрію; шлак доменний гранульований мелений використано двох складів – кислого та основного, виробництва ПАТ «ММК «Азовсталь», «Запоріжсталь», ВАТ «МітталСтіл Кривий Ріг»;

- добавки для бетону пластифікуючої групи: нафталінформальдегідного типу; полікарбонатного типу (ПК); поліакрилатного типу; лігносульфонат технічний (ЛСТ).

- мінеральні добавки і добавки-наповнювачі для композитів: метакаолін МК Centrilite NC; мікрокремнезем; пил газоочищення виробництва феросиліцію;

нанодисперсний глинозем; сталевий порошок марки «ПЖР 3»; скловолокно з алюмоборосилікатного скла; спучений перлітовий пісок Закарпатського родовища; графітовий порошок - графіт змащувальний ГС-1; високодисперсна крейда Слов'янського родовища;

- хімічні добавки: сульфат натрію Na_2SO_4 ; нітрат натрію $NaNO_3$; нітрит натрію $NaNO_2$; нітрат кальцію $Ca(NO_3)_2$; нітрит кальцію $Ca(NO_2)_2$; хлорид натрію $NaCl$; хлорид кальцію $CaCl_2$; сечовина (карбамід) $(NH_2)_2CO$; карбонат натрію Na_2CO_3 ; калію гексаціаноферат $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$. Добавки гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$ або карбіду кальцію.

2. Відповідно до завдань було обрано методи досліджень. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного каменю визначали випробуванням зразків-призм і кубів відповідно до стандартних методик і чинних нормативних документів. Електрофізичні властивості визначали за оригінальними методиками на зразках-призмах із композиції або в покриттях із неї на гранях зразків-призм із цементно-піщаного розчину. Склад продуктів гідратації і характер їхньої взаємодії з мінеральними добавками досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової мікроскопії та скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ФІЗИЧНИХ І МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ СТІЙКИХ В УМОВАХ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ
МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

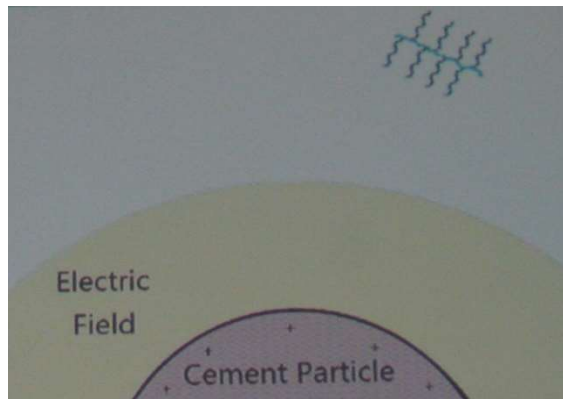
3.1 Електроповерхневі потенціали і заряди продуктів гідратації мінеральних в'язучих

3.1.1 Поверхневий заряд та електроповерхневий потенціал частинок неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах

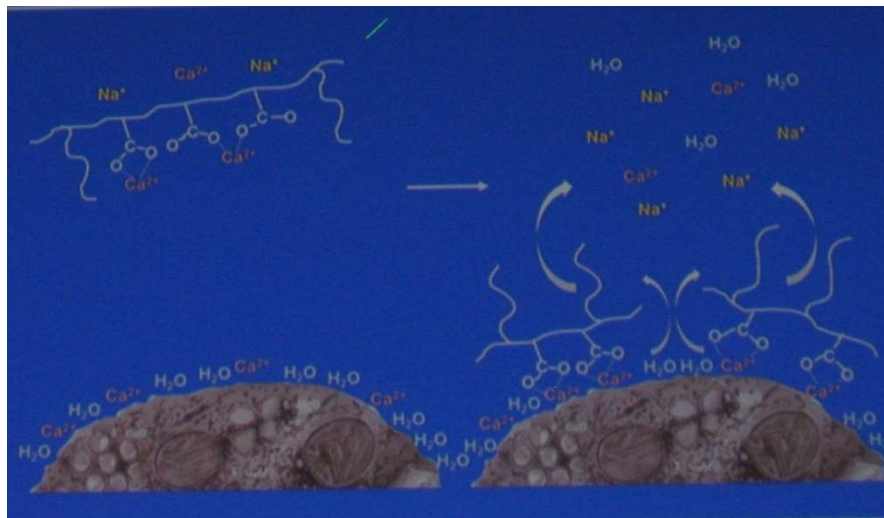
На важливу роль електричних характеристик поверхонь, в основному поверхневого заряду та/або електрокінетичного потенціалу, у твердінні портландцементу, силікатних та інших мінеральних в'язучих вказували такі авторитетні вчені, як Ахвердов Й.М., Бабушкін В.І., Новікова С.П., Ведь Є.І., Жаров Є.Ф., Гранковський І.Г., Дібров Г.Д., Єфремов І.Ф., Капранов В.В., Круглицький М.М., Матвієнко В.А., Овчаренко Ф.Д., Ольгинський О.Г., Полак О.Ф., Пługін А.А., Пługін А.М., Старосельський О.О., Сичов М.М., Сватовська Л.Б., Щукін Є.Д. [10, 53, 54, 57, 61, 243-248 та ін.]. Враховують поверхневі заряди під час аналізу властивостей ґрунтів, переважно глинистих, та явищ в них, також ґрунтознавці [249].

Сучасні іноземні дослідники також намагаються враховувати поверхневий заряд, проте не завжди коректною. Наприклад, проф. Й. Планк із Мюнхена у доповіді [250], аналізуючи механізм впливу добавок-суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу (рис. 3.1, а) або наводить цементну частинку, що складається повністю із алюмінату або алюмофериту кальцію з позитивним поверхневим зарядом, або помилково вважає, що всі клінкерні мінерали мають позитивний поверхневий заряд. Некоректно, на наш погляд, також він показує

схему взаємодії функціональних груп $-COO^-$ поліелектроліту з поверхнею частинки цементу (рис. 3.1, б).



a



б

Рис. 3.1. Схеми взаємодії молекул добавки-суперпластифікатора полікарбоксилатного типу (аніонного поліелектроліту) з поверхнею цементних частинок [250]

У процесі формування структури штучного каменю, що утворюється при гідратації мінеральних в'язучих, розчину і бетону значну роль відіграють електричні заряди поверхні частинок в'язучих, продуктів їх гідратації, наповнювача, зерен заповнювача [13, 251, 252]. Електричний поверхневий заряд мінеральних часток водно-дисперсних систем має складну природу і пояснюється за допомогою різних механізмів. За роботами [13, 63-65], при

утворенні дисперсної системи на границі розділу фаз у результаті дисоціації поверхневих молекул, адсорбції іонів і т. п. відбувається розподіл електричних зарядів. У результаті цього розподілу одна фаза набуває позитивного, інша – негативного заряду, на границі їх розділу утворюється подвійний електричний шар (ПЕШ на рис. 3.2). При цьому система в цілому залишається електронейтральною.

Електричні поверхневі заряди кількісно характеризуються електроповерхневим потенціалом ψ , В, і густиною поверхневого заряду q , Кл/м². За фізичною суттю, електроповерхневий потенціал ψ – це відношення роботи, яку необхідно витратити для перенесення електричного заряду з безкінечності до поверхні, до цього заряду ($В = Дж/Кл$), або робота перенесення одиничного заряду.

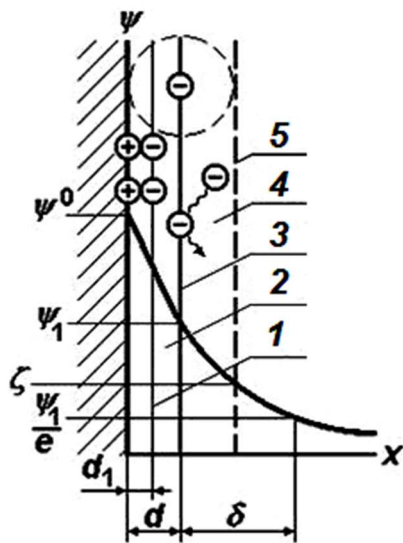


Рис. 3.2. Схема будови подвійного електричного шару на границі розподілу «неорганічна тверда дисперсна фаза – рідинне дисперсійне середовище (водний розчин)» і розподілу потенціалу в ньому [63]: ψ^0 – електроповерхневий потенціал (абсолютний); ψ_1 – потенціал на границі щільної і дифузної частин ПЕШ (рівноважний); ζ – електрокінетичний потенціал; δ – товщина дифузної частини ПЕШ; 1 – внутрішня площина Гельмгольца; 2 – щільна частина ПЕШ; 3 – зовнішня площина Гельмгольца; 4 – дифузна частина ПЕШ; 5 – площина ковзання

3.1.2 Методи визначення електроповерхневого потенціалу та густини поверхневого заряду частинок неорганічної дисперсної фази

Для забезпечення достовірності даних поверхневі заряди та електроповерхневі потенціали дисперсних матеріалів мають визначатись одночасно декількома незалежними методами.

У [172] запропоновано використовувати відомі методи – розрахунково-експериментальний за даними про хімічний склад [13, 102, 252], вимірювання електрокінетичного ζ -потенціалу [253], сепарація частинок у високовольтному електричному полі [102, 252].

Сутність *розрахункового методу* визначення електроповерхневих потенціалів викладена у [13, 252, 102]. Основні рівняння, що визначають електроповерхневий потенціал частинок неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах [63, 102]:

$$\psi^0 = E^0 + \Delta\psi^0; \quad (3.1)$$

$$\Delta\psi^0 = 9,04 \frac{n^{2/3}}{r^2} - \frac{14,39}{r}; \quad (3.2)$$

$$\psi_{XYZ}^0 = -\frac{x\psi_X^0 + y\psi_Y^0 + z\psi_Z^0}{x+y+z}; \quad (3.3)$$

де ψ^0 – абсолютний електроповерхневий потенціал простої речовини, В; E^0 – стандартний електродний потенціал простої речовини (хімічного елементу), В; $\Delta\psi^0$ – поправка, що враховує перехід від стандартного електродного до електроповерхневого потенціалу, В; n – кількість електронів у зовнішній s або p орбіталі атома; r – атомний радіус (для атомів, що утворюють аніони (N, O, F, S, Cl, Br, I), – іонний радіус), м; ψ_{XYZ}^0 – абсолютний електроповерхневий потенціал складної речовини (хімічної сполуки) $X_xY_yZ_z$, де x, y, z – стехіометричні коефіцієнти елементів X, Y, Z ; $\psi_X^0, \psi_Y^0, \psi_Z^0$ – абсолютні електроповерхневі потенціали елементів X, Y, Z .

Визначені електрохімічним розрахунково-експериментальним методом за (3.1) [102] і енергетичним розрахунковим методом за (3.2) [102, 252] абсолютні електроповерхневі потенціали елементів наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Абсолютні електроповерхневі потенціали $\psi_{\text{еп}}^0$ деяких простих речовин

Елемент	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>Cl</i>
$\psi_{\text{еп}}^0, \text{В}$	-4,25	-4,2	-4,04	-3,69	-2,99	-1,77	-1,41	-1,23	-1,108	-1,2	1,44	3,36

Рівноважні електроповерхневі потенціали ψ_p^0 простих або складних речовини (близький до ψ_1 на рис. 3.2), на яких може відбуватись специфічна адсорбція гідроксильних іонів OH^- або протонів H^+ , наприклад, окислів і гідроокислів для реальних рідких дисперсних середовищ визначаються за виразом:

$$\psi_p^0 = \psi^0 - 0,059pH, \quad (3.4)$$

Абсолютні та рівноважні електроповерхневі потенціали структурних складових мінеральних в'язучих та композиційних матеріалів на їх основі наведені у табл. 3.2. Рівноважні потенціали визначені для величин рН – 1, 7 і 12.

Густину поверхневого заряду q та електроповерхневий потенціал ψ^0 визначають за величинами напруженості електричного поля E , В/м і радіусу частинок R , м, за яких відмічалось максимальне перенесення:

$$q = \pm \frac{2\sigma\pi R}{4\pi ER^2} = \pm \frac{\sigma}{2ER}, \text{ Кл/м}^2; \quad \psi_0 = \frac{4\pi d'q}{\varepsilon\varepsilon_0}, \text{ В/м}, \quad (3.5)$$

де: «+» відповідає негативному потенціалу на верхньому електроді, а «-» – позитивному; σ – поверхневий натяг на границі розподілу фаз; d' – відстань між потенціалвизначальними іонами і протиіонами у ПЕШ, м; ε – діелектрична проникність, ≈ 1 ; ε_0 – електрична стала, $8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м.

Електроповерхневі потенціали структурних складових
мінеральних в'язучих та композиційних матеріалів на їх основі

№	Найменування	Потенціал, В			
		ψ^0	ψ^0_p (pH1)	ψ^0_p (pH7)	ψ^0_p (pH12)
1	Аліт C_3S	+0,74	+0,68	+0,33	-0,03
2	Беліт C_2S	+0,55	+0,49	+0,14	-0,16
3	Трикальцієвий алюмінат C_3A	+0,90	+0,84	+0,49	+0,20
4	Портландцемент $0,6C_3S \times 0,2C_2S \times 0,06C_3A \times 0,14C_4AF$	+0,71	+0,65	+0,30	-0,01
5	Портландит $Ca(OH)_2$	+1,24	+1,18	+0,83	+0,53
6	Високоосновні гідросилікати кальцію C_2SH	+0,59	+0,53	+0,18	-0,11
7	Низькоосновні гідросилікати кальцію CSH	+0,29	+0,23	-0,12	-0,42
8	Гідроалюмінат кальцію C_3AH_6	+0,92	+0,86	+0,51	+0,21
9	Еtringіт $C_3A \times 3CaSO_4 \times H_{32}$	+0,90	+0,84	+0,49	+0,19
10	Гідросульфалюмінат кальцію $C_3A \times CaSO_4 \times H_{19}$	+1,24	+1,18	+0,83	+0,53
11	Гіпс $CaSO_4 \times 2H_2O$	+0,49	+0,43	+0,08	-0,22
12	Кремнекислота $SiO_2 \times 2H_2O$	+0,02	-0,04	-0,39	-0,69
13	Анальцим $Na_2O \times Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times 4H_2O$	+0,15	+0,09	-0,26	-0,56
14	Натроліт $Na_2O \times Al_2O_3 \times 3SiO_2 \times 2H_2O$	+0,21	+0,15	-0,20	-0,50
15	Шабазит $CaO \times Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times 6,5H_2O$	+0,12	+0,06	-0,29	-0,59
16	Кварц SiO_2	-0,55	-0,61	-0,96	-1,26
17	Граніт	-0,07	-0,13	-0,48	-0,78
18	Кальцит $CaCO_3$	+1,26	+1,20	+0,85	+0,55
19	Будівельне скло (скловолокно) $Na_2O \times CaO \times 6SiO_2$	+0,22	+0,16	-0,19	-0,50
20	Лугостійке скловолокно $0,14Na_2O \times 0,6SiO_2 \times 0,2ZrO_2$	+0,02	-0,04	-0,39	-0,68
21	Базальтове волокно $0,09CaO \times 0,06MgO \times 0,53SiO_2 \times 0,16Al_2O_3 \times 0,12Fe_2O_3$	-0,10	-0,16	-0,51	-0,81
22	Невивітрений хризотил $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ (бруситовий шар $Mg_6(OH)_8$)	+0,92	+0,86	+0,51	+0,22
23	Вивітрений хризотил $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ (кремнійкисневий шар Si_4O_{10})	-0,68	-0,74	-1,09	-1,39

Окрім зазначеного розрахункового методу застосовують методи вимірювання електрокінетичного ζ -потенціалу, які вперше коректно використані для в'язучих систем В.І. Бабушкіним, С.П. Новіковою, Є.І. Ведєм, Є.Ф. Жаровим [244]. А також метод сепарації частинок у високовольтному електричному полі, розвинутий В.І. Бабушкіним, В.А. Матвієнком, Т.О. Костюк, А.А. Плуґіним [252, 254]. Ними же обґрунтована можливість визначення електроповерхневих потенціалів методом вибіркової адсорбції колірних індикаторів на поверхневих активних центрах, який активно розвивали А.П. Нечипоренко, Р.А. Яковлєва, Ю.М. Данченко [171, 172, 255-257].

Поверхню твердих тіл зазвичай описують за допомогою атомістичної моделі або зонної [258]. Атомістична модель використовується при розгляді хімічних процесів на поверхні і базується на понятті про поверхневі центри. Зонна модель використовується при розгляді обміну електронами між глибиною твердого тіла і його поверхневим шаром і базується на понятті про поверхневі стани. Поверхневі центри, або активні центри – це хімічно активні окремі атоми або групи атомів поверхні, що мають високу спорідненість з електроном. Щільність центрів залежить від будови поверхні і може досягати 10^{19} 1/м^2 , тобто один центр на кожен атом поверхні.

Активні центри АЦ можна представити у вигляді локалізованих електричних зарядів відповідних знаків на поверхні дисперсної твердої фази, що визначають її електроповерхневі властивості.

Розглянемо взаємозв'язок АЦ з поверхневим зарядом дисперсного кремнезему, який з деякими припущеннями може бути розповсюджений і на інші сполуки композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих – силікати, оксиди, гідроксиди.

Відповідно до [171, 172, 259] активними центрами на поверхні твердого оксиду, у тому числі кремнезему, є основні і кислотні центри Льюїса і Бренстеда (рис. 3.3).

Льюїсівські основні і кислотні центри являють собою валентно ненасичені поверхневі атоми $\equiv Si-O^{\delta-}$ і $\equiv Si^{\delta+}$ відповідно, здатні адсорбувати за рахунок іон-дипольної взаємодії молекул води за кислотним $\equiv Si-O^{\delta-} \dots H^{\delta+}-OH^{\delta-}$ або основним $\equiv Si^{\delta+} \dots OH^{\delta-}-H^{\delta+}$ механізмом.

Бренстедівські центри утворюються на вільних кислотних льюїсівських центрах при адсорбції на них за рахунок іон-іонної взаємодії гідроксильних груп. Залежно від співвідношення енергій зв'язку $Si-O$ і $O-H$, що залежать від довжин зв'язку, гідроксильна група проявляє кислотні або основні властивості. Якщо енергія зв'язку $Si-O$ значно перевищує енергію зв'язку $O-H$, центри є кислотними $\equiv Si-O-H^{\delta+}$, якщо вони приблизно рівні – нейтральними $\equiv Si-O-H$, якщо енергія зв'язку $Si-O$ менше від енергії зв'язку $O-H$ – основними $\equiv Si-OH^{\delta-}$ [255, 259].

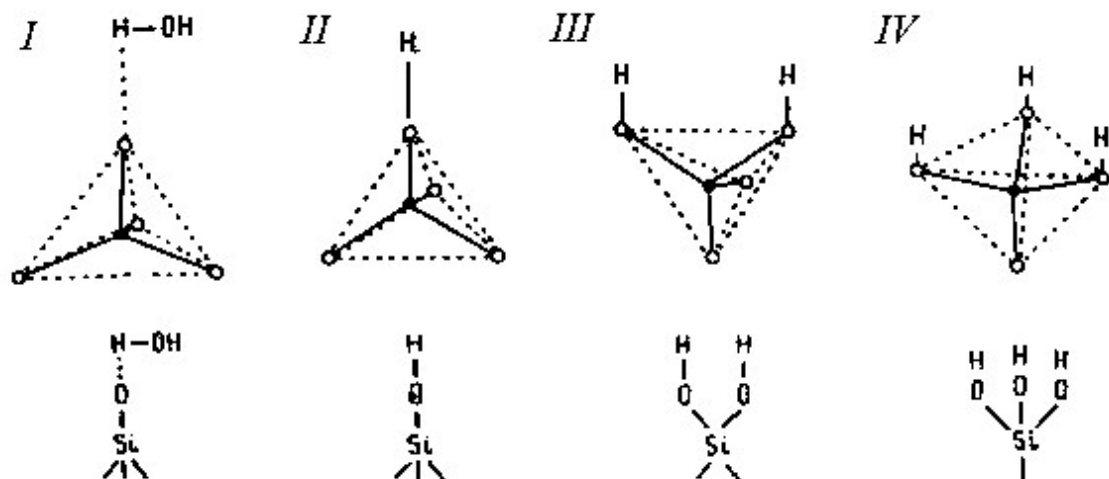


Рис. 3.3. Схема активних центрів на поверхні кремнезему: *I* – основних льюїсівських (кислих); *II* – кислотних бренстедівських (помірнокислих); *III* – нейтральних бренстедівських (слабокислих); *IV* – основних бренстедівських (лужних)

З урахуванням викладеного, а також атомної структури кремнезему вважають, що основні льюїсівські і кислотні бренстедівські центри утворюються в місцях виходу на поверхню вершин кремнекисневих тетраедрів (*I* і *II* на рис. 3.3). Нейтральні бренстедівські центри утворюються у вигляді

$=Si(OH)_2$ на ребрах тетрадрів, що виходять на поверхню (III на рис. 3.3), а основні бренстедівські $-Si(OH)_3$ – на гранях тетрадрів, що виходять на поверхню (IV на рис. 3.3) [255].

Оскільки в оксидах ковалентний зв'язок має ознаки і іонного, валентно ненасичені поверхневі атоми O і Si можна представити у вигляді координаційно ненасичених іонів O^{2-} і Si^{4+} . Аналіз структури активних центрів показує, що на електричний заряд поверхні істотно впливає чотиривалентний катіон Si^{4+} . Цей вплив можна оцінити розрахунком напруженості електричного поля в точці, що знаходиться над активним центром на відстані від поверхні, на яку до неї може максимально наблизитися іон кальцію – типовий протиіон для негативно заряджених поверхонь у портландцементних системах (рис. 3.4) [197].

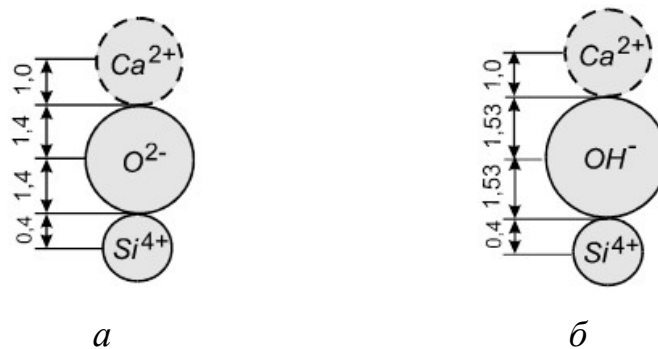


Рис. 3.4. Схема для розрахунку напруженості електричного поля над активним центром: *a* – вільним основним льюїсівським; *б* – кислотним бренстедівським [197]

Напруженість електричного поля над вільним основним льюїсівським центром (I) орієнтовно може бути прийнята рівною

$$E = E_{O^{2-}} + E_{Si^{4+}} = \frac{-2e}{4\pi\epsilon\epsilon_0(r_{Ca^{2+}} + r_{O^{2-}})^2} + \frac{4e}{4\pi\epsilon\epsilon_0(r_{Ca^{2+}} + 2r_{O^{2-}} + r_{Si^{4+}})^2} = \quad (3.6)$$

$$= \frac{e}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left[-\frac{2}{(r_{Ca^{2+}} + r_{O^{2-}})^2} + \frac{4}{(r_{Ca^{2+}} + 2r_{O^{2-}} + r_{Si^{4+}})^2} \right] = -1,73 \cdot 10^{10}, \text{ Н/Кл,}$$

де e – елементарний заряд, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; ϵ – відносна діелектрична проникність дисперсійного середовища, 1 (для міжіонних взаємодій – вакууму); ϵ_0 –

електрична стала, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $r_{Ca^{2+}}$, $r_{O^{2-}}$, $r_{Si^{4+}}$ – радіуси іонів, $1,0 \cdot 10^{-10}$; $1,4 \cdot 10^{-10}$; $0,4 \cdot 10^{-10}$ м відповідно.

Напруженість електричного поля над кислотним бренстедівським центром (II) (або основним льюїсівським центром з адсорбованим водним іоном, I) орієнтовно дорівнює

$$E = E_{OH^-} + E_{Si^{4+}} = \frac{-e}{4\pi\epsilon\epsilon_0(r_{Ca^{2+}} + r_{OH^-})^2} + \frac{4e}{4\pi\epsilon\epsilon_0(r_{Ca^{2+}} + 2r_{OH^-} + r_{Si^{4+}})^2} = \quad (3.7)$$

$$= \frac{e}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left[-\frac{1}{(r_{Ca^{2+}} + r_{OH^-})^2} + \frac{4}{(r_{Ca^{2+}} + 2r_{OH^-} + r_{Si^{4+}})^2} \right] = +0,65 \cdot 10^{10}, \text{ Н/Кл},$$

де r_{OH^-} – радіус гідроксильного іона, $1,53 \cdot 10^{-10}$ м.

Аналогічні розрахунки для нейтральних (III) і основних бренстедівських (IV) центрів дають негативні значення напруженості електричного поля.

Таким чином, розглянуті активні центри можна представити у вигляді зосереджених електричних зарядів на поверхні: вільні льюїсівські центри на негідратованій поверхні: основні – з негативним знаком, кислі – з позитивним знаком; на гідратованій поверхні: льюїсівські основні (I) і бренстедівські кислі (II) – з позитивним знаком, бренстедівські нейтральні (III) і основні (IV) – з негативним знаком.

Можна вважати, що ювенільна (новостворена при диспергуванні твердого тіла або при конденсації твердої фази з іншого агрегатного стану) поверхня кремнезему (або іншого оксиду) має тільки вільні кислотні та основні льюїсівські центри (табл. 3.3). При цьому хімічний склад кремнезему (SiO_2) обумовлює кількісну перевагу на поверхні атомів O , тобто центрів типу $\equiv Si-O^{\delta-}$. У цьому випадку іони O^{2-} на ювенільній поверхні кремнезему є потенціалвизначними і формують інтегральний негативний поверхневий заряд.

Слід враховувати, що деякі сполуки можуть бути амфотерними та змінювати знак поверхневого заряду зі зміною pH електроліту середовища. Про амфотерність можуть свідчити різні знаки рівноважних електроповерхневих потенціалів у нейтральному ($pH=7$) і лужному ($pH=12$) середовищах, симетричні криві сепарації дисперсних матеріалів у високовольтному

електричному полі, наявність помірно та слабокислих (бренстедівських кислотних) поверхневих активних центрів за незначної або рівної кількості основних (бренстедівських основних) і кислих (льюїсівських основних) АЦ.

Таблиця 3.3

Активні центри на поверхні кремнезему

Умови		Структура активних центрів (що визначають знак заряду)			
		кислих (основних льюїсів- ських)	помірно кислих (кислотних бренсте- дівських)	слабокислих (нейтральних бренстедів- ських)	лужних (основних бренстедів- ських)
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Ювенільна поверхня		$O^{2-} (-)$	$Si^{4+} (+)$	$Si^{4+} (+)$	$Si^{4+} (+)$
Гідратована поверхня	$pH=7$	$SiOH (+)$	$SiOH (+)$	$Si(OH)_2 (-)$	$Si(OH)_3 (-)$
	$pH<7$	$SiOH (+)$	$SiOH (+)$	$Si(OH)_2,$ $SiOH$ або Si^{4+} (– або +)	$Si(OH)_2,$ $SiOH$ або Si^{4+} (– або +)
	$pH>7$	$O^{2-} (-)$	$O^{2-} (-)$	$Si(OH)_2$ або $O^{2-} (-)$	$Si(OH)_3 (-)$
Діапазон pK_a		–(3–1)	1–3	6–8	10–12

При взаємодії поверхні з водним середовищем (або навіть повітряним з природною вологістю) відбувається її гідроксилювання – адсорбція на активних центрах молекул води (гідроксильних і водневих іонів). При цьому в центрах I і II іони водню (молекули води) зв'язуються з поверхнею слабо і легко можуть бути відірвані від неї, тому можна вважати, що залежно від зовнішніх факторів дані центри проявляють себе у вигляді іонів або OH^- , або (внаслідок десорбції іона H^+ при підвищенні pH середовища і температури) O^{2-} з відповідною зміною знака заряду центра. Аналогічно нейтральні і основні центри проявляють себе або як OH^- , або (внаслідок десорбції іона OH^- при зниженні pH середовища і підвищенні температури) Si^{4+} з відповідною зміною знака заряду центра. При

активації поверхні (механічній, термічній, хімічній), мабуть, відбувається десорбція з активних центрів гідроксильних і водневих іонів за розглянутим механізмом з відповідною зміною знаків їх зарядів і величини інтегрального заряду поверхні.

Таким чином, активні центри можна представити у вигляді локалізованих електричних зарядів відповідних знаків на поверхні дисперсної твердої фази, що визначають її електроповерхневі властивості. Кислі центри є носіями позитивних зарядів, основні - негативних, що узгоджується з [55, 260, 261]. Помірно і слабокислі центри мабуть є амфотерними.

Викладене дає можливість використовувати відомі методи визначення концентрації активних поверхневих центрів для визначення кількості позитивно і негативно заряджених активних центрів на поверхні частинок дисперсної твердої фази і порівняльної оцінки інтегрального поверхневого заряду.

3.1.3 Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів

У будівельному матеріалознавстві для дослідження продуктів гідратації цементу застосовують рентгенофазовий аналіз, в основі якого лежить рентгенівське випромінювання. Сутність його полягає у визначенні на отриманих приладових записах (рентгенограмах РГ) міжплощинних відстаней в кристалічних решітках досліджуваних сполук для подальшої ідентифікації їх за таблицями [240]. Сучасні уявлення про фізичну сутність електричного заряду і абсолютного електроповерхневого потенціалу [247, 262] дозволять збільшити інформативність рентгенографічних досліджень [263, 264, 265].

Рентгенівське випромінювання являє собою електромагнітне коливання з довжиною хвилі λ в інтервалі 0,01-100 Å. При $\lambda \leq 1$ Å випромінювання є жорстким, а при $\lambda > 1-5$ Å – м'яким [266]. Фізичний сенс жорсткого і м'якого

випромінювання полягає в тому, що жорстке має значну проникаючу здатність, а м'яке - сильно поглинається речовиною [267].

Рентгенівське випромінювання, що використовується в наукових дослідженнях і виробництві, створюється в рентгенових трубі на аноді (з певних важких металів) під впливом потоку електронів з катода при високій напрузі між анодом і катодом. При дослідженні кристалічних речовин застосовуються апарати, в яких джерелом електронів служить катод у вигляді вольфрамової спіралі.

Відповідно до [268-270] спектр рентгенівського випромінювання являє собою накладання суцільного (гальмівного) і лінійного (характеристичного) спектрів. Характер суцільного спектра визначається тільки енергією електронів, що бомбардують анод і не залежить від матеріалу аноду. Вважається, що електрон пролітає повз ядра і втрачає лише частину своєї енергії, а решту передає частинами іншим атомам, що потрапляють на його шляху. Кожен акт втрати енергії веде до випромінювання фотона з певною енергією. Виникає безперервний рентгенівський спектр, верхня межа якого відповідає енергії найшвидшого електрона. Суцільний спектр подібний спектру звичайного білого світла. Однак крива розподілу інтенсивності білого світла є симетричною, а середня довжина хвилі при максимальній інтенсивності дорівнює 0,55 мкм (5500 Å). На відміну від білого світла крива розподілу інтенсивності гальмівного рентгенівського випромінювання несиметрична, круто сходить в короткохвильовій зоні, досягаючи максимуму при ν_0 близько 0,07 Å, тобто менше майже на 5 порядків. Зі зменшенням енергії кванта $h\nu$ довжина хвилі λ збільшується, але всього в кілька разів.

При великих енергіях електрони бомбардують анод долають кулонівських сили відштовхування від зовнішніх електронних оболонок атомів речовини анода і взаємодіють з електронами, що заповнюють внутрішні оболонки. Відбувається вибивання електрона, що знаходиться на внутрішній оболонці. Цей процес супроводжується появою на тлі суцільного спектра окремих різких ліній лінійного, або характеристичного спектра.

Характеристичний спектр виникає, якщо енергія прискорених електронів перевершує критичну для речовини анода величину, яка, в свою чергу, визначається критичною для цієї речовини напругою на трубці ($V_{кр}$). При цьому на спектрі утворюються серії, що позначаються буквами K , L , M , N . Серія K - найбільш короткохвильова, їй відповідає критична напруга $U_{кр}$, серія L - більш довгохвильова, серії M і N спостерігаються в проміжках, причому тільки у важких елементів. Для вольфраму W критична напруга дорівнює $U_{кр} = 69,3$ кВ. Для L -серії $U = 12,1$ кВ. Характеристичне випромінювання лежить в основі рентгеноспектрального аналізу елементів.

За [240], застосування рентгенівського випромінювання для дослідження кристалічних речовин засноване на тому, що його довжина хвилі порівнянна з відстанню між впорядковано розташованими атомами в решітці кристалів, яка для нього є природною дифракційною решіткою. Сутність рентгенівських методів аналізу, за [240], як раз і полягає у вивченні дифракційної картини, що отримується при відображенні рентгенівських променів атомними площинами в структурі кристалів.

В основі рентгенографічного аналізу лежить рівняння Вульфа-Брегга [271], яке визначає напрям максимумів дифракції пружно розсіяного на кристалі рентгенівського випромінювання і має вигляд:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.8)$$

де d – міжплощинна відстань, θ – кут ковзання (брегівський кут), n – порядок дифракційного максимуму, λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання (залежить від матеріалу анода).

Рівняння (3.8) виведене за допомогою схеми для дифракційної решітки з періодом d на рис. 3.5 [268].

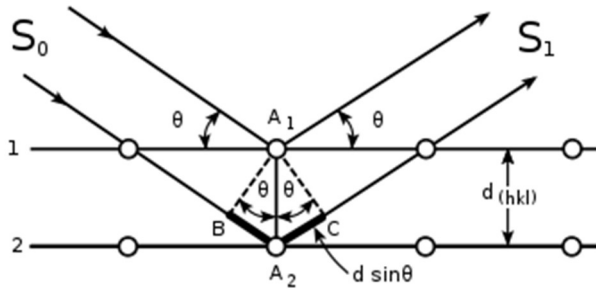


Рис. 3.5. Схема для виводу закону Брегга [268]

Відповідно до цієї схеми і відповідних припущень падаюча хвиля послідовно відбивається від кожного шару періодичної структури. При цьому інтенсивні піки розсіювання спостерігаються за умови, що розсіяна хвиля збігається по фазі з падаючою. Прийнято, що умова Вульфа-Брегга дозволяє визначити міжплощинні відстані d в кристалі, так як λ зазвичай відома, а кути θ вимірюються експериментально.

Проаналізуємо дані рентгенографічних досліджень сполук, що характерні для мінеральних в'язучих. Для аналізу залежності подвійних кутів рентгенівського відображення 2θ від електроповерхневого потенціалу $\psi_{\text{сп}}^0$ на РГ досліджуваних речовин були обрані дифракційні максимуми з найбільшою інтенсивністю.

Відповідно до рівняння (3.8) кут ковзання залежить від довжини хвилі випромінювання, тому розглядалися рентгенограми, отримані із застосуванням одного типу трубки – з мідним анодом.

У табл. 3.4 наведені значення абсолютного електроповерхневого потенціалу $\psi_{\text{сп}}^0$ [64], а також 2θ речовин, що характерні для мінеральних в'язучих [240].

Велика кількість молекул води, що знаходяться в кристалогідратах еtringіту і ГМСАК, утворюють комплексний диполь, дипольні молекули в якому односпрямовані, за аналогією з молекулами в тетрадрічному асоціаті води, рис. 3.6 [13, 64]. Це створює додатковий дипольний момент і додатковий електроповерхневий потенціал [272].

Рентгенографічні характеристики 2θ (по найбільш інтенсивному дифракційному максимуму) і абсолютні електроповерхневі потенціали $\psi_{\text{еп}}^0$ сполук, характерних для мінеральних в'язучих

Сполука		$2\theta, ^\circ$	$\psi_{\text{еп}}^0, \text{В}$
Вапно	CaO	47,8	1,38
Кварц	SiO_2	33,6	-0,55
Аліт	C_3S	40,4	0,74
Беліт	C_2S	40,38	0,55
Алюмінат	C_3A	41,63	0,9
Алюмоферит	C_4AF	39,7	0,74
НОГСК	CSH	36,87	0,29
ВОГСК	C_2SH	36,8	0,59
Портландит	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	43,22	1,24
Кальцит	CaCO_3	36,9	0,2
Ангідрит	CaSO_4	39,8	0,49
Гіпс-двугідрат	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	38	0,42
ГМСАК	$\text{C}_3\text{A} \times \text{CaSO}_4 \times 19\text{H}_2\text{O}$	12,6	0,65
Еtringіт	$\text{C}_3\text{A} \times 3\text{CaSO}_4 \times 32\text{H}_2\text{O}$	11,4	0,9

Величину додаткового електроповерхневого потенціалу визначимо за виразом [13, 63]:

$$\Delta\text{ЕПП} = \frac{\mu_{\text{В}} \cdot n_{\text{В}}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot b_{\text{В}}^2} \quad (3.9)$$

де $\mu_{\text{В}}$ – дипольний момент молекули води ($0,61 \cdot 10^{-30}$ Кл·м); $n_{\text{В}}$ – число молекул води в структурі (молекулі) речовини; $b_{\text{В}}$ – розмір молекули води (2,8 Å)

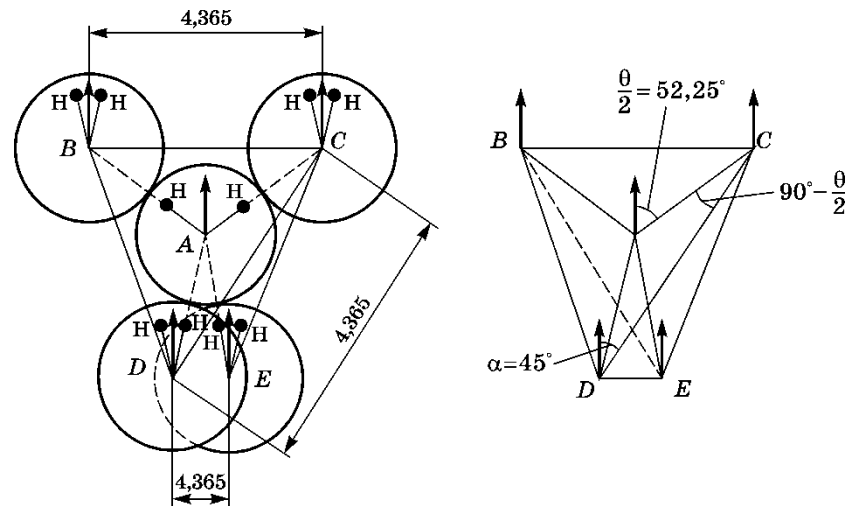


Рис. 3.6. Структура асоціату води

Підставимо відповідні дані:

$$\Delta\psi = \frac{0,61 \cdot 10^{-30} \cdot n_B}{1,11265 \cdot 10^{-10} \cdot 2,8^2 \cdot 10^{-20}} \left(\frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \text{В} \right) = \frac{0,61 \cdot 10^{-30}}{8,72 \cdot 10^{-30}} = 0,07 \cdot n_B(\text{В})$$

Для етрингіту:

$$\Delta\psi_{\mu.B} = 0,07 \cdot 31 = 2,17 (\text{В}),$$

відповідно, повний електроповерхневий потенціал – це сума розрахункового та додаткового:

$$\psi = \psi_{\text{розрах}} + \Delta\psi_{\mu.B}$$

Для етрингіту:

$$\psi = 0,9 + 2,17 = 3,07 (\text{В})$$

Коефіцієнт збільшення електроповерхневого потенціалу та його вплив на кут 2θ :

$$K_{\mu.B} = \frac{\psi}{\psi_{\text{розрах}}} \quad (3.10)$$

Для етрингіту:

$$K_{\mu.B} = \frac{3,07}{0,9} = 3,41$$

Для ГМСАК:

$$\Delta\psi_{\mu.B} = 0,07 \cdot 19 = 1,33 (\text{В}),$$

$$\psi = 0,65 + 1,33 = 1,98 (\text{В})$$

$$K_{\mu.B} = \frac{1,98}{0,65} = 3,05$$

Електроповерхневий потенціал при контакті з середовищем змінюється за рахунок специфічної адсорбції гідроксильних іонів OH^- або протонів H^+ .

Окремі речовини мають високу основність CaO/SiO_2 : CSH (II) - 2, ГМСАК - 3 і еtringіт - 3; окремі – низьку і навіть нульову основність: SiO_2 - 0, $CaSO_4$ - 1, C_2S - 2 і CaO - 0. Це призводить у високоосновних речовин до розташування атомів кисню нижче атомів Ca , а у низькоосновних, навпаки, вище. В результаті під впливом електроповерхневого потенціалу речовини атоми кисню поляризуються і створюють додатковий позитивний потенціал $\Delta\psi$ у низькоосновних речовин і негативний - у високоосновних, рис. 3.7.

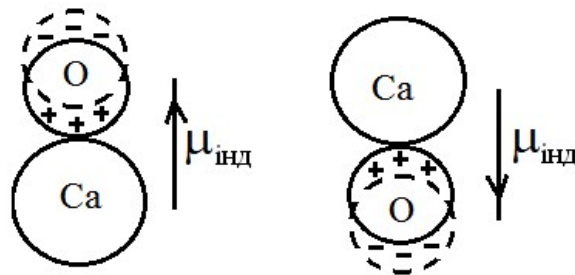


Рис. 3.7. Виникнення індукованого дипольного моменту для низькоосновних речовин (зліва) і високоосновних (справа)

Коефіцієнт впливу поляризації поверхневих атомів кисню визначимо наступним чином. Атом кисню набуває під впливом електроповерхневого потенціалу речовини індукований дипольний момент:

$$\mu_{\text{інд}} = E \cdot \alpha \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 = E \cdot r_o^3 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0, \quad (3.11)$$

де E – напруження електричного поля від ЕПП:

$$E = \frac{\psi}{\delta}, \quad (3.12)$$

де δ – розмір молекули, м.

$$\mu_{\text{інд}} = \frac{\psi \cdot r_o^3}{\delta} \quad (3.13)$$

$$\Delta\psi_{\text{пол}} = \frac{\mu_{\text{інд}}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot \delta^2} \quad (3.14)$$

Підставимо (3.13) в (3.14):

$$\Delta\psi_{\text{ПОЛ}} = \frac{\psi \cdot r_0^3 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot \delta^2 \cdot \delta} = \frac{\psi \cdot r_0^3}{\delta^3} \quad (3.15)$$

Приклад визначення $\Delta\psi$ для CaO .

$$\Delta\psi_{\text{ПОЛ}} = \frac{1,38 \cdot 0,6^3 \cdot 10^{-30}}{(1 + 0,6)^3 \cdot 10^{-10}} = 0,065 \text{ (В)}$$

Подібним чином визначені $\Delta\psi$ для решти речовин.

Коефіцієнт впливу $K_{\text{ПОЛ}}$ на електроповерхневий потенціал і подвійний кут низькоосновних речовин за рахунок виникнення додаткового позитивного $\Delta\psi$ менше 1, а високоосновних за рахунок виникнення негативного $\Delta\psi$ більше 1.

З урахуванням обох коефіцієнтів $K_{\mu, \nu}$ і $K_{\text{ПОЛ}}$ графік залежності подвійного кута 2θ на рентгенограмах від електроповерхневого потенціалу речовин має вигляд, рис. 3.8.

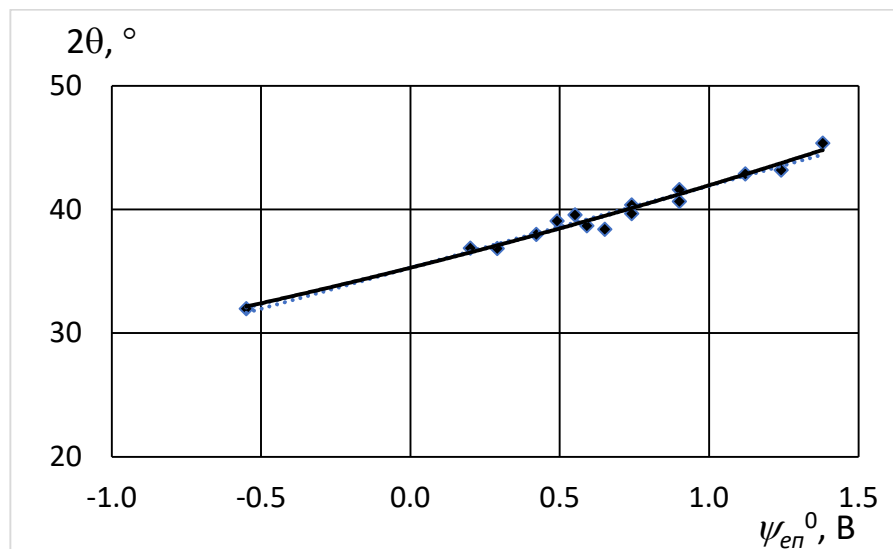


Рис. 3.8. Залежність подвійного кута на рентгенограмах від абсолютного електроповерхневого потенціалу речовини

На рис. 3.9 наведено графік залежності електроповерхневого потенціалу сполук, що характерні для мінеральних в'язучих, $\psi_{\text{еп}}^0$ від величини 2θ .

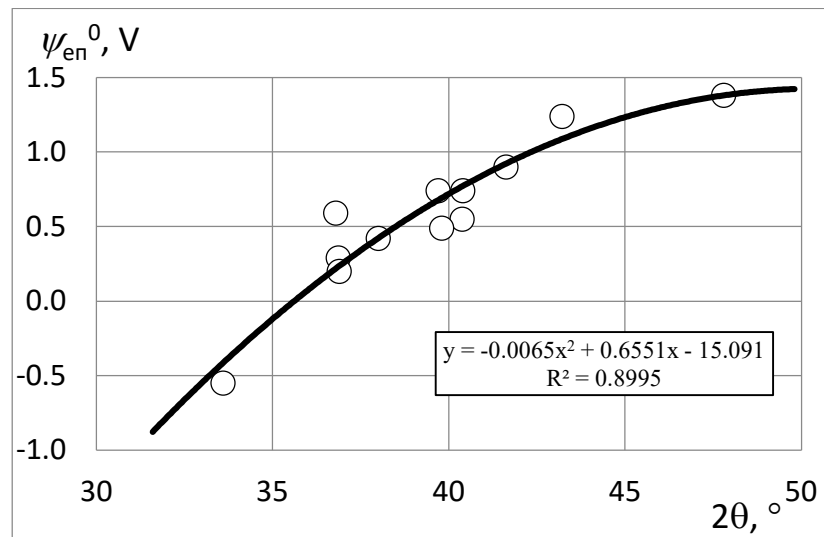


Рис. 3.9. Залежність абсолютного електроповерхневого потенціалу ψ_{ep}^0 сполук, що характерні для мінеральних в'язучих, від характеристики їх рентгенограм 2θ (по найбільш інтенсивному дифракційному максимуму).

Аналіз графіка, наведеного на рис. 3.9 показує високу ступінь кореляції між ψ_{ep}^0 і 2θ в інтервалі $2\theta = 30-50^\circ$. У цьому інтервалі є достатня кількість точок, і залежність в ньому апроксимується поліномом 2 ступеня з високим ступенем кореляції $R = 95\%$. Це дозволяє використовувати наведене на рис. 3.9 рівняння регресії - поліном 2-го ступеня для оцінки величини абсолютного електроповерхневих потенціалу з'єднань в інтервалі $2\theta = 30-50^\circ$. Інтервал $2\theta = 10-30^\circ$ вимагає додаткового аналізу.

Зазначений взаємозв'язок може бути пояснений тим, що для аналізованих систем найбільш інтенсивний дифракційний максимум може визначатись не тільки відбиттям рентгенівських променів кристалографічними площинами кристалів, а впливом на нього потенціалвизначальних іонів на поверхні кристалів, електричний заряд яких та відстані між ними і визначають величину ψ^0 .

3.2 Фактори, що впливають на електроповерхневі властивості речовин

3.2.1 Електроповерхневі потенціали кристалогідратів анізотричної форми

Аналіз кристалічної будови природніх і штучних мінералів, що мають шарувату структуру дозволив припустити [273, 274], що грані їх кристалів мають різний за величиною і знаком поверхневий заряд (рівноважний електроповерхневий потенціал). Під час визначення електроповерхневих потенціалів складних багатоелементних кристалічних речовин розрахунково-експериментальним методом має враховуватися стехіометричний склад не всієї сполуки, а її поверхні аж до різних граней кристалів, які можуть бути різнойменно зарядженими.

Для визначення величини поверхневого потенціалу кристалу гіпсу умовно використано атомарний склад поверхневого ряду атомів за схемою елементарної комірки гіпсу-двогідрату $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (рис. 3.10). Із схеми видно, що атоми сірки екрануються атомами кисню та містяться всередині тетраедрів SO_4 . На поверхню подовжніх граней виходять складові решітки, що містять тільки атоми кальцію та кисню у співвідношенні 2:2. Аналогічно на поверхню торцевих граней виходять складові решітки, що також містять тільки атоми кальцію та кисню, проте у кількісному співвідношенні 1:4. Абсолютний ψ^0 і рівноважний ψ^p електроповерхневі потенціали бічних граней складуть

$$\psi_{\text{бг}}^0 = -\frac{2\psi_{\text{Ca}}^0 + 2\psi_{\text{O}}^0}{2+2} = -\frac{-4,2 \cdot 2 + 2 \cdot 1,44}{4} = 1,39 \text{ В}, \quad (3.16)$$

$$\psi_{\text{бг}}^p = \psi_{\text{бг}}^0 - 0,059 \text{ рН} = 1,39 - 0,059 \cdot 7 = 0,98 \text{ В}, \quad (3.17)$$

а торцевих граней

$$\psi_{\text{тг}}^0 = -\frac{2\psi_{\text{Ca}}^0 + \psi_{\text{O}}^0}{1+4} = -\frac{-4,2 + 4 \cdot 1,44}{5} = -0,31 \text{ В}, \quad (3.18)$$

$$\psi_{\text{тг}}^p = \psi_{\text{тг}}^0 - 0,059 \text{ рН} = -0,31 - 0,059 \cdot 7 = -0,72 \text{ В}, \quad (3.19)$$

де ψ_{Ca}^0 і ψ_{O}^0 – абсолютні ЕПП кальцію та кисню, відповідно, $-4,20 \text{ В}$ і $1,44 \text{ В}$.

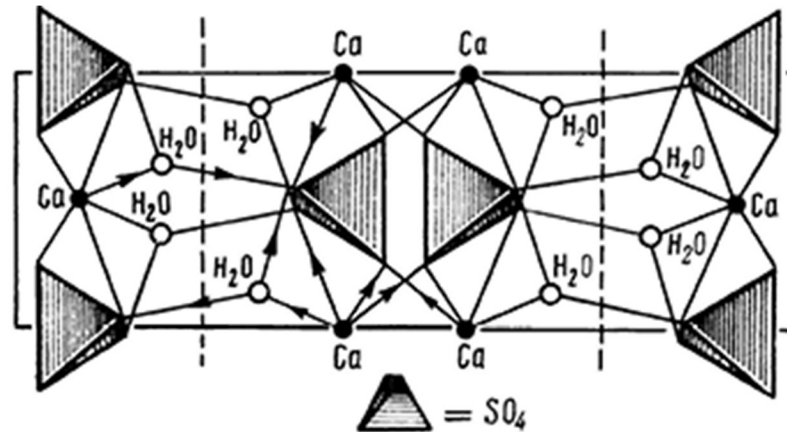


Рис. 3.10. Схема кристалічної будови гіпсу-двогідрату за А.Г. Бетехтіним [275]

На електронно-мікроскопічних знімках, рис. 3.11, видно кристали гіпсу, у яких утворюється міцний контакт між торцевою гранню одного кристалу та подовжньою іншого. Міцність таких контактів забезпечена електрогетерогенною взаємодією.

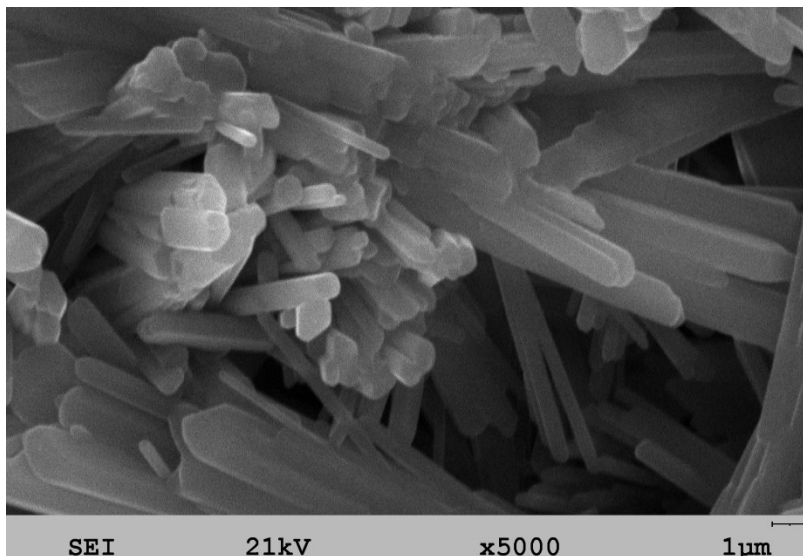


Рис. 3.11. Електронно-мікроскопічні знімки двоводного гіпсу, $\times 5000$

За даними електронно-мікроскопічних досліджень [17, 276] та теоретичних розрахунків рівноважного розміру блоків [273] розмір граней кристалічних новоутворень при гідратації напівводного гіпсу становить 12,5 мкм та 2,5 мкм, відповідно для подовжньої та торцевої грані. Враховуючи розмір та форму кристалів середній рівноважний електроповерхневий потенціал двоводного

гіпсу становить $\psi^P_{EP} = 0,729 \text{ В}$, що погоджується з експериментальними даними вимірювань ζ -потенціалу.

Згідно з [277] міцність гіпсового каменю обумовлена переважно електрогетерогенними контактами між однойменно зарядженими подовжніми гранями кристалів з одним загальним шаром проти іонів SO_4^{2-} . Ці контакти в процесі гідратації гіпсу ущільнюються до стану, в якому молекули води являють собою моношари, міцно зв'язані з поверхнями частинок гіпсу. Однак, у воді за рахунок розбавлення протиіонів осмотичним тиском води відбувається розущільнення електрогетерогенних контактів, рис. 3.12, що додатково з розчиненням визначає низьку водостійкість гіпсу. Для забезпечення водостійкості, збільшення міцності гіпсових в'язучих у [278] запропоновано до складу композиту на основі гіпсового в'язучого вводити дисперсні добавки з негативним поверхневим зарядом.

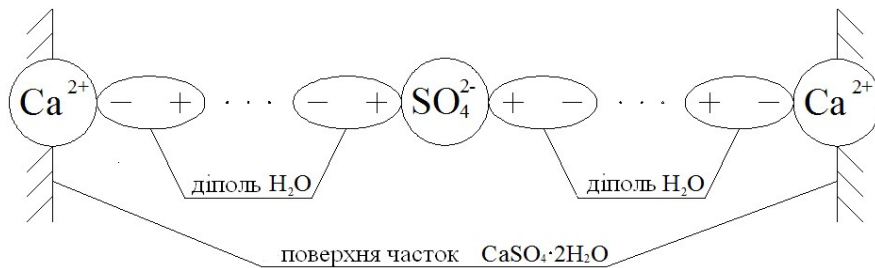


Рис. 3.12. Схема електрогетерогенного контакту між частками $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ [277]

У [179] наведено схеми, що ілюструють механізм впливу мінеральних наповнювачів і мікронаповнювачів на формування структури гіпсового каменю. Проте, введення мінеральних наповнювачів тільки з негативним поверхневим зарядом і формування структури, яка відповідає даним умовним схемам, не забезпечить достатньої водостійкості гіпсу. Водостійкість гіпсового композиту може бути підвищена за рахунок утворення в структурі електрогетерогенних контактів між частинками наповнювачів з негативним зарядом поверхні і повздовжніми гранями кристалів гіпсу, а також між частинками наповнювачів з позитивним зарядом поверхні і торцевими гранями. Ущільнення структури

при цьому досягається за рахунок використання наповнювачів різної дисперсності.

За аналогією із двоводним гіпсом, припускаємо, що *Aft*-фази продуктів гідратації портландцементу мають різні заряди поверхонь.

Структурна формула еtringіту, рис. 3.13, за роботою [33] має вигляд

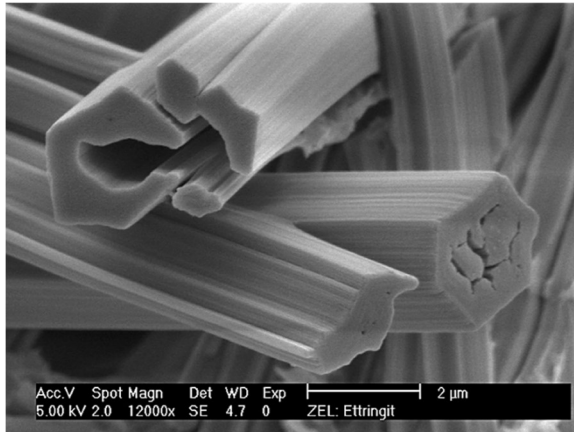


Рис. 3.13. Електронно-мікроскопічні знімки еtringіту - тонкі кристали, що утворюють голчасті утворення з гексагональним поперечним перерізом товщиною близько 2 мкм [279]

За роботами [64, 62], для еtringіту характерна голчаста гексагональна структура, утворена направленими паралельно осям голок стовпчиками, які складаються з елементів, яким відповідає емпірична формула $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$, рис. 3.14. Елемент кристалу, який відповідає умовній молекулі еtringіту, складається з комплексу $2[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$.

Між стовпчиками розташовуються канали, у яких міститься відповідна кількість аніонів SO_4^{2-} і решта молекул H_2O , рис. 3.15.

Отже, абсолютний ψ^0 і рівноважний (при $pH=12$ для цементного каменю) ψ^p ЕПП бічних граней еtringіту складуть:

$$\begin{aligned} \psi_{\text{гр}}^0 &= - \frac{3\psi_{Ca}^0 + \psi_{Al}^0 + 6(\psi_O^0 + \psi_H^0) + 12(2\psi_H^0 + \psi_O^0)}{3 + 1 + 6 + 12} = \\ &= - \frac{3 \cdot (-4,2) + (-2,99) + 6 \cdot (1,44 + (-1,2)) + 12 \cdot (2 \cdot (-1,2) + 1,44)}{22} = 1,17 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\psi_{\text{гр}}^p = \psi_{\text{гр}}^0 - 0,059pH = 1,17 - 0,059 \cdot 12 = 0,46 \text{ В} \quad (3.21)$$

а торцевих граней

$$\psi_{\text{ТГ}}^0 = -\frac{4\psi_{\text{Al}}^0 + 3(\psi_{\text{S}}^0 + 4\psi_{\text{O}}^0) + 2(2\psi_{\text{H}}^0 + \psi_{\text{O}}^0)}{4+3+2} =$$

$$= -\frac{3 \cdot (-2,99) + 3 \cdot (1,41 + 4 \cdot 1,44) + 2 \cdot (2 \cdot (-1,2) + 1,44)}{9} = -0,85 \text{ В} \quad (3.22)$$

$$\psi_{\text{ТГ}}^{\text{p}} = \psi_{\text{ТГ}}^0 - 0,059 \text{pH} = -0,85 - 0,059 \cdot 12 = -1,56 \text{ В} \quad (3.23)$$

Отже, величина абсолютного ЕПП ψ^0 бічних граней еtringіту складає 1,17 В, торцевих граней – (–0,85) В, величина рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^{p} за $\text{pH} = 12$ бічних граней – 0,46 В, торцевих граней – (–1,56) В.

Раніше не визначались величини електроповерхневих потенціалів продуктів гідратації портландцементу з добавками, що підвищують водонепроникність – сульфатами, карбонатами, хлоридами, нітратами, нітритами кальцію, натрію, калію. Цими продуктами є комплекси гідроалюмінатів кальцію з сульфатами, карбонатами, хлоридами, нітратами, нітритами кальцію – *Aft* і *AFm*-фази [172]. Визначимо електроповерхневі потенціали *Aft*-фаз за аналогією з визначенням електроповерхневих потенціалів еtringіту за роботою [64].

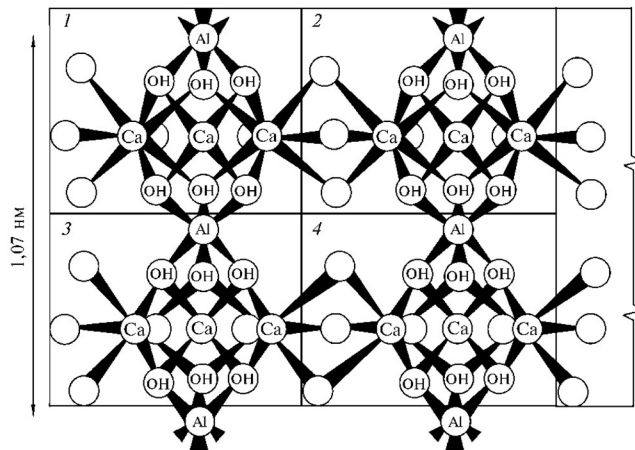


Рис. 3.14. Основні структурні одиниці, що складають поверхню кристалів *Aft*-фази (етрингіту, гідрокарбоалюмінат кальцію трикарбонатної форми)

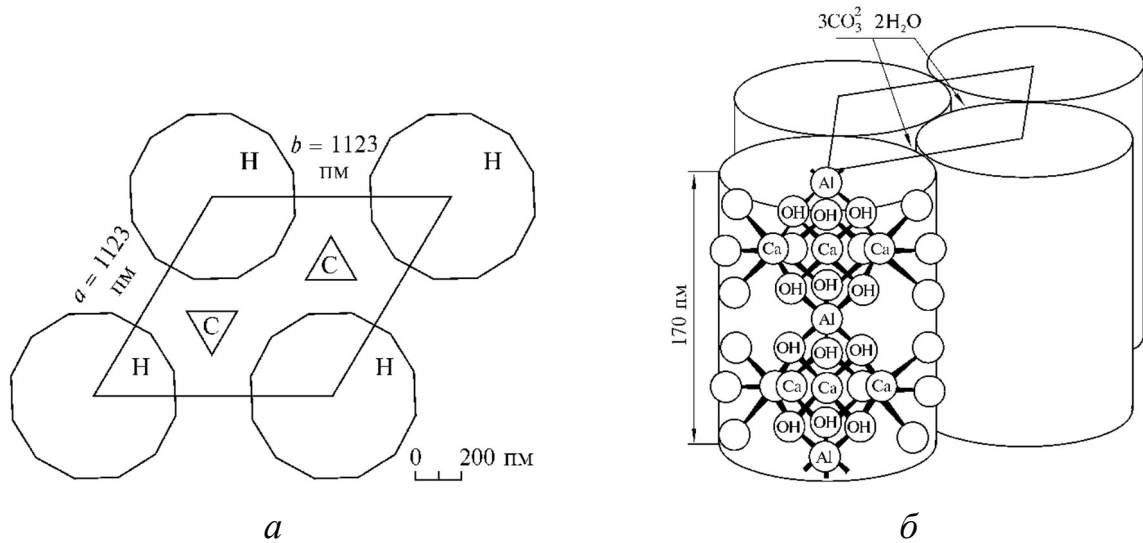
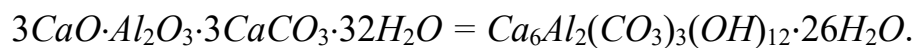


Рис. 3.15. Кристалічна структура кристалів *AFt*-фази (етрингіту, гідрокарбоалюмінат кальцію трикарбонатної форми) [64]: *a* – поліедри Н відповідають проекції вздовж осі призм стовпчиків емпіричної формули $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$, трикутники С – аніонам SO_4^{2-} або CO_3^{2-} і групам молекул H_2O у каналах; *б* – будова одного стовпчика

Гідрокарбоалюмінат кальцію трисульфатної форми має схожу кристалохімічну формулу з етрингітом [280]



Отже, можна припустити, що структура його кристалів також складається зі стовпчиків, елементами яких також є $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$, а аніони CO_3^{2-} і решта молекул H_2O містяться в каналах між стовпчиками (рис. 3.14, 3.15). Комплексним катіоном у такій структурі є $Ca_3[Al(OH)_6]^{3+}$, аніонами – CO_3^{2-} . Вся подовжня грань кристалів складається виключно з елементів $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$, а аніони CO_3^{2-} виходять на поверхню лише торцевих граней. Результати дослідження зведено у табл. 3.5.

Електроповерхневі властивості продуктів гідратації мінеральних в'язучих з анізометричними кристалами – гіпсу та *AFt*-фаз

Продукт гідратації		Характеристики подовжньої грані			Характеристики торцевої грані		
		Стехіометричний склад	$\psi^0, \text{В}$	$\psi^p, \text{В}$	Стехіометричний склад	$\psi^0, \text{В}$	$\psi^p, \text{В}$
Гіпс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ca_2O_2	1,39	0,98	CaO_4	-0,31	-0,72
Еtringіт	$\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_3\text{Al}(\text{OH})_6 \times 12\text{H}_2\text{O}$	1,17	0,46		-0,85	-1,56
Гідрокарбоалюмінат кальцію	$\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaCO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_3\text{Al}(\text{OH})_6 \times 12\text{H}_2\text{O}$	1,17	0,46		+0,50	-0,21

3.2.2 Вплив генезису на електроповерхневі властивості природних матеріалів

Природні кам'яні матеріали, як правило, зустрічаються не у вигляді чистих хімічних сполук, а у вигляді однофазових і багатофазових сумішей. Причиною цього може бути полікомпонентність середовища, а також нестабільність термодинамічних умов.

Вплив умов утворення на електроповерхневі властивості природних матеріалів досліджено на прикладі крейди. Крейда – мінеральна осадова порода, біогенного походження [281], що являє собою конгломерат, який складається із слабозцементованої, дрібнозернистої маси, що представлена тонким (2-5, рідше 10 мкм) органогенним (переважно кокколіти) і пелітоморфним кальцитом та уламками кристалічного кальциту, рис. 3.16.

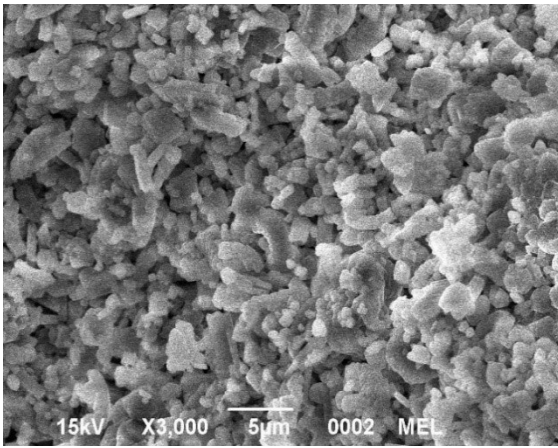


Рис. 3.16 Поверхня сколу природної крейди Слов'янського родовища, електронномікроскопічний знімок, $\times 3000$

За даними [282] цементація крейди обумовлена як конденсаційними, так і кристалізаційними зв'язками між зернами, що пояснюється наявністю змішаних структурних зв'язків.

Поверхневі властивості високодисперсної крейди відрізняються від властивостей інших карбонатних порід. Загальна питома поверхня крейди $S_{\text{пит}}=7300 \text{ см}^2/\text{г}$. За даними [282] поверхня органічних зерен крейди, що складають не менше 60 %, вкрита аморфною формою кремнезему, наявність якої призводить до перезарядження поверхні, рис. 3.17 [283, 284]. Це пояснює надлишковий негативний заряд крейди у водних дисперсіях – за даними [285] значення ζ -потенціалу – негативне, еквіпотенціальна крапка відповідає pH від 5 до 7.

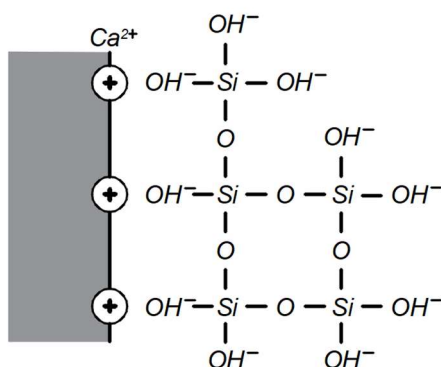


Рис. 3.17. Схема адсорбції кремнезему (кремнегелю) на поверхні карбонатних зерен крейди з їх перезарядженням

У разі використання природної крейди в якості мінеральної добавки необхідно враховувати залежність від pH форми знаходження кремнезему

поверхні. За даними розрахунку полів стійкості [171] при pH в межах 3-10 основною формою кремнекислоти в розчині є $H_4SiO_4^0_{aq}$ (рис 3.18), від pH 10 до pH 11,7 – іон $H_3SiO_4^-_{aq}$, а від pH 12,2 і вище – іони $HSiO_4^{3-}_{aq}$ і $SiO_4^{4-}_{aq}$ (рис. 3.19).

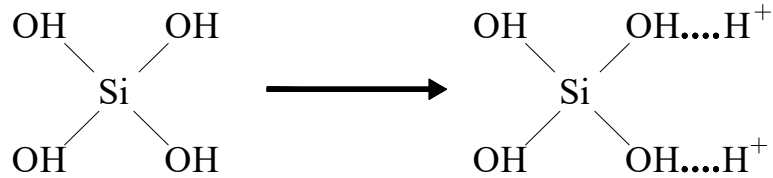


Рис. 3.18. Форма кремнезему в кислому середовищі – адсорбція іона H^+

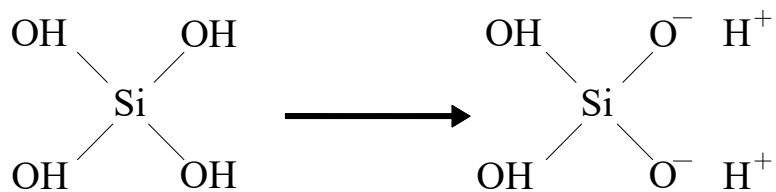


Рис. 3.19. Форма кремнезему у лужному середовищі – дисоціація

Це необхідно враховувати при аналізі реакцій розчинення клінкерних мінералів і утворення гідросилікатів кальцію як безпосередньо з них, так і з мінеральних кремнійвміщуючих добавок і гідроксиду кальцію, що утворюється при гідролізі трьохкальцієвого силікату.

Для вивільнення і початку взаємодії карбонатної складової крейди аморфна форма кремнезему повинна бути зв'язана у стійкі продукти. У цементному розчині лужне середовище, отже аморфна форма кремнезему вступає у взаємодію з гідроксидом кальцію з утворенням низькоосновних гідросилікатів.

Природні і техногенні термодинамічні процеси також суттєво впливають на структуру природних мінералів, особливо тонкодисперсних. Термодинамічні процеси являють собою будь-які зміни системи, що пов'язані із зміною хоча б одного термодинамічного параметру (тиск, температура, концентрація, щільність, об'єм). У природному середовищі прикладом прояву

термодинамічних процесів є процеси вивітрювання гірських порід, що супроводжуються зміною структури і складу вихідних мінералів.

У роботах [287-289] було досліджено зміну структури глиновміщуючих матеріалів після тривалої фільтрації через них води.

Характерною особливістю глиновміщуючих матеріалів є їх велика дисперсність і, в силу цього, значимість електроповерхневих властивостей і взаємодій. Крім того, на кінцеві властивості ґрунтових матеріалів суттєво впливають і особливості кристалічного будови глин. Всі дослідники відзначають, що в основі кристалічної структури глин лежить взаємне розташування і взаємодія октаедричних і тетраедричних елементів [290-292].

При продавлюванні рідини через пористу дисперсну систему виникає потенціал течії, що викликає перенесення речовини за електроміграційним і електрофоретичним механізмом за рахунок виносу протиіонів дифузійної частини подвійного електричного шару. Такі ж процеси відбуваються і в природних ґрунтах. При цьому під впливом електричного поля, що виникає при фільтрації води через ґрунтові масиви відбуваються зміни структури глинистих матеріалів.

Як показали попередні дослідження [293, 294], при фільтрації води по схилах відбувається накопичення позитивного заряду внизу насипу (аналог анода) і негативного – вгорі (аналог катода). Описана зміна мінерального складу вихідного матеріалу пояснюється тим, що гідрослюди під дією протоки води втрачають протиіони і перетворюються, в кінцевому рахунку, в каолінит або монтморилоніт, які ці іони накопичують. В роботах [294, 295] відмічено, що внизу насипу (у «анода») відбувається накопичення монтморилоніту, а всередині насипу – каолініту і кальциту. Таким чином, в процесі фільтрації води глиновмісні матеріали відчувають стадійні перетворення структури і хімічного складу залежно від зміни фізико-хімічних умов середовища. Пояснення змін, що відбуваються може бути дано на основі уявлень про латеральні сили відштовхування протиіонів на поверхні частинок [149].

Хоча у нейтральному середовищі всі глинисті мінерали мають негативний поверхневий потенціал, слід враховувати, що величина заряду може суттєво впливати на міцність електрогетерогенних контактів, що виникають у глинистих ґрунтах. Також слід враховувати, що при зниженні величини pH (взаємодія із кислими підземними водами), може призвести до зміни знаку заряду поверхні деяких глинистих мінералів на протилежний, що буде супроводжуватись виникненням у ґрунтах міцних електрогетерогенних контактів [296-297] Потенційно це дає можливість розробки методів закріплення ґрунтів за умови спрямованої зміни pH середовища.

3.3 Теоретичні основи формування структури композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих

3.3.1 Контактні взаємодії в композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих

Композити на основі мінеральних в'язучих є висококонцентрованими полідисперсними системами, що складаються з дисперсної фази у вигляді частинок заповнювача, в'язучого і продуктів гідратації, а також дисперсійного середовища у вигляді порового електроліту (води замішування). Всі частинки дисперсної фази в такій системі мають поверхневий заряд. Міцність системи на всіх стадіях твердіння є результатом взаємодій між поверхнями частинок, що контактують.

Властивості таких систем зумовлені дією сил, які виявляються у міжфазних взаємодіях та діють всередині кожної фази між атомами, іонами чи молекулами. Цими силами є міжмолекулярні взаємодії та хімічні зв'язки. За даними [63] властивості систем формуються наступними з них.

Міжмолекулярні взаємодії проявляються всередині рідини між її молекулами, а також на границі розподілу між рідиною з рідкою або твердою фазами у дисперсних системах.

Молекулярні, або Ван-дер-Ваальсові, сили – сили взаємодії між молекулами, що складаються з таких енергетичних ефектів (взаємодій):

- орієнтаційного (диполь-дипольного), що діє між полярними молекулами (води)

$$E_{d-d}^{kT} = E_{d-d} \cdot a = -2 \frac{\mu_1 \mu_2}{\epsilon r^3} \cdot \frac{\mu_1 \mu_2}{3r^3 kT} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = -\frac{2}{3} \cdot \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{\epsilon r^6 kT} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0}; \quad (3.24)$$

- індукційного (диполь-індукований диполь), що діє між полявною молекулою і поляризованою іншою молекулою

$$E_{d-id} = -\frac{(\mu_1^2 \alpha_2 + \mu_2^2 \alpha_1)}{\epsilon r^6} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0}; \quad (3.25)$$

- дисперсійного, що описаний Ф. Лондоном

$$E_L = -\frac{3h}{2} \cdot \alpha_1 \alpha_2 \cdot \frac{\nu_1 \nu_2}{\nu_1 + \nu_2} \cdot \frac{1}{r^6} = -\frac{3}{2} \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \alpha_1 \alpha_2 \cdot \frac{1}{r^6}, \quad (3.26)$$

У сумі означені ефекти дадуть енергію взаємодії між двома різними молекулами

$$E = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{kT} + \mu_1^2 \alpha_2 + \mu_2^2 \alpha_1 + \frac{3}{4} \cdot I \cdot \alpha_1 \alpha_2 \right], \quad (3.27)$$

де μ_1 і μ_2 – дипольні моменти двох видів молекул; α_1 , α_2 – їхні поляризуємості; ν_1 і ν_2 – їхні власні частоти; k – константа Больцмана; h – стала Планка; I – енергія (потенціал) іонізації молекули (атома); r – відстань між молекулами. Для однакових молекул рівняння приймає вигляд:

$$E = -\frac{1}{r^6} \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{\mu^4}{kT} + 2\mu^2 \alpha + \frac{3}{4} \cdot I \cdot \alpha^2 \right]. \quad (3.28)$$

У речовин з полярними молекулами інколи переважає енергія орієнтаційного ефекту, у речовин з гомеополярними молекулами – енергія дисперсійного ефекту.

Електростатичні сили – викликані наявністю на поверхні твердих дисперсних частинок потенціалвизначальних іонів і протиіонів у рідкій фазі і складаються з енергетичних ефектів:

- іон-іонного

$$E_{i-i} = -\frac{z_1 z_2 e^2}{\epsilon r_{i-i}} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0}; \quad (3.29)$$

- іон-дипольного

$$E_{i-d} = -\frac{z_1 e \mu}{\epsilon r_{i-d}^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0}; \quad (3.30)$$

- іон-індукований диполь, що виникає за рахунок поляризації молекул води під дією електростатичного поля потенціалвизначальних іонів

$$E_{i-id} = -N \cdot \mu_{ind} = -\frac{z_1 e}{\epsilon r_{i-i}^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{2} \alpha \frac{z_1 e}{r_{i-i}^2} = -\frac{z_1^2 \cdot e^2 \cdot \alpha}{2\epsilon r_{i-i}^4} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad (3.31)$$

де z_1, z_2 – валентності, відповідно, потенціалвизначального іона та протиіона; e – елементарний заряд (заряд електрону); ϵ, ϵ_0 – відносна діелектрична проникність середовища та діелектрична проникність вакууму (електрична стала); r_{i-i} – відстань між іонами; r_{i-d} – відстань між іоном і диполем води; $1/(4\pi\epsilon_0)$ – забезпечує переведення електричного потенціалу в систему СІ.

З урахуванням такої природи контактних взаємодій виникає необхідність критичного аналізу існуючих класифікацій структур і контактів у матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин.

П.О. Ребіндером, В.Д. Глуховським і Р.Ф. Руновою [43] запропоновані три типи просторових структур композиційних матеріалів: коагуляційні, конденсаційні та кристалізаційні. Розширимо цю класифікацію із урахуванням розроблених А.М. Плуґіним [13] основних положень колоїдно-хімічної теорії міцності цементного каменю і бетону. У табл. 3.6 наведено удосконалену класифікацію структур матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин, наведено схему контактів і типи взаємодій в контактах, що є визначальними при формуванні реологічних, фізико-механічних та гідрофізичних властивостей.

Коагуляційні (контактно-конденсаційні) структури характеризуються хаотичним розташуванням дисперсних частинок, які між собою не контактують і утворюють зв'язки через тонкий прошарок води за рахунок ван-дер-ваальсових сил. Контакти утворюються на початкових стадіях тужавлення мінеральних в'язучих, матеріали з такими типами контактів мають низьку міцність, тиксотропні, пластичні. До таких контактів належать:

- коагуляційні електрогетерогенні контакти (КГ1);
- коагуляційні електрогетерогенні контакти (КГ2).

У псевдоконденсаційних (контактно-конденсаційних) структурах частинки пов'язані між собою через точкові контакти, визначальними у формуванні міцності даних контактів є іон-іонні взаємодії. Матеріали з такою структурою мають певну міцність, пружність, пластичність, водостійкість. До таких контактів належать:

- локальні електрогетерогенні концентраційні контакти (Кн1) із спільним гідратованим протиіоном;
- локальні електрогетерогенні контакти (Кн2) з мономолекулярним шаром води;
- локальні електрогетерогенні контакти Кн3 зі спільним негідратованим протиіоном;
- локальні електрогетерогенні Кн4 безпосередньо між ПВІ.

У матеріалах з конденсаційно-кристалізаційною структурою частинки пов'язані між собою фазовими контактами зрощення або спікання. Матеріали з такою структурою мають високу міцність, але водночас крихкі. Контакти водостійкі зворотні, які переходять у незворотні або водостійкі незворотні. За даними В.Д. Глуховського та Р.Ф. Рунової у разі присутності нестабільної фази є зворотніми. Міцність таких контактів суттєво залежить від площі взаємодії фаз, що контактують, це контакти:

- електрогетерогенні концентраційні контакти (Ф1) із спільним шаром гідратованих протиіонів;
- електрогетерогенні контакти (Ф2) з мономолекулярним шаром води;

- електрогомогенні контакти (Ф3) із спільним шаром негідратованих протиіонів;
- електрогетерогенні контакти (Ф4) безпосередньо між ПВІ.

Як видно, енергію, та, відповідно, силу взаємодії в контактах визначають різні сполучення диполь-дипольних, іон-дипольних та іон-іонних взаємодій.

Як видно, енергію та відповідно силу взаємодії в контактах визначають різні сполучення диполь-дипольних, іон-дипольних та іон-іонних взаємодій. Для порівняння внеску контактів у формування міцності композита на основі мінеральних в'язучих розраховано енергії взаємодії для кожного виду контакту на прикладі цементного каменю.

Розрахунки виконаємо у відповідності зі схемами розташування іонів і молекул води на потенціалвизначальних іонах в адсорбційному шарі. Одиниці вимірів вихідних характеристик і кінцевих результатів відповідають міжнародній системі одиниць вимірів СІ.

Значення вихідних характеристик приймаємо за [298]:

$d_{H_2O} = 2,8 \cdot 10^{-10}$ м; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $\epsilon = 1$ (для вакууму); $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $r_{Ca} = 1 \cdot 10^{-10}$ м (1 Å); $r_{OH} = 1,53 \cdot 10^{-10}$ м (1,53 Å); $d_{H_2O} = 2,8 \cdot 10^{-10}$ м (2,8 Å); $I_{H_2O} = 1217$ кДж/моль; $I_{OH} = 1272$ кДж/моль;

За цими даними визначаємо відповідні відстані:

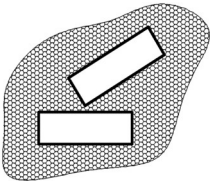
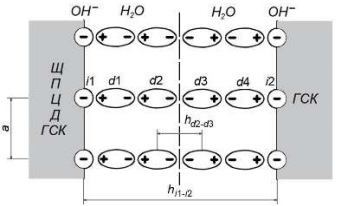
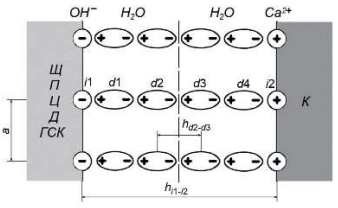
- між молекулами води $h = 2,8$ Å°;
- між іонами $h_{i-i} = r_{Ca} + d_{H_2O} + r_{OH} = 1 + 1,53 + 2,8 = 5,3$ Å°.
- між іоном і молекулою води $h_{i-d} = r_{Ca} + r_{H_2O} = 1 + 1,4 = 2,4$ Å°
- і $h_{d-i} = r_{H_2O} + r_{OH} = 1,53 + 1,4 = 2,93$ Å°.

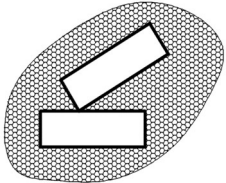
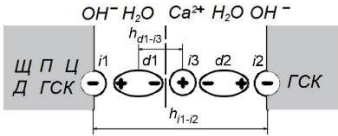
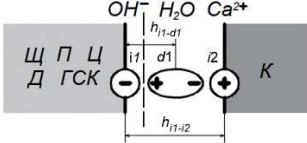
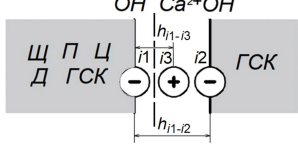
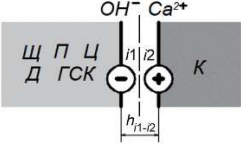
Енергія диполь-дипольної (орієнтаційної) взаємодії:

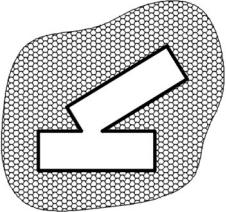
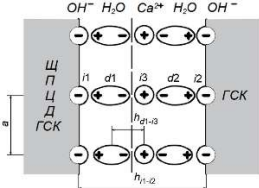
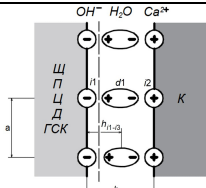
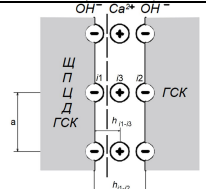
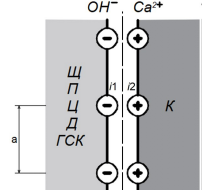
$$E_{d-d} = \frac{2\mu_1\mu_2}{\epsilon r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} = \frac{2 \cdot (6,1 \cdot 10^{-30})^2}{1 \cdot (2,8 \cdot 10^{-10})^3} \cdot \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^2}{\text{м}^3} \right) = 3,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

Таблиця 3.6

Класифікації структур і контактів, що визначають реологічні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин

Структури і контакти за П.О. Ребіндером (В.Д. Глуховським і Р.Ф. Руновою)	Контакти за удосконаленою класифікацією А.М. Плугіна		
	Позначення, назва і коротка характеристика контактів	Схема контакту	Тип взаємодії в контакті, який визначає реологічні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості
1	2	3	4
<p>Коагуляційні (контактно-конденсаційні) структури з контактами через плівки води</p> 	<p>Кг1 Коагуляційні електрогетерогенні контакти з надлишком води на початкових стадіях тужавлення</p>		<p>Диполь-дипольні взаємодії між антипоследовно орієнтованими диполями води визначають рідкоподібний стан з низькими в'язкістю та напруженням зсуву:</p> $E_i = -E_{i1-d3} - E_{i1-d4} - E_{i1-i2} - E_{d1-d3} - E_{d1-d4} - E_{d1-i2} - E_{d2-d3} - E_{d2-d4} - E_{d1-i2} = -3,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж};$ $E_s = \gamma E_{\text{п}}, \text{ Дж/м}^2$
<p>Контакти неводостійкі незворотні</p>	<p>Кг2 Коагуляційні електрогетерогенні контакти з надлишком води на початкових стадіях тужавлення</p>		<p>Диполь-дипольні взаємодії між последовно орієнтованими диполями води визначають рідкоподібний стан з високими в'язкістю та напруженням зсуву</p> $E_i = E_{i1-d3} + E_{i1-d4} + E_{i1-i2} + E_{d1-d3} + E_{d1-d4} + E_{d1-i2} + E_{d2-d3} + E_{d2-d4} + E_{d1-i2} = 3,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж};$ $E_s = \gamma E_{\text{п}}, \text{ Дж/м}^2$

1	2	3	4
<p>Псевдоконденсаційні (контактно-конденсаційні) структури з точковими контактами</p>  <p>Контакти водостійкі зворотні</p>	<p>Кн1 Локальні електрогетерогенні концентраційні контакти із спільним гідратованим протиіоном</p>		<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з помірною міцністю та низькою водостійкістю</p> $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-d2} - E_{i1-i2} + E_{d1-i3} + E_{d1-d2} - E_{d1-i2} = 30,48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$
	<p>Кн2 Локальні електрогетерогенні контакти з мономолекулярним шаром води</p>		<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з помірними міцністю та водостійкістю</p> $E_i = E_{i1-d1} + E_{i1-i2} = 96,72 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$
	<p>Кн3 Локальні електрогетерогенні контакти зі спільним негідратованим протиіоном</p>		<p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з помірними міцністю та водостійкістю</p> $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-i2} = 136,66 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$
	<p>Кн4 Локальні електрогетерогенні безпосередньо між ПВІ</p>		<p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з високою міцністю та помірною водостійкістю</p> $E_i = \gamma_1 E_{i1-i2} = 182,21 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$

1	2	3	4
<p>Конденсаційно-кристалізаційні структури з фазовими контактами</p>  <p>Контакти водостійкі зворотні, які переходять у незворотні або водостійкі незворотні</p>	<p>Ф1 Електрогетерогенні концентраційні контакти із спільним шаром гідратованих протиіонів</p>		<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з високою міцністю та низькою водостійкістю</p> $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-d2} - E_{i1-i2} + E_{d1-i3} + E_{d1-d2} - E_{d1-i2};$ $E_s = \gamma_1 E_{\text{пн}}; \gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1, 1/\text{м}^2$
	<p>Ф2 Електрогетерогенні контакти з мономолекулярним шаром води</p>		<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з високими міцністю та водостійкістю</p> $E_i = \gamma_2 (E_{i1-d1} + E_{i1-i2});$ $E_s = \gamma_1 E_{\text{пн}}; \gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1, 1/\text{м}^2$
	<p>Ф3 Електрогетерогенні контакти із спільним шаром негідратованих протиіонів</p>		<p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з високими міцністю та водостійкістю</p> $E_i = \gamma_2 (E_{i1-i3} - E_{i1-i2});$ $E_s = \gamma_1 E_{\text{пн}}; \gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1, 1/\text{м}^2$
	<p>Ф4 Електрогетерогенні контакти безпосередньо між ПВІ</p>		<p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з понадвисокою міцністю та високою водостійкістю</p> $E_i = \gamma_2 E_{i1-i2};$ $E_s = \gamma_1 E_{\text{пн}}; \gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1, 1/\text{м}^2$

Примітки: штриховою лінією показана умовна поверхня розриву, через яку здійснюються індивідуальні взаємодії в ланцюжках між ПВІ;

E_i – енергія індивідуальної взаємодії в ланцюжку між ПВІ, Дж;

$E_s \approx \gamma E_i$ – питома енергія взаємодії між поверхнями частинок, Дж/м²;

$\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ – поверхнева густина (на поверхнях частинок) індивідуальних контактів в ланцюжках між ПВІ, 1/м²

Енергія іон-іонної взаємодії:

$$E_{i-i} = \frac{z_1 z_2 \cdot e^2}{\epsilon r_{i-i}} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{2 \cdot 1 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{1 \cdot 5,33 \cdot 10^{-10}} \cdot \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{м}} \right) = 8,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Енергія іон-дипольної взаємодії між потенціалвизначальним іоном (катионом) Ca^{2+} і молекулою води:

$$E_{i-d} = \frac{z_1 e \mu}{\epsilon r_{i-d}^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,1 \cdot 10^{-30}}{1 \cdot (2,4 \cdot 10^{-10})^2} \cdot \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} \right) = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Енергія іон-дипольної взаємодії між протиіоном іоном (аніоном) OH^- і молекулою води:

$$E_{i-d} = \frac{z_2 e \mu}{\epsilon r_{i-d}^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,1 \cdot 10^{-30}}{1 \cdot (2,93 \cdot 10^{-10})^2} \cdot \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} \right) = 1,02 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Енергії взаємодії в контактах, які припадають на один ланцюжок між ПВІ, розраховані за рівняннями, наведеними у табл. 3.6 та рівняннями (3.24-3.31), наведені у табл. 3.6 та на діаграмі рис. 3.20.

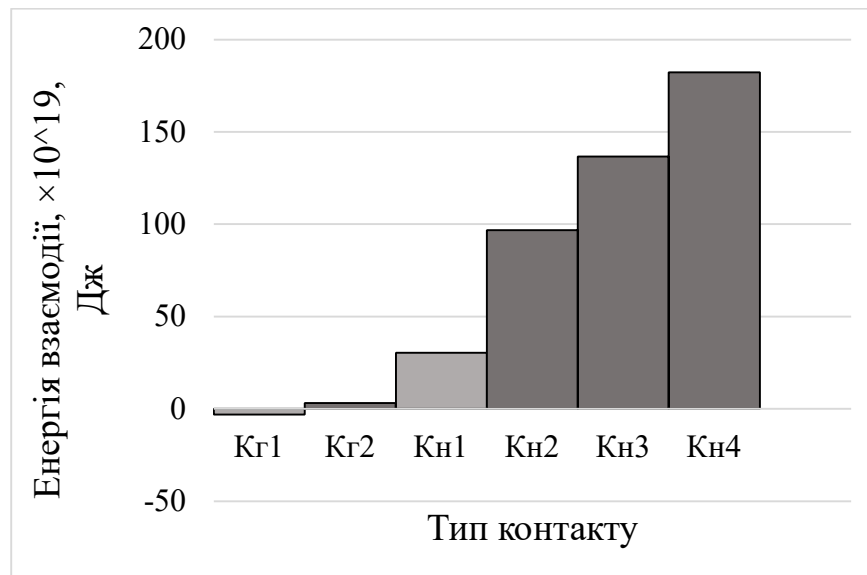


Рис. 3.20. Енергія індивідуальної взаємодії в ланцюжку між ПВІ контактах різного типу E , Дж × 10¹⁹

Як бачимо із рис. 3.20, енергія взаємодії зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів по мірі зростання внеску у сумарну енергію взаємодії іон-дипольних та, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома енергія взаємодії, що припадає на одиницю площі контакту, визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між ПВІ (через ланцюжки) γ та, у підсумку, ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу.

Отже, найбільші показники міцності і корозійної стійкості композиційних матеріалів досягаються за умови формування в системі найбільшої кількості конденсаційних електрогетерогенних контактів [288].

3.3.2 Баланс між сумарними площами поверхонь з різними за знаком електроповерхневими потенціалами та його регулювання

У [62, 64, 65, 299] доведено залежність міцності штучного каменю від масового співвідношення кількості позитивно заряджених кристалогідратних до кількості негативно заряджених гелевих продуктів гідратації. У роботі [52] проведено комплексну оцінку впливу дисперсності на поверхневу та пуцоланову активність цементуючих матеріалів та встановлено, що розподіл частинок за розміром має визначальне значення в процесі структуроутворення та набирання міцності цементу. Отже, для кількісної оцінки впливу складу мінеральних в'язучих, хімічних і мінеральних добавок на міцність штучного каменю необхідно встановити залежність між міцністю і співвідношенням різнойменно заряджених площ поверхонь в ньому.

За даними аналітичного огляду літературних джерел та власними експериментальними даними дослідимо залежність фізико-механічних та гідрофізичних (водостійкості) властивостей композитів від співвідношення активних площ поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневий заряд S^-/S^+ .

Для розрахунку використані дані [52, 101].

Оскільки поверхня більш крупних частинок кристалогідратів потенційно вся може брати участь в утворенні контактів, за активну її прийняли повністю. У частинок гелю в утворенні контактів потенційно беруть участь поверхні лише одного з трьох вимірів, тому для них прийнято знижувальний коефіцієнт 1/3. Результати досліджень узагальнені у табл. 3.7, 3.8 і рис. 3.21, 3.22.

Таблиця 3.7

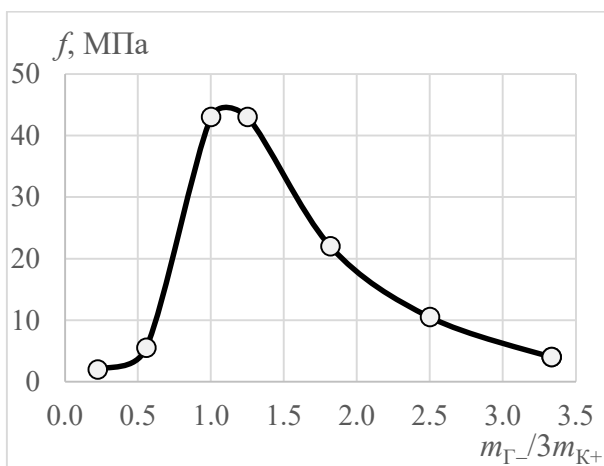
Залежність міцності на стиск f кальційсилікатних в'язучих речовин від масового співвідношення продуктів гідратації з негативним (гелевих) і позитивним (кристалічних) продуктів гідратації $m_{Г-}/m_{К+}$ та розрахункового співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядом

$$S^-/3S^+$$

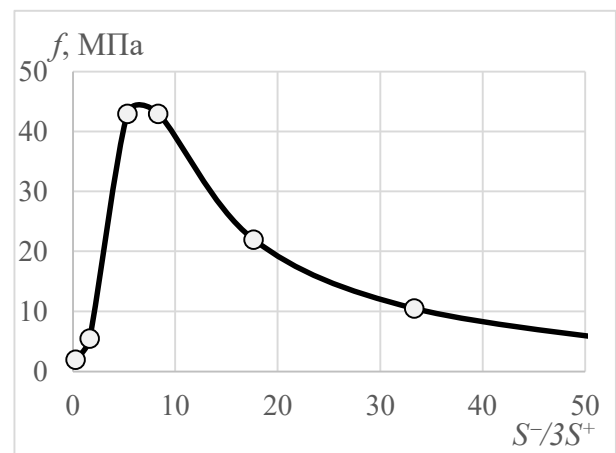
№	В'язуча речовина	$m_{Г-}/m_{К+}$	Питома поверхня, м ² /кг		$S^-/3S^+$	f , МПа
			$S_{К+}$	$S_{Г-}$		
1	Романцемент	3,33	10000	160000	59,3	4
2	C_2S	3,33			59,3	4
3	$0,25C_3S+0,75C_2S$	2,50			33,3	10,5
4	$0,5C_3S+0,5C_2S$	1,82			17,6	22
5	$0,75C_3S+0,25C_2S$	1,25			8,3	43
6	C_3S	1,00			5,3	43
7	Гідравлічне вапно	0,56			1,6	5,5
8	Вапно	0,22			0,3	2

Залежність міцності на стиск f і водостійкості (коефіцієнту розм'якшення) K_p силікатних в'язучих речовин від співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядом $S^-/3S^+$

№	В'язуча речовина	$m_{Г-}/m_{К+}$	$S^-/3S^+$	f , МПа	K_p
1	Рідке скло	$\gg 10$	$\gg 100$	> 1	0
2	Романцемент	3,33	53,5	4	0,6
3	Портландцемент	1,25	20,1	50	1
4	Гідравлічне вапно	0,56	8,92	5,5	0,4
7	Вапно	0,22	0	2	0



а



б

Рис. 3.21. Залежність міцності на стиск f кальційсилікатних в'язучих речовин (табл. 3.7): а – від масового співвідношення продуктів гідратації з негативним (гелевих) і позитивним (кристалічних) поверхневим зарядом $m_{Г-}/m_{К+}$; б – від співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядом $S^-/3S^+$

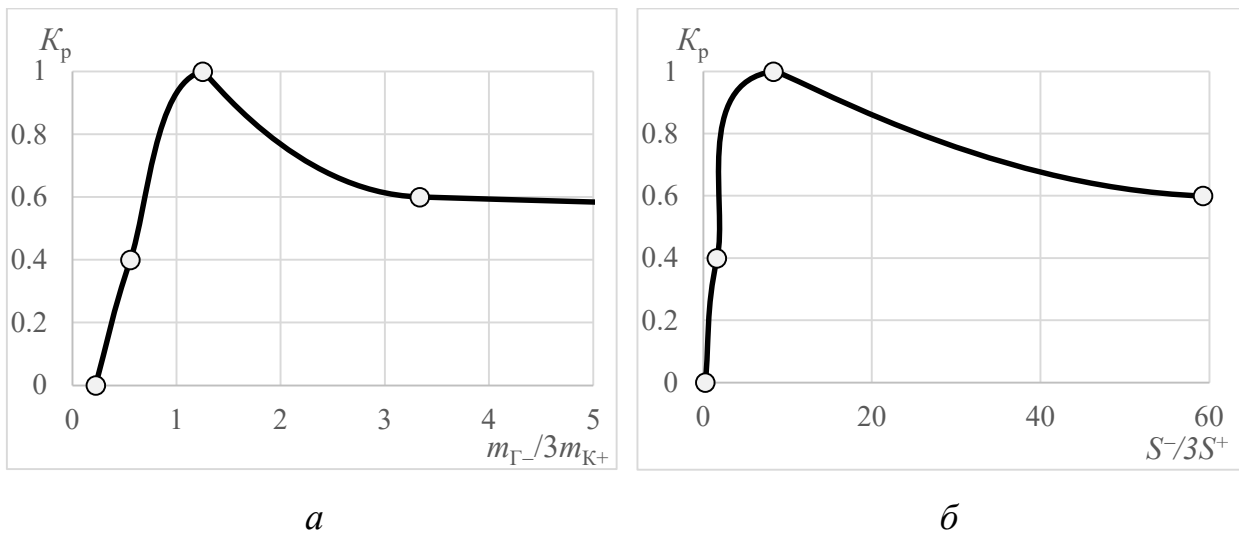


Рис. 3.22. Залежність водостійкості (коефіцієнту розм'якшення) K_p силікатних в'яжучих речовин (табл. 3.8): *а* – від масового співвідношення продуктів гідратації з негативним (гелевих) і позитивним (кристалічних) поверхневим зарядом $m_{Г-}/m_{К+}$; *б* – від співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядом $S^-/3S^+$

Аналіз рис. 3.21 і 3.22 показує, що максимальні показники фізико-механічних та гідрофізичних (водостійкості) властивостей штучного каменю на основі мінеральних в'яжучих досягаються у випадку балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди. Так, для кальційсилікатних в'яжучих ці показники досягаються за величин $S^-/3S^+$ що знаходяться в межах 5-10.

Отже, шляхом регулювання фізико-механічних та гідрофізичних властивостей штучного каменю на основі мінеральних в'яжучих є визначення потрібного балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, та його забезпечення. Кількість негативно заряджених гелевих і позитивно заряджених кристалогідратних продуктів регулюється уведенням хімічних та мінеральних добавок. Способом регулювання цього балансу є уведення добавок, що забезпечує синтез додаткових кристалогідратів із визначеними поверхневими властивостями.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

1. У процесі формування структури штучного каменю, що утворюється при гідратації мінеральних в'язучих, розчину і бетону значну роль відіграють електричні заряди поверхні частинок в'язучих, продуктів їх гідратації, наповнювача, зерен заповнювача.

2. Для забезпечення достовірності даних поверхневі заряди та електроповерхневі потенціали дисперсних матеріалів мають визначатись одночасно декількома незалежними методами. Окрім відомих розрахункового методу, методів вимірювання електрокінетичного ζ -потенціалу, методу сепарації частинок у високовольтному електричному полі пропонується визначати електроповерхневі потенціали методом вибіркової адсорбції колірних індикаторів на поверхневих активних центрах. Підґрунтям для цього є встановлений взаємозв'язок активних центрів з поверхневим зарядом дисперсного кремнезему, який з деякими припущеннями може бути розповсюджений і на інші характерні для композитів на основі мінеральних в'язучих сполуки – силікати, оксиди, гідроксиди.

3. Виконані дослідження показали, що для аналізованих систем найбільш інтенсивний дифракційний максимум може визначатись не тільки відбиттям рентгенівських променів кристалографічними площинами кристалів, а впливом на нього потенціалвизначальних іонів на поверхні кристалів, електричний заряд яких та відстані між ними і визначають величину ψ^0 . Кут відбиття рентгенівського випромінювання - 2θ визначається величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу і додаткових потенціалів від комплексного дипольного моменту односпрямованих диполів молекул води в кристалогідратах та індукованого дипольного моменту поверхневих атомів кисню. Це підтверджується квадратичною залежністю електроповерхневого потенціалу речовини від кута відбиття рентгенівського випромінювання.

4. Досліджено вплив кристалічної структури та умов утворення на поверхневі властивості мінералів. Встановлено, що кристалогідрати

анізотричної морфології можуть характеризуватись істотною відмінністю електроповерхневого потенціалу різних граней, аж до різнойменних значень. Розраховано електроповерхневі потенціали мінералів, що є продуктами гідратації мінеральних в'язучих, які мають анізотричну форму.

5. Вплив умов утворення на електроповерхневі властивості природних матеріалів досліджено на прикладі крейди. Наявність на поверхні кремнезему в аморфній формі призводить до перезарядки поверхні крейди. Форма знаходження кремнезему залежить від pH – при pH в межах 3-10 основною формою кремнекислоти в розчині є $H_4SiO_4^0_{aq}$, від pH 10 до pH 11,7 – іон $H_3SiO_4^-_{aq}$, а від pH 12,2 і вище – іони $HSiO_4^{3-}_{aq}$ і $SiO_4^{4-}_{aq}$. Це необхідно враховувати у разі використання природної крейди в якості мінеральної добавки.

6. Композити на основі мінеральних в'язучих є висококонцентрованими полідисперсними системами, що складаються з дисперсної фази у вигляді частинок заповнювача, в'язучого і продуктів гідратації, а також дисперсійного середовища у вигляді порового електроліту (води замішування). Міцність системи на всіх стадіях твердіння є результатом взаємодій між поверхнями частинок, що контактують. Властивості таких систем зумовлені дією сил, які виявляються у міжфазних взаємодіях та діють всередині кожної фази між атомами, іонами чи молекулами. Цими силами є міжмолекулярні взаємодії та хімічні зв'язки.

7. Розвинуто основні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їх основі, зокрема, удосконалено класифікації структур і контактів у матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин. На прикладі цементного каменю розраховано енергії взаємодії для кожного виду контакту. Для порівняння внеску контактів у формування міцності композиту на основі мінеральних в'язучих розраховані енергії взаємодії в контактах, які припадають на один ланцюжок між потенціалвизначальними іонами. Енергія взаємодії зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів по мірі зростання внеску у сумарну енергію взаємодії іон-дипольних та, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома

енергія взаємодії, що припадає на одиницю площі контакту, визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між потенціалвизначальними іонами (через ланцюжки) γ та, у підсумку, ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу.

8. Встановлено, що міцність штучного каменю залежить від співвідношення різнойменно заряджених площ поверхонь в ньому. Регулювання фізико-механічних та гідрофізичних властивостей штучного каменю на основі мінеральних в'язучих можливе за умови визначення потрібного балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, та його забезпечення.

РОЗДІЛ 4

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ РЕГУЛЮВАННЯ КОНТАКТНИХ ВЗАЄМОДІЙ В КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

4.1 Вплив хімічних добавок на продукти гідратації мінеральних в'язучих

Керування властивостями композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих здійснюють уведенням хімічних і мінеральних добавок.

Хімічні добавки у вигляді розчинних у воді сполук дозволяють керувати структурою композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом синтезу додаткових кристалогідратів з визначеними морфологічними та електроповерхневими характеристиками.

Підвищення міцності та водонепроникності штучного каменю забезпечується збільшенням його щільності за рахунок синтезу додаткової кількості водостійких продуктів гідратації [65]. У цементних системах такими продуктами гідратації в першу чергу можуть бути гідрати подвійних солей – гідросульфо-, гідрохлор-, гідронітро-, гідрокарбоалюмінати кальцію, які за рахунок хімічного зв'язування значної кількості води призводять до істотного збільшення сумарного об'єму твердої фази.

Крім збільшення об'єму твердої фази ці сполуки, маючи позитивний знак поверхневого заряду, утворюють міцні та водостійкі електрогетерогенні контакти зі всіма частинками і поверхнями, що мають негативний знак заряду – гранітом, кварцом, гідросилікатами кальцію тощо, отже, стінками пор і капілярів.

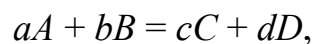
4.1.1 Термодинаміка процесів гідратації

Імовірні реакції в системі мінеральні вяжучі – солі-електроліти, продуктами яких можуть бути кристалічні фази, які збільшують сумарний об'єм твердої фази за рахунок хімічного зв'язування значної кількості води, та/або характеризуються позитивним знаком поверхневого заряду, наведені в табл. 4.1. Серед імовірних реакцій – реакції гідратації трьохкальцієвого алюмінату в присутності добавок солей-електролітів та мінеральних добавок з утворенням гідросульфо-, гідрокарбо-, гідрохлор-, гідронітро-, гідронітриалюмінатів кальцію – *AFm* та *AFt*-фаз [280, 284, 302, 303], а також реакції, що за припущенням [304] можуть призводити до утворення кальциту (25, 26).

Для гіпсового в'язучого в присутності мінеральних добавок мікрокремнезему, глинозему, доменного гранульованого шлаку є вірогідність реакцій з утворенням гідросилікатів та гідросульфоалюмінатів кальцію (28-34).

Можливість протікання хімічних реакцій, наведених у табл. 4.1, визначається величиною їх вільної енергії Гіббса.

Вільна енергія Гіббса реакцій виду



де A, B, C, D – речовини, що беруть участь в реакції (іони), a, b, c, d – їх стехіометричні коефіцієнти, за [12] дорівнює:

$$\Delta G = c\Delta G_C + d\Delta G_D - (a\Delta G_A + b\Delta G_B), \quad (4.1)$$

де $\Delta G_A, \Delta G_B, \Delta G_C, \Delta G_D$ – вільна енергія Гіббса утворення речовин (іонів) A, B, C, D з елементів (табл. 4.2).

Таблиця 4.1

Можливі реакції в системі мінерали в'язучих речовин – солі-електроліти, продуктами яких можуть бути кристалічні фази, та їх вільна енергія Гіббса ΔG

№	Реакції:	ΔG , кДж моль
1	2	3
гідратація C_3A в присутності кальцієвих солей з утворенням AFm -фаз:		
1	$C_3A + CaSO_4 \cdot 2H_2O + 10H_2O = C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$	-225,5
2	$C_3A + 0,5CaCO_3 + 12H_2O = C_3A \cdot 0,5CaCO_3 \cdot 12H_2O$	-542,7
3	$C_3A + CaCO_3 + 11H_2O = C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$	-216,8
4	$C_3A + CaCl_2 + 10H_2O = C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$	-307,1
5	$C_3A + Ca(NO_3)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$	-280,2
6	$C_3A + (Ca^{2+} + 2NO_2^-)^* + 10H_2O = C_3A \cdot Ca(NO_2)_2 \cdot 10H_2O$	-224,68
гідратація C_3A в присутності кальцієвих солей з утворенням Aft -фаз:		
7	$C_3A + 3CaSO_4 \cdot 2H_2O + 26H_2O = C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$	-260,3
8	$C_3A + 3CaCO_3 + 32H_2O = C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$	-206,44
гідратація C_3A в присутності солей лужних металів з утворенням AFm -фаз:		
9	$C_3A + Na_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 12H_2O = C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	-221,8
10	$C_3A + K_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 12H_2O = C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O + 2K^+ + 2OH^-$	-216,7
11	$C_3A + 0,5Na_2CO_3 + 0,5Ca(OH)_2 + 12H_2O = C_3A \cdot 0,5CaCO_3 \cdot 12H_2O + Na^+ + OH^-$	-313,95
12	$C_3A + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 + 11H_2O = C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	-237,8
13	$C_3A + K_2CO_3 + 0,5Ca(OH)_2 + 12H_2O = C_3A \cdot 0,5CaCO_3 \cdot 12H_2O + 2K^+ + 2OH^-$	-473,87
14	$C_3A + K_2CO_3 + Ca(OH)_2 + 11H_2O = C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	-264,07
15	$C_3A + 2NaCl + Ca(OH)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	-229,64
16	$C_3A + 2KCl + Ca(OH)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O + 2K^+ + 2OH^-$	-221,48
17	$C_3A + 2NaNO_3 + Ca(OH)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	-204,62
18	$C_3A + 2KNO_3 + Ca(OH)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O + 2K^+ + 2OH^-$	-221,14
19	$C_3A + 2NO_2^* + Ca(OH)_2 + 10H_2O = C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O + 2OH^-$	-195,08

Закінчення табл. 4.1

1	2	3
гідратації C_3A в присутності солей лужних металів з утворенням AFt-фаз:		
20	$C_3A + 3Na_2SO_4 + 3Ca(OH)_2 + 32H_2O = C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O + 6Na^+ + 6OH^-$	-249,2
21	$C_3A + 3K_2SO_4 + 3Ca(OH)_2 + 32H_2O = C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O + 6K^+ + 6OH^-$	-233,9
22	$C_3A + 3Na_2CO_3 + 3Ca(OH)_2 + 32H_2O = C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O + 6Na^+ + 6OH^-$	-274,9
23	$C_3A + 3K_2CO_3 + 3Ca(OH)_2 + 32H_2O = C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O + 6K^+ + 6OH^-$	-349,42
взаємодії гашеного вапна з солями лужних металів:		
24	$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2Na^+ + 2OH^-$	4,6
25	$Ca(OH)_2 + K_2SO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2K^+ + 2OH^-$	9,7
26	$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2Na^+ + 2OH^-$	-22,5
27	$Ca(OH)_2 + K_2CO_3 = CaCO_3 + 2K^+ + 2OH^-$	-47,27
взаємодії гіпсу з мінеральними добавками		
28	$5(CaSO_4 \cdot 0,5H_2O) + 6SiO_2 + 3H_2O = 5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5,5H_2O + 5SO_3^{2-}$	161,14
29	$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O + Al_2O_3 + 9,5H_2O = CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O + SO_3^{2-}$	40,14
30	$3(CaSO_4 \cdot 0,5H_2O) + Al_2O_3 + 4,5H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3SO_3^{2-}$	116,22
31	$4(CaSO_4 \cdot 0,5H_2O) + Al_2O_3 + 10H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O + 3SO_3^{2-}$	110,67
32	$6(CaSO_4 \cdot 0,5H_2O) + Al_2O_3 + 29H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O + 3SO_3^{2-}$	90,42
33	$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O + Al_2O_3 + 3CaO + 11,5H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$	-52,43
34	$3(CaSO_4 \cdot 0,5H_2O) + Al_2O_3 + 3CaO + 30,5H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$	150,03

*Довідкових даних про величину ΔG нітритів кальцію, натрію і калію не виявлено

Мінерали в'язучих речовин, добавки-електроліти та вільна енергія Гіббса
їх утворення із елементів

Сполука		ΔG , кДж/моль	Джерело
Найменування	Формула		
1	2	3	4
Мінерали в'язучих речовин			
Трьохкальцієвий алюмінат	C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$)	-3382,3	[301]
Гіпс-півгідрат	$CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	-343,41	«
Гіпс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	-1797,8	«
Вапно	CaO	-144,4	«
Хімічні добавки-електроліти, мінеральні добавки			
Сульфат натрію	$Na_2SO_4 - \alpha$	-1269,5	[300]
Сульфат натрію десятиводний	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	-3644,09	«
Сульфат калію	$K_2SO_4 - \alpha$	-1316,04	«
Карбонат натрію	$Na_2CO_3 - \alpha$	-1048,2	«
Карбонат натрію десятиводний	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	-3644,09	«
Карбонат калію	K_2CO_3	-1064,87	«
Хлорид кальцію	$CaCl_2$	-749,34	«
Хлорид натрію	$NaCl$	-384,13	«
Хлорид калію	KCl	-408,93	«
Нітрат кальцію	$Ca(NO_3)_2$	-743,49	«
Нітрат натрію	$NaNO_3 - \alpha$	-380,29	«
Нітрат калію	$KNO_3 - \alpha$	-392,75	«
Портландит (гашене вапно)	$Ca(OH)_2$	-897,0	[301]
Кальцит	$CaCO_3$	-1129,2	«
Аморфний кремнезем	SiO_2 (аморф.)	-848,9	«
Кремнезем (скло)	SiO_2	-202,83	«
Глинозем	Al_2O_3	-378,2	«
Поровий електроліт			
Вода	H_2O	-237,2	[300, 301]
Катіон кальцію	Ca^{2+}	-552,7	«

Закінчення табл. 4.2

1	2	3	4
Катіон натрію	Na^+	-261,9	[300, 301]
Катіон калію	K^+	-282,62	«
Сульфат-іон	SO_4^{2-}	-741,99	«
Сульфит-іон	SO_3^{2-}	-116,3	
Карбонат-іон	CO_3^{2-}	-527,6	«
Нітрат-іон	NO_3^-	-111,49	«
Нітрит-іон	NO_2^-	-37,16	«
Хлорид-іон	Cl^-	-131,29	«
Продукти гідратації			
Гідромоносульфоалюмінат кальцію	$C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ або $Ca_4Al_2(OH)_{12}(SO_4) \cdot 6H_2O$	-7778,5	[301]
Гідрокарбоалюмінат кальцію напівкарбонатної форми	$C_3A \cdot 0,5CaCO_3 \cdot 12H_2O$ або $Ca_4Al_2(CO_3)0,5(OH)_{13} \cdot 5,5H_2O$	-7336,0	[302]
Гідромонокарбоалюмінат кальцію	$C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ або $Ca_4Al_2(OH)_{12}(CO_3) \cdot 5H_2O$	-7337,5	[301]
Гідрохлоралюмінат кальцію (сіль Фриделя)	$C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ або $Ca_4Al_2(OH)_{12}Cl_2 \cdot 4H_2O$	-6810,7	[302]
Гідронітроалюмінат кальцію	$C_3A \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$ або $Ca_4Al_2(OH)_{12}(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	-6778,0	[303]
Гідронітриалюмінат кальцію	$C_3A \cdot Ca(NO_2)_2 \cdot 10H_2O$ або $Ca_4Al_2(OH)_{12}(NO_2)_2 \cdot 4H_2O$	-6606,0	[303]
Гідротрисульфалюмінат кальцію (етрингіт)	$C_3A \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ або $Ca_6Al_2(OH)_{12}(SO_4)_3 \cdot 26H_2O$	-15205,9	[301]
Гідротрикарбоалюмінат кальцію (карбонатний етрингіт)	$C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$ або $Ca_6Al_2(OH)_{12}(CO_3)_3 \cdot 26H_2O$	-14567,7	«
Гідросилікат кальцію (тоберморит)	$5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5,5H_2O$	-2361,45	[300, 301]
Гідроалюмінат кальцію САН10	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O$	-1103,7	«
Гідроалюмінат кальцію СЗАН6	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	-1198,4	«
Інші речовини, що беруть участь у процесах твердіння			
Вуглекислий газ	CO_2	-394,37	[300]
Гіббсит	$Al(OH)_3$	-1151,0	[301]

Вільна енергія Гіббса реакцій, наведених у табл. 4.1, складає:

- 1) $\Delta G = -7778,5 - (-3382,3) - (-1797,8) - 10 \times (-237,2) = -226,4$ кДж/моль;
- 2) $\Delta G = -7336 - (-3382,3) - 0,5 \times (-1129,2) - 12 \times (-237,2) = -542,7$ кДж/моль;
- 3) $\Delta G = -7337,5 - (-3382,3) - (-1129,2) - 11 \times (-237,2) = -216,8$ кДж/моль;
- 4) $\Delta G = -6810,7 - (-3382,3) - (-749,34) - 10 \times (-237,2) = -307,1$ кДж/моль;
- 5) $\Delta G = -6778,0 - (-3382,3) - (-743,49) - 10 \times (-237,2) = -280,2$ кДж/моль;
- 6) $\Delta G = -6778,0 - (-3382,3) - (-743,49) - 10 \times (-237,2) = -224,68$ кДж/моль;
- 7) $\Delta G = -15205,9 - (-3382,3) - 3 \times (-1798,7) - 26 \times (-237,2) = -260,3$ кДж/моль;
- 8) $\Delta G = -14567,7 - (-3382,3) - 3 \times (-1129,2) - 32 \times (-237,2) = -206,44$ кДж/моль;
- 9) $\Delta G = -7778,5 + 2 \cdot (-261,9) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - (-1269,5) - (-897) - 12 \cdot (-237,2) = -221,8$ кДж/моль;
- 10) $\Delta G = -7778,5 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - (-1316,04) - (-897) - 12 \cdot (-237,2) = -216,7$ кДж/моль;
- 11) $\Delta G = -7336 + (-261,9) + (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 0,5 \cdot (-1048,2) - 0,5 \cdot (-897) - 12 \cdot (-237,2) = -313,95$ кДж/моль;
- 12) $\Delta G = -7336 + (-261,9) + (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - (-1048,2) - (-897) - 11 \cdot (-237,2) = -313,95$ кДж/моль;
- 13) $\Delta G = -7336 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - (-1064,87) - 0,5 \cdot (-897) - 12 \cdot (-237,2) = -473,87$ кДж/моль;
- 14) $\Delta G = -7337,5 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - (-1064,87) - (-897) - 11 \cdot (-237,2) = -264,07$ кДж/моль;
- 15) $\Delta G = -6810,7 + 2 \cdot (-261,9) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 2 \cdot (-384,13) - (-897) - 10 \cdot (-237,2) = -229,64$ кДж/моль;
- 16) $\Delta G = -6810,7 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 2 \cdot (-408,93) - (-897) - 10 \cdot (-237,2) = -221,48$ кДж/моль;
- 17) $\Delta G = -6778 + 2 \cdot (-261,9) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 2 \cdot (-380,29) - (-897) - 10 \cdot (-237,2) = -204,62$ кДж/моль;

- 18) $\Delta G = -6778 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 2 \cdot (-392,75) - (-897) - 10 \cdot (-237,2) = -221,14 \text{ кДж/моль};$
- 19) $\Delta G = -6606 + 2 \cdot (-157,35) - (-3382,3) - 2 \cdot (-37,16) - (-897) - 10 \cdot (-237,2) =$
 $= -195,08 \text{ кДж/моль};$
- 20) $\Delta G = -15205,9 + 6 \cdot (-261,9) + 6 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 3 \cdot (-1269,5) - 3 \cdot (-897) - 32 \cdot (-237,2) = -249,2 \text{ кДж/моль};$
- 21) $\Delta G = -15205,9 + 6 \cdot (-282,62) + 6 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 3 \cdot (-1316,04) - 3 \cdot (-897) - 32 \cdot (-237,2) = -233,9 \text{ кДж/моль};$
- 22) $\Delta G = -14567,7 + 6 \cdot (-261,9) + 6 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 3 \cdot (-1048,2) - 3 \cdot (-897) - 32 \cdot (-237,2) = -274,9 \text{ кДж/моль};$
- 23) $\Delta G = -14567,7 + 6 \cdot (-282,62) + 6 \cdot (-157,35) -$
 $- (-3382,3) - 3 \cdot (-1064,8) - 3 \cdot (-897) - 32 \cdot (-237,2) = -349,42 \text{ кДж/моль};$
- 24) $\Delta G = -1797,8 + 2 \cdot (-261,9) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-897,0) - (-1269,5) - 2 \cdot (-237,2) = 4,6 \text{ кДж/моль};$
- 25) $\Delta G = -1797,8 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-897,0) - (-1316,04) - 2 \cdot (-237,2) = 9,7 \text{ кДж/моль};$
- 26) $\Delta G = -1129,2 + 2 \cdot (-261,9) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-897) - (-1048,2) = -22,5 \text{ кДж/моль};$
- 27) $\Delta G = -1129,2 + 2 \cdot (-282,62) + 2 \cdot (-157,35) -$
 $- (-897) - (-1064,87) = -22,5 \text{ кДж/моль}.$
- 28) $\Delta G = -2361,45 + 5 \cdot (-116,3) - 5 \cdot (-343,41) -$
 $- 6 \cdot (-202,83) - 3 \cdot (-56,687) = 161,14 \text{ кДж/моль}.$
- 29) $\Delta G = -1103,7 + (-116,3) - (-343,41) -$
 $- (-378,2) - 9,5 \cdot (-56,687) = 40,14 \text{ кДж/моль}.$
- 30) $\Delta G = -1198,4 + 3 \cdot (-116,3) - 3 \cdot (-343,41) -$
 $- (-378,2) - 4,5 \cdot (-56,687) = 116,22 \text{ кДж/моль}.$
- 31) $\Delta G = -1859,14 + 3 \cdot (-116,3) - 4 \cdot (-343,41) -$
 $- (-378,2) - 10 \cdot (-56,687) = 110,67 \text{ кДж/моль}.$

$$32) \Delta G = -3643,26 + 3 \cdot (-116,3) - 6 \cdot (-343,41) - (-378,2) - 29 \cdot (-56,687) = 90,42 \text{ кДж/моль.}$$

$$33) \Delta G = -1859,14 - (-343,41) - (-378,2) - 3 \cdot (-144,4) - 11,5 \cdot (-56,687) = -52,43 \text{ кДж/моль.}$$

$$34) \Delta G = -3420,55 - 3 \cdot (-343,41) - (-378,2) - 3 \cdot (-144,4) - 30,5 \cdot (-56,687) = 150,03 \text{ кДж/моль.}$$

В результаті аналізу хімічних реакцій, що наведені у табл. 4.1, та величин їх вільної енергії Гіббса ΔG встановлено:

- всі реакції (1–23) гідратації трьохкальцієвого алюмінату C_3A в присутності солей-електролітів та мінеральних добавок з утворенням кристалогідратів гідросульфо-, гідрокарбо, гідрохлор-, гідронітро-, гідронітриалюмінатів кальцію – AFm та Aft -фаз можливі, про що свідчать негативні величини їх ΔG ;

- оскільки ΔG реакцій (1–23) доводиться на 1 моль C_3A , її величина для однакових умов може орієнтовно характеризувати перевагу реакцій, яка узагальнена у табл. 4.6 (зі зростанням номерів реакцій перевага зменшується);

- реакції (1–8) взаємодії C_3A з кальцієвими солями з утворенням AFm та Aft -фаз за наявності реагуючих компонентів є термодинамічно незворотними;

- реакції (9–23) взаємодії C_3A з солями лужних металів з утворенням AFm та Aft -фаз можливі, проте одним із продуктів мають луги, тому можливість їх протікання визначатиметься концентрацією іонів лужних металів та величиною pH (чим нижче концентрація Na^+ (K^+) і pH , тим більш імовірна реакція; більш точно умови протікання реакцій можуть бути визначені розрахунком та аналізом термодинамічної рівноваги);

- утворення гіпсу із гашеного вапна і сульфатів лужних металів (24–25) малоймовірне;

- реакції взаємодії гашеного вапна і сульфатів лужних металів з утворенням кальциту можливі, проте одним із продуктів мають луги, тому можливість їх протікання визначатиметься концентрацією іонів лужних металів та величиною pH (чим нижче концентрація Na^+ (K^+) і pH , тим більш імовірна реакція; більш

точно умови протікання реакцій можуть бути визначені розрахунком та аналізом термодинамічної рівноваги);

- в найбільшому ступені водонепроникність цементних композитів будуть підвищувати добавки кальцієвих солей (реакції 1–8), дещо менше – добавки солей лужних металів (реакції 9–22), оскільки в структурі цементного каменю залишатимуться луги, які бажано зв'язувати в натрієво-кальцієві гідроалюмосилікати;

- утворення гідросилікатів кальцію із гіпсу-півгідрату і мікрокремнезему є неможливим (28);

- утворення гідроалюмінатів і гідросульфалюмінатів кальцію із гіпсу-півгідрату та нанодисперсного глинозему є неможливим (29-32);

- із гіпсу-двогідрату та нанодисперсного глинозему у разі присутності у системі вільного вапна шлаку імовірним є утворення гідромоноссульфоалюмінату кальцію (33).

4.1.2 Фізико-хімічні дослідження композиційних матеріалів з хімічними добавками

Дані попередніх аналітичних і термодинамічних досліджень дозволили підібрати компоненти комплексних хімічних добавок, що дозволять прискорити процес твердіння та добавок, що дозволять покращити фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного каменю на основі портландцементу.

У рамках виконання НДР [305] було проведено дослідження впливу добавок-прискорювачів і пластифікаторів на процеси структуроутворення у силікатних композитах (суперпластифікованих суспензіях і бетонах з портландцементним в'язучим). Досліджено структуроутворюючу дію в цементному камені хлориду кальцію і пластифікуючої добавки С-3 (сульфонафтальінформальдегід), та обґрунтовано їхній вміст.

Підчас приготування цементного тіста і бетону при контакті мінералів клінкеру з водою різко збільшується *pH* рідкої фази, в результаті чого

рівноважний потенціал C_3S стає негативним, а потенціал C_3A залишається позитивним і найбільшим за величиною. Це визначає переважно адсорбцію добавки С-3 з негативно зарядженою групою SO_3^- на трикальцієвому алюмініаті C_3A . Блокуючи потенціалвизначальні іони Ca^{2+} , С-3 затримає його розчинення та гідратацію. Не маючи доступу до C_3A , двовалентний катіон Ca^{2+} у складі добавки-електроліту, добудовуючи решітку C_3S , ще більше збільшить його позитивний потенціал і збільшить швидкість його розчинення. Одновалентний аніон Cl^- , маючи найменшу серед інших іонів адсорбційну здатність, залишатиметься в об'ємі розчину і вбудується в структуру гідроалюмініатів кальцію, утворюючи з ними гідрохлоралюмініат кальцію.

Добавка $CaCl_2$ збільшує концентрацію катіонів Ca^{2+} в розчині і рівноважний електроповерхневий потенціал блоків кристалогідратів, що знаходяться в прошарку між цементними частинками первинного каркасу цементного каменю. Це призводить до збільшення міцності електрогетерогенного контакту між блоками портландиту і гелю. У той самий час збільшення концентрації Ca^{2+} у рідкій фазі цементного каменю, тобто у водному розчині $Ca(OH)_2$, призводить до зменшення концентрації в ньому гідроксильних іонів OH^- , тому що добуток розчинності розчину $Ca(OH)_2$, як і розчинів інших солей, є постійною величиною. При цьому зменшується абсолютна величина глобул гідросилікатного гелю, і міцність зазначеного електрогетерогенного контакту зменшується. Що підтверджено результатами досліджень у [181, 305].

У зв'язку з прямою заборонаю використання в бетонній суміші, що передбачена для виготовлення залізобетонних виробів і конструкцій із напруженою і ненапруженою арматурою та закладними деталями хлориду кальцію і добавок на основі хлоридів (хлоридмістких добавок) у [306, 307, 308] запропоновано використання комплексної добавка-прискорювача твердіння, що включає такі компоненти: суперпластифікатори - нафталінформальдегідного типу (НФ) СП-1 (С-3), полікарбоксилатного типу (ПК) МС-PowerFlow 3100; прискорювачі твердіння - нітратом кальцію (НК), нітритом натрію НН.

Отримані рентгенограми і ІЧ-спектри поглинання наведені на рис.4.1–4.3.

Аналіз рентгенограм показав, що в усіх досліджених зразках цементного каменю присутні характерні для портландцементу продукти гідратації: портландит $Ca(OH)_2$ – дифракційні максимуми 4,93; 2,63; 1,93 Å (приблизно однакові для всіх зразків); гідросилікати кальцію – 3,05–3,07 Å (приблизно однакові для всіх зразків, співпадають з дифракційними максимумами C_3S , кальциту); гідроалюмінати кальцію C_3AH_6 – 2,3; 2,23 Å.

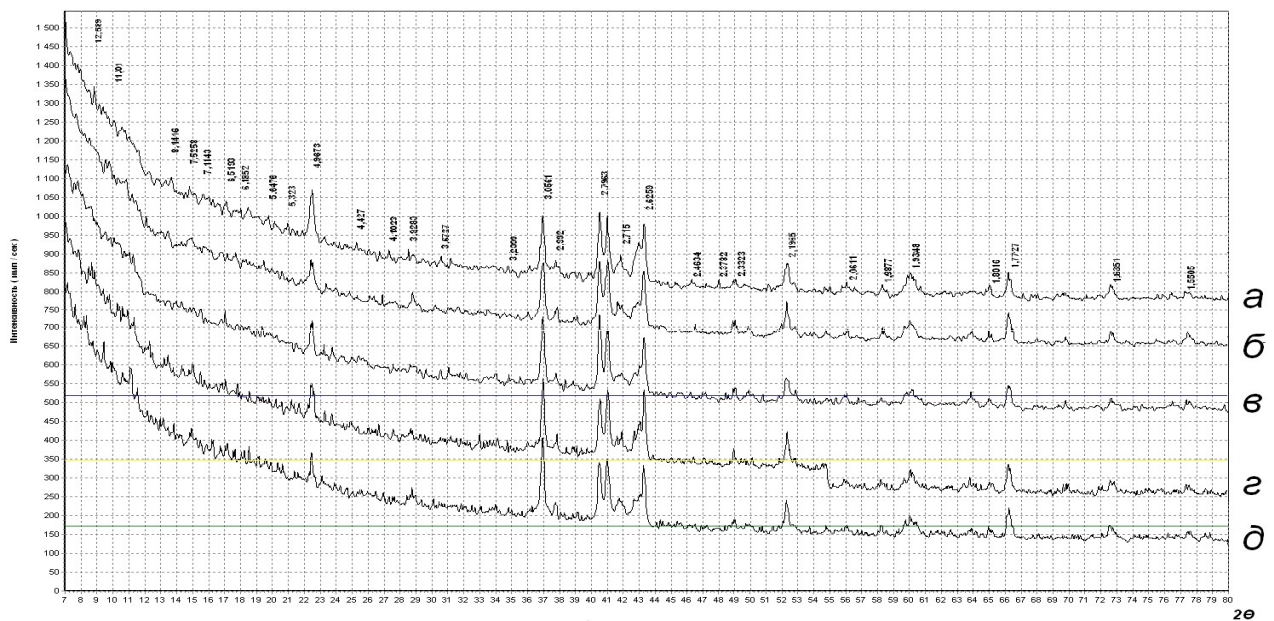


Рис. 4.1. Рентгенограма цементного каменю: а – з В/Ц = 0,38 без добавок; б – з В/Ц = 0,32 з добавкою СП-1 0,35 %; в – з В/Ц = 0,32 з добавками СП-1 0,35 %, НК 1 % і НН 1 %; г – з В/Ц = 0,32 з добавкою MC-PowerFlow 3100 0,4 %; д – з В/Ц = 0,32 з добавками MC-PowerFlow 3100, 0,4 %, НК 1 % і НН 1 %

Між зразками відзначаються відмінності: дифракційні максимуми 9,73 Å еtringіту $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, і 9,44 Å гідронітроалюмінату кальцію $C_3A \cdot 3Ca(NO_3)_2 \cdot 32H_2O$ – відзначаються лише у складі, що містить суперпластифікатор полікарбоксилатного типу і прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію.

ІЧ-спектри поглинання добавок суперпластифікаторів нафталінформальдегідного і полікарбоксилатного типу (рис. 4.2) істотно відрізняються між собою. Разом з тим, ІЧ-спектри цементного каменю без добавок і з добавками відрізняються між собою неістотно, що свідчить про схожий склад продуктів гідратації.

В результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що в цементному камені без добавок і з добавками присутні всі характерні для портландцементу продукти гідратації: портландит $Ca(OH)_2$, гідросилікати кальцію, гідроалюмінати кальцію C_3AH_6 . У цементному камені, що містить добавку суперпластифікатор полікарбоксилатного типу і прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію, відзначається еtringіт $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ і гідронітроалюмінат кальцію $C_3A \cdot 3Ca(NO_3)_2 \cdot 32H_2O$.

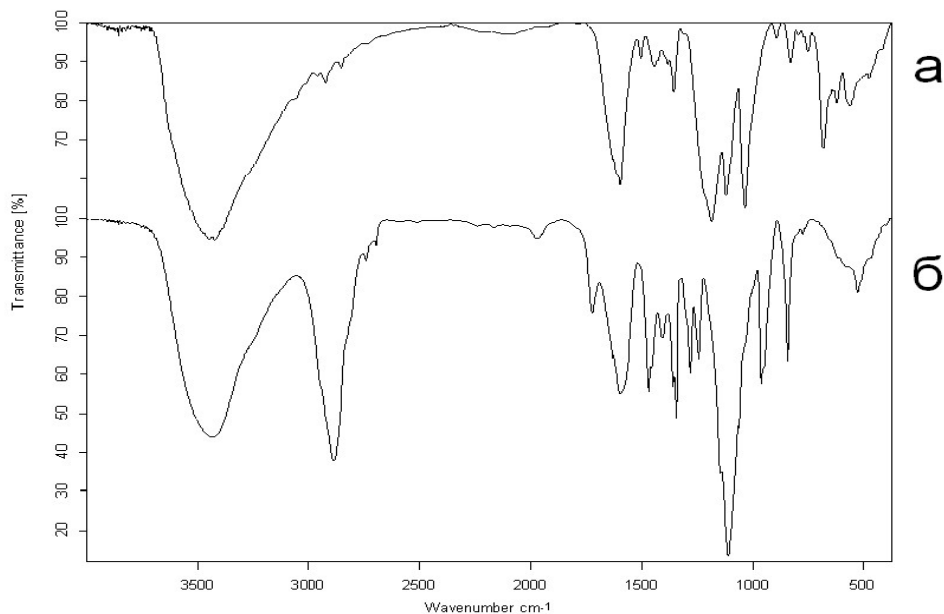


Рис.4.2. Інфрачервоні спектри поглинання суперпластифікаторів:
 а – нафталінформальдегідного типу; б – полікарбоксилатного типу

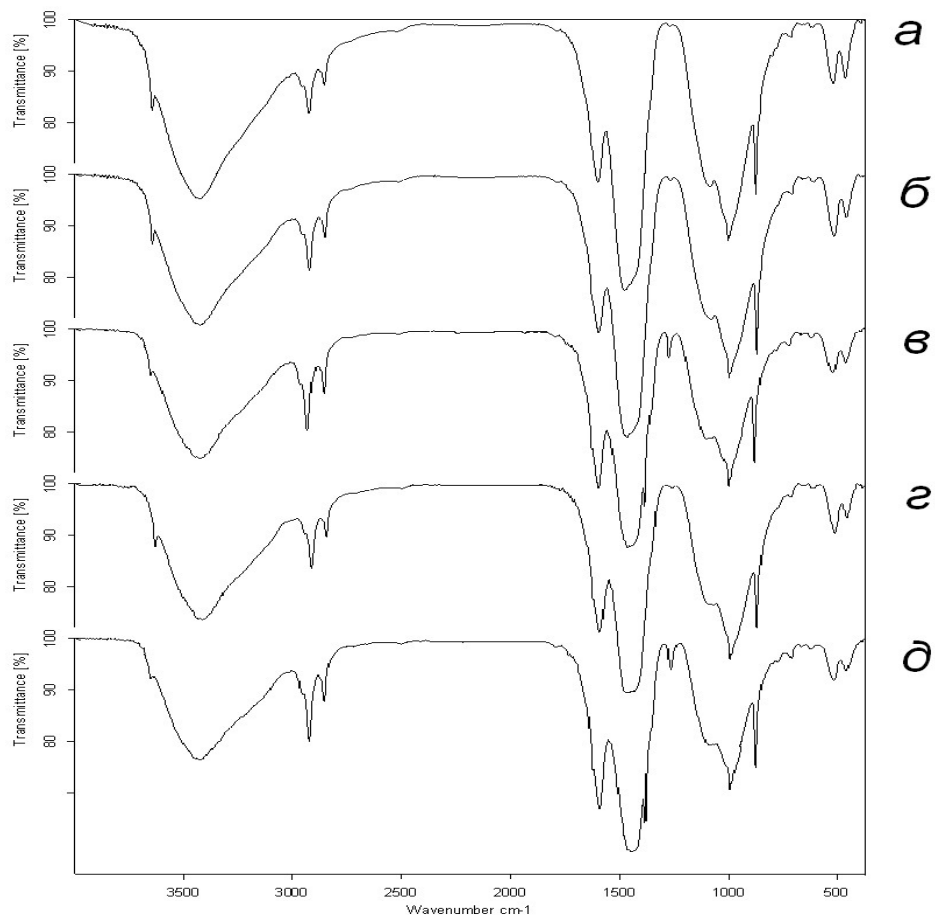


Рис. 4.3. Інфрачервоні спектри поглинання цементного каменю: *а* – з В/Ц = 0,38 без добавок; *б* – з В/Ц = 0,32 з добавкою СП-1 0,35 %; *в* – з В/Ц = 0,32 з добавками СП-1, 0,35 %, НК 1 % і НН 1 %; *г* – з В/Ц = 0,32 з добавкою МС-PowerFlow 3100 0,4 %; *д* – з В/Ц = 0,32 з добавками МС-PowerFlow 3100, 0,4 % і НК 1 % і НН 1 %

За результатами фізико-хімічних досліджень встановлено, що підвищення ранньої міцності цементного каменю за рахунок застосування досліджених комплексних добавок можливе з утворенням додаткової кількості кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом – гідрохлоралюмінатів, гидронітроалюмінатів, гідросульфалюмінатів кальцію [305-308].

Досліджено вплив комплексної хімічної добавки (КХД), що підвищує фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного каменю, на мінеральний склад продуктів гідратації портландцементного в'язучого (ПЦ II/A-Ш-400) і структуру цементного каменю [309].

Компоненти комплексної хімічної добавки: кальцію хлорид $CaCl_2$; натрію сульфат Na_2SO_4 ; натрію карбонат Na_2CO_3 (натрій вуглекислий, сода кальцинована); натрію нітрат $NaNO_3$ (натрій азотнокислий, натрієва селітра); кальцію гідроксид $Ca(OH)_2$ (вапно гашене); калію гексаціаноферат $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ (калій залістосиньородистий, жовта кров'яна сіль); суперпластифікатор нафталінформальдегідний СП-1 (С-3) порошкоподібний.

Рентгенограми цементного каменю без добавки і з комплексною хімічною добавкою наведено на рис. 4.4.

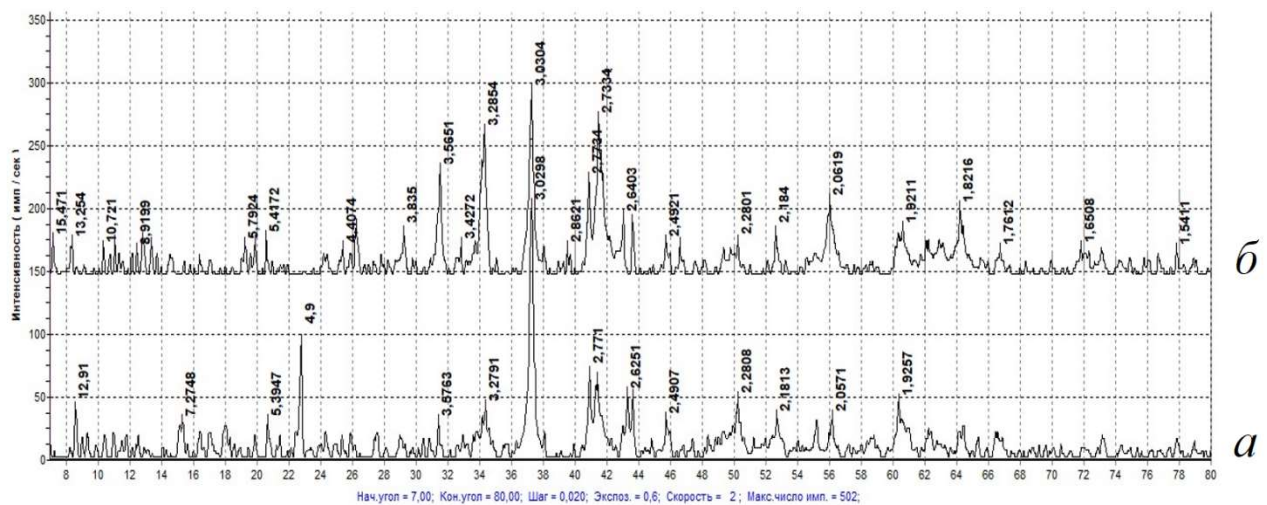


Рис. 4.4. Рентгенограми цементного каменю без добавок (а) та з комплексною хімічною добавкою (б)

У результаті введення комплексної хімічної добавки відзначені такі зміни. Інтенсивність дифракційного максимуму, що відповідає C_3S і C_2S – 2,73 Å збільшилась, тобто знизився ступінь гідратації C_3S і C_2S .

Незначно знизилась кількість об'ємного порландиту $Ca(OH)_2$ – інтенсивність дифракційних максимумів 2,62 і 1,92 Å знизилася.

Істотно зменшилась інтенсивність дифракційного максимуму 4,92 Å, тобто зменшилась кількість поверхневого порландиту $Ca(OH)_2$, що може бути обумовлено значною кількістю частинок активних мінеральних добавок у цементі ПЦ ІІ/А-ІІІ-400 і наявністю в складі комплексної хімічної добавки солі лужного металу – нітрату натрію (розчинність $s=829$ г/л). Збільшення кількості

частинок з негативним поверхневим зарядом і/або величини негативного поверхневого заряду створило умови для росту від їх поверхні кристалів портландиту.

Зменшується кількість високоосновних гідросилікатів кальцію типу $C_2SH(A)$ - інтенсивність дифракційних максимумів 3,28 і 2,42 Å зменшується. Проте утворюються низькоосновні тоберморитоподібні гідросилікати кальцію типу $CSH(B)$.

Дифракційні максимуми, що відповідають трикальцієвому алюмінату C_3A і чотирікальцієвому алюмофериту C_4AF – 2,69 Å і 7,3 Å відповідно, зникають, тобто C_3A і C_4AF гідратують повністю.

З'являються гідрохлоралюмінат кальцію $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ і гідрокарбоалюмінат кальцію $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ - дифракційні максимуми 7,6 і 7,91 Å. Утворення гідрохлоралюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ обумовлено наявністю в комплексній хімічній добавці хлориду кальцію $CaCl_2$, що узгоджується з даними З.М. Ларіонової [201], О.В. Волженського [5] про його утворення в результаті взаємодії C_3A і $CaCl_2$. Утворення гідрокарбоалюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ обумовлено наявністю в комплексній добавці карбонату натрію Na_2CO_3 , гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$, карбиду кальцію CaC_2 , що узгоджується з даними роботи [5] про його утворення в результаті взаємодії C_3A з зазначеними сполуками і вуглекислим газом CO_2 повітря.

З'являються дифракційні максимуми 2,49, 2,28, 2,09, 1,87 Å, що характерні для кальциту $CaCO_3$. Утворення кальциту обумовлено взаємодією $Ca(OH)_2$ з карбонатом натрію Na_2CO_3 і вуглекислим газом CO_2 повітря.

Таким чином, за даними рентгенофазового аналізу встановлено, що введення в портландцемент комплексної хімічної добавки, що включає карбонати, хлориди, нітрати, сульфати кальцію і натрію, забезпечує в цементному камені утворення гідрокарбоалюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ і гідрохлоралюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$.

На рис. 4.5. наведено інфрачервоні спектри поглинання композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та без добавок. На ІЧ-спектрах присутні лінії поглинання з хвильовими числами, cm^{-1} , сполук:

- 3441, 3425, 2920, 2852 – валентних коливань зв'язаних *OH*-груп всіх гідратів;
- 1630 – валентних коливань молекул H_2O ;
- 1440 (інтенсивна, накладена на 1477–1479) і 876 (вузька інтенсивна) – валентних коливань карбонатів;
- 1385 (вузька інтенсивна) – валентних коливань зв'язків *N–O* нітратів;
- 1082, 1084 (інтенсивна) і 462 – валентних і деформаційних коливань зв'язку *Si–O* силікатів незалежно від типу кристалічної решітки (а також кварцу).

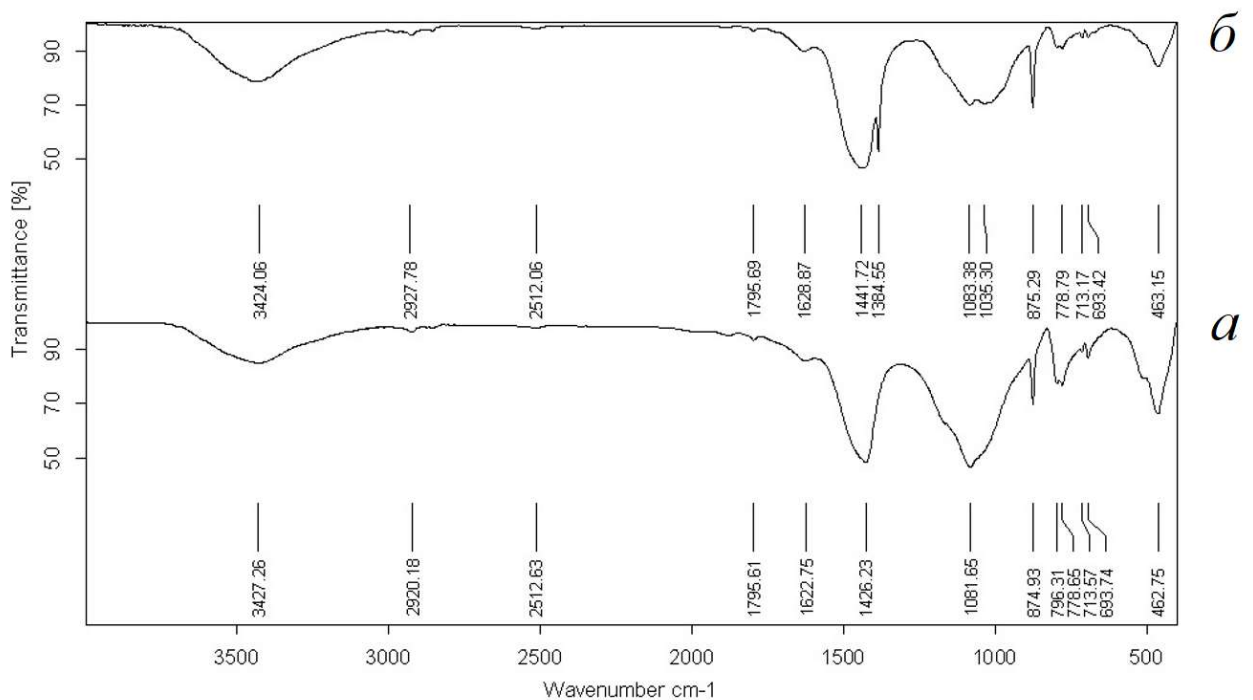


Рис. 4.5. Інфрачервоні спектри поглинання цементного каменю без добавок (а) та з комплексною хімічною добавкою (б)

Як бачимо, на ІЧ-спектрах присутні лінії поглинання зв'язків і груп, характерних для продуктів гідратації портландцементу. Основною відмінною рисою є наявність в спектрі поглинання цементного каменю з комплексною хімічною добавкою смуги, характерної для нітратів, а також зміна форми і

інтенсивності характерних смуг силікатів. Досить інтенсивна смуга 1082 см^{-1} на спектрі контрольного зразка цементного каменю в спектрі зразка з добавкою набуває форму дуплету із смугами 1083 і 1035 см^{-1} середньої інтенсивності. Дана обставина підтверджує зменшення кількості низькоосновних і збільшення кількості високоосновних гідросилікатів кальцію.

Таким чином, результати аналізу інфрачервоних спектрів поглинання можуть свідчити про утворення нітратної *AFm*-фази. Найбільш інформативною є вузька інтенсивна лінія поглинання 1385 см^{-1} , саме яка і може свідчити про її утворення.

Термічний аналіз такого самого цементного каменю також виконали без добавки і з комплексною хімічною добавкою. Термограми подані на рис. 4.6. Термограми цементного каменю без добавки і з добавкою в цілому схожі.

На кривих ДТА виділяються 4 характерні температурні ділянки:

- перша – від початкової температури 20 °C до близько 340 °C , що завершується сильним ендотермічним ефектом;
- друга – від 340 °C до близько 500 °C з плавним ендоефектом, що завершується різким ендоефектом при 490 °C ;
- третя – від 500 °C до близько 750 °C з плавним ендоефектом;
- четверта – від 750 °C до максимальної температури близько 1000 °C з декількома різкими ендотермічними ефектами.

Криві TG характеризуються постійним спадом, що є ознакою втрати маси зразків при нагріві. Виділяється ділянка в інтервалі від мінімальної температури до 500 °C , на якій втрата маси протікає плавно, але інтенсивно, і ділянка менш інтенсивної втрати маси.

Відмінності термограм цементного каменю без добавки і з комплексною хімічною добавкою дозволили констатувати зміни складу продуктів гідратації в результаті введення добавки. Аналіз виконували, оцінюючи зміну в результаті введення добавки інтенсивності характерних для різних мінералів ендотермічних ефектів. У результаті введення добавки відзначені такі зміни.

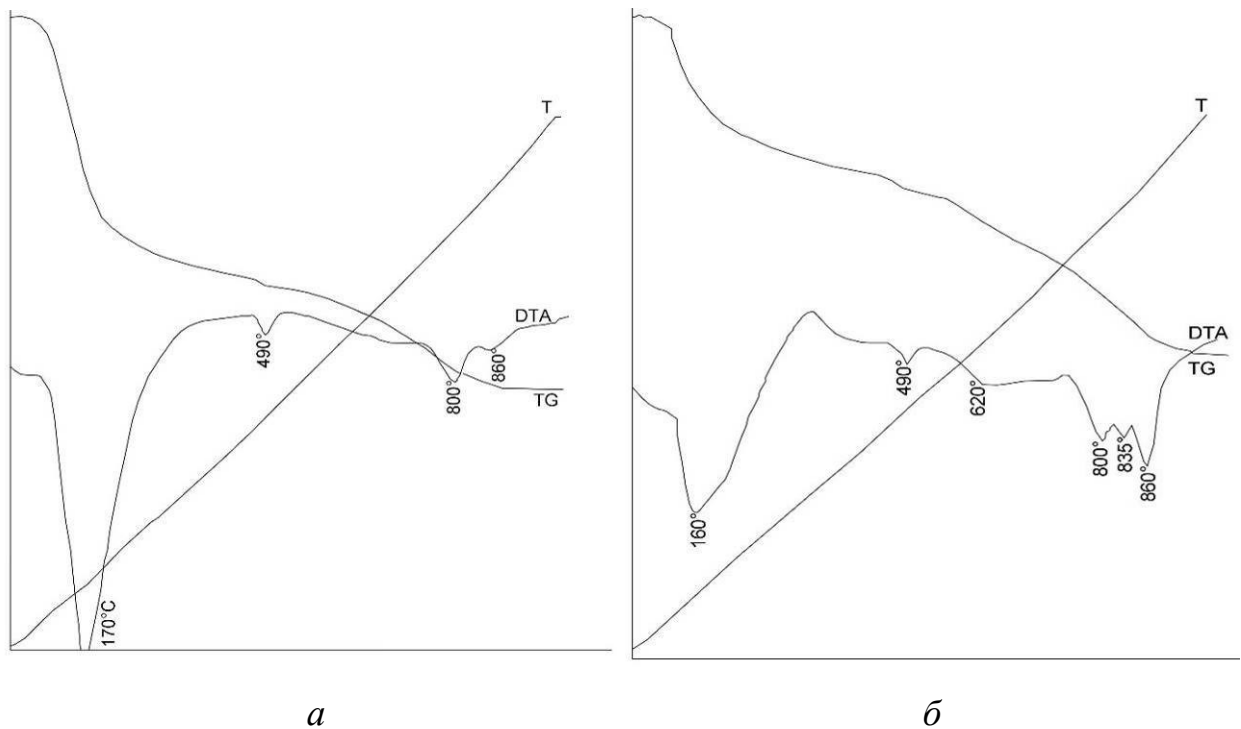


Рис. 4.6. Термограми цементного каменю: *а* – без добавки;
б – з комплексною хімічною добавкою

Низькоосновні ($C/S < 1,5$) тоберморитоподібні гідросилікати кальцію типу $CSH(B)$: зменшення інтенсивності ендоефекту при 830-860 °C на кривій ДТА і зменшення інтенсивності втрати маси в інтервалі від 20 до 500 °C на кривій TG може свідчити про зниження кількості $CSH(B)$ з $C/S=0,8-1,25$ [240].

Високоосновні ($C/S \geq 1,5$) гідросилікати кальцію $C_2SH(A)$: поява незначного перелому з наступним спадом при 200-700 °C на кривій TG, поява на кривій ДТА ендоефекту при 120 °C і плавного ендоефекту при 340-500 °C з максимумом 420-430 °C, що завершується різкішим ендоефектом при 490 °C, свідчить про появу або збільшення кількості $C_2SH(A)$.

Портландит $Ca(OH)_2$: ендоефект при температурі 480 °C присутній у цементному камені без добавки і з комплексною хімічною добавкою, що підтверджує наявність $Ca(OH)_2$ як у цементному камені без добавки, так і з добавкою.

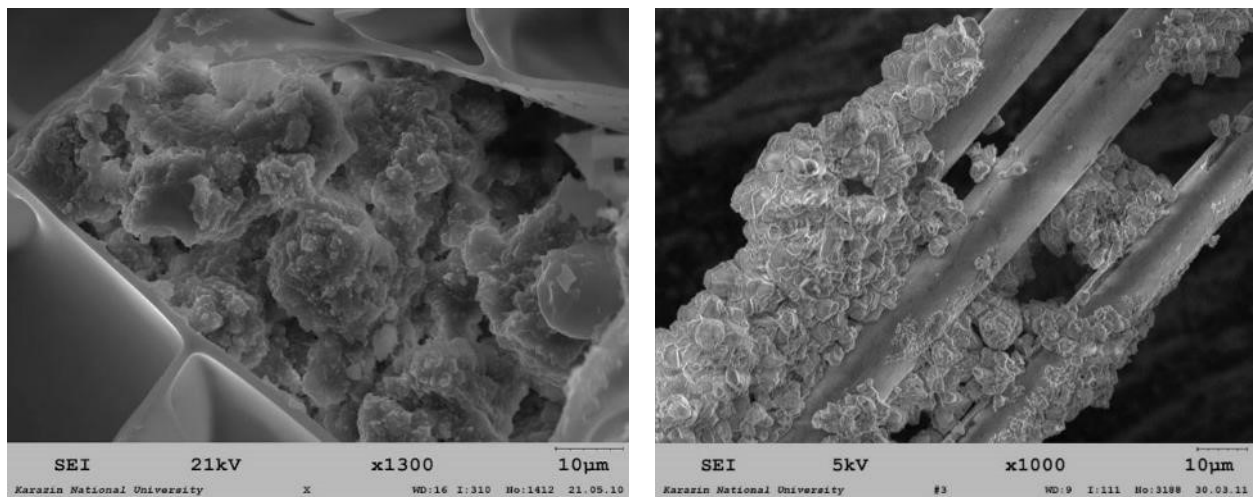
Гідрохлоралюмінат кальцію $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ і гідрокарбоалюмінат кальцію $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$: поява плавного ендоефекту при 180-230 °C свідчить

про утворення $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ (характерний ендоефект при 190-210 °С) і $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (характерний ендоефект при 180-230 °С).

Кальцит $CaCO_3$: поява ендоефекту при 860 °С, що триває до 1000 °С, свідчить про появу $CaCO_3$ (характерний ендоефект при 850-970 °С [58]).

Таким чином, в результаті термічного аналізу підтверджено, що введення в портландцемент комплексної хімічної добавки, яка включає карбонати, хлориди, нітрати, сульфати кальцію і натрію, забезпечує в цементному камені утворення карбонатної і хлоридної *AFm*-фаз, підвищення вмісту портландиту $Ca(OH)_2$ та зниження основності гідросилікатів кальцію.

Для електронно-мікроскопічних дослідження проводили на зразках цементно-перлітового розчину та зразках цементного каменю із скловолоконм, знімки наведені на рис. 4.7.



a

б

Рис. 4.7. Скануюча електронна мікроскопія. Портландцементу з комплексною хімічною добавкою цементно-перлітового розчину (*a*) та цементного каменю із скловолоконм (*б*)

З рис. 4.7, *a* видно, що продукти гідrataції портландцементу з комплексною хімічною добавкою заповнюють пори перліту і мають зернисту структуру, утворену близькими до кубічних частинками, ймовірно кальциту, розміром 0,2-2, частіше 0,6-2 мкм, і агрегатами з них. Видно шаруваті утворення з тонких,

близьких до гексагональних, пластинок, також видно близькі до гексагональних пластинки, що нашаровуються одна на одну. Такі гексагональні пластинки розміром 0,4-3,5, частіше 0,8-1,5 мкм, товщиною 0,1-0,15 мкм разом з голками характерні для гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію [310, 201].

На рис. 4.7, б добре видно, що зазори між скловолокном заростають гексагональними, характерними для портландиту, гідромоносульфоалюмінату кальцію, і призматичними, характерними для гідроалюмінатів кальцію і кальциту кристалами розміром до 2 мкм. У віці 28 діб зазори повністю заростають продуктами гідратації. Кристалічні фази повністю сформовані переважно гексагональними кристалами, характерними для портландиту, гідромоносульфоалюмінату кальцію, призматичними дендритами просторової структури гідроалюмінатів кальцію, а також кристалами ромбоєдричних призм кальциту розміром до 10 мкм.

Таким чином у результаті електронно-мікроскопічних досліджень встановлено: кристалічними продуктами гідратації цементу з комплексною хімічною добавкою є гідрокарбоалюмінати, гідрохлоралюмінати, гідронітроалюмінати кальцію, портландит, кальцит, які, маючи позитивний поверхневий заряд, зростають на негативно заряджених силікатних підкладках – стінках пор спученого перліту, скловолокні. Отже, продукти гідратації з комплексною хімічною добавкою можливо ідентифікувати за морфологічними ознаками. Це гексагональні, характерні для гідромоносульфоалюмінату кальцію та портландиту, і кубічні, характерні для гідроалюмінатів кальцію і кальциту кристали розміром до 2 мкм; гексагональні пластинки розміром 0,4-3,5 мкм, товщиною 0,1-0,15 мкм, що нашаровуються одна на одну, сфероліти і голки, характерні для гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію.

4.1.3 Механізм проникної дії силікатних композицій

У разі використання композиту на основі портландцементу із комплексною хімічною добавкою в якості гідроізоляційного покриття зчеплення та водонепроникність такого покриття підсилюються кольматацією пор поверхневого шару конструкції продуктами гідратації. Ступінь ущільнення поверхневого шару конструкції та, отже, величина зчеплення та водонепроникності покриття, суттєво залежить від швидкості та глибини проникнення кольматуючих складових суміші. Швидкість та глибина проникнення у свою чергу визначаються фізико-хімічними процесами.

У [311] було припущено, що проникнення солей комплексної хімічної добавки аналізованих сумішей в пори та капіляри бетону (розчину) конструкції, на яку він наноситься, відбувається за дифузійним механізмом. Дифузія відбувається під дією різниці концентрацій солей, дисоційованих у поровому електроліті композиції і поровому електроліті бетону конструкції (рис. 4.8). Оскільки дифузія іонів протікає у водних розчинах, обов'язковою умовою для проникнення солей є водонасичений стан як пор і капілярів бетону і розчину конструкції, так і нанесеного покриття. Дифузія солей протікає в умовах насиченості порового електроліту гідроксидом кальцію.

Дифузія відбувається згідно із законом Фіка:

$$J = -D \frac{dc}{dx}, \quad (4.2)$$

де J – густина дифузійного потоку речовини, моль/(м²·с), – кількість речовини dm , моль, що дифундує через одиницю площі dS , м², за одиницю часу dt , с, D – коефіцієнт дифузії, м²/с; dc/dx – градієнт концентрації, моль/(м³·м).

$$J = \frac{dm}{dS} \cdot \frac{1}{dt}; \quad (4.3)$$

Коефіцієнти дифузії D солей, які застосовуються у складі комплексної хімічної добавки, при 25°C складають у середньому $1,4 \cdot 10^{-9}$ м²/с [311].

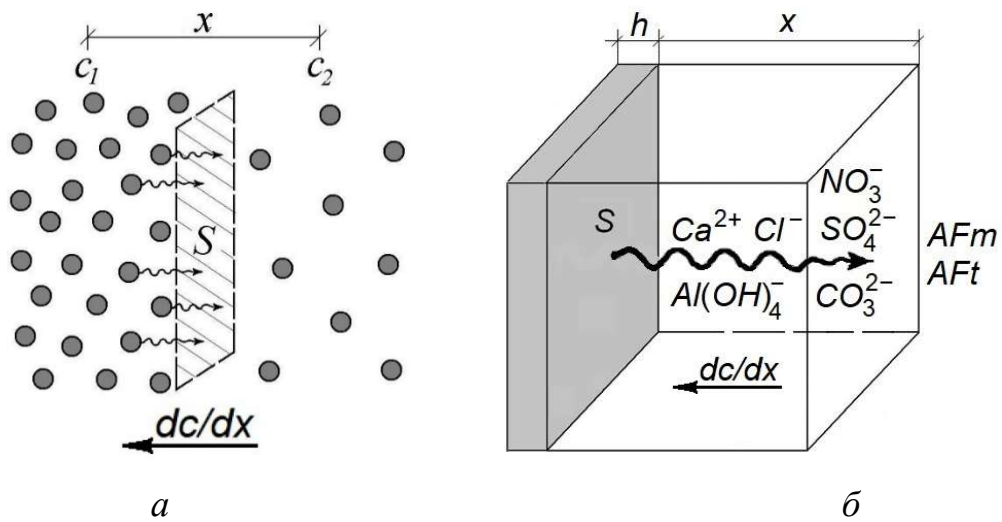


Рис. 4.8. Схема дифузії: *a* – іонів за градієнтом їх концентрації; *б* – солей комплексної хімічної добавки та алюмінатних іонів із покриття товщиною *h* углиб бетону з утворенням *AFm* і *Aft*-фаз

Проте ці коефіцієнти стосуються лише дифузії в суцільних рідких середовищах. У капілярно-пористих тілах дифузія іонів, колоїдних частинок відбувається крізь розчин, який заповнює їхній поровий простір. Рівняння Фіка в цьому випадку згідно з [106] набудуть вигляду

$$J = -D * \frac{dc}{dx}, \quad (4.4)$$

$$\frac{dm}{ds} \cdot \frac{1}{dt} = -D * \frac{dc}{dx}, \quad (4.5)$$

де D^* – ефективний коефіцієнт дифузії крізь капілярно-пористе тіло.

Для практичних цілей (4.5) можна представити у спрощеному, недиференціальному вигляді

$$\frac{m}{St} = -D * \frac{\Delta c}{x}. \quad (4.6)$$

З цього рівняння для відомих площі перерізу S , ефективного коефіцієнта дифузії D^* , градієнта концентрації $dc/dx = \Delta c/x = (c_1 - c_2)/x$, заданої тривалості дифузії t можна визначити її глибину x :

$$x = - \frac{StD^*\Delta c}{m}. \quad (4.7)$$

І навпаки, для відомого шляху (глибини) дифузії x можна визначити її тривалість t :

$$t = -\frac{xm}{SD*\Delta c}. \quad (4.8)$$

У випадку, коли дифузія відбувається крізь водонасичені крупні некапілярні пори, ефективний коефіцієнт дифузії за величиною може наближатись до коефіцієнта дифузії в суцільному середовищі. Для солей, які входять до складу комплексної хімічної добавки,

$$D^* \sim D = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}.$$

У капілярно-пористих тілах ефективний коефіцієнт дифузії D^* визначається величиною коефіцієнта дифузії в суцільному середовищі D та параметрами, що характеризують їх порову структуру [106]:

$$D^* = a_1 a_2 a_3 D, \quad (4.9)$$

де a_1, a_2, a_3 – параметри, що враховують хвилястість капілярів (a_1); вплив стінок капілярів (a_2); зменшення дифузійного потоку (площі перерізу) твердою фазою системи (a_3).

Для аналізу впливу порового простору бетону на дифузію іонів крізь нього представимо модель структури композита за аналогією з [312] як просту кубічну упаковку структуроутворюючих елементів (частинок продуктів гідратації, наповнювачів тощо, рис. 4.9, а).

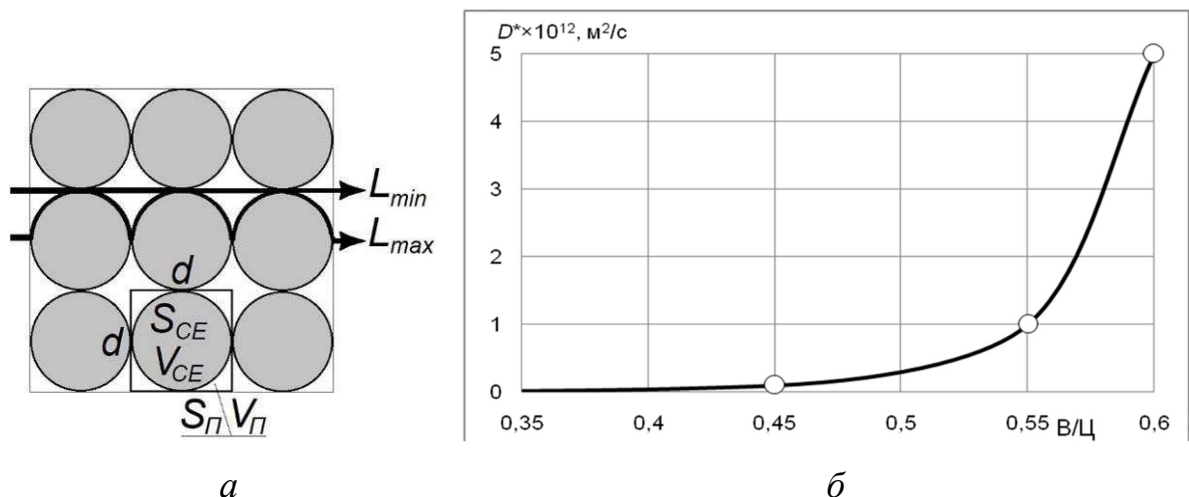


Рис. 4.9. Дифузія іонів крізь бетон: а – схема моделі структури бетону для аналізу дифузії; б - залежність ефективного коефіцієнта дифузії хлор-іонів D^* у щільному бетоні від водоцементного відношення В/Ц

Якщо поровий простір достатньо відкритий і розвинутий, параметр a_1 , що враховує хвилястість капілярів, може наближатись до максимальної величини 1. У крайньому випадку максимальної хвилястості капілярів під час дифузії іони мають оминати всі структуроутворюючі елементи (рис. 4.9, *a*). Отже, мінімальна величина параметра a_1 за рахунок цього оминання буде визначатись подовженням шляху дифузії:

$$a_1 = L_{\min}/L_{\max}. \quad (4.10)$$

Із моделі рис. 4.9, *a*, якщо виразимо L_{\min} і L_{\max} через середній розмір структуроутворюючих елементів d , впливає

$$a_1 = \frac{d}{\pi d} = \frac{1}{\pi} = 0,32. \quad (4.11)$$

Отже, фактичні величини параметра a_1 можуть коливатись від 0,32 до 1, у середньому 0,66. Якщо припустити, що капіляри в бетоні конструкції, яка ремонтується, достатньо крупні і впливом їх стінок можна нехтувати, параметр a_2 дорівнюватиме 1.

Параметр a_3 , що характеризує зменшення дифузійного потоку (площі перерізу) твердою фазою системи, фактично буде дорівнювати поверхневій пористості композита P_s . Поверхневу пористість можна винайти з легко визначуваної стандартними випробуваннями об'ємної пористості P_v .

Користуючись моделлю на рис. 4.9, зокрема елементарного куба зі стороною d , площею перерізу $S = d^2$ і об'ємом $V = d^3$, що включає один структуроутворюючий елемент діаметром d , площею перерізу $S_{se} = \pi d^2/4$ і об'ємом $V_{se} = \pi d^3/6$, визначимо площу та об'єм пор у ньому відповідно:

$$S_{\Pi} = S - S_{CE} = d^2 - \frac{\pi d^2}{4} = d^2 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right); \quad (4.12)$$

$$V_{\Pi} = V - V_{CE} = d^3 - \frac{\pi d^3}{6} = d^3 \left(1 - \frac{\pi}{6}\right). \quad (4.13)$$

Знайдемо поверхневу P_s і об'ємну P_v пористість:

$$\Pi_S = \frac{S_{\Pi}}{S} = \frac{d^2(1-\pi/4)}{d^2} = 1 - \frac{\pi}{4}; \quad (4.14)$$

$$\Pi_V = \frac{V_{\Pi}}{V} = \frac{d^3(1-\pi/6)}{d^3} = 1 - \frac{\pi}{6}. \quad (4.15)$$

Поділивши (4.14) на (4.15), отримаємо зв'язок між об'ємною P_v і поверхневою P_s пористістю:

$$\frac{P_s}{P_v} = \frac{1 - \pi/4}{1 - \pi/6};$$

$$P_s = P_v \frac{1 - \pi/4}{1 - \pi/6} = 0,45P_v. \quad (4.16)$$

Отже, параметр a_3 дорівнюватиме

$$a_3 = 0,45P_v. \quad (4.17)$$

Об'ємну пористість бетону приймемо виходячи з величин його густини: середньої $\rho_m = 2100 \text{ кг/м}^3$ (для старого бетону, що піддався вилугуванню), істинної (за переважаючими за об'ємом заповнювачами) $\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$:

$$P_v = 1 - \frac{\rho_c}{\rho_i} = 1 - \frac{2100}{2650} = 0,21. \quad (4.18)$$

Якщо припустити, що в бетоні, що піддався вилугуванню, всі пори доступні для дифузії, параметр a_3 і добуток параметрів $a_1 a_2 a_3$ дорівнюватимуть відповідно

$$a_3 = 0,45 \cdot 0,21 = 0,095;$$

$$a_1 a_2 a_3 = 0,32 \cdot 1 \cdot 0,095 = 3 \cdot 10^{-2},$$

а ефективний коефіцієнт дифузії добавок у бетоні, за (4.9),

$$D^* = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,4 \cdot 10^{-9} = 4,2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Для щільних бетонів марок з водонепроникності $W4$ – $W8$ експериментально визначені величини ефективного коефіцієнта дифузії надані у [172]. За цими величинами побудовано залежності ефективного коефіцієнта дифузії хлор-іонів у бетоні від водоцементного відношення (рис. 4.9, б). Як бачимо, для щільних бетонів величини D^* на порядок нижчі – $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ і менше.

Розглянемо дифузію солі комплексної хімічної добавки із 1 м^3 покриття в бетон. Припустимо, що солі розчиняються у воді замішування швидко, дифундують углиб бетону разом з іонами Ca^{2+} і $Al(OH)_4^-$ алюмінатних фаз цементу, зв'язуються з ними у кристалогідрати вже в бетоні, отже в поровому електrolіті бетону їх концентрація залишатиметься рівною нулю.

Об'єм 1 м^2 покриття товщиною 3 мм ($0,003 \text{ м}$) складає $V=0,003 \text{ м}^3$. При густині покриття 2300 кг/м^3 його маса складе $2300 \cdot 0,003 = 6,9 \text{ кг}$. У разі вмісту комплексної хімічної добавки у суміші 1% за масою вміст кожної солі можна прийняти $0,2 \%$ ($0,002$). Максимальна кількість кожної солі, що може продифундувати, складе $m = 6,9 \cdot 0,002 = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$. Оскільки розчинність солей дуже висока: $\text{CaCl}_2 - 740 \text{ кг/м}^3$; $\text{NaNO}_3 - 876 \text{ кг/м}^3$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 192 \text{ кг/м}^3$, визначимо їх первинну максимальну концентрацію за витратою комплексної хімічної добавки. Максимальна концентрація кожної солі в поровому просторі покриття

$$c = \frac{m}{V\Pi_V} = \frac{1,38 \cdot 10^{-2}}{0,003 \cdot 0,18} = 25,6 \text{ кг/м}^3, \quad (4.19)$$

де пористість покриття визначили за (18) і величинами його середньої густини $\rho_m = 2300 \text{ кг/м}^3$ та істинної густини переважаючого за об'ємом компонента суміші – кварцового піску $\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$:

$$\Pi_V = 1 - \frac{2300}{2650} = 0,18.$$

Оскільки концентрація солі в електроліті покриття в результаті дифузії буде знижуватись від максимальної величини до нуля, а в електроліті бетону весь час буде рівною нулю, концентрацію для всього періоду дифузії i , отже, Δc можна прийняти рівними $0,5c = \Delta c = 0,5 \cdot 25,6 = 12,8 \text{ кг/м}^3$.

Підставивши у (4.7) $S = 1 \text{ м}^3$, $\Delta c = 12,8 \text{ кг/м}^3$, $m = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$, отримаємо

$$x = -tD * \cdot \frac{S\Delta c}{m} = -tD * \frac{1 \cdot 12,8}{1,38 \cdot 10^{-2}} = -928D * t. \quad (4.20)$$

Дослідимо залежність (4.28) для проникнення солей комплексної хімічної добавки у крупну некапілярну пору ($D^* = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}$), нещільний бетон (виготовлений з високим В/Ц або такий, що внаслідок вилуговування, вивітрювання тощо втратив водонепроникність до величини, меншої мінімальної марки $W2$, $D^* = 4,2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$), щільний бетон ($D^* = 1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$). Оскільки дифузія має відбуватись до закінчення зв'язування солей у AFm - і Aft - фази, які утворюються ще на початку твердіння портландцементу з

комплексною хімічною добавкою, цю залежність дослідимо протягом 2 діб (рис. 4.10).

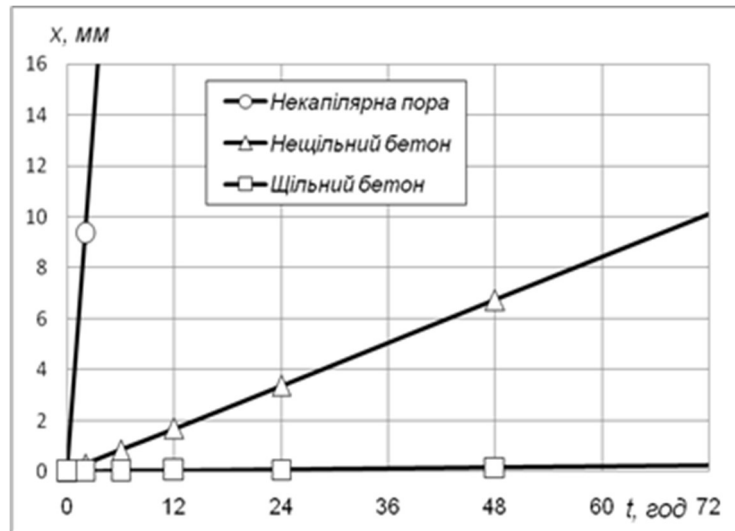


Рис. 4.10. Кінетика дифузії (залежність глибини x від тривалості t) солей комплексної хімічної добавки в бетоні: у крупній некапілярній порі ($D^* = 1,4 \cdot 10^{-9}$ м/с); нещільному бетоні ($D^* = 4,2 \cdot 10^{-11}$ м²/с), щільному бетоні ($D^* = 1 \cdot 10^{-12}$ м²/с)

Як видно з рис. 4.10, крізь водонасичені некапілярні пори дифузія солей відбувається швидко – за 2 год її глибина досягає 9 мм, а за 3 год – 14 мм. У нещільний бетон дифузія солей відбувається повільніше – за 1 добу її глибина досягає 3 мм, а за 2 доби – 7 мм. У щільний бетон дифузія солей відбувається дуже повільно і за 2 доби не перевищує 0,2 мм.

Отриману кінетику дифузії солей комплексної хімічної добавки, а отже, і глибину їх проникнення у бетон і можливість утворення на цій глибині AFm - і Aft -фаз підтверджено таким експериментом.

Суху суміш замішували не чистою водою, а водним розчином люмінофору – нафтоїленбензимидазолу. Суміш наносили шаром товщиною 3 мм на грань попередньо водонасичених зразків-балочок розміром 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3, В/Ц = 0,75, вік понад 28 діб. Покриття тверділи під плівкою, перші 2 доби кожні 4 год (крім нічного часу) їх додатково

змочували. Через 3 доби зразки розколювали перпендикулярно покриттю. Отриманий розріз оглядали у білих та ультрафіолетових променях (у світлі лампи ДРШ-400) і фотографували (рис. 4.11). В ультрафіолетових променях шар бетону, у який проник люмінофор, а отже, і солі, світився. На рис. 4.11 наведено знімки розрізу зразка бетону з покриттям. Як бачимо, посередині зразка, де вплив зовнішньої поверхні зразка мінімальний, проникнення люмінофору і солей комплексної хімічної добавки відбулось на глибину близько 7 мм, що узгоджується з кінетикою їх проникнення в нещільний бетон (рис. 4.9).

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що проникнення солей комплексної хімічної добавки сухих сумішей на основі портландцементу для гідроізоляційних покриттів в нещільний бетон з водонепроникністю меншою W_2 відбувається на глибину 5–10 мм, що забезпечує кольматацию його порового простору кристалогідратами AFm - і Aft -фаз на цю ж глибину. У щільні водонепроникні бетони проникнення не відбувається.

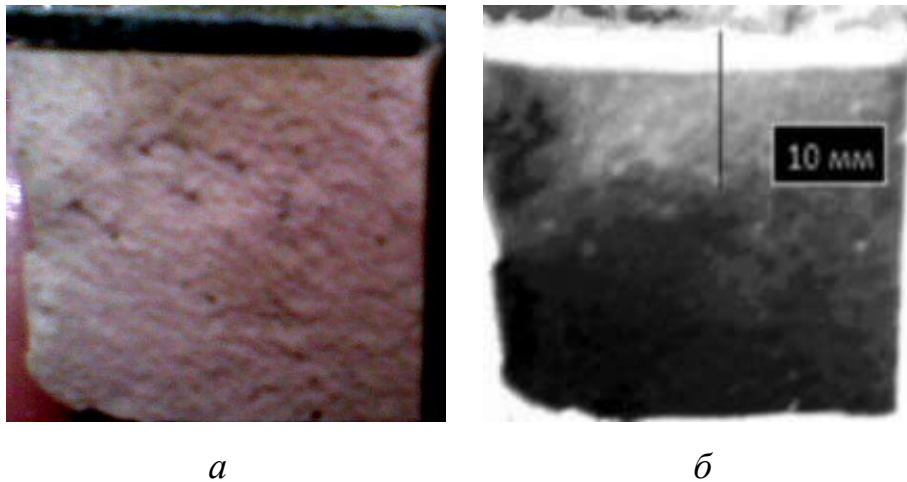


Рис. 4.11. Поперечний злам зразка цементно-піщаного розчину з покриттям сумішшю проникної дії, яку замішували розчином люмінофору: *a* – вигляд у білому світлі; *б* – вигляд в ультрафіолетових променях (контрастність підсилена)

4.2 Вплив мінеральних добавок на процеси структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих

Використання основних положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дозволяють ефективно керувати властивостями композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин. Наявність електрогетерогенних контактів та характер полідисперсної структури бетону визначають фізичні та фізико-механічні властивості бетону.

Формування міцної та стійкої до впливу зовнішніх факторів структури композиційних матеріалів можливе за рахунок введення до їх складу полідисперсних добавок-наповнювачів з визначеними поверхневими властивостями. Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури і сприяють виникненню міцних та водостійких електрогетерогенних контактів.

Процеси твердіння мінеральних в'язучих в присутності мінеральних добавок обумовлені одночасно і гідрато-, і структуроутворенням. Це пов'язано з тим, що темпи твердіння різних фаз в'язучого та їх взаємодія з частинками добавок істотно відрізняються.

4.2.1 Формування порового простору композитів з полідисперсними мінеральними наповнювачами

Застосування мінеральних наповнювачів одночасно вирішує завдання зниження витрати в'язучої речовини, забезпечення мінімальних деформативності (повзучості), водопроникності та максимальної тріщиностійкості композиційного матеріалу.

Аналіз структури композиту з мінеральним наповнювачем і контактів в ній (рис. 4.12) дозволив авторам [62, 202] запропонувати нову мікроструктурну характеристику композиту з наповнювачем λ_{OPT} :

$$\lambda_{OPT} = 2,1 \times \left(1 + \frac{n \times d_{МИН}^Ц}{d_{МАКС}^Ц} \right)^3 - 1,1, \quad (4.21)$$

де $d_{МИН}^H$ и $d_{МАКС}^H$ – середні діаметри мінімальної за розміром і найбільш представницької фракції мінерального в'язучого; n – кількість рядів частинок мінерального в'язучого розміром $d_{МИН}^H$ в прошарку між частинками розміром $d_{МАКС}^H$.

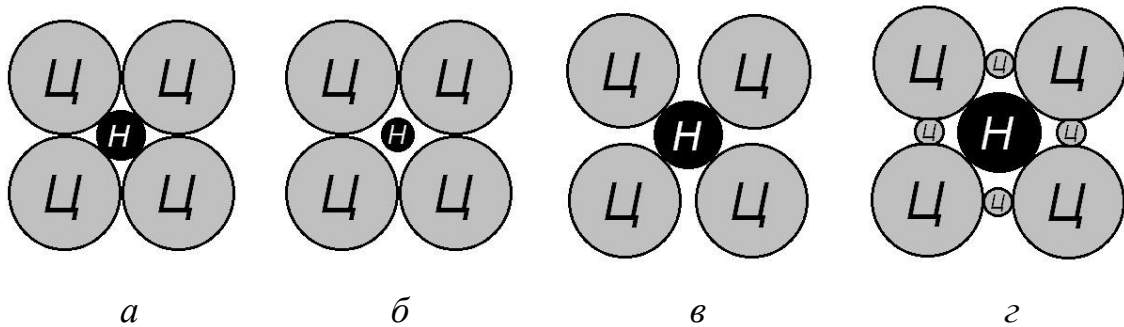


Рисунок 4.12. Схеми контактів в структурі композиту з наповнювачем:

$$a - d^H = d^{ПВС.Ц}; \quad б - d^H < d^{ПВС.Ц}; \quad в - d^H > d^{ПВС.Ц}; \quad г - d^H = d^{ПВС.Ц} + d_{МИН}^H$$

У цих моделях сфери між частинками в'язучого можуть містити як одну частинку наповнювача такого ж розміру, як діаметр сфери, так і декілька або багато частинок меншого розміру.

Як бачимо, модель контакту на рис. 4.12, *а* є максимально нестисливою і щільною. Мікроструктура наповненого композиту при цьому є оптимальною. Відповідно, оптимальним є коефіцієнт розсунення частинок в'язучого наповнювачем і водою $\lambda_{ОПТ}^H$, що її характеризує.

Склад бетону на основі мінеральних в'язучих (наприклад, цементу Ц) у такому випадку визначають наступним чином. З урахуванням $\alpha_{ОПТ}$, $\mu_{ОПТ}$ і $\lambda_{ОПТ}$ розраховують $Щ$ і $П$, після чого визначають початковий вміст цементу $Ц_0$ і води B_0 в ненаповненому цементному тісті.

$$Ц_0 = \frac{1000 - Щ/\rho^{Щ} - П/\rho^П}{1/\rho^Ц + (B/Ц)_{ОПТ}}; \quad (4.22)$$

$$B_0 = Ц_0 \times (B/Ц)_{ОПТ} + ПW^П + ЩW^Щ, \quad (4.23)$$

де $W^Щ$, $W^П$ – водопотрібність щебеню та піску.

Для визначення водов'язучого відношення використовуємо формулу, яка найбільш точно відбиває закон водов'язучого відношення для бетону.

$$R_B = 1,9AR_{Ц}k^H \times \frac{(Ц/B)^2}{(Ц/B) + \rho^Ц}, \quad (4.24)$$

де $R_B, R_{Ц}$ – еквівалентні (на 28 діб або після пропарювання) міцність бетону і активність цементу, A – коефіцієнт якості заповнювачів, k^H – коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону.

Спочатку визначають водов'язуче відношення для бетону заданої міцності без наповнювача. Потім визначають початкове відношення витрати наповнювача до витрати цементу $(H/Ц)_0$ і коефіцієнт розсунення частинок цементу $\lambda^Ц$:

$$\left(\frac{H}{Ц}\right)_0 = \left(\frac{Ц_0}{B_0} \times \frac{B_0}{Ц} \times \frac{1}{\rho^Ц} - \frac{1}{\rho^Ц}\right) \times \rho^H; \quad (4.25)$$

$$\lambda^Ц = \frac{B_0 + \frac{B_0}{B_0/Ц} \times \left(\frac{H}{Ц}\right)_0 \times \frac{1}{\rho^H}}{\frac{B_0}{B_0/Ц} \times \frac{\Pi_{ПВС}^Ц}{\rho_{НАС}^Ц}}, \quad (4.26)$$

де ρ^H – істинна густина наповнювача.

З урахуванням $(H/Ц)_0$ визначають відношення площі поверхні наповнювача S^H до площі поверхні цементу $S^Ц$.

$$\frac{S^H}{S^Ц} = \left(\frac{H}{Ц}\right)_0 \times \frac{1}{\gamma^Ц} \times \frac{s^H}{s^Ц}, \quad (4.27)$$

де $\gamma^Ц$ – масова частина часток цементу крупніше, ніж чем $d_{МИН}^Ц$, $s^H/s^Ц$ – відношення питомих поверхонь наповнювача і цементу.

При $s^H/s^Ц < 0,5$ приймають $\lambda_{ОПТ}^Ц$ для $n = 2$, а при $s^H/s^Ц > 0,5$ – для $n=1$, при яких визначають коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону:

$$k^H = \sqrt[3]{\frac{\lambda^Ц}{\lambda_{ОПТ}^Ц}}. \quad (4.28)$$

При $k^H > 1$ частину цементу замінюють наповнювачем, для чого з урахуванням k^H визначають водоцементне відношення $(B_0/Ц)$, що забезпечує

задану міцність бетону з наповнювачем, і визначають остаточну витрату цементу, наповнювача і води

$$Ц = \frac{V_{Ц}^{ЦНВ}}{\left(\frac{1}{\rho_{Ц}} + \left(\frac{B}{Ц}\right)_{опт}\right) + \frac{H}{Ц} \times \left(\frac{1}{\rho^H} + W^H\right)}; \quad H = Ц \cdot \frac{H}{Ц}, \quad (4.29)$$

$$B = Ц(B / Ц)_{опт} + HW^H + PW^H + ЩW^Щ, \quad (4.30)$$

де $V_{Ц}^{ЦНВ}$ – об'єм цементного тіста з наповнювачем; W^H – водопотрібність наповнювача.

Ці уявлення було використано для розрахунку оптимальної кількості мікронаповнювачів у гіпсовому і цементному камені.

4.2.2 Теоретичні дослідження впливу структури на електрофізичні властивості композицій

Один з методів захисту конструкцій від електрокорозійного руйнування передбачає використання захисних заземлених екранів, що являють собою електропровідні композиції.

Дослідимо вплив структури на електрофізичні властивості, зокрема, питомий електричний опір силікатних композицій. Композиційний матеріал складається із структуроутворюючих частинок (наповнювача), зв'язаних воедино матрицею. Для досліджень та опису кількісних закономірностей структуру умовно представимо просторовою геометричною моделлю з регулярним розташуванням кулеподібних структуроутворюючих частинок однакового діаметру, схема структури такої композиції наведена на рис. 4.13, а. На рис. 4.13, б, наведена схема умовної просторової елементарної комірки композиту, що складається з однієї частинки наповнювача середнім розміром (діаметром) d , м, оточеної з трьох боків (у просторі) матрицею з середньою товщиною в місцях максимального наближення частинок наповнювача δ , м.

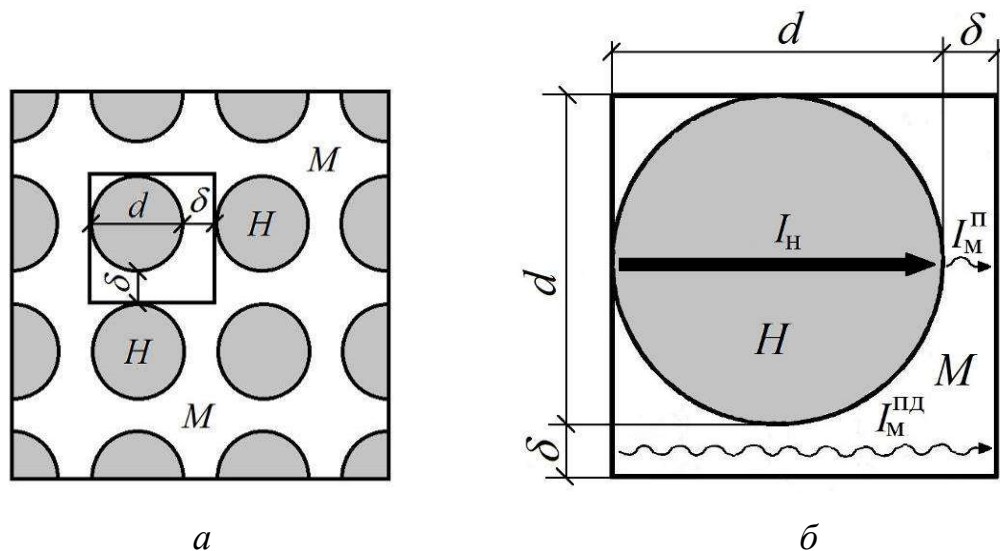


Рис. 4.13. Схема формування електричного опору композиційного матеріалу: *a* – схема структури композиційного матеріалу; *б* – схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання струму крізь неї:

H – наповнювач; *M* – матриця

На рис. 4.14 наведена еквівалентна схема умовної просторової елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання електричного струму крізь неї. Як бачимо із рис. 4.13, 4.14 загальний електричний струм I , що протікає крізь умовну елементарну комірку, розділяється на струми, які протікають крізь частинку наповнювача (I_H) і прошарки між частинками наповнювача – поперечний ($I_M^П$) і подовжній ($I_M^{ПД}$) напряму струму. Для спрощення подальших розрахунків представимо частинку наповнювача циліндричною з висотою, рівною її діаметру (рис. 4.14). Згідно схемам рис. 4.14 питомий електричний опір композиційного матеріалу дорівнюватиме питомому електричному опору його умовної елементарної комірки:

$$\rho_k = \frac{RS}{L}, \text{ Ом} \times \text{м}, \quad (4.29)$$

де R, S, L – електричний опір, Ом, площа поперечного перерізу, м^2 , довжина, м, відповідно, умовної елементарної комірки композиційного матеріалу:

$$S = (d + \delta)^2; \quad L = d + \delta. \quad (4.30)$$

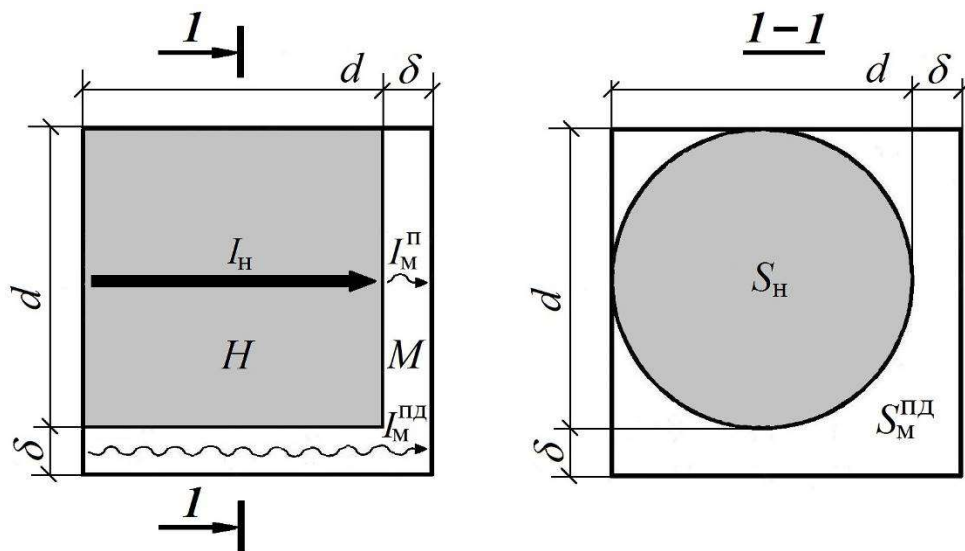


Рис. 4.14. Еквівалентна схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання електричного струму крізь неї: H – наповнювач; M – матриця

Виходячи із такої схеми протікання струму, еквівалентна схема електричного опору умовної елементарної комірки композиту може бути представлена у вигляді рис. 4.15 де електричні опори (провідники) наповнювача R_H і прошарку матриці, поперечному напрямку протікання струму $R_M^П$ з'єднані послідовно, а електричний опір прошарку матриці, подовжнього напрямку протікання струму $R_M^{ПД}$ – паралельно двом першим (R_H і $R_M^П$).

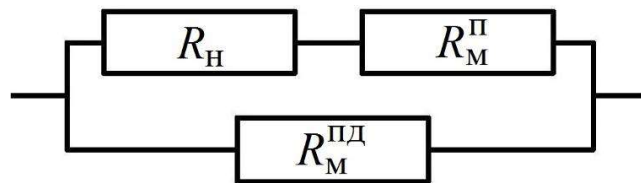


Рис. 4.15. Еквівалентна схема електричного опору елементарної чарунки композиційного матеріалу

Згідно схемі рис. 4.15 електропровідність $1/R_k$ (величина, зворотна електричному опору R) умовної елементарної комірки композиту складе:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_H + R_M^П} + \frac{1}{R_M^{ПД}}, \quad (4.31)$$

де R_H – електричний опір частинки наповнювача, Ом; R_M^n ; R_M^{nd} – електричний опір прошарків матриці, відповідно, поперечного і подовжнього напрямку електричного струму, Ом:

$$R_H = \frac{\rho_H L_H}{S_H} = \frac{\rho_H d}{\pi d^2 / 4} = \frac{4\rho_H}{\pi d}; \quad (4.32)$$

$$R_M^n = \frac{\rho_M L_M^n}{S_H} = \frac{\rho_M \delta}{\pi d^2 / 4} = \frac{4\rho_M \delta}{\pi d^2}; \quad (4.33)$$

$$R_M^{nd} = \frac{\rho_M L_M^{nd}}{S_M^{nd}} = \frac{\rho_M (d + \delta)}{(d + \delta)^2 - \pi d^2 / 4}, \quad (4.34)$$

де L_H – довжина частинки наповнювача, що дорівнює її діаметру d , м; L_M^n – розмір прошарку матриці, поперечного напрямку протікання струму, що дорівнює його товщині δ , м; L_M^{nd} – розмір прошарку матриці, подовжнього напрямку протікання струму, що дорівнює $(d + \delta)$, м; S_H – площа перерізу частинки наповнювача, м²; S_M^n , S_M^{nd} – площа перерізу прошарків матриці, відповідно, поперечного і подовжнього напрямку електричного струму, м²:

$$S_H = S_M^n = \pi d^2 / 4; \quad S_M^{nd} = (d + \delta)^2 - \pi d^2 / 4; \quad (4.35)$$

Підставивши (4.32-4.35) у (4.31), отримаємо рівняння для визначення питомої електропровідності композиції $1/\rho_k$ – величини, зворотної її питомому електричному опору ρ_k :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho_k (d + \delta)} &= \frac{1}{\frac{4\rho_H}{\pi d} + \frac{4\rho_M \delta}{\pi d^2}} + \frac{1}{\frac{\rho_M (d + \delta)}{(d + \delta)^2 - \pi d^2 / 4}} = \frac{0,25\pi d}{\rho_H + \rho_M \delta / d} + \frac{(d + \delta)^2 - 0,25\pi d^2}{\rho_M (d + \delta)}; \\ \frac{1}{\rho_k} &= \frac{0,25\pi d (d + \delta)}{\rho_H + \rho_M \delta / d} + \frac{(d + \delta)^2 - 0,25\pi d^2}{\rho_M}. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Як бачимо, питома електропровідність композиції $1/\rho_k$ та, отже, і її питомий електричний опір ρ_k залежать від питомого електричного опору наповнювача ρ_H і матриці ρ_M і таких характеристик структури композиції, як d , δ та їх співвідношення δ/d . Дослідимо вплив складу композиції на ці характеристики структури.

За аналогією з [313] застосуємо для цього структурну характеристику композиційного матеріалу – коефіцієнт розсунення наповнювача матрицею η . Використовуючи підхід за [13], отримуємо формулу для коефіцієнту розсунення η . Уявимо, що представлена на рис. 4.13, *a* просторова модель композиційного матеріалу утворена розсунутими матрицею відносно вихідного стану частинками наповнювача у вигляді куль. У вихідному стані розташування куль контактне, а їх упаковка – проста кубічна (рис. 4.16). Із щільних упаковок куль (рис. 4.16) найменш щільною є саме проста кубічна [314], проте саме їй за думкою багатьох дослідників [315, 316] у найбільшому ступені відповідає структура бетонів і аналогічних композиційних матеріалів. У розсуненому стані порядок взаємного розташування куль зберігається.

Як вже було припущено, простішим регулярним елементом такої упаковки, що відповідає умовній просторовій елементарній комірці структури, є куб зі вписаною в нього кулею. Сторона кубу дорівнює діаметру кулі (рис. 4.17, *a*). Об'єм пустот V_n в цьому випадку дорівнюватиме різниці між об'ємом кубу та об'ємом кулі:

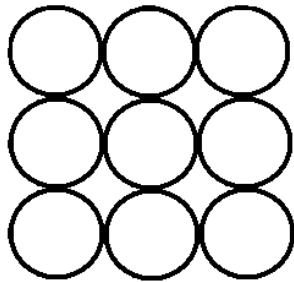


Рис. 4.16. Проста кубічна упаковка куль однакового діаметру

$$V_n = d^3 - \frac{\pi d^3}{6} = \left(1 - \frac{\pi}{6}\right) d^3. \quad (4.37)$$

Пустотність цієї упаковки частинок наповнювача – куль складає:

$$\Pi_n = \frac{\left(1 - \frac{\pi}{6}\right) d^3}{d^3} = 1 - \frac{\pi}{6} = 0,4764. \quad (4.38)$$

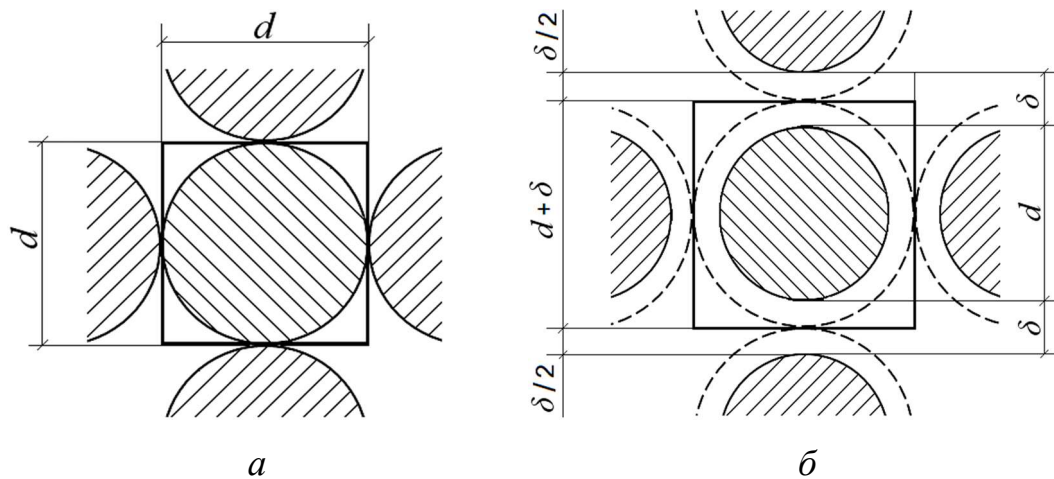


Рис. 4.17. Схема умовної елементарної комірки структури композиційного матеріалу, що відповідає простій кубічній упаковці куль:

a – без розсунення; *б* – з розсуненням

У разі контактного розташування куль об'єм матриці дорівнює об'єму пустот. У разі розсунення куль матрицею між ними утворюється прошарок товщиною δ (рис. 4.17, б) і об'єм матриці складатиметься із об'єму пустот між кулями діаметром $(d+\delta)$ і різниці об'ємів куль з діаметрами $(d+\delta)$ і d :

$$V_m = \left(1 - \frac{\pi}{6}\right)(d + \delta)^3 + \left[\frac{\pi}{6}(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3\right] = (d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3. \quad (4.39)$$

Коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею η є відношенням об'єму матриці V_m до об'єму пустот V_n між частинками наповнювача у вихідному стані – з їх контактним розташуванням без розсунення:

$$\eta = \frac{V_m}{V_n} = \frac{(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3}{\left(1 - \frac{\pi}{6}\right)d^3} = 2,10 \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - 1,10. \quad (4.40)$$

Отримане рівняння відповідає аналогічній формулі у [279].

У разі утворення більш щільних упаковок на кожную кулю припадає менше загального об'єму системи, ніж у разі простої кубічної упаковки. Нехай частка цього об'єму від об'єму куба дорівнюватиме k . У цьому випадку об'єм пустот V_n і пустотність P_n дорівнюватимуть:

$$V_n = kd^3 - \frac{\pi d^3}{6} = \left(k - \frac{\pi}{6}\right)d^3. \quad (4.41)$$

$$\Pi_n = \frac{\left(k - \frac{\pi}{6}\right)d^3}{kd^3} = 1 - \frac{\pi}{6k}. \quad (4.42)$$

Величину k можливо виразити через пустотність упаковки, перетворивши (4.42):

$$k = \frac{\pi}{6(1 - \Pi_n)}. \quad (4.43)$$

У разі розсунення частинок на відстань δ об'єм матриці та коефіцієнт розсунення дорівнюватимуть, відповідно:

$$V_m = \left(k - \frac{\pi}{6}\right)(d + \delta)^3 + \left[\frac{\pi}{6}(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3\right] = k(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3. \quad (4.44)$$

$$\eta = \frac{k(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}}{\left(k - \frac{\pi}{6}\right)d^3} = \frac{k}{k - \frac{\pi}{6}} \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - \frac{\frac{\pi}{6}}{k - \frac{\pi}{6}}. \quad (4.45)$$

Підставивши (4.43) у (4.45), отримаємо:

$$\eta = \frac{1}{\Pi_n} \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - \frac{1}{\Pi_n} + 1. \quad (4.46)$$

Залежність δ від d , Π_n та η отримаємо, відповідним чином перетворивши (4.46):

$$\delta = d \left[\sqrt[3]{\Pi_n (\eta - 1) + 1} - 1 \right] \quad (4.47)$$

- для композиції на основі силікатів кальцію і натрію:

$$\eta = \frac{V_m}{V_n} = \frac{\frac{Ш}{\rho_{ш}} + \frac{РС}{\rho_{рс}} + \frac{КФ}{\rho_{кф}}}{\frac{H}{\rho_n^c} \Pi_n} = \frac{\frac{Ш}{РС} \times \frac{1}{\rho_{ш}} + \frac{1}{\rho_{рс}} + \frac{КФ}{РС} \times \frac{1}{\rho_{кф}}}{\frac{H}{РС} \times \frac{\Pi_n}{\rho_n^c}}, \quad (4.48)$$

де $Ш$, $РС$, $КФ$, H – витрата на 1 м³ композиції, відповідно, шлаку, рідкого скла, кремнійфториду натрію, наповнювача, кг; $\Pi_n = 1 - \rho_n^c / \rho_n$ – пустотність упаковки

частинок наповнювача в ущільненому стані (аналог пустотності заповнювачів бетону); $\rho_{ш}$, $\rho_{рс}$, $\rho_{кф}$, ρ_n – істинна густина, відповідно, шлаку, рідкого скла, кремнійфториду натрію, наповнювача, кг/м³; ρ_n^c – середня густина наповнювача в ущільненому стані (аналог насипної густини заповнювачів бетону), кг/м³; $Ш/РС$, $КФ/РС$, $Н/РС$ – кількісне співвідношення за масою відповідних компонентів композиції;

- для композицій на основі портландцементу:

$$\eta = \frac{V_m}{V_n} = \frac{\frac{П}{\rho_n} + \frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{В}{\rho_в}}{\frac{Н}{\rho_n^c} \frac{П_n}{\rho_n}} = \frac{\frac{П}{Ц} \times \frac{1}{\rho_n} + \frac{1}{\rho_ц} + \frac{В}{Ц} \times \frac{1}{\rho_в}}{\frac{Н}{Ц} \times \frac{П_n}{\rho_n^c}}, \quad (4.49)$$

де $П$, $Ц$, $В$, $Н$ – витрата на 1 м³ композиції, відповідно, піску, цементу, води, наповнювача, кг; $П_n = 1 - \rho_n^c / \rho_n$ – пустотність упаковки частинок наповнювача в ущільненому стані (аналог пустотності заповнювачів бетону); ρ_n , $\rho_ц$, $\rho_в$, ρ_n – істинна густина, відповідно, піску, цементу, води, наповнювача, кг/м³; ρ_n^c – середня густина наповнювача в ущільненому стані (аналог насипної густини заповнювачів бетону), кг/м³; $П/Ц$, $В/Ц$, $Н/Ц$ – кількісне співвідношення за масою відповідних компонентів композиції.

Такими чином у [312, 318] запропановано алгоритм визначення питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір наповнювача та матриці і складом композиції з дослідницькими або технологічними цілями набуває такого виду:

1) за даними про склад та фізичні властивості компонентів композиційного матеріалу визначають коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею η ;

2) визначають товщину прошарку матриці між частинками наповнювача δ ;

3) за даними про питомий електричний опір наповнювача ρ_n та матриці ρ_m і середніми величинами розміру зерен наповнювача d і товщини прошарків матриці між ними δ визначають питому електропровідність i , як зворотню їй величину – питомий електричний опір композиційного матеріалу;

4) для композиційного матеріалу з багаторівневою структурою виконують розрахунок за попередніми пп. спочатку для більш дрібного рівня (наприклад, мікрорівня із цементного каменю і наповнювача), потім для наступного, використовуючи отриману величину питомого електричного опору за цими пп. як величину питомого електричного опору матриці наступного більш крупного рівня (мезорівня з заповнювачем – піском) і т.д. (макрорівня з заповнювачем – щебенем).

Такий алгоритм правомірний за умови, якщо не відбувається взаємодії електропровідного наповнювача із іншими компонентами композиту. За даними [317, 351] в якості такого наповнювача для цементних систем можливе використання графітового наповнювача.

4.2.3 Вплив поверхневих властивостей мінеральних добавок на формування структури композиту

Структуруюча роль мінеральних наповнювачів визначається їх поверхневими властивостями. В якості наповнювачів в композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих найчастіше використовуються мінеральні порошки – силікатні, які більш ніж на 90% складаються з кремнезему, карбонатні, золи [319, 320], мінеральні і полімерні волокна [321]. Найчастіше такі наповнювачі мають негативний поверхневий заряд.

У [322] запропоновано використовувати у якості наповнювача металевий порошок, що складається з частинок сталі. Такий наповнювач є електропровідним, що дає можливість використовувати його для створення електропровідних композицій та має в рідкій фазі бетону (дисперсійному середовищі) негативний електроповерхневий потенціал, що потенційно є передумовою для участі його у процесах структуроутворення цементного композиту. При гідратації цементу частки сталі будуть утворювати електрогетерогенні контакти з портландітом $Ca(OH)_2$, що призведе до підвищення міцності бетону.

На рис. 4.18 наведено електронно-мікроскопічний знімок відколу бетону з мікронаповнювачем – сталевим порошком. У центрі фотографії частинка сталевого мікронаповнювача, яка має чітко виражену кристалічну структуру. Поверхня частки стали покрита призматичними кристалами продуктів гідратації. Як видно на фотографії між частинкою сталевого наповнювача і цементним каменем утворюється дуже щільний контакт.

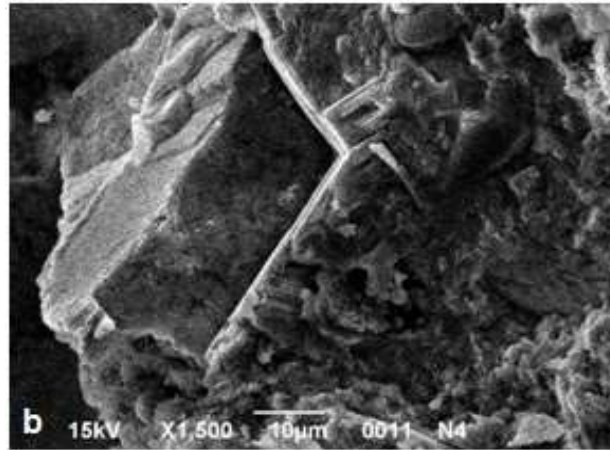


Рис. 4.18. Електронно-мікроскопічний знімок відколу бетону з мікронаповнювачем - сталевим порошком

За даними термодинамічних розрахунків при введенні до складу бетону карбонатних мінеральних добавок між цими частинками та продуктами гідратації цементу відбувається взаємодія. Проте, як вже було відмічене у розділі 3, механізм взаємодії клінкерних мінералів з високидсперсною крейдою суттєво відрізняється від взаємодії з іншими карбонатними матеріалами.

Згідно з даними [284] при гідратації алюмовміщуючих клінкерних мінералів C_3A и C_4AF в присутності карбонату кальцію відбувається зміна фазового складу новоутворень, які представлені гідроалюмінатом кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ і комплексним сполуками гідрокарбоалюміната кальцію (ГКАК) $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$. В результаті аналізу хімічних реакцій і величин їх вільної енергії Гіббса ΔG , встановлено: в присутності мінеральних добавок можливі всі реакції гідратації трьохкальцієвого алюміната C_3A з утворенням кристалогідратів гідросульфо-, гідрокарбоалюмінатів кальцію - AFm та AFt -

фаз. Крім того, в лужному середовищі цементного розчину аморфний кремнезем, який покриває поверхню частинок крейди вступає у взаємодію з гідроксидом кальцію з утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію. Отже, для взаємодії з алюмінатом кальцію необхідно вивільнити карбонатну складову крейди, що знаходиться під шаром аморфного кремнезему тобто до початку утворення гідрокарбоалюмінату кальцію поверхневий кремнезем крейди повинен провзаємодіяти з гідроксидом кальцію рідкої фази цементного каменю.

За даними електронно-мікроскопічних досліджень (рис. 4.19) структура цементного каменю в присутності добавки високодисперсної крейди досить щільна. Наявні кристали портландіта, еттрінгіта і гідрокарбоалюміната кальцію типу $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 10H_2O$ або $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCO_3 \cdot 31H_2O$. Як видно на знімках, при наявності високодисперсного крейди утворюються також у великій кількості низькоосновні гідросилікати кальцію – астроподібні кристали.

На ІЧ-спектрах гідратованої суміші клінкерних мінералів з добавкою високодисперсної крейди, рис. 4.20. присутні лінії поглинання з хвильовими числами, cm^{-1} , сполук: 710, 730 – деформаційні коливання тетраедра AlO_4^- ; 850, 880, 870, 890 – валентні коливання зв'язків карбонатних груп $[CO_3]^{2-}$; 980-1100 – валентні коливання $Si-O$ і $Si-O-Al_4$; 1480, 1460 – деформаційні коливання груп карбонату кальцію; 1640, 3450, 3540 (слабкі) – характерні для гідрокарбоалюміната кальцію (ГКАК). Наявність ліній 1620, 3000–3440 cm^{-1} свідчить про початок перекристалізації гексагональних гідроалюмінатів кальцію типу C_4AH_{13-19} . Методами ІЧ-спектроскопії доведено, що добавка високодисперсної крейди призводить до зниження основності гідросилікатів кальцію, про що свідчить наявність полоси поглинання з максимумом 1083 cm^{-1} , рис. 4.20.

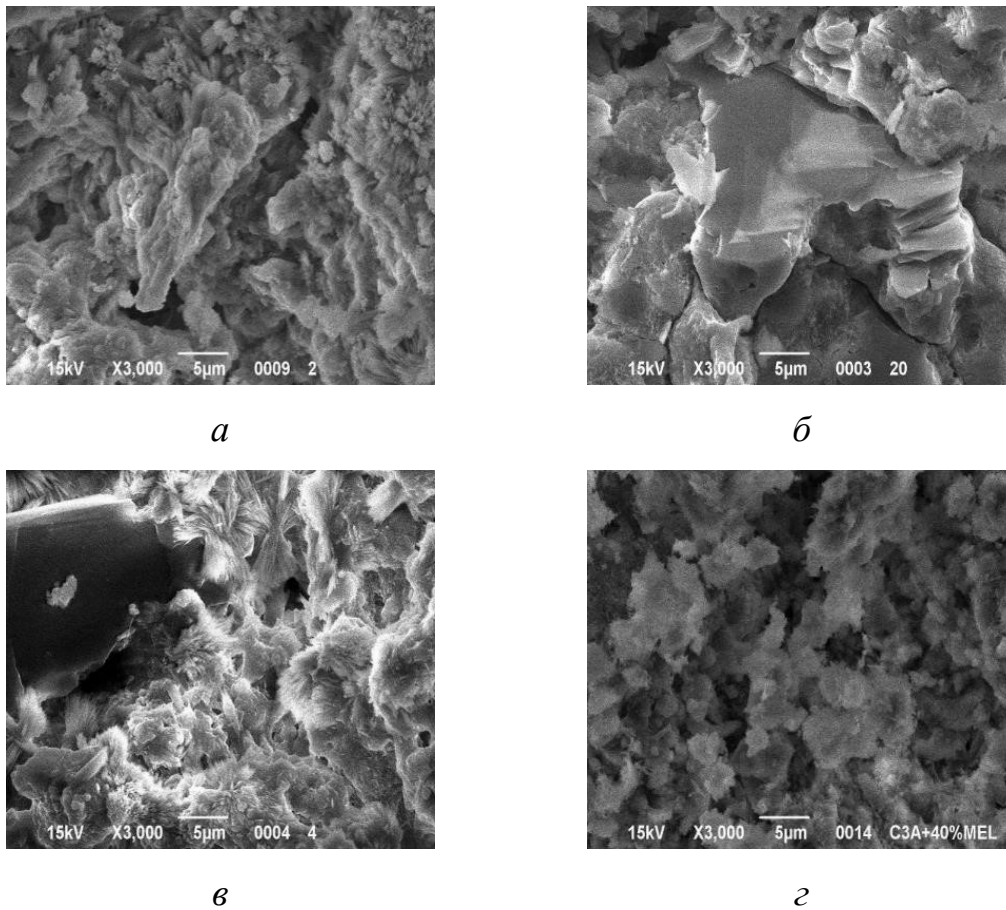


Рис. 4.19. Мікроструктура цементного каменю, модифікованого високодисперсною крейдою *a* – 10 %, *б* – 20 %, *в* – 30 %, *г* – 40 %, збільшення $\times 3000$

На рентгенограмі зразку, що містить добавку високодисперсної крейди в кількості 10 %, рис. 4.21, присутній повний набір дифракційних ліній (максимумів) кальциту (3,86; 3,04; 2,85; 2,50; 2,29; 2,09; 1,94; 1,878 ; 1,627; 1,604; 1,524; 1,474; 1,437; 1,420 Å і т.д.), портландиту $Ca(OH)_2$ (4,92; 3,11; 2,63; 1,934; 1,798; 1,687; 1,547; 1,484; 1,450 Å і ін.), гідрокарбоалюмінату кальцію $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$, утворення якого обумовлено взаємодією C_3A із $CaCO_3$ крейди.

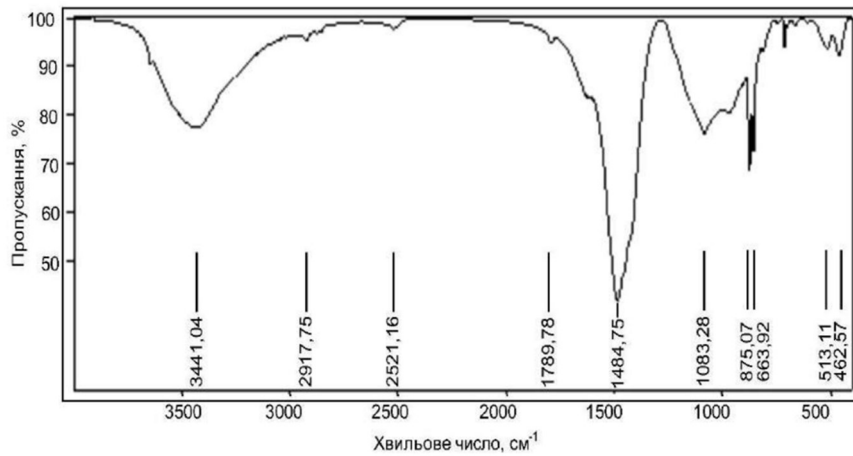


Рис. 4.20. Інфрачервоний спектр зразку гідратованої суміші портландцементу з крейдою (9:1)

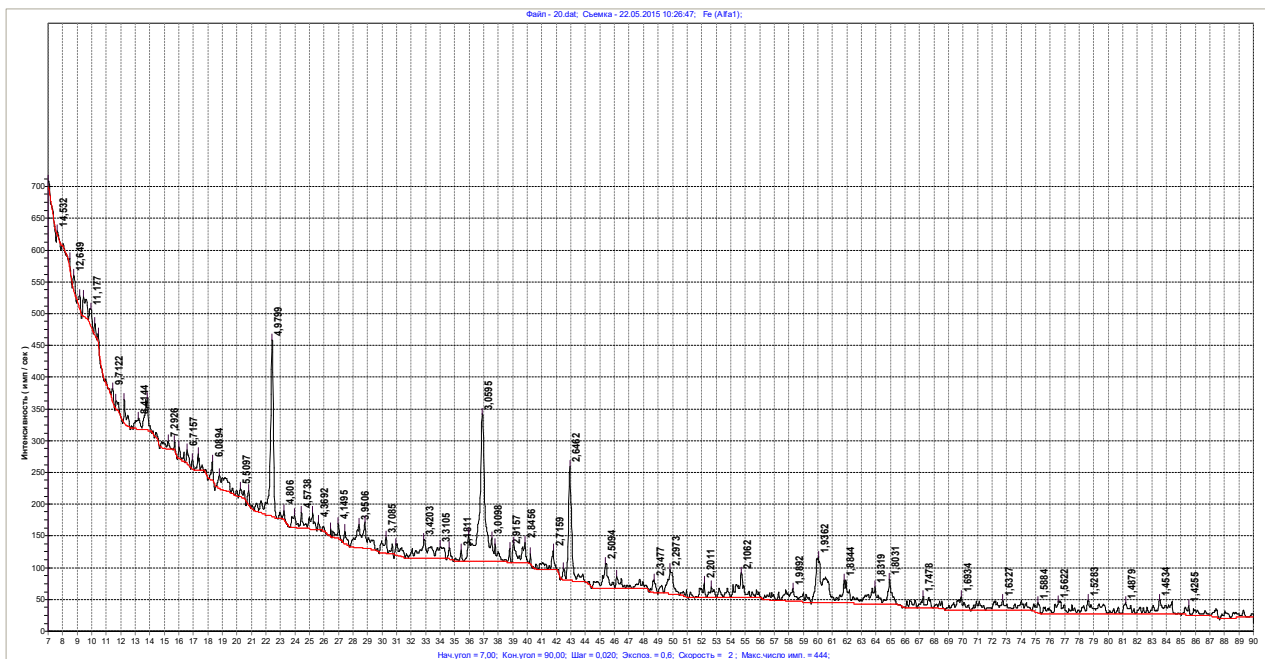


Рис. 4.21. Рентгенограма зразку гідратованої суміші портландцементу з крейдою (9:1)

Високодисперсна крейда суттєво впливає на мікроструктуру цементного каменю [323]. В складі цементного каменю високодисперсна крейда змінює фазовий склад гідратних новоутворень, зокрема призводить до утворення стійких сполук – гідрокарбоалюмінату кальцію та низькоосновних гідросилікатів кальцію. Використання добавки збільшує ступінь гідратації клінкерних мінералів, швидкість формування кристалів та зародкоутворення

[324-326]. Проведені дослідження показали що, механізм взаємодії високодисперсної крейди з портландцементом складається з декількох етапів: – гідратація клінкерних мінералів і утворення гідроксиду кальцію; – взаємодія гідроксиду кальцію з аморфною формою кремнезему і утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію, що супроводжується вивільненням карбонатної частини крейди; – взаємодія карбонату кальцію крейди з алюмінатом кальцію і утворення гідрокарбоалюмінату кальцію.

Частина крейди, що не бере участь у процесі гідратації виконує функцію тонкодисперсного наповнювача, механізм дії якого відповідає схемі на рис. 4.12.

Розмір частинок крейди можна порівняти з розміром капілярів цементного каменю, рис. 4.22, тому значна частина об'єму капілярних пор може бути заповнена кальцитом, який погано розчиняється у воді, що підвищить щільність і знизить проникність цементного каменю. Оскільки об'єм капілярних пор звичайно не перевищує 40 %, тому для їх наповнення загальний об'єм в'язучого може збільшитися за рахунок дисперсної крейди не більше ніж на 40 %.

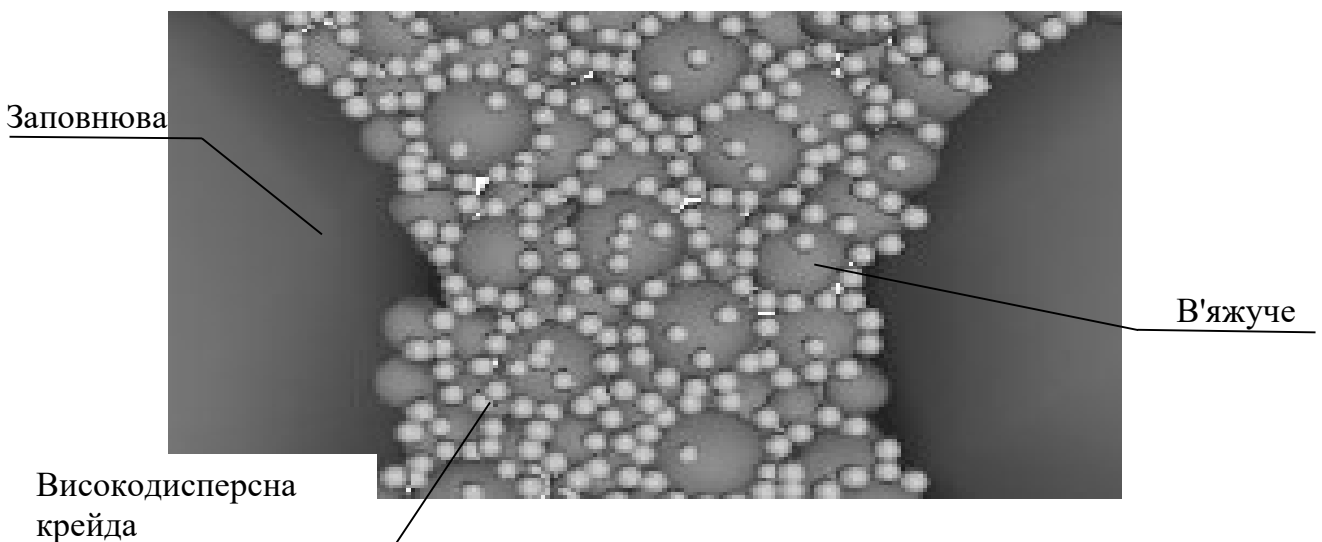


Рис. 4.22. Просторово-структурна схема розміщення частинок цементу та високодисперсної крейди

Ефективність добавки визначається ущільненням мікроструктури цементного каменю за рахунок розміщення зерен добавки в проміжках між зернами цементу [327], а також за рахунок збільшення дисперсності продуктів гідратації для яких частинки крейди є центрами кристалізації.

Вищевикладене створює умови для створення бетонів з високими показниками водонепроникності і корозійної стійкості. Бетони, модифіковані добавкою високодисперсного крейди, рекомендовано застосовувати для конструкцій, які піддаються впливу морської води, агресивних підземних і промислових стічних вод, що містять хлориди, сульфати, іони магнію.

4.2.4 Особливості електрогетерогенних контактів кристалогідратів анізометричної форми та їх вплив на структуру штучного каменю

Кристали анізометричної форми, що мають різнойменні поверхневі заряди подовжніх і торцевих граней, визначають особливості структури штучного каменю, які мають бути враховані для забезпечення високої щільності, міцності, водостійкості. Прикладом є гіпс.

Гіпсові в'язучі широко використовуються в будівництві завдяки своїй технологічності, високій швидкості твердіння, розширенні під час твердіння, низькій енергоємності на стадіях як виробництва, так і застосування, екологічності, у т.ч. на стадії вторинної переробки [335, 336] Проте недостатня водостійкість обмежує галузь застосування гіпсу досить вузькими межами умов експлуатації і не дозволяє використовувати його в конструкціях, які піддаються впливу вологи.

Спільно з А.С. Єфіменком [278, 274, 337] виконано моделювання та розроблені схеми структури гіпсового каменю з мінеральним наповнювачем і мікронаповнювачами з урахуванням їх поверхневих зарядів.

Як відмічено у розділі 3.2.1, гіпсовий камінь складають крупні кристали двоводного гіпсу призматичної форми, подовжні грані яких мають позитивний поверхневий заряд. Низька міцність та водостійкість гіпсу обумовлені

відсутністю електрогетерогенних та наявністю електрогомогенних контактів між кристалами, що утворені слабким міжмолекулярним притяганням між однойменно зарядженими подовжніми гранями кристалів з одним загальним шаром протиіонів SO_4^{2-} , рис. 3.12. Ці контакти в процесі гідrataції гіпсу ущільнюються до стану, в якому молекули води являють собою моношари, міцно зв'язані з поверхнями кристалів гіпсу. Однак у воді, окрім процесу розчинення, додатково за рахунок розбавлення протиіонів осмотичним тиском води відбувається розущільнення електрогомогенних контактів, що і визначає низьку водостійкість гіпсу.

У [179] для забезпечення водостійкості, збільшення міцності гіпсових в'язучих запропоновано вводити до їх складу дисперсні добавки з негативним поверхневим зарядом і розміром частинок більшим, ніж середній розмір кристалів гіпсу. Таким наповнювачем може бути мелений доменний гранульований шлак. У структурі гіпсового каменю із шлаком кристали гіпсу-двогідрату прилягають до поверхні зерен шлаку подовжніми гранями, утворюючи з ними електрогетерогенні контакти, рис. 4.23. У разі раціонального співвідношення кількості гіпсу і шлаку формується досить щільна структура кристалів гіпсу-двогідрату, що прилягають один до одного під великими кутами і також утворюють електрогетерогенні контакти. Однак одночасно в центрі зернових порожнеч між зернами шлаку слід очікувати утворення пір (P_0 на рис. 4.24, *a*), доступних для води і для розчинення кристалів з торців.

У разі дефіциту гіпсу-двогідрату, рис. 4.24, *б*, пори можуть утворюватися і в шарах між зернами наповнювача, у такому випадку введення мікронаповнювача з негативним поверхневим зарядом або застосування поліфракційного наповнювача призводить до заповнення цих пір їх частинками, зниженню пористості, підвищенню водостійкості [338]. Для захисту торцевих граней кристалів гіпсу-двогідрату від розчинення було запропоновано вводити мікронаповнювач, що має також негативний поверхневий потенціал та середній розмір частинок не більше 0,2 середнього розміру частинок наповнювача. У

якості мікронаповнювача доцільно використовувати кремнезем, який має негативний електроповерхневий потенціал.

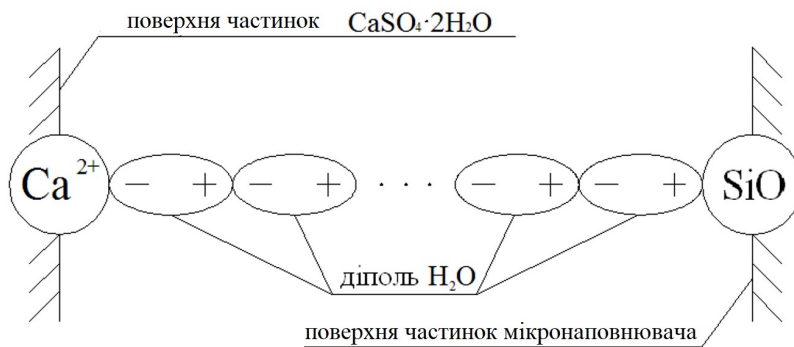


Рис. 4.23. Схема електрогетерогенного контакту між кристалами $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ та шлаку, або мікрокремнезему

Нові дані про різний по знаку поверхневому заряді граней кристаллогидратів гіпсу [337] дозволили удосконалити умовні схеми структури гіпсу з мінеральними добавками, рис. 4.24, *в, г*.

Розчинення кристалів відбувається переважно на кутах та ребрах [339] за рахунок латерального відштовхування [64]. В гіпсовому камені кути та ребра торцевих граней доступні для води, що є ще однією причиною низької водостійкості. Для захисту торцевих граней до складу слід вводити мінеральні добавки з позитивно зарядженою поверхнею. В такому випадку кристали гіпсу будуть зростати від поверхні частинок мінеральної добавки та між ними утворюються електрогетерогенні контакти, що захищатимуть торцеві грані гіпсу від розчинення та підвищать водостійкість. Введення мікронаповнювача з позитивним поверхневим зарядом (нанодисперсного глинозему) призводить до заповнення його частинками пор P_0 і також підвищенню водостійкості.

На рис. 4.24, *а* представлена схема гіпсового каменю з раціональним співвідношенням вмісту гіпсу і наповнювача, на рис. 4.24, *б* – з дефіцитом гіпсу. Розподіл часток мікронаповнювачів буде залежати від знаку поверхневого заряду, що відображено на схемах: рис. 4.24, *в* – гіпсовий камінь з мікронаповнювачем з негативним поверхневим зарядом, рис. 4.24, *г* – з мікронаповнювачем з позитивним поверхневим зарядом.

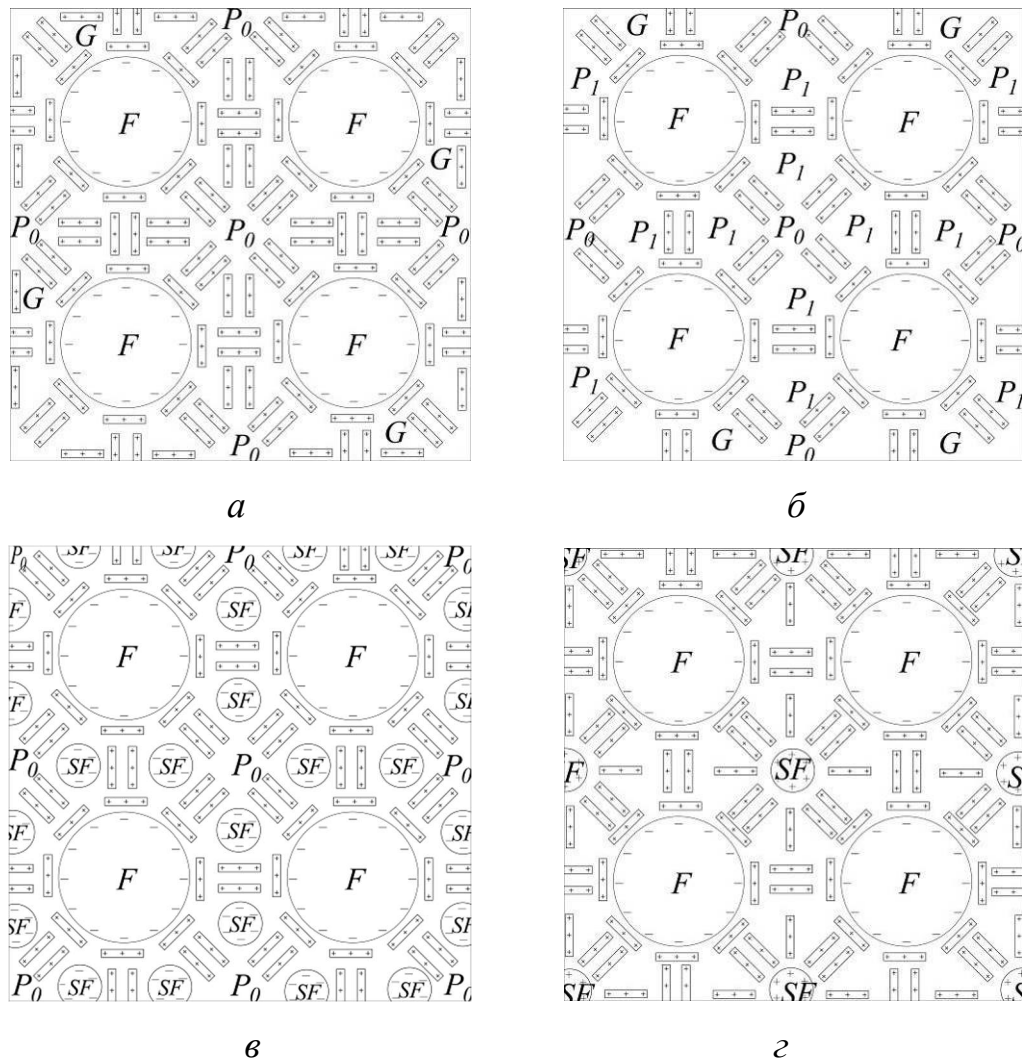


Рис. 4.24. Умовна схема структури гіпсового каменю G з наповнювачем F:
a - з раціональним співвідношенням вмісту гіпсу і наповнювача; *б* - з дефіцитом гіпсу-напівгідрату; *в* - з мікронаповнювачів з негативним поверхневим зарядом (SF^-); *г* - з мікронаповнювачів з позитивним поверхневим зарядом (SF^+)

Адекватність розроблених схем підтверджується результатами електронно-мікроскопічних досліджень, які представлені на рис. 4.25. Були досліджені поверхні відколу гіпсо-шлакового каменю з відносним вмістом шлаку $S / (G + S) = 0,4$ і водотвердим відношенням $W / (G + S) = 0,36$ без мікронаповнювача і з мікронаповнювачем - нанодисперсним глиноземом з відносним вмістом $MF / (G + S) = 0,02$.

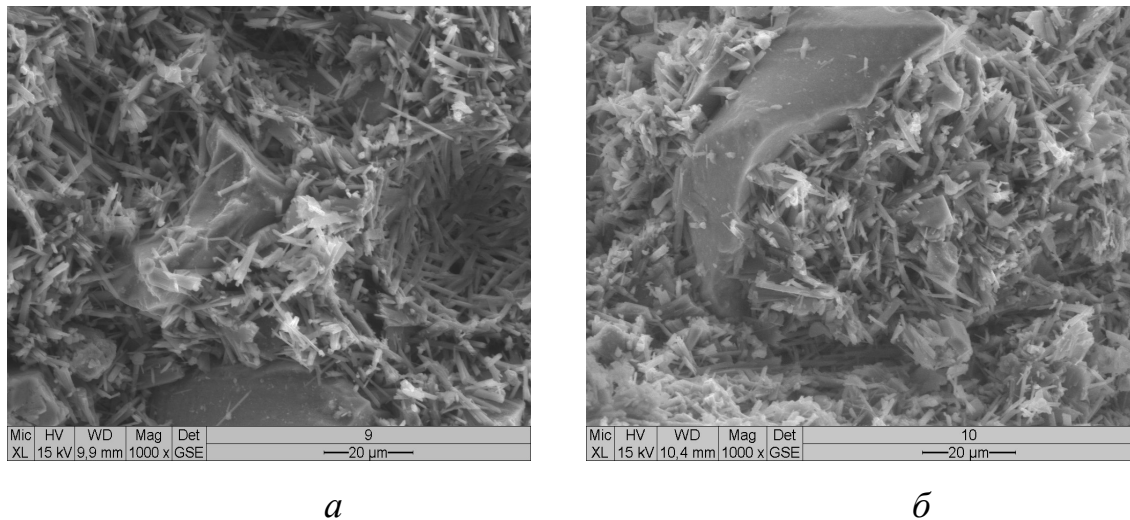


Рис. 4.25. Електронно-мікроскопічні знімки (ЕМС) поверхні відколу гіпсошлакового каменю, $S / (G + S) = 0,4$, $W / (G + S) = 0,36$: а - без мікронаповнювача; б, - з мікронаповнювачем - нанодисперсним глиноземом $MF / (G + S) = 0,02$, збільшення $\times 1000$

На знімках рис. 4.25, а видно, що кристали гіпсу-двогідрату прилягають до поверхні зерен шлаку поздовжніми гранями, формується досить щільна структура штучного каменю. Введення ж мікронаповнювача з позитивним поверхневим зарядом (нанодисперсного глинозему) призводить до ще більшого ущільнення структури, зниження пористості. Це підтверджується меншою кількістю видимих пір на ЕМС гіпсового каменю з наповнювачем і мікронаповнювачем. Також на знімках видно агрегати-сфероліти з кристалів гіпсу-двогідрату, які могли утворитися навколо частинок мікронаповнювача як центрів кристалізації (рис. 4.25, б).

Таким чином, механізм впливу мінеральних наповнювачів - меленого доменного гранульованого шлаку, мікрокремнезема і нанодисперсного глинозему, на структуроутворення гіпсового каменю полягає в формуванні більш щільною, ніж у гіпсу без добавок, структури композиційного матеріалу, в якому кристали гіпсу-двогідрату утворюють з частинками наповнювачів водостійкі електрорегетерогенні контакти і максимально захищені ними від впливу води [340]. Даний механізм застосовується лише до гіпсу. Його

застосування до інших повітряних в'язучих вимагає нового аналізу їх морфології і електроповерхневих властивостей.

4.2.5 Дисперсне армування композиційних матеріалів волокнами

Для покращення властивостей будівельних композиційних матеріалів широко застосовують їх дисперсне армування різними волокнами або фіброю. За їх допомогою підвищують міцність матеріалів та виробів на згин та розтяг, збільшують їх тріщиностійкість та зносостійкість, знижують усадку, сприяючи підвищенню непроникності.

Різними авторами [89, 328 тощо] досліджені та застосовані для розробки складів композиційних матеріалів емпіричні залежності їх властивостей від виду та вмісту волокон, їх довжини та діаметру, фізико-механічних властивостей тощо, а також математичні моделі цих залежностей.

У [329-334] згідно з розробленими новими положеннями колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки будівельних матеріалів послідовно досліджено електроповерхневі властивості найбільш розповсюджених волокон для дисперсного армування цементних та інших композитів, встановлено вид і поверхневу концентрацію активних центрів – потенціалвизначальних іонів на поверхні волокон, знаки і величини електроповерхневих зарядів, величини абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів.

На основі даних про електроповерхневі властивості найбільш розповсюджених волокон для дисперсного армування цементних та інших композитів, оцінено їх здатність до утворення електрогетерогенних контактів з продуктами гідратації портландцементу та розроблено схеми таких контактів, рис. 4.26.

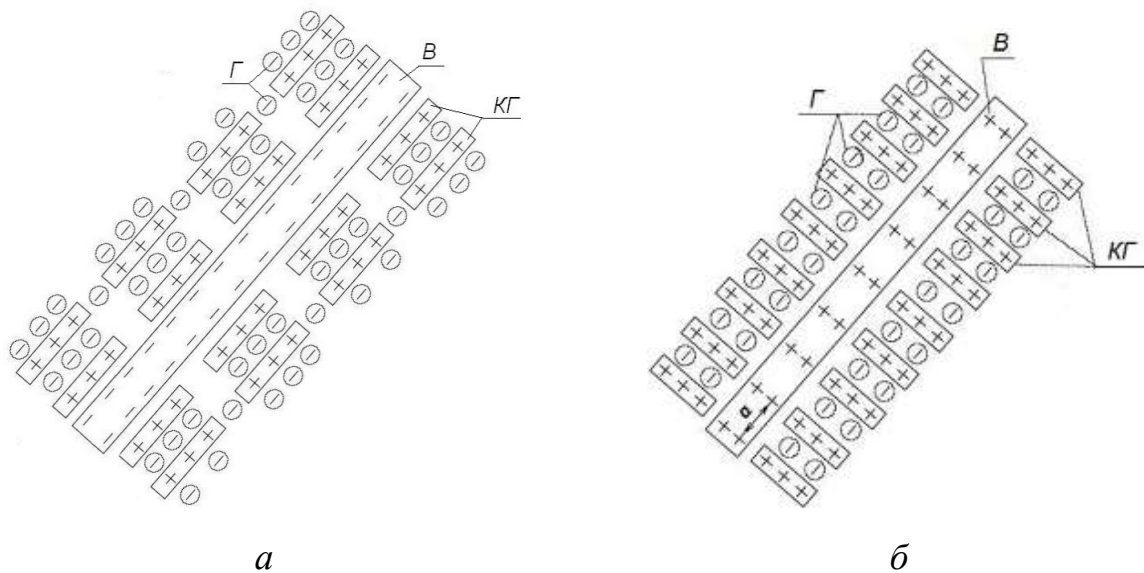


Рис. 4.26 Схеми зони контакту продуктів гідратації з волокном:
a – з негативним поверхневим зарядом; *б* – з позитивним поверхневим зарядом

Адекватність розроблених схем підтверджено результатами фізико-хімічних та електронно-мікроскопічних досліджень, що наведені на рис. 4.7.

Анізотрична форма кристалів впливає на структури, утворені композитами проникної дії на основі портландцементу і комплексної хімічної добавки, що включає нітрати, хлориди, сульфати, карбонати кальцію та лужних металів. У середовищі цементного каменю скловолокно має негативний поверхневий заряд і є підкладкою для кристалізації продуктів гідратації з позитивним поверхневим зарядом – портландиту, гідроалюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію. Солі комплексної хімічної добавки утворюють кристалогідрати *AFm*- і *Aft*-фаз, які щільно укладаються в порах, а також на поверхні волокон, якими армують композити (рис. 4.7), саме за рахунок різниці у знаках поверхневих зарядів різних граней утворюють з ними електрогетерогенні контакти. Це забезпечує крім армування безпосередньо скловолокном своєрідне додаткове ізотропне мікроармування цементного каменю щільною просторовою структурою, насиченою електрогетерогенними контактами між кристалогідратами і гідросілікатним гелем навіть у разі розчинення скловолокна в лужному середовищі цементного каменю [329].

4.3 Вплив агресивних середовищ на контакти між дисперсними частинками в штучному каміні

Як було відмічено, розділ 3.1.2, рівноважні електроповерхневі потенціали ψ^0_p речовини на яких може відбуватись специфічна адсорбція гідроксильних іонів OH^- або протонів H^+ , для реальних рідких дисперсних середовищ залежать від pH та визначаються за виразом (3.4).

Досліджено вплив pH середовища на рівноважні електроповерхневі потенціали гідросилікатів кальцію різної основності. Результати дослідження наведено на рис. 4.27.

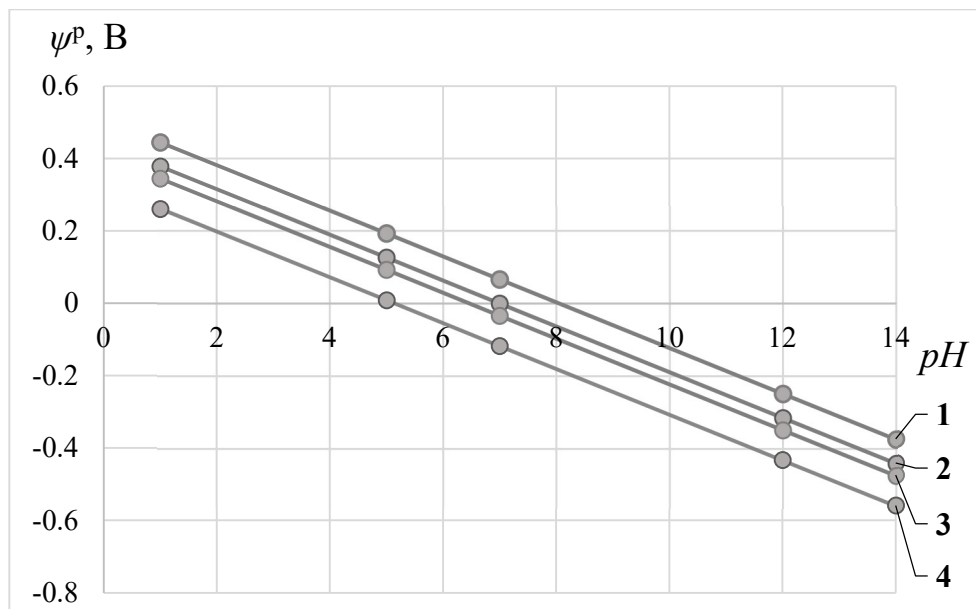


Рис. 4.27. Залежність рівноважних електроповерхневих потенціалів ψ^p гідросилікатів кальцію від pH середовища: 1 – C-S-H(II) (C(1,5-2)SH(1-4)); C/S=1,75; 2 – C-S-H(I) (C(0,8-1,5)SH(0,5-2,5)); C/S=1,25; 3 – ксонотліт (C6S6H); C/S=1; 4 – тоберморит (C5S6H5,5); C/S=0,85

Із рис. 4.27 видно, що pH середовища визначає величину рівноважного електроповерхневого потенціалу мінеральних частинок, а, отже, міцність контактів між ними. Отже, на доповнення до відомих механізмів хімічної нейтралізації кальціймістких сполук цементного каменю та впливу pH на їх

термодинамічну стійкість встановлено, що додатковим фактором агресивного впливу кислих рідких середовищ є збільшення зі зниженням pH величини електроповерхневого потенціалу сполук, що у непошкодженому цементному камені мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їх електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується. В цементному камені між гідросилікатами кальцію і кристалогідратами портландиту, гідроалюмінатів та гідросульфоалюмінатів кальцію за $pH = 12-13$ існують міцні та стійкі електрогетерогенні контакти. Зі зниженням pH величини рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^p низькоосновних CSH та високоосновних C_2SH гідросилікатів кальцію, що за $pH=12$ складають $-(0,39-0,32)$ та $-(0,23-0,13)$ В, відповідно, збільшуються і набувають позитивних значень: CSH – за pH менше 6–5, C_2SH – за pH менше 10–8; отже електрогетерогенні контакти з кристалогідратами перетворюються на електрогомогенні у CSH – за pH менше 6–5, у C_2SH – за pH менше 10–8, чим додатково пояснюється відома більш висока корозійна стійкість низькоосновних гідросилікатів кальцію.

4.4 Концепція підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій

Проведені дослідження дозволили сформулювати концепцію підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій, яка є розвитком принципу відповідності О.П. Мчедлова-Петросяна і полягає в тому, що при призначенні складу композиційного матеріалу і технологічних впливів на нього для забезпечення його стійкості в умовах експлуатації необхідно забезпечувати не тільки стійкість дисперсної фази (хімічну, термодинамічну), а й максимально можливу кількість контактів між частинками дисперсної фази, стійких до

впливів, характерних для умов експлуатації. Підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих згідно з цією концепцією має здійснюватись за алгоритмом, наведеним на рис. 4.28.



Рис. 4.28. Алгоритм регулювання контактних взаємодій в композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих для забезпечення їх стійкості в умовах експлуатації

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. Хімічні добавки у вигляді розчинних у воді сполук дозволяють керувати структурою композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом синтезу додаткових кристалогідратів з визначеними морфологічними та електроповерхневими характеристиками. В результаті термодинамічних розрахунків підтверджено, що реакції взаємодії C_3A з солями лужних металів з утворенням AFm та Aft -фаз, як і реакції взаємодії гашеного вапна і сульфатів лужних металів з утворенням кальциту можливі, проте одним із продуктів мають луки, тому можливість їх протікання визначатиметься концентрацією іонів лужних металів та величиною pH (чим нижче концентрація Na^+ (K^+) і pH ,

тим більш імовірна реакція; більш точно умови протікання реакцій можуть бути визначені розрахунком та аналізом термодинамічної рівноваги). Для гіпсових в'язучих встановлено, що взаємодії з мінеральними добавками – мікрокремнеземом і глиноземом, не відбувається..

2. В результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що введення в портландцемент комплексної хімічної добавки забезпечує в цементному камені утворення карбонатної і хлоридної *AFm*-фаз, підвищення вмісту портландиту $Ca(OH)_2$ та підвищення основності гідросилікатів кальцію. У цементному камені, що містить добавку суперпластифікатор полікарбоксилатного типу і прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію, відзначається еtringіт $C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O$ і гідронітроалюмінат кальцію $C_3A \times 3Ca(NO_3)_2 \times 32H_2O$. Встановлене утворення карбонатної і хлоридної *AFm*-фаз, підвищення вмісту портландиту, можливо утворення нітратної *AFm*-фази та кальциту. Електронно-мікроскопічними дослідженнями встановлено, що в результаті гідратації портландцементу з комплексною хімічною добавкою утворюються кристалогідрати, які за морфологічними ознаками можна ідентифікувати як карбонатні, хлоридні, нітратні *AFm*-фази, портландит, кальцит, які зростають від силікатних поверхонь, що мають негативний поверхневий заряд.

3. Встановлено, що проникнення солей комплексної хімічної добавки сухих сумішей на основі портландцементу для гідроізоляційних покриттів в нещільний бетон з водонепроникністю меншою W_2 відбувається на глибину 5–10 мм, що забезпечує кольматацию його порового простору кристалогідратами *AFm*- і *AFt*-фаз на цю ж глибину. У щільні водонепроникні бетони проникнення не відбувається.

4. Встановлено вплив на процеси структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих мінеральних добавок з урахуванням їхньої дисперсності та електроповерхневих властивостей. Розроблено алгоритм визначення питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір наповнювача та матриці і складом композиції.

5. Виконано моделювання та розроблені схеми структури штучного каменю з продуктами гідратації - кристалогідратами анізотричної форми і мінеральним наповнювачем і мікронаповнювачами з урахуванням їх поверхневих зарядів на прикладі гіпсового каменю. Адекватність розроблених схем підтверджена результатами електронно-мікроскопічних досліджень. Встановлено, що підвищення водостійкості будівельного гіпсу можливо за рахунок введення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами. Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, в якій кристали гіпсу-двугідрата максимально захищені від контакту з водою і розчинення.

6. На основі даних про електроповерхневі властивості найбільш розповсюджених волокон для дисперсного армування цементних та інших композитів розроблено схеми електрогетерогенних контактів волокон з продуктами гідратації портландцементу.

7. Досліджено вплив агресивних середовищ на контакти між дисперсними частинками в штучному камені. Встановлено, що додатковим фактором агресивного впливу кислих рідких середовищ є збільшення зі зниженням pH величини електроповерхневого потенціалу сполук, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їх електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується.

8. Сформульовано концепцію та розроблено алгоритм підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ ІЗ ЗАДАНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ТА ГІДРОФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ АГРЕСИВНИХ ВПЛИВІВ НА СПОРУДИ

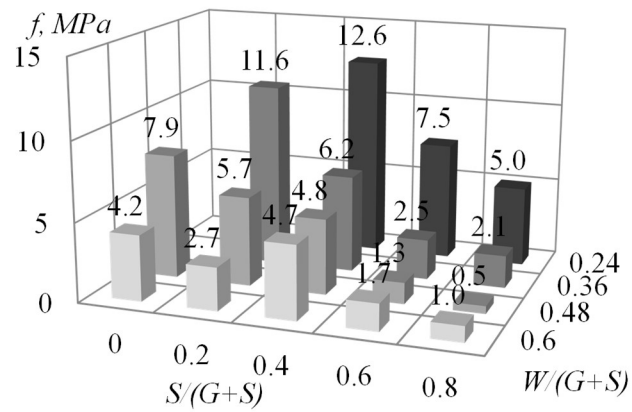
5.1 Гіпсові в'яжучі підвищеної водостійкості і композиційні матеріали на їх основі

Як було зазначено у розділі 4, додавання до складу повітряних в'яжучих мінеральних добавок з визначеною дисперсністю і поверхневими властивостями суттєво впливає на фізико-механічні властивості композитів.

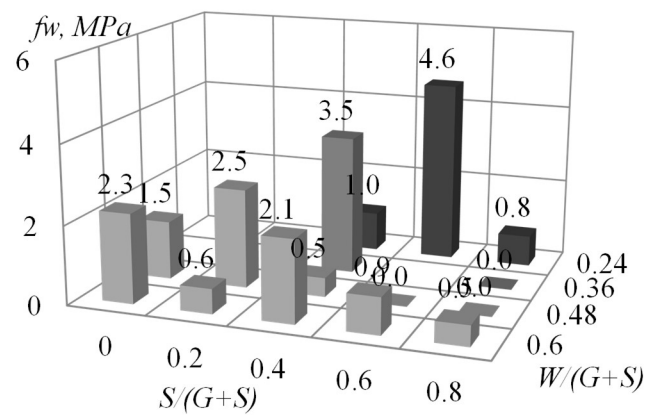
Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, в якій кристали гіпсу-двугидрата максимально захищені від контакту з водою і розчинення.

На рис. 5.1, 5.2 представлені результати дослідження залежності міцності і водостійкості гіпсошлакового каменю від відносного вмісту мінерального наповнювача - шлаку $S/(G+S)$, водотвердого відношення $W/(G+S)$ і відносного вмісту мікронаповнювачів - мікрокремнезему і нанодисперсного глинозему $MF/(G+S)$.

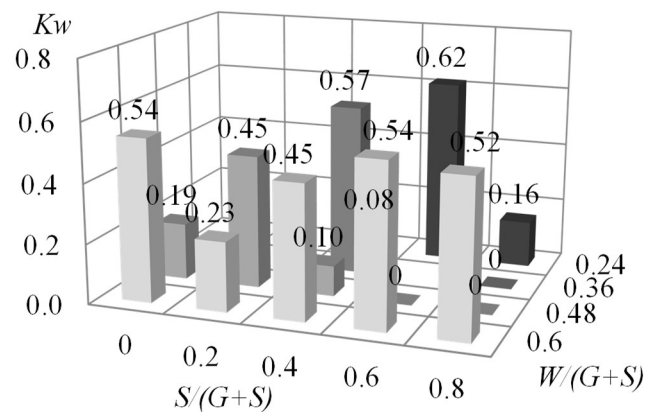
Результати досліджень залежності міцності і водостійкості гіпсу від вмісту наповнювача - шлаку (рис. 5.1) підтверджують коректність представлених у розділі 4 моделей (рис.4.24). З рис. 5.1 видно, що залежність міцності і водостійкості від $S/(G+S)$ носить екстремальний характер з максимумами в інтервалі вмісту шлаку $S/(G+S)=0,24-0,4$ (рис. 5.1).



a



б



в

Рис. 5.1. Залежність міцності і водостійкості гіпсо-шлакового каменю у віці 7 діб від вмісту наповнювача - шлаку $S/(G+S)$ і водотвердого відношення $W/(G+S)$: а - міцність на стиск в сухому стані f ; б - міцність на стиск у водонасиченому стані f_w ; в - коефіцієнт водостійкості K_w

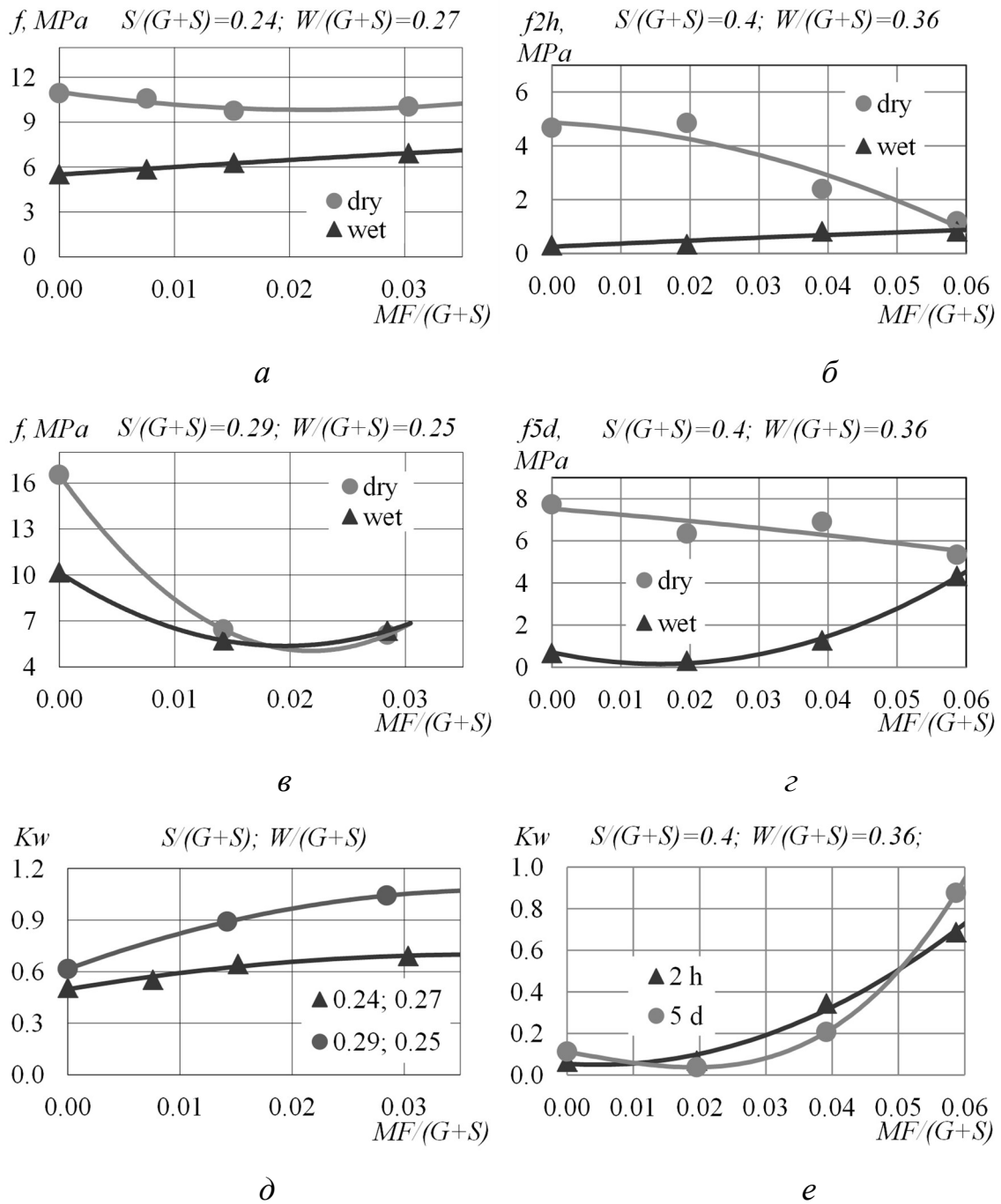


Рис. 5.2. Залежність міцності на стиск f в сухому (dry) і водонасиченому (wet) стані і коефіцієнта водостійкості K_w гіпсо-шлакового каменю від вмісту мікронаповнювача $MF/(G+S)$ при різних кількостях шлаку $S/(G+S)$ і водотвердого відношення $W/(G+S)$: *a, в, д* – гіпс марки Г-7, шлак «Запоріжсталь», мікронаповнювачів - мікрокремнезем, вік 7 діб; *б, г, е* – гіпс марки Г-4, шлак «Азовсталь», мікронаповнювач - нанодисперсний глинозем, вік 2 години (*б, е*) і 5 діб (*г, е*)

Введення мікронаповнювача з негативним поверхневим зарядом (мікрокремнезему) [340] або застосування такого поліфракційного наповнювача призводить до заповнення пір P_1 їх частками (рис. 4.24), зниження пористості, підвищення водостійкості. Це підтверджується результатами досліджень залежності міцності і водостійкості гіпсу від вмісту в ньому мікрокремнезему (рис. 5.2, *д*). З графіків рис. 5.2, *а, в, д* видно, що з введенням до 0,035 мікрокремнезему коефіцієнт водостійкості підвищується на 0,2-0,4 одиниці з 0,5-0,6 до 0,7-1,0.

Введення мікронаповнювача з позитивним поверхневим зарядом (нанодисперсного глинозему) призводить до заповнення його частинками пір P_0 (рис. 4.23) і також підвищенню водостійкості. З графіків рис. 5.2, *б, з, е* видно, що з введенням до 0,06 нанодисперсного глинозему коефіцієнт водостійкості підвищується на 0,8 одиниць з 0,1 до 0,9.

Відзначено, що з введенням мікронаповнювача міцність гіпсошлакового каменю в сухому стані не підвищується і навіть дещо знижується (рис. 5.2, *а-з*). Однак його міцність у водонасиченому стані підвищується, що забезпечує спостережуване підвищення показника водостійкості $K_{\text{в}}$.

Розуміння механізму впливу мінеральних наповнювачів і їх електроповерхневих властивостей на структуроутворення дозволить підвищувати водостійкість будівельного гіпсу за рахунок введення мінерального полідисперсного наповнювача, що має негативний поверхневий заряд, в поєднанні з мікронаповнювачів, які мають негативний або позитивний поверхневий заряд [341]. У даній роботі в якості полідисперсного наповнювача з негативним поверхневим зарядом використовувався шлак в поєднанні з мікрокремнеземом, а в якості мікронаповнювача з позитивним поверхневим зарядом - нанодисперсного глинозему. Більшість же існуючих на сьогоднішній день досліджень впливу добавок на фізико-механічні властивості гіпсового каменю не враховують електроповерхневі властивості структуроутворюючих елементів.

Найбільш ефективним розвитком даної роботи буде проведення досліджень процесів структуроутворення гіпсового каменю в присутності добавок-наповнювачів з встановленими електроповерхневих властивостями.

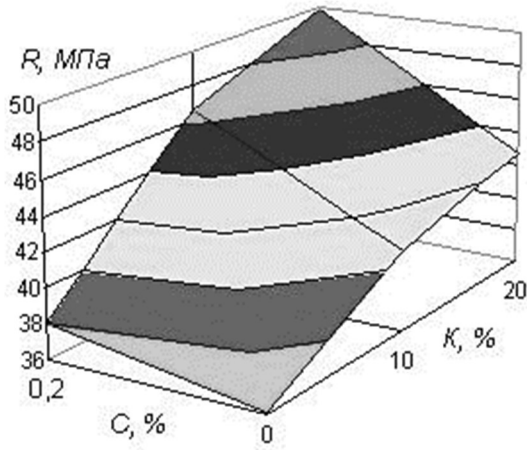
Розроблені схеми і моделі структури гіпсового каменю з добавками-наповнювачами дозволяють обґрунтовано підходити до визначення складу гіпсової суміші. Запропонований механізм формування структури гіпсового каменю з наповнювачами та підвищення його водостійкості дозволяє розробити склади мінерального в'язучого на основі гіпсу, які можуть бути використані у вологих умовах експлуатації. Таке підвищення водостійкості дозволить значно розширити сферу застосування мінеральних в'язучих на основі гіпсу. Це дозволяє очікувати значний ефект від впровадження у виробництво.

5.2 Гідроізоляційні композиційні матеріали на основі портландцементу

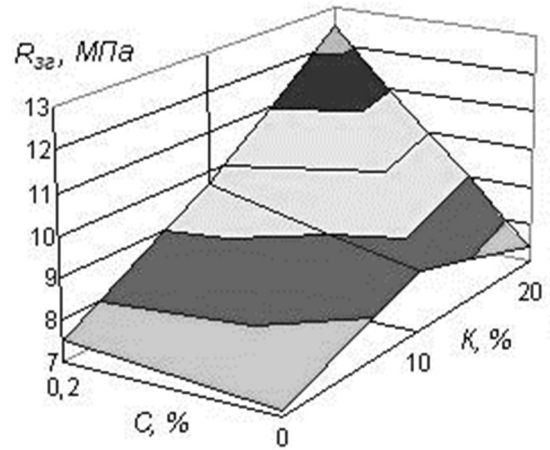
Рецептури сумішей гідроізоляційних композитів розроблялися відповідно до умов їх нанесення та подальшої експлуатації. Ці суміші призначалися для бетонних поверхонь, що вже зазнали руйнування за рахунок впливу води та, як наслідок, вилуговування. Склади розроблялись на основі портландцементу з урахуванням результатів попередніх термодинамічних розрахунків і фізико-хімічних досліджень. Підвищення фізико-механічних і гідрофізичних властивостей цементних композитів, їх зчеплення з пористими мінеральними основами здійснювалось за рахунок спрямованого формування їхньої структури: на мезорівні – за рахунок уведення оптимальної кількості мікронаповнювачів і армуючих волокон, мікро- і субмікрорівні – за рахунок уведення комплексної хімічної добавки, яка забезпечує синтез додаткових кристалогідратів, що утворюють з поверхнями капілярів, пор, тріщин, дисперсних частинок і волокон найбільшу кількість електрогетерогенних контактів.

Досліджено, з урахуванням даних [331-333], залежності фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композиційних матеріалів на основі портландцементу від виду і вмісту волокон, а також мінеральних і хімічних добавок (рис. 5.3). Як видно із рис. 5.3, спільне використання всього до 0,2 % за масою скловолкна та дисперсного кальциту забезпечує збільшення міцності композиції на стиск на 38 %, на згин – на 76 %, а марки за водонепроникністю – з W4 до W10. Міцність на згин композиційного матеріалу з комплексною хімічною добавкою екстремально залежить від вмісту поліефірних волокон з максимумом при вмісті 5 % волокон, а водопоглинання залишається незначним при їх вмісті до 5 % (рис. 5.3, в, г). При цьому уведення комплексної хімічної добавки забезпечує підвищення міцності та зниження водопоглинання у понад 5 разів.

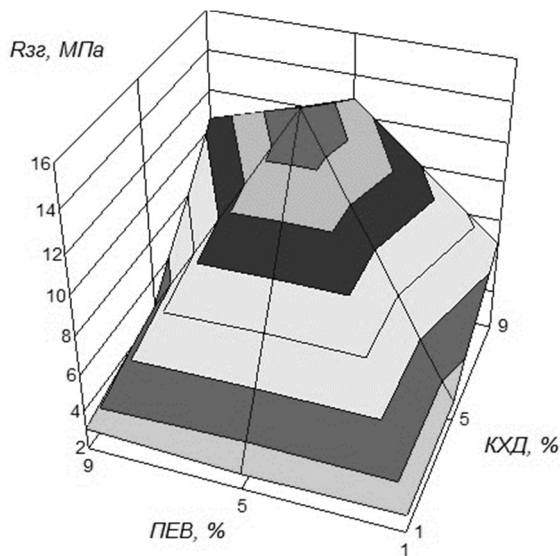
Для базової рецептури сухої будівельної суміші гідроізоляційного композиційного матеріалу обрали складові, що наведені в табл. 5.1. Підбір складу здійснювався за даними [172, 171, 342] і власних попередніх досліджень. Перлітовий пісок з відсіяними фракціями, більшими 0,63 мм, додавали з міркувань створення резервних пор для підвищення морозостійкості, а також демпфуючої дії для підвищення тріщиностійкості. Крім того, силікатні поверхні перліту з негативним поверхневим зарядом мають бути підкладками для утворення кристалогідратів усередині самого композиту і утворювати з ними електрогетерогенні контакти, що забезпечують високі фізико-механічні показники. Скловолкно також має бути підкладкою для направленого росту кристалогідратів і сприяти підвищенню щільності структури композиту, водонепроникності, тріщиностійкості. Комплексна хімічна добавка забезпечуватиме утворення додаткової кількості кристалогідратів *AFm*- і *Aft*-фаз всередині самого покриття і в ремонтваному бетоні або розчині під ним [309].



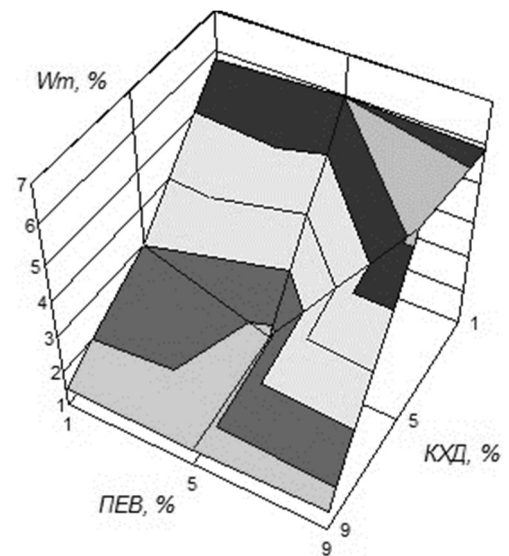
а



б



в



г

Рис. 5.3. Залежність фізико-механічних та гідрофізичних характеристик композиційного матеріалу на основі портландцементу від вмісту волокон, мінеральних та хімічних добавок, % від маси цементу: а, б – міцності на стиск R (а) і згин $R_{зг}$ (б) від вмісту скловолокна C і добавки дисперсного кальциту K [329, 330]; в, г – міцності на згин $R_{зг}$ (в) і водопоглинання за масою W_m (г) від вмісту поліефірного волокна ПЕВ і комплексної хімічної добавки КХД [331]

Зведена таблиця витрат компонентів у базовій рецептурі суміші

Компоненти	Витрати компонентів, % за масою,			
	для складів:			
	№ 1	№ 2	№ 3	контрольного
Портландцемент	30,0	34,7	40,0	30
Кварцовий пісок	65,0	56,0	52,5	60
Перлітовий пісок	1,0	0,50	1,50	4,5
Скловолокно	0,10	0,07	0,20	0,5
Відходи водоочищення ТЕЦ ($CaCO_3$)	3,0	4,0	4,3	5,0
Комплексна хімічна добавка	0,9	1,23	1,50	–

Дані досліджень фізико-механічних та гідрофізичних властивостей гідроізоляційних композиційних матеріалів з комплексною хімічною добавкою (ГК) наведено у табл. 5.2.

Дослідження ефективності гідроізоляційної силікатної композиції проникної дії проводилось наступним чином. Попередньо виготовлений короб із бетонних пустотілих каменів на цементно-піщаному розчині наповнювався водою, рис. 5.4, *а*. Після утворення на поверхні короба активної течі на його зовнішню поверхню був нанесений перший шар гідроізоляційної композиції, рис. 5.4, *б, в*. Через одну добу був нанесений другий шар гідроізоляційної композиції, рис. 5.4, *г*, у місцях з течами або таких, що залишились вологими. Через 6 діб після нанесення першого шару на поверхні бетонного коробу не виявлено ознак течі, відсутні також вологі плями, рис. 5.4, *е*.

Основні фізико-механічні і гідрофізичні властивості гідроізоляційних композиційних матеріалів з комплексною хімічною добавкою

Показники властивостей	Величини показників властивостей					
	для складів:				дрібнозернистого бетону	нормований ДСТУ Б В.2.7-126
	№ 1	№ 2	№ 3	конт-рольного		
Міцність, МПа:						
- на стиск f	32,8	41,1	27,5	25,5	12	не менше 10 не нормується
- на згин f_t	8,2	12,5	7,9	7,6		
Водопоглинення, %						
- за масою W_m	1,09	0,56	1,15	3,21		
- за об'ємом W_v	2,5	1,28	2,61	7,22		
Водонепроникність W , атм (МПа)	понад 8 (0,8)	близько 12 (1,2) ¹	8 (0,8)	4 (0,4)	менше 2 (0,2)	
Морозостійкість, F , цикли	200	понад 200 ¹	150	100	менше 50	не менше 50
Усадка ε_y , мм/м, у віці:						
- 28 діб	1,19	0,74	0,74	6,54		не більше 2 ²
- 2 місяців	0,96	0,74	1,48	8,48		
- 6 місяців	0,96	0,74	1,48	8,73		
Утворення тріщин у віці, діб:						
- 3	ні	ні	ні	ні		
- 7	ні	ні	ні	так		
- 28	ні	ні	ні	так		



Рис. 5.4. Експериментальні дослідження ефективності гідроізоляційної композиції проникної дії: *a* – наповнений водою бетонний короб; *б* – нанесена на зовнішню поверхню короба гідроізоляційна силікатна композиція (одразу після нанесення); *в* – місце активної течії крізь гідроізоляційне покриття; *г* – другий шар композиції, що нанесений через 1 добу після нанесення першого шару; *д* – поверхня коробу через 4 доби після нанесення першого шару гідроізоляційної композиції; *е* – поверхня коробу через 6 діб після нанесення першого шару гідроізоляційної композиції

5.3 Забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу

Один із принципів захисту конструкцій, які піддаються впливу струмів витоку, передбачає створення захисного електропровідного покриття, яке в разі його заземлення дренує струми витоку і забезпечує таким чином екранний захист конструкції [345, 346]

Для розробки складів захисних електропровідних композицій проведено дослідження впливу електропровідних добавок на фізико-механічні та електрофізичні властивості композиційних матеріалів на портландцементі.

Для перевірки даних про вплив сталевго мікро-наповнювача на міцність дрібнозернистого бетону були проведені експериментальні дослідження [322, 347]. Виготовлені зразки-балочки з цементно-піщаної суміші – контрольні (співвідношення піску та цементу 3:1, В/Ц = 0,4) та основні з мікронаповнювачем – сталевим порошком у кількості 20, 30 і 40% від маси цементу.

Зразки були випробувані на міцність при згині і стиску. На діаграмах, рис. 5.5, а і 5.5, б, наведені результати вимірювання міцності контрольних і основних зразків у віці 7, 14 і 28 діб.

Як видно за результатами експериментальних досліджень введення сталевго наповнювача суттєво підвищує міцність бетону вже на ранніх стадіях твердіння. Особливо це помітно по зміні значень міцності на згин – додавання 30% сталевго наповнювача призводить до збільшення міцності бетону в віці 7 діб більш ніж в 4 рази (8,6 МПа) в порівнянні з контрольним (1,9 МПа). Надалі зростання міцності сповільнюється і в віці 28 діб максимальне значення міцності на згин з вмістом 30% сталевго наповнювача склало – 12,5 МПа, що в 2,5 рази більше міцності контрольних зразків – 4,9 МПа.

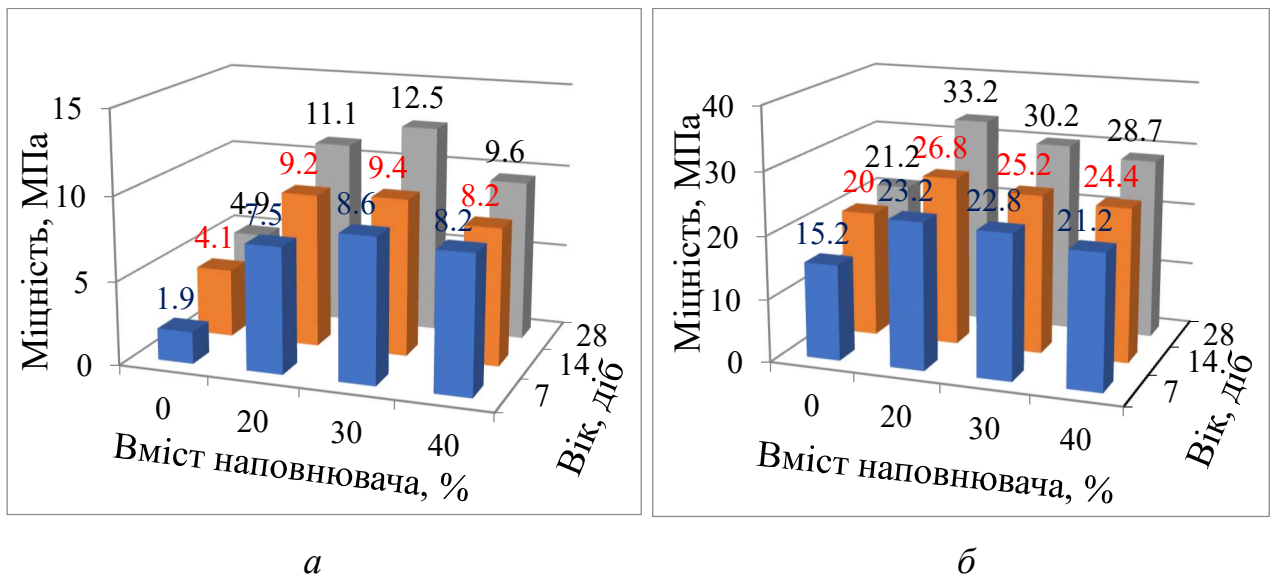


Рис. 5.5. Залежність міцності на згин (а) і на стиск (б) дрібнозернистого бетону від змісту сталевго мікронаповнювача

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що введення сталевго порошку в бетонну суміш істотно впливає на формування структури бетону. Між сталевим наповнювачем і кристаллогидратной продуктами гідратації цементу утворюються більшу кількість міцних електрогетерогенних контактів. Обґрунтовано оптимальний вміст сталевго наповнювача, яке становить 30% від маси цементу. Такий вміст сталевго мікронаповнювача забезпечить збільшення міцності на згин в 2,5 рази, а міцності на стиск в 1,4 рази.

Проте за даними [317] використання даного виду наповнювача не забезпечує істотного зниження електричного опору композиту. Крім того, досить велика швидкість електрокорозійного руйнування сталі несприятливо впливає на довговічність покриття.

Розроблено склад електропровідної композиції [348] за основу якої прийнято гідроізоляційну композицію проникної дії, яка складається із портландцементу, кварцового піску та комплексної хімічної добавки [342]. Використання у складі комплексної хімічної добавки забезпечує проникну дію покриття та ущільнення поверхневого шару бетону. Підвищення електропровідності та зниження електричного опору композиції можливе за

рахунок зміни її складу, зокрема, заміни частини піску графітовим наповнювачем або додаванням його у композицію.

Вміст електропровідного наповнювача розраховувався з урахуванням впливу структури композиту на електрофізичні властивості, зокрема, питомий електричний опір. Композиційний матеріал (матричний композит за [312]) складається із структуроутворюючих частинок (наповнювача), зв'язаних воедино матрицею. За даними [312, 318] питома електропровідність композиції $1/\rho_k$ та, отже, і її питомий електричний опір ρ_k залежать від питомого електричного опору наповнювача ρ_n і матриці ρ_m і таких характеристик структури композиції, як середній розмір (діаметром) частинок наповнювача d , середня товщина матриці в місцях максимального наближення частинок наповнювача δ та їх співвідношення δ/d , коефіцієнта розсунення наповнювача матрицею η .

В якості електропровідного наповнювача в склад введено графіт марки ГС-1. Досліджено вплив вмісту графітового наповнювача на фізико-механічні, гідрофізичні, електрофізичні властивості композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою. Результати досліджень наведено на рис. 5.6 і 5.7.

Введення до складу графітового наповнювача негативно впливає на фізико-механічні властивості композиту – знижується міцність та водостійкість, рис. 5.6. Встановлено також, що введення графітового наповнювача до складу композиту у кількості 10 % призводить до зниження величини питомого електричного опору. Подальше збільшення вмісту графітового наповнювача не забезпечує суттєвого зниження електричного опору, отже, досягається перколяція властивостей.

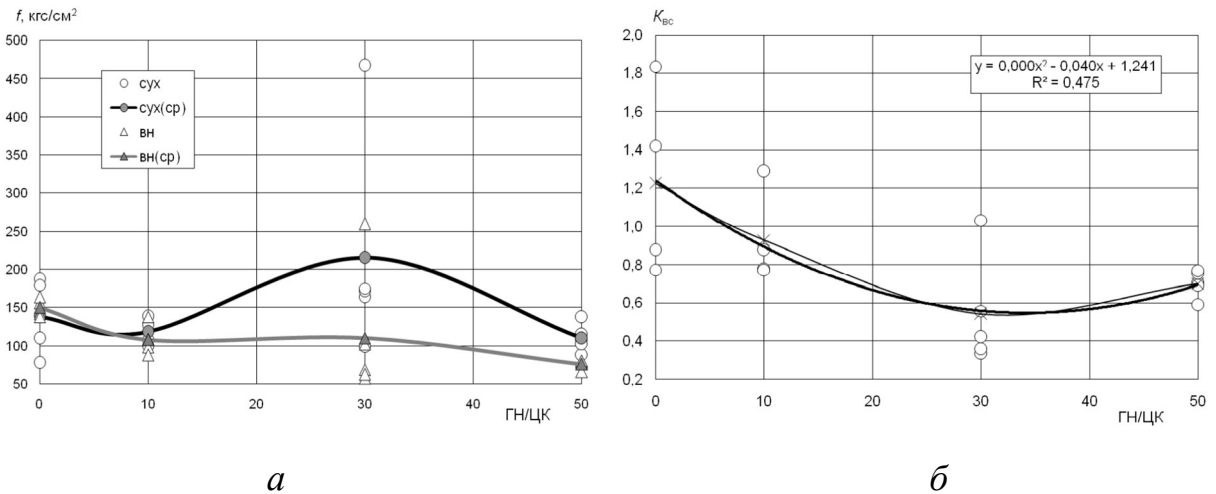


Рис. 5.6. Залежності міцності на стик (*a*) у сухому f та водонасиченому $f_{вн}$ стані та коефіцієнту розм'якшення (водостійкості) $K_{вс}$ (*б*) композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою і графітовим наповнювачем ГС-1 від вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК, % за масою

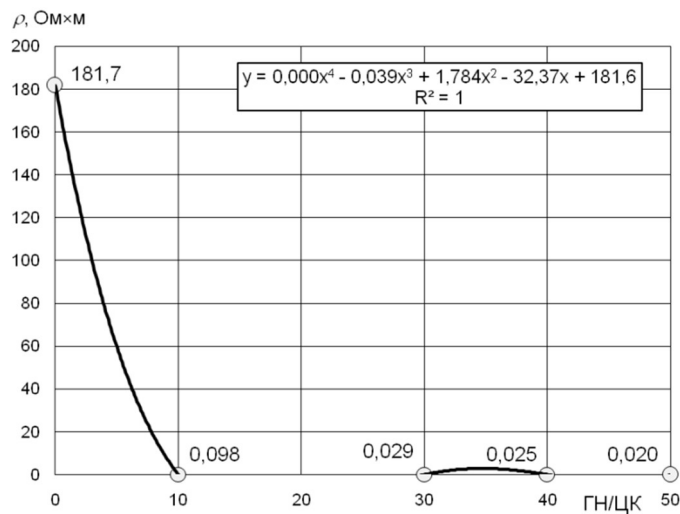


Рис. 5.7. Залежність питомого електричного опору ρ композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою і графітовим наповнювачем ГС-1 від вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК, % за масою

За результатами досліджень обрано раціональний вміст графітового наповнювача у кількості 10 %. Вміст наповнювача у кількості 10% забезпечує зниження електричного опору на 77% при достатніх показниках фізико-механічних.

У [317] встановлені такі характеристики властивостей композиції:

- строки тужавіння: початок – 2 год 12 хв, кінець – 6 год 45 хв;
- водоутримуюча здатність – 98,7 %;
- розшаровуваність – не більше 1,5;
- густина розчинної суміші – 2050 кг/м³ ;
- границя міцності (за результатами випробувань зразків-балочок розміром 160×40×40): - на стиск – 30,5 МПа, - на згин – 8,2 МПа;
- зчеплення з поверхнею бетону на відрив – 2,1 МПа;
- морозостійкість (за зразками-кубами з розміром ребра 100 мм із бетону класу В7,5 з нанесеним на всі грані покриттям) – 300 циклів;
- тріщиностійкість до усадкових деформацій у шарі 2–5 мм – тріщини не утворюються;
- водопоглинання – 2 %;
- марка за водонепроникністю за зразками-циліндрами діаметром і вистою 150 мм із бетону класу В7,5 з нанесеним на торцеву грань покриттям товщиною: 8–15 мм – 16 атм, 2–3 мм – 15 атм.

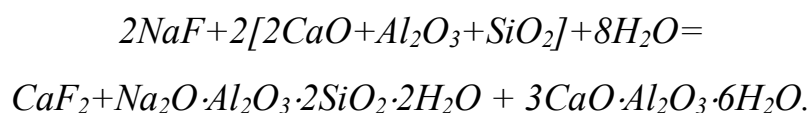
5.4 Забезпечення водостійкості електропровідних силікатних композицій для захисту від струмів витоку та блукаючих струмів

Проведено дослідження з розроблення корозійностійкої шпаклювальної композиції на основі рідкого скла з підвищеними показниками електропровідності. За прототип було обрано відомі кислототривкі кварцово-кремнійфтористі композиції, що містять натрієве рідке скло, кремнійфтористий натрій і кислототривкий висококремнеземистий наповнювач у вигляді кварцового, андезитового або діабазового порошку. Дані композиції є

неводостійкими, мають невисоке зчеплення з портландцементним бетоном, що обмежує їхнє застосування. В умовах наявності достатньої кількості лужного компонента доцільно ввести до складу композиту доменні шлаки. Шлаколувні в'язучі, що виготовляються із доменних гранульованих шлаків мають досить високу корозійну стійкість в багатьох середовищах [46, 193, 349, 350]. Припущено, що уведення доменного шлаку сприятиме підвищенню водостійкості розчину та міцність його зчеплення з бетоном за рахунок утворення нерозчинних цеолітоподібних алюмосилікатів натрію та кальцію.

За даними [351] фторид натрію NaF при взаємодії з мінералами доменного шлаку типу геленітут C_2AS утворює цеолітоподібні кальцієво-натрієві гідроалюмосилікати (гідроніфелін NAS_2H_2 , гідроалюмінат кальцію C_3AH_6) і малорозчинний (0,016 г/л) фторид кальцію CaF .

Виконано термодинамічні розрахунки для встановлення можливості утворення гідроніфеліну NAS_2H_2 , гідроалюмінату кальцію C_3AH_6 і фториду кальцію – флюориту CaF_2 за рахунок взаємодії шлаку з фторидом натрію NaF за схемою:



Склад скловидної фази гранульованого шлаку в загальному вигляді для термодинамічних розрахунків відображено формулою – $[2CaO + Al_2O_3 + SiO_2]$. Значення вільної енергії Гіббса ΔG утворення сполук із елементів прийнято за даними [12].

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta GNAS_2H_2 + \Delta GC_3AH_6 + \Delta GCaF_2 - 2\Delta GC_2AS - \Delta GNaF - 8\Delta GH_2O = \\ &= -1066 + (-1198,4) + (-265,94) - 2 \cdot (-909,6) - (-129,59) - 8 \cdot (-56,687) = \\ &= -128,054 \text{ ккал/моль} \end{aligned}$$

або $-64,027$ ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу C_2AS .

Досліджено електроповерхневі властивості компонентів композиту, результати наведено у табл. 5.3. У разі отвердження силікатів натрію кремнійфторидом натрію, продуктами їх взаємодії є гель ортокремнієвої кислоти $Si(OH)_4$ і фторид натрію. Їх частинки мають негативний поверхневий

заряд (табл. 5.3) і утворюють між собою тільки електрогетерогенні контакти, які в сухих умовах за рахунок високої концентрації порового електроліту NaF мають високу міцність, але є неводостійкими. У разі додавання меленого доменного гранульованого шлаку частинки C_3AH_6 і CaF_2 мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з частинками гелю $Si(OH)_4$ електрогетерогенні контакти, які забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

Таблиця 5.3

Електроповерхневі потенціали продуктів взаємодії силікату натрію, кремнійфториду натрію та геленіту

Сполука		Електроповерхневий потенціал, В	
Назва, позначення	Формула	абсолютний ψ^0	рівноважний ψ_p^0
Отрокремнієва кислота	$Si(OH)_4$	0,03	-0,383
Фторид натрію	NaF	-0,425	-0,838
Гідронітралюмінат кальцію	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	0,346	-0,067
Гідроалюмінат кальцію C_3AH_6	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	0,541	0,128
Фторид кальцію	CaF_2	1,86	1,447

Утворений фторид кальцію колюматує поровий простір затверділої композиції, знижуючи її проникність. Крім того, фторид кальцію, підтримуючи свою концентрацію в поровій волозі на рівні своєї розчинності, виявляє бактерицидний вплив на мікроорганізми, що знаходяться в порах бетону і на його поверхні, попереджаючи розвиток грибів, лишайників, моху та інших, які також є руйнівниками бетону та кам'яних конструкцій.

Для підвищення електропровідності композиту у [351] запропоновано замість діабазового наповнювача до складу введено графітовий порошок. Це дозволило отримати не тільки корозійностійку (до хімічної та фізико-хімічної корозії) композицію, а ще й використовувати її як заземлюваний захисний екран

для відведення струмів витoku від конструкції, таким чином захищаючи її як від корозійного, так і електрокорозійного руйнування [352].

Виконано експериментальні дослідження залежності електрофізичних, фізико-механічних і гідрофізичних властивостей електропровідної силікатної композиції від відносного вмісту графітового наповнювача, силікату натрію та інших показників складу. Результати наведено на рис. 5.8.

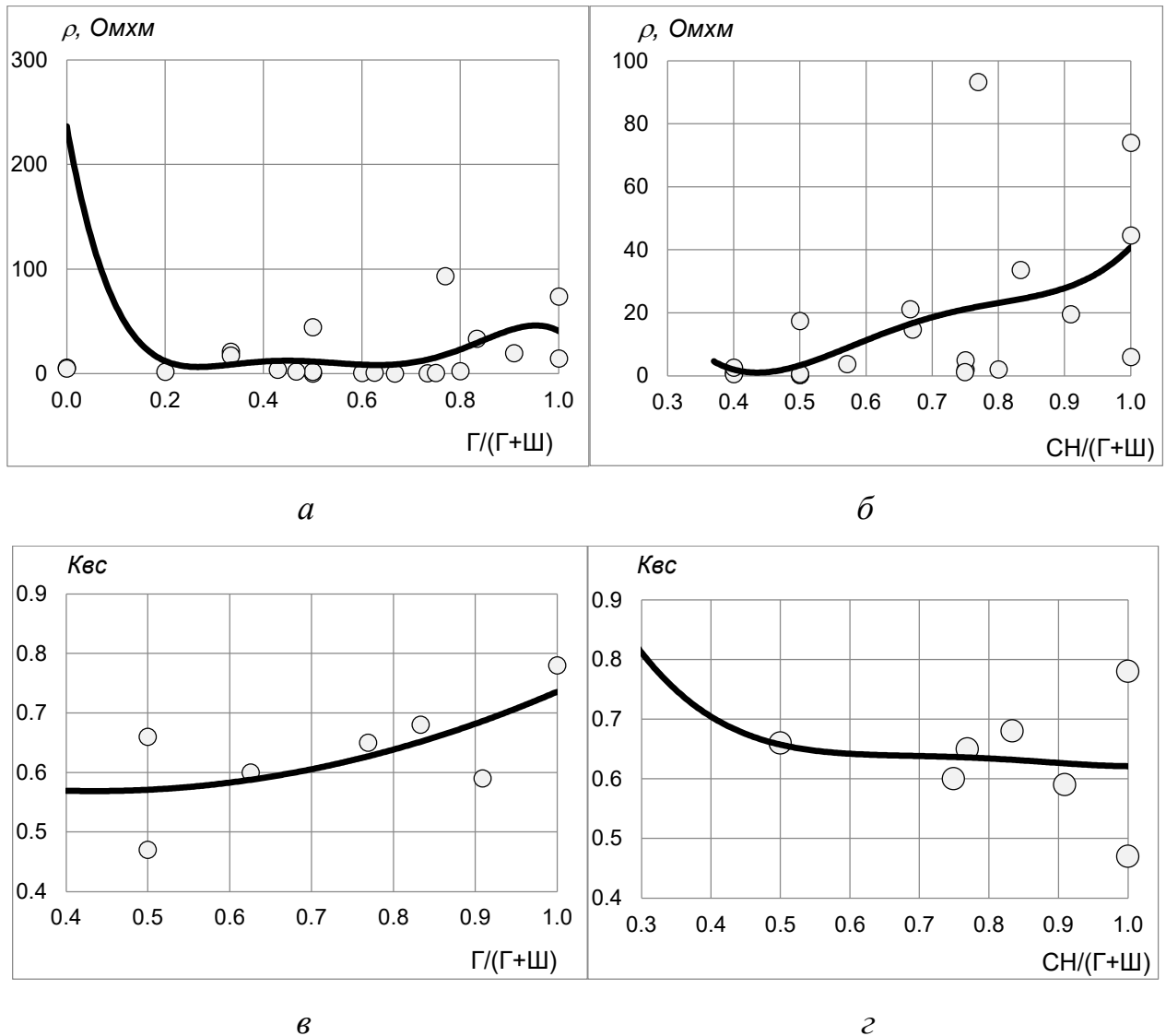


Рис. 5.8. Залежність питомого електричного опору ρ (а, б) та коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{\text{вс}}$ (в, г) електропровідної композиції від вмісту графітового наповнювача $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ і силікату натрію $\text{SH}/(\Gamma+\text{Ш})$

Мінімальні величини питомого електричного опору – $0,3 \text{ Ом}\times\text{м}$ спостерігаються у разі відносного вмісту графітового наповнювача $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ в межах $0,2\text{--}0,8$ (рис. 5.8, *а*) та відносного вмісту силікату натрію $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$ в межах $0,4\text{--}0,6$ (рис. 5.8, *б*). Спостерігається пряма залежність водостійкості композиції від рідинно-твердого відношення $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$. Максимальні величини коефіцієнту водостійкості $K_{\text{вн}}$, досягають $0,8$, така величина спостерігаються при $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,3\text{--}0,4$ (рис. 5.8, *в*). При відносному вмісті графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ понад $0,7$ коефіцієнту водостійкості $K_{\text{вн}}$ композицій перевищує $0,6$ (рис. 5.8, *в*). У композиції, що як наповнювач містить тільки графітовий порошок, спостерігаються утворення усадкових тріщин під час твердіння. Запобігає утворенню усадкових тріщин уведення меленого доменного гранульованого шлаку у кількості не менше $0,1$ від кількості силікату натрію.

5.5 Отримання високої ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць

Для розробки складів бетонів для підрейкових конструкцій, що забезпечують передаточну міцність на ранніх строках твердіння без тепловологісної обробки було досліджено вплив вмісту комплексних добавок на фізико-механічні властивості бетонів з портландцементним в'язучим.

Одним з найбільш доступних способів інтенсифікації процесу твердіння при виробництві композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих є використання добавок електролітів. Активація твердіння в'язучих таким способом має переваги перед гідротермальною обробкою, оскільки не вимагає великих енерговитрат для досягнення бажаного ефекту з набирання необхідної міцності.

Науковою основою активації служать сучасні уявлення про процеси твердіння в'язучих систем і формування просторової структури штучного каменю. Процеси твердіння мінеральних в'язучих обумовлені одночасно і гідрато- і структуроутворенням. Прискорююча дія електролітів впливає на скорочення індукційного періоду і інтенсифікацію основного періоду гідратації, при цьому прискорюється набір міцності всієї системи в результаті перетворення коагуляційної структури в конденсаційну структуру.

Ефект від застосування добавок-електролітів залежить від їх природи і концентрації. Введення до складу композиту одночасно пластифікуючих, мінеральних і хімічних добавок призводить до взаємного нівелювання, або підсилення ефективності їх використання.

Для розробки складу бетону для виробництва залізобетонних шпал було проведено дослідження з використання модифікуючих добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал при забезпеченні регламентованих властивостей бетону.

5.5.1 Дослідження впливу добавок пластифікуючої (водоредукуючої) групи

З метою визначення впливу добавок пластифікуючої групи на міцність бетону після пропарювання було виготовлено серію зразків із $V/C=const$. В якості базового використаний склад бетону, що наведений в табл. 5.4. Зразки піддавали ТВО за режимом (2+3+3+2) при $T=60^{\circ}C$. Наведені на рис. 5.9 результати випробувань свідчать, що за умови $V/C=const$, введення добавок розглянутої групи супроводжується зниженням міцності пропареного бетону.

Базовий склад бетону при дослідженні пластифікуючих добавок

Складові	Витрата, кг/м ³
Портландцемент ПЦ І-500	400
Метакаолін	20
Заповнювач, мм:	
0–2,5 – пісок річковий	455
0,6–2,5 – відсів гранітний	171
5–20 – щебінь гранітний	1271
Вода	151
Середня густина бетону, кг/м ³	2469

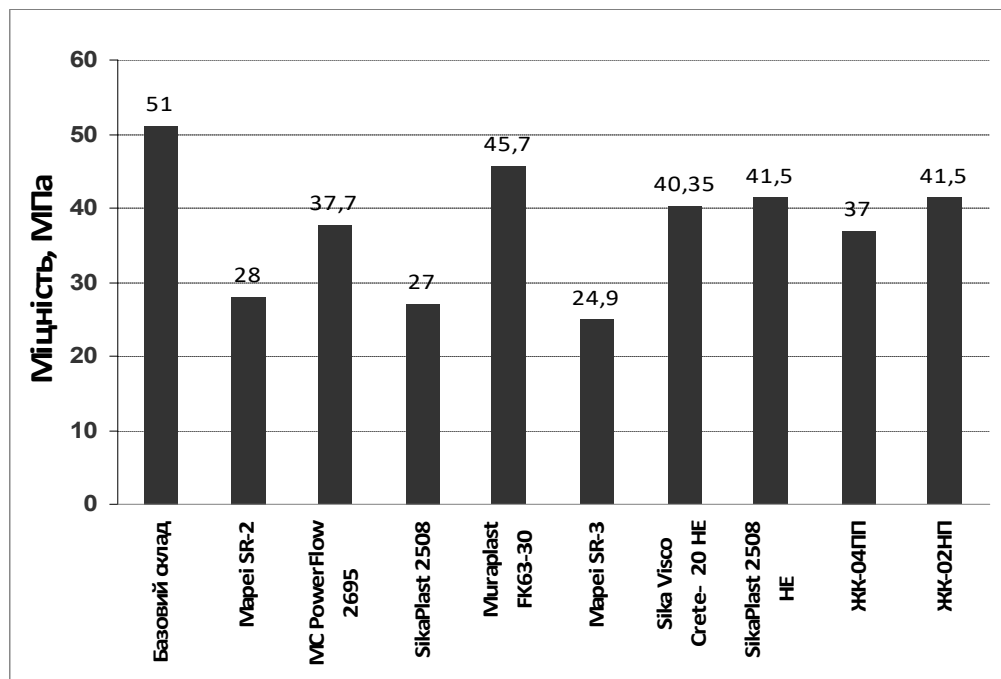


Рис. 5.9. Міцність базового та основних складів бетону з добавками пластифікуючої групи

За даними [308] присутність тонкодисперсного метаксаоліну зумовлює підвищену витрату пластифікаторів. Виходячи з цього, для порівняння розглянуті склади модифікованого бетону без метаксаоліну. Подальші дослідження виконувались з використанням в якості контрольного складу виробничої рецептури, що наведена у табл. 5.5 та її модифікацію пластифікаторами в досліджуваному основному складі при $V/C=const$ і постійній консистенції бетонної суміші. Всі склади бетонів характеризувалися $V/C=0,3$ та жорсткістю Ж1-Ж3, що зменшувалась з часом. Як контрольний так і основні склади бетонів піддавали ТВО за режимом (2+2+4+2) при $T=40^{\circ}C$, при цьому контролювалась кінетика зміни міцності бетонів в залежності від часу пропарювання.

Таблиця 5.5

Основний склад бетону без метаксаоліну (при варіантності добавки)

Складові		Витрата, кг/м ³
Портландцемент ПЦ І-500		400
Заповнювач, мм:		
0–2,5 –	пісок річковий	495
0,6–2,5 –	відсів гранітний	178
5–20 –	щебінь гранітний	1326
Вода		120
Sika Visco Crete-20 HE		0,7%(Ж2)
MC PowerFlow FK 63.30		0,5%(Ж2-3)
MC PowerFlow 3100		0,4%(Ж1)
ЖК-04 ПП ТОВ «Реатекс»		0,15%(Ж1)
ЖК-04 ПП ТОВ «Реатекс»		0,10%(Ж2-3)
Містім К-8		1%(Ж2)
Середня густина бетону, кг/м ³		2519

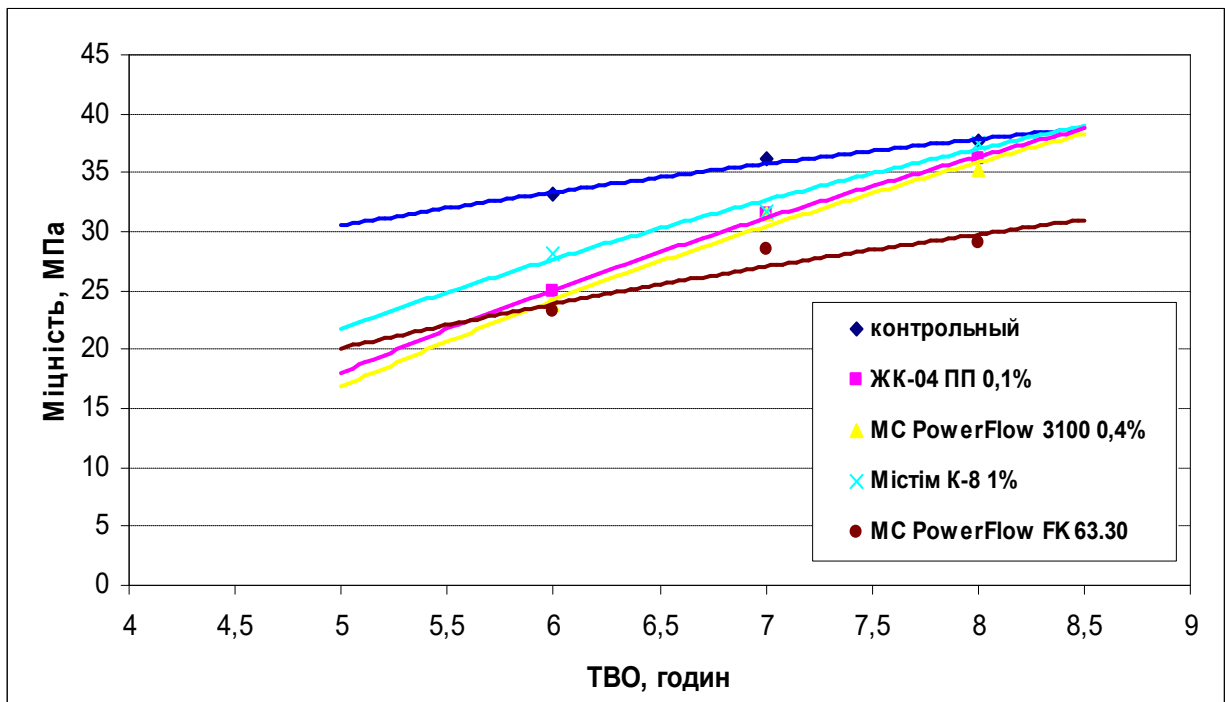


Рис.5.10 Міцність основних складів бетону (за табл. 5.5)
при температурі ізотермічного періоду пропарювання 40°C

Отримані дані, наведені на рис. 5.10, свідчать про ефективність використання практично всіх добавок в складі бетону (крім складу з МС PowerFlow FK 63.30) після 8 годин ТВО за режимом (2+2+4+2) при $T=40^{\circ}$, оскільки бетон має достатню міцність для передачі напруження арматури. Але очевидно, що зменшення енергоємності при використанні температури ізотермії 40°C, не забезпечить достатній економічний ефект в цілому. Більш перспективним шляхом може бути зменшення витрати портландцементу в рецептурі бетону, на що і були спрямовані подальші дослідження.

За даними [181, 308, 353], при використанні добавок пластифікувальної групи найбільш продуктивним шляхом зменшення енергоємності залізобетонних шпал можна вважати зниження вмісту цементу до 350 кг/м³, що забезпечує економічну ефективність впровадження технології модифікованих бетонів при виробництві залізобетонних шпал.

5.5.2 Дослідження впливу добавок прискорювачів твердіння

Дослідження впливу добавок прискорювачів твердіння проводилось у рамках виконання НДР «Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 мм», що виконувалась УкрДУЗТ за договором № ЦУПП-04/0012/13 у 2013 році.

Під час попередніх пошукових експериментів проводились [308] дослідження на зразках-балочках цементного каменю з В/Ц=0,23 (у контрольних зразків без добавок В/Ц=0,28), який твердів за температур 14–30°C. Досліджувались зразки у віці 4, 6, 8, 12 та 24 години. Визначено, що за температури 14°C ефект прискорення відсутній для всіх досліджених добавок. За температури 17°C ефект прискорення відзначається лише для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію. За температури 21–23°C ефект прискорення відзначається для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію, а також нітрат кальцію та/або нітрит натрію без хлориду кальцію, рис. 5.11.

За даними рис. 5.11 окремо застосовані без прискорювачів твердіння добавки суперпластифікатори нафталінформальдегідного і полікарбоксилатного типів не виявили ефекту прискорення. Застосування разом із суперпластифікаторами прискорювачів твердіння: нітрату кальцію НК, сульфату натрію СН, у т.ч. у сполученні з НК, хлоридом кальцію ХК, хлориду натрію, сечовини М також не призвело належного ефекту.

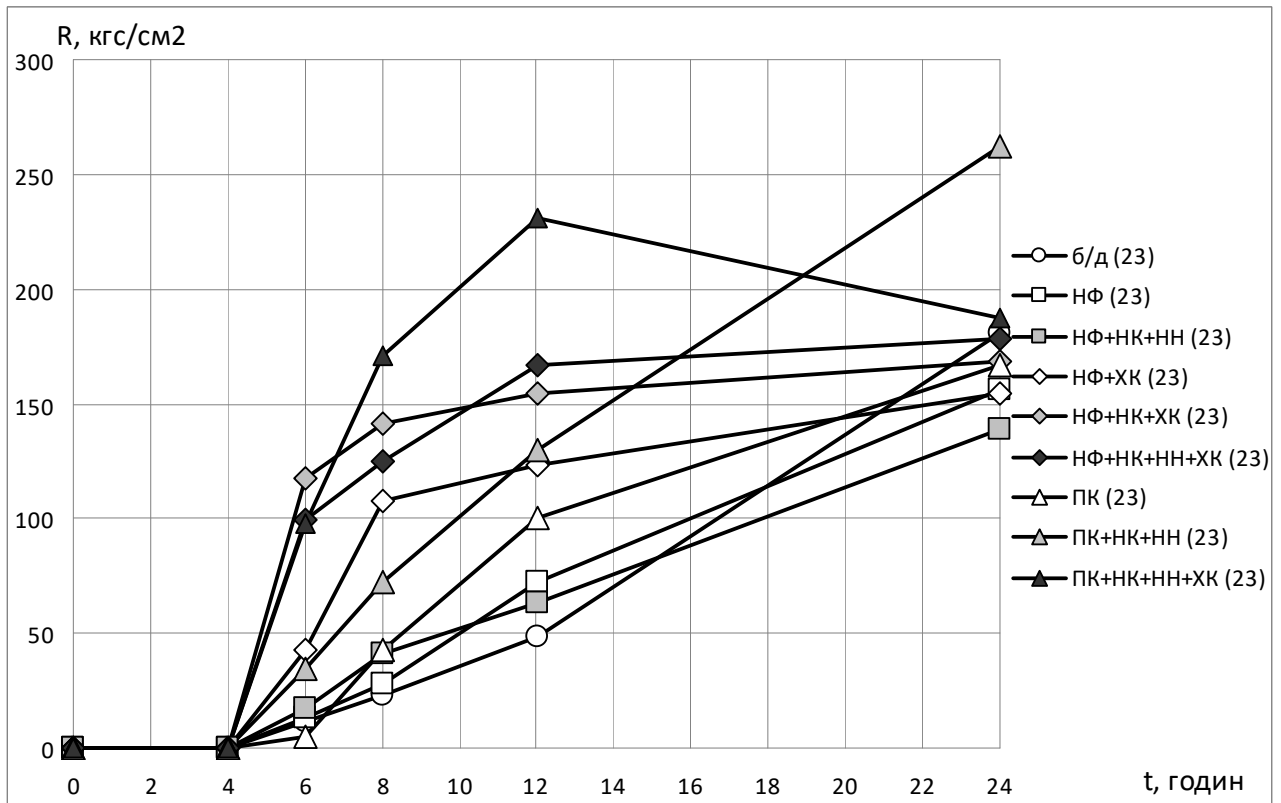


Рис. 5.11 Кінетика набору міцності цементним каменем з добавками за температури 23°C

Максимальний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (до 10 разів) виявили добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбосилатного типу і хлорид калцію спільно з нітратом калцію та нітритом натрію (кальцію).

Менший, але помітний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (понад 2 рази) виявили комплексні добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбосилатного типу і нітрат калцію та нітрит натрію (кальцію). Ефект прискорення у термін твердіння 12 год. відзначається для всіх добавок, що містять хлорид калцію, нітрат калцію і нітрит натрію. Ефект прискорення у 24 год. може відзначатись або не відзначатись, що свідчить про вирівнювання міцності цементного каменю без добавок і з добавками в терміни твердіння 1 доба та/або більше. Отже, застосування добавок є доцільним для отримання передаточної міцності через 6–12 годин твердіння.

Для подальших досліджень обрано добавки прискорювачі твердіння нітрит натрію НН, нітрат кальцію НК, нітрит кальцію НК*, добавку суперпластифікатор полікарбоксилатного типу за постійним вмістом 0,4 %. Досліджено вплив дозування добавок на кінетику набору міцності цементним каменем. Результати досліджень наведено на рис.5.12 і 5.13.

За попередніми даними [308] за температури 30°C у ранні терміни твердіння 6–8 годин добавка НН без НК* не прискорює твердіння. Добавка НК* без НН прискорює твердіння за її дозування 0,5 %, проте збільшення її дозування до 1 % не забезпечує прискорення. Максимальне прискорення твердіння у ранні терміни 6–8 годин спостерігається для сполучення 0,5 % НН і 0,5 % НК*.

Через 12 годин твердіння максимальної міцності досягає цементний камінь з добавками 1 % НК і 0,5 % НН. Тільки за вмістом НН 0,5 % спостерігається закономірне зростання міцності зі збільшенням вмісту НК. Через 24 години твердіння міцність бетону без добавок вирівнюється з міцністю бетону з добавками прискорювачами твердіння.

За температури 30°C у ранні терміни твердіння 6–8 годин добавки НК* і НК підвищують ранню міцність цементного каменю зі збільшенням їх вмісту, причому максимальний ефект прискорення забезпечує їх вміст 1+1 %.

В результаті фізико-хімічних (розд. 4.2.2) встановлено, що підвищення ранньої міцності цементного каменю за рахунок застосування досліджених комплексних добавок пов'язана з утворенням додаткової кількості кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом – гідрохлоралюмінатів, гидронітроалюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію [181, 308].

Через корозійний вплив солей натрію на бетони з реакційноздатними заповнювачами більш прийнятним для використання є нітрит кальцію, ніж нітрит натрію.

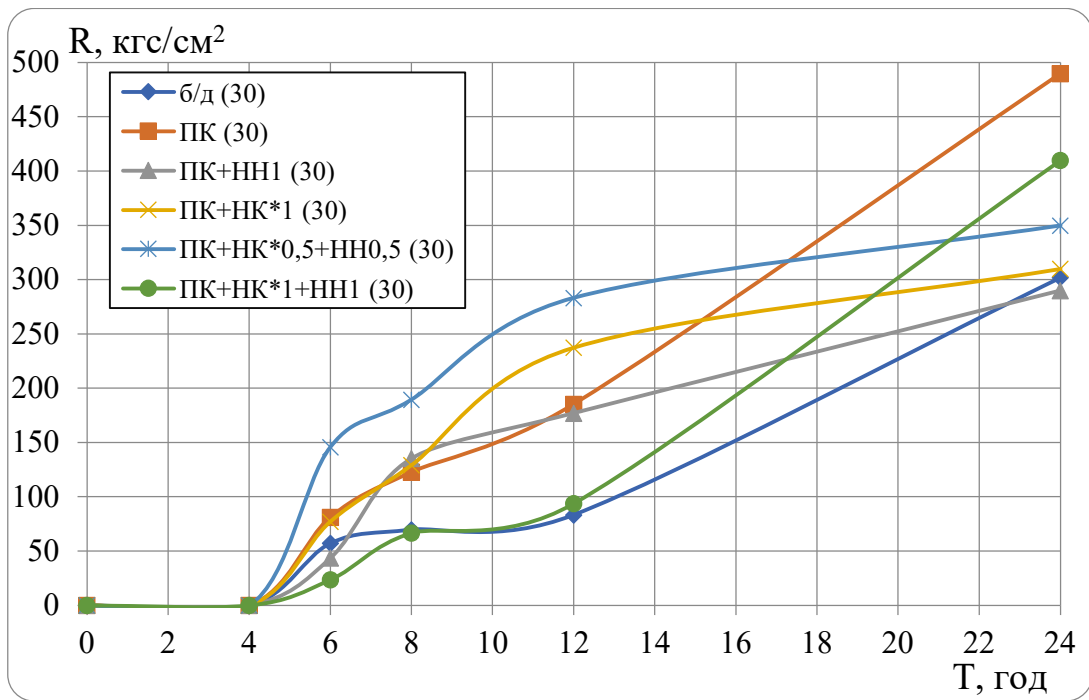


Рис. 5.12. Кінетика набору міцності R цементного каменю без добавок та з добавками СП ПК, нітриту натрію НН і нітриту кальцію НК* за температури 30°C

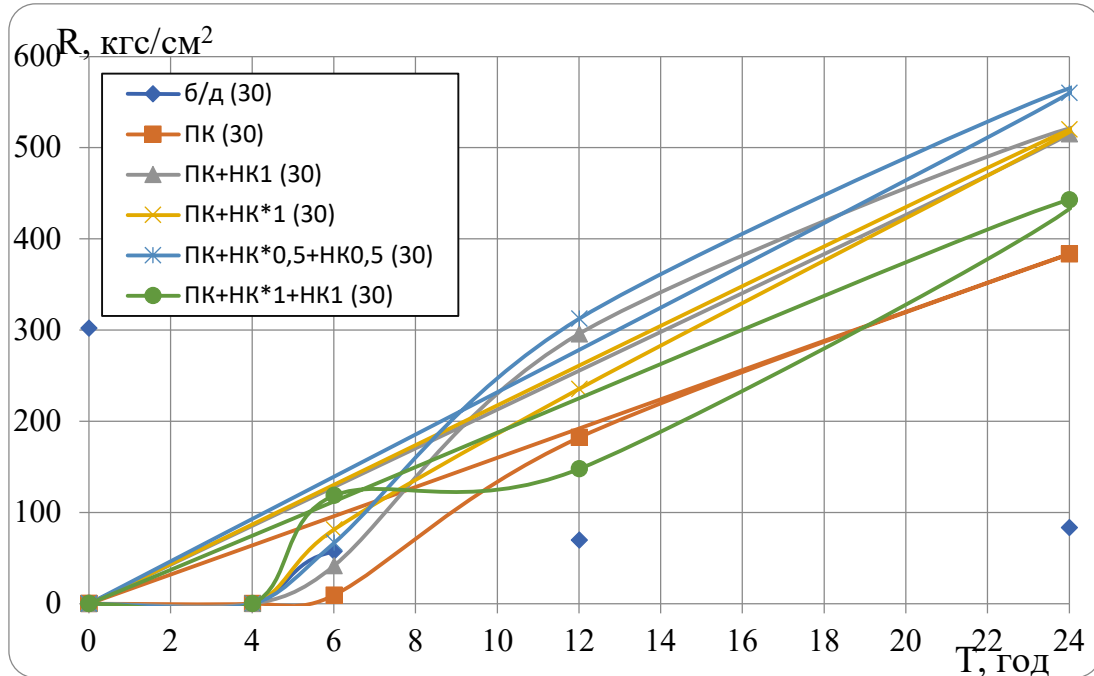


Рис. 5.13. Кінетика набору міцності R цементного каменю без добавок та з добавками СП ПК, нітрату кальцію НК і нітриту кальцію НК* за температури 30°C

Експериментальні дослідження з розробки складів бетону з добавками проведено у 2 напрямках енергозбереження: 1) зниження витрат тепла на ТВО [353]; 2) зниження витрати цементу як енергоємного компонента [354]. Результати дослідження наведені на рис. 5.14–5.16 [353, 354]. У склад комплексної добавки входять: суперпластифікатори нафталінформальдегідного і полікарбосилатного типу, прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію, мінеральна добавка метаколін.

За першим напрямком для досліджень обрано бетони оптимального складу (із забезпеченими оптимальними величинами коефіцієнтів розсунення зерен щебеню $\alpha_{\text{опт}}$ та піску $\mu_{\text{опт}}$) [176] з витратами цементу 380–496 кг/м³ з варійованим вмістом комплексних добавок. Досліджено вплив складу на кінетику набору міцності при твердінні за різними режимами. Результати досліджень наведено на рис. 5.14. Встановлено, що за 8 годин потрібну передаточну міцність набувають бетони оптимального складу:

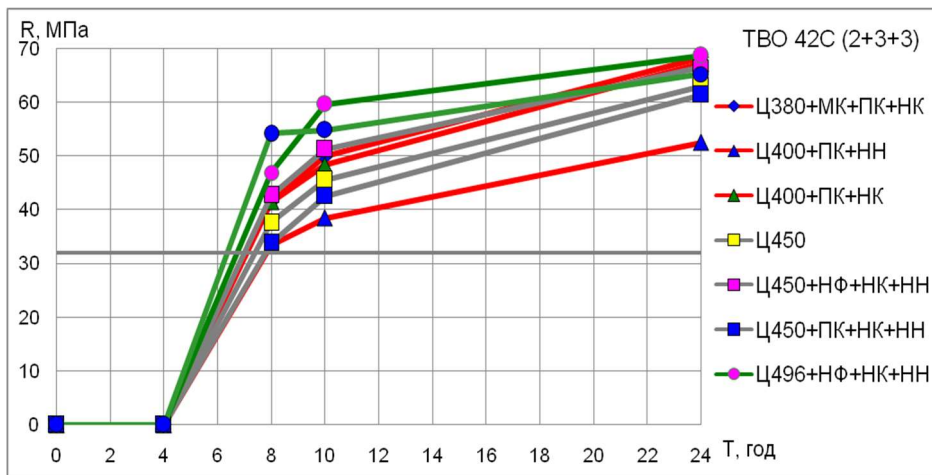
- за температури твердіння 42°C – без добавок з витратою цементу не менше 450 кг/м³ або з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 380 кг/м³;

- за температури твердіння 37°C – з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 400 кг/м³;

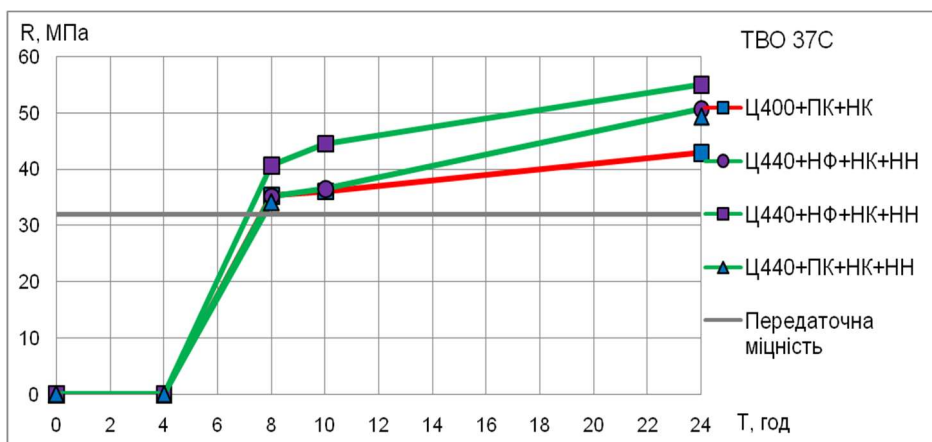
- за температури твердіння 33°C – з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 450 кг/м³.

Впливу метаколіну на підвищення ранньої міцності бетону не виявлено, отже його застосування доцільно лише для запобігання корозійного впливу луг цементу та солей натрію комплексних добавок на бетони з реакційно здатними заповнювачами.

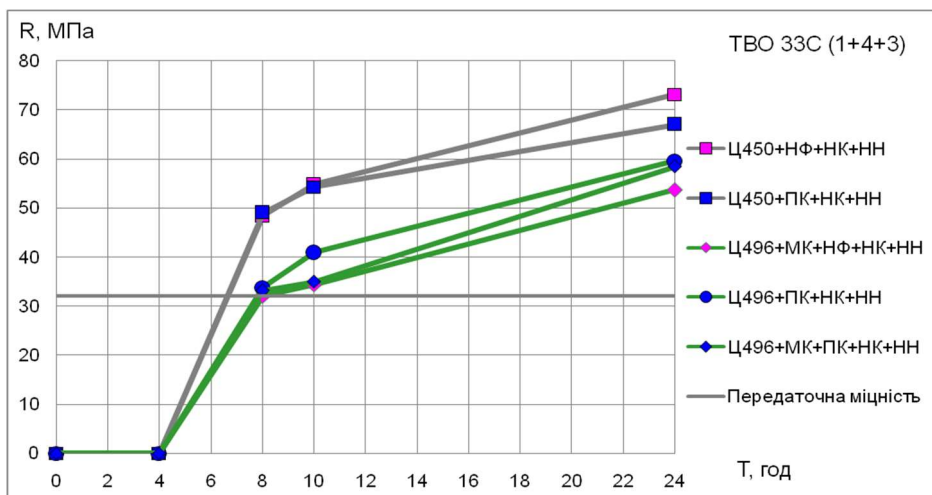
Виявлено вплив добавок на збільшення питомого електричного опору бетону, який у бетоні без добавок не перевищував 100 Ом×м, а у більшості бетонів оптимального складу з комплексною добавкою перевищив 1000 Ом×м. Бетони оптимального складу з добавками відповідають вимогам до марки з морозостійкості F200.



а



б



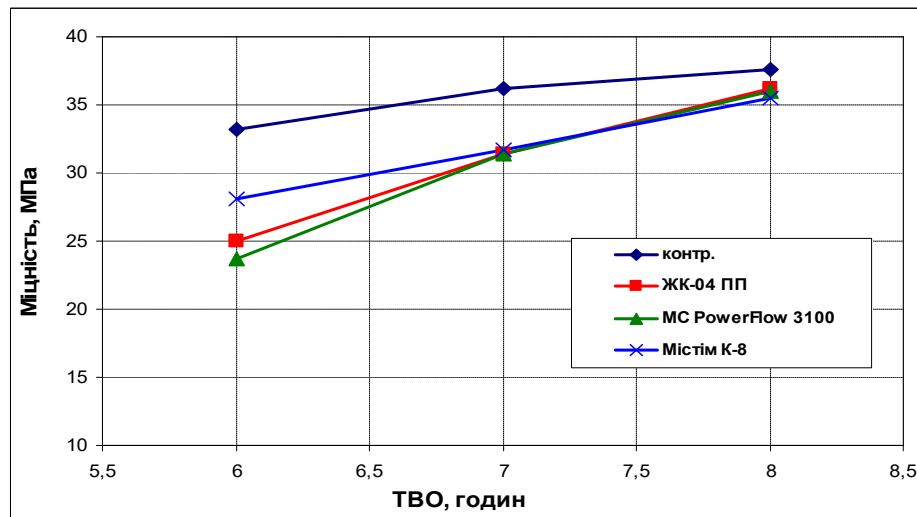
в

Рис. 5.14 Кінетика набору міцності R бетоном оптимального складу з витратами цементу 380–496 кг/м³ (на рис. Ц380–Ц496) і добавками за режимами тепловологісної обробки ТВО з температурою ізотермічної витримки: а – 42°C; б – 37°C; в – 33°C

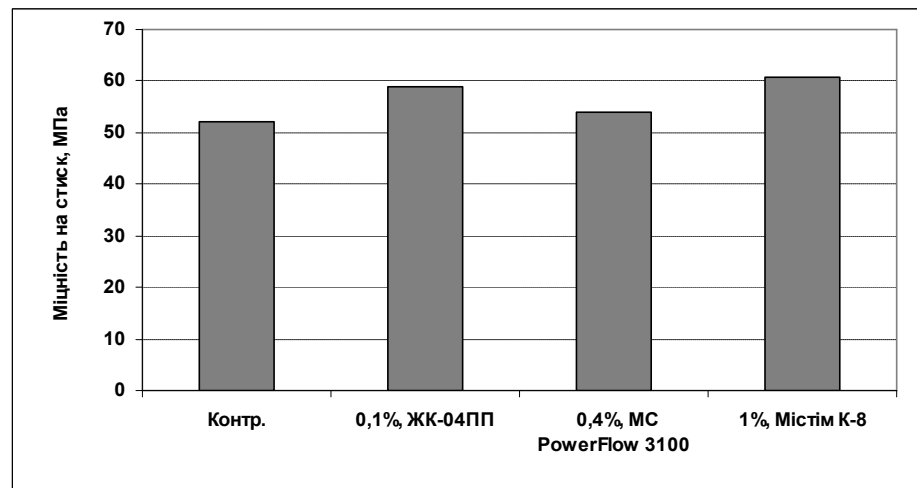
В результаті досліджень за другим напрямком (рис. 5.15-5.17) встановлено, що при зниженні витрати цементу на 50–100 кг/м³ (до 350–400 кг/м³), жорсткості бетонної суміші Ж2 і В/Ц=0,30–0,32 витрата добавок суперпластифікаторів в досліджуваних складах бетонів становила від 0,1 до 0,7%. Як видно із рис. 5.15, при витраті цементу 400 кг/м³ та режимі ТВО (2+2+4) 40°C, всі склади характеризувалися інтенсивним набором міцності, проте дещо нижчим, ніж у контрольного складу без добавок (витрата цементу 450 кг/м³). При цьому, міцність понад 32 МПа досягалася через 8 годин ТВО. Проектна міцність (В40) бетонів досліджуваних складів на 28 добу після ТВО забезпечена.

Зниження витрати цементу до 350 кг/м³ (рис. 5.16), при режимі ТВО (2+2+4) 40°C, призводить до зниження інтенсивності набору міцності модифікованих бетонів. Міцність понад 32 МПа досягається лише після 9 годин ТВО. Для складу бетону з 0,4 % МС PowerFlow 3100 міцність понад 32 МПа (на рівні контрольного складу, що тверднув при 40°C) досягалася на 7–8 годину ТВО за режимом (2+3+3) при 60°C. Міцність бетонів всіх складів на 28 добу після ТВО перевищувала проектну.

Введення 5 % метакаоліну при витраті цементу 350 кг/м³ призводить до підвищення витрати добавок суперпластифікаторів, що у випадку 0,25% ЖК-04 ПП істотно уповільнює інтенсивність набору міцності бетонів (рис. 5.17). Склад бетону з 0,7 % МС PowerFlow 3100 після 8 годин ТВО (2+3+3) 60° має міцність достатню для передачі напруження арматури. Проектна міцність бетонів В40 всіх складів на 28 добу після ТВО забезпечується. Отже підтверджене, що використання добавки метакаоліну має сенс лише з метою вирішення спеціальних задач, як-то зниження ризику тріщиноутворення внаслідок електрокорозії від струмів витоку [355], або при використанні реакційноздатного заповнювача [356].

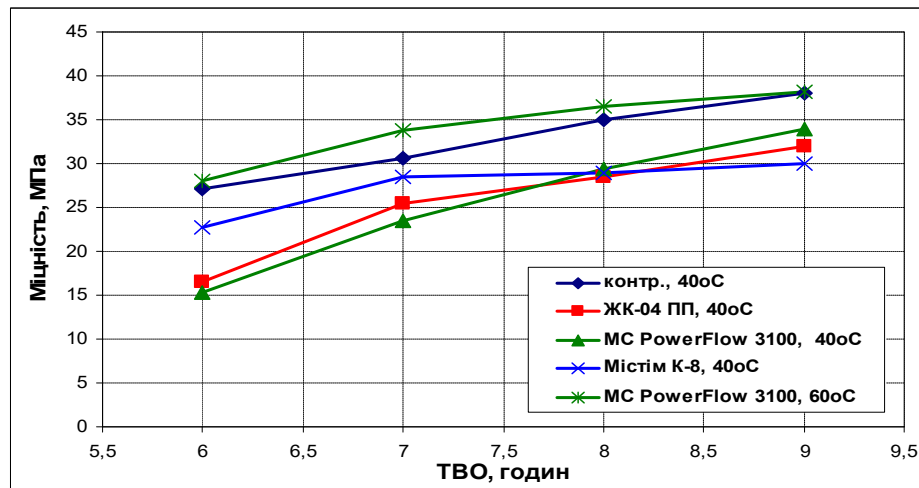


а

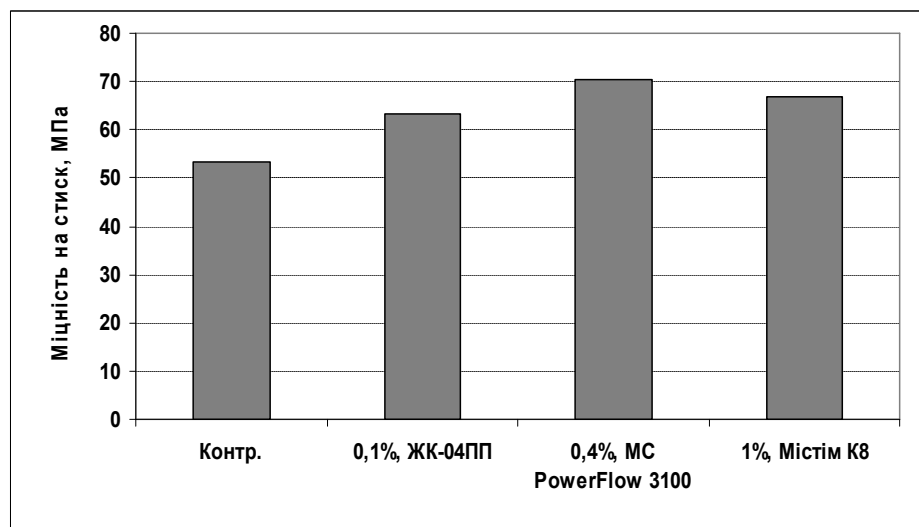


б

Рис. 5.15 Кінетика набору міцності бетону без добавок і з добавками суперпластифікаторами ЖК-04ПП – 0,1 %; MC-PF – 0,4 %; Містім К-8 – 1 % від маси цементу; витрата цементу 400 кг/м³; режим ТВО (2+2+4) 40°C: а – графік набору міцності; б – міцність на 28 добу



а



б

Рис. 5.16. Кінетика набору міцності бетону без добавок і з добавками суперпластифікаторами ЖК-04ПП – 0,1 %; МС-РФ – 0,4 %; Містім К-8 – 1 % від маси цементу; витрата цементу 350 кг/м³; режим ТВО 40°C (2+2+4) і 60°C (2+2+3): а – графік набору міцності; б – міцність на 28 добу

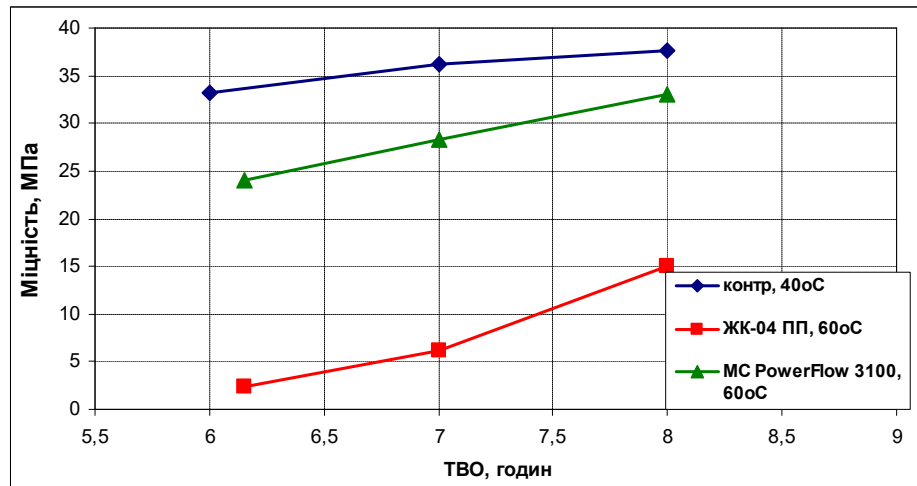


Рис. 5.17. Кінетика набору міцності бетону без добавок і з добавками: суперпластифікаторами ЖК-04ПП – 0,1 % і MC-PF – 0,4 % від маси цементу; метакаолін «Колорит» - 5 % від маси цементу; витрата цементу 350 кг/м³; режим ТВО (2+2+4) 40°C і (2+2+3) 60°C

За результатами випробувань модифікованого бетону з витратою цементу 350 кг/м³ та В/Ц=0,3 морозостійкість перевищує 200 циклів (за третім прискореним методом ДСТУ Б В.2.7-49-96 для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів), водонепроникність перевищує W12.

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень та аналізу економічної ефективності використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал, для ЗЗБШ рекомендовані оптимальні склади бетону, які забезпечують його потрібну передаточну міцність 32 МПа та інші проектні характеристики:

- для роботи у 2 зміни (через 8 годин):

за температури твердіння 40–42°C: з витратою цементу 440–450 кг/м³ без добавок; з витратою цементу 400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % від маси цементу; з витратою цементу 380 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу;

за температури твердіння 32–33°C – з витратою цементу 440–450 кг/м³ з добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу;

- для роботи в 1 зміну (через 24 години) за температури твердіння 24°C: з витратою цементу 435–440 кг/м³ без добавок; з витратою цементу 380–400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу.

5.6 Підвищення корозійної стійкості бетону мінеральною добавкою високодисперсної крейди

Застосування мінерального наповнювача одночасно вирішує завдання зниження витрати цементу, забезпечення мінімальних деформативності (повзучості), водопроникності, максимальної тріщиностійкості бетону. Використання добавок, що в процесі гідратації мінерального в'язучого сприяють утворенню низькорозчинних хімічно стійких сполук підвищує корозійну стійкість композиту. Для цементних бетонів добавкою, що поєднує властивості мінерального наповнювача і добавки, що підвищує корозійну стійкість є крейда [357].

Для розробки складів корозійностійкого бетону досліджено вплив вмісту добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні і корозійні властивості.

У розділі 4 вже було відмічено, що фізичні і фізико-механічні властивості композиційних матеріалів суттєво залежать від щільності складання їх складових, характеру упаковки частинок матриці в прошарках між структуроутворюючими елементами, що у свою чергу залежить від кількості і фракційного складу всіх елементів структури. Як відомо [358] найбільш щільна упаковка елементів структури досягається за певних умов співвідношення їх розмірів. Підбір добавок-наповнювачів повинен базуватися в першу чергу на врахуванні фракційного складу.

Введення високодисперсної крейди до складу бетону на основі портландцементу збільшує вміст структуроутворюючих частинок композиту в діапазоні від 2 до 5 мкм. Це дозволяє збільшити щільність бетону за рахунок

зменшення кількості пор з відповідним розміром, а також підвищити міцність [359, 360].

Висока дисперсність крейди та наявність в складі частинок органогенного кальциту, що мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності аморфної форми кремнезему, і дрібних частинок хомогенного кальциту, що мають позитивний поверхневий заряд, обумовлюють її комплексну поліфункціональну дію. Відомий пластифікуючий ефект крейди в цементних системах обумовлений від'ємним поверхневим зарядом органогенних частинок крейди – частинки крейди адсорбуються на позитивно зарядженій поверхні цементних частинок, нейтралізуючи її та перешкоджаючи злипанню. Однак, якщо враховувати наявність на поверхні хомогенних частинок крейди позитивно заряджених ділянок, то за відсутності пластифікуючої добавки може відбуватися злипання частинок та погіршення технологічних властивостей цементної пасти або бетону (збільшення в'язкості, седиментаційне розшарування суміші). У такому випадку необхідне використання розчинів органічних пластифікаторів - аніонних ПАР. Отже, ефективність використання крейди, як пластифікуючої добавки обмежується величиною питомої площі поверхні, що має негативний поверхневий заряд, тобто наявністю органогенних карбонатних частинок крейди з поверхнею вкритою аморфною формою кремнезему. Використання ПАР та адсорбція їх на позитивно заряджених ділянках частинок портландцементу та крейди обумовить пептизацію та зниження в'язкості суспензії.

Для дослідження характеру взаємодії добавки високодисперсної крейди з мінералами портландцементу і продуктами їх гідратації та фізико-механічних властивостей бетону були виготовлені зразки бетону, в яких частину портландцементу (10, 20, 30, 40 %) замінено добавкою високодисперсної крейди і контрольні зразки. Розрахунок складу бетону здійснювався за [177]

Результати визначення щільності і міцності зразків бетону із додаванням високодисперсної крейди в кількості 10, 20, 30 і 40% наведено на рис. 5.18.

Проведені експерименти довели, що зразки бетону, модифікованого 10 % високодисперної крейди, мають міцність на стиск вище, ніж у зразків контрольного бетону без добавки, але при цьому зразки мають однакову щільність $\rho_{w1,l}=2,41 \text{ г/см}^3$ (рис. 5.18).

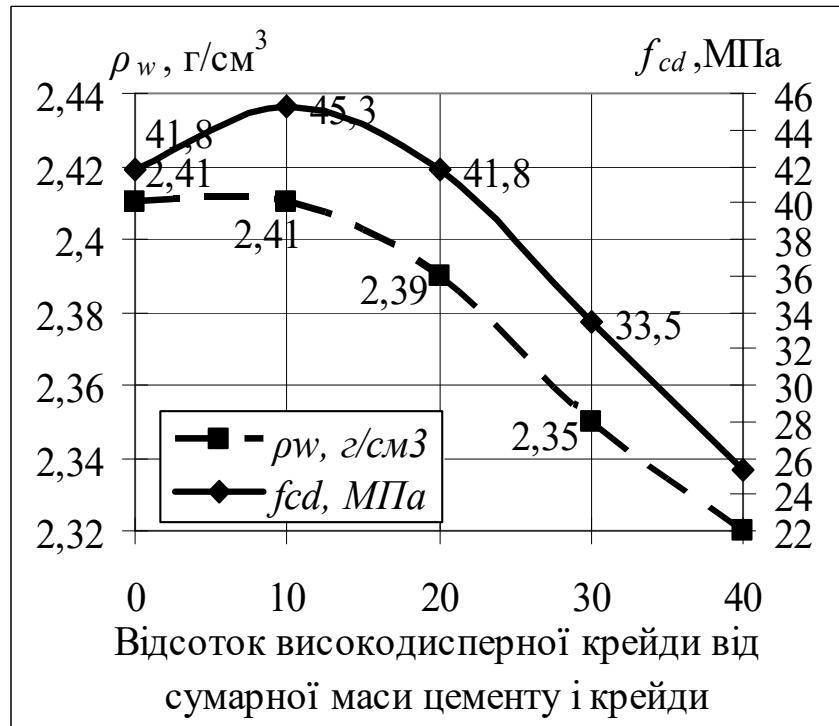


Рис. 5.18. Залежність міцності на стиск (f_{cd}) і щільності (ρ_w) бетону від вмісту добавки високодисперної крейди

Це можна пояснити тим, що частинки високодисперної крейди набагато менші, ніж розміри гранул цементу. Додавання високодисперної крейди призводить до збільшення об'ємної концентрації новоутворень і щільності гелю у поровому просторі між частинками цементного каменю. При цьому об'єм капілярних пор зменшується, продукти гідратації, зокрема гідрокарбоалюмінат кальцію заповнюють пустоти між частинками цементу, що збільшує щільність упаковки і веде до збільшення щільності зразків.

Надлишкова кількість добавки призводить до перерозподілу кількісного співвідношення фракцій, збільшенню мікропористості за рахунок пустотності наповнювача, і, відповідно, до зменшення середньої щільності бетону.

Мінімальну щільність мають зразки бетону, що модифікований 40 % високодисперсною крейди, $\rho=2,32$ г/см³, що менше на 3,7 % від щільності контрольних зразків без добавки $\rho=2,41$ г/см³.

Також було визначено міцність бетонних зразків на розтяг при згині, результати наведено на рис. 5.19.

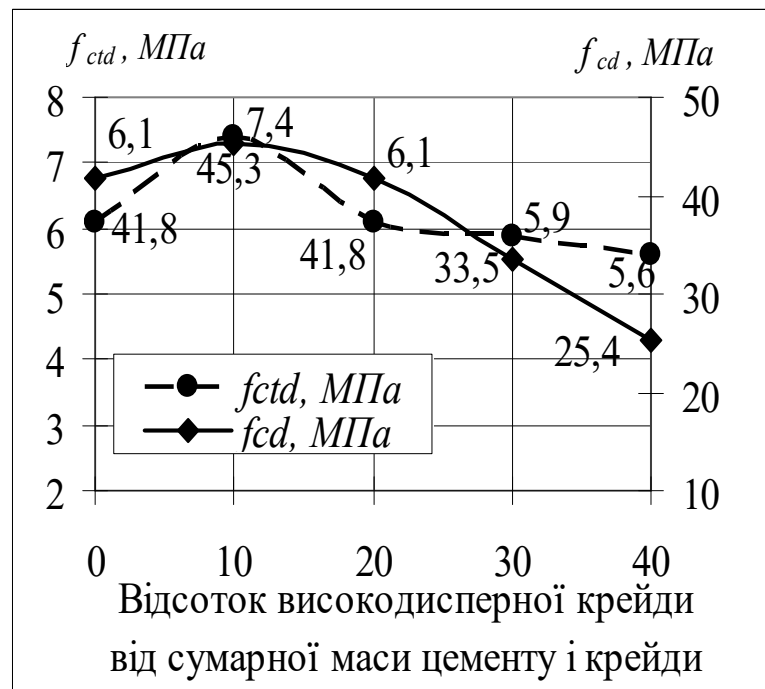


Рис. 5.19. Залежність міцності на стиск (f_{cd}) і міцності на розтяг при згині (f_{ctd}) бетону від вмісту добавки високодисперсної крейди

За даними досліджень встановлено, що найбільше значення міцності на розтяг при згині мають зразки бетону, що модифікований 10 % високодисперсною крейди, що на 11,5 % вище, ніж у контрольних зразків без добавки (рис. 5.19). Збільшення відсоткової кількості високодисперсної крейди у складі бетону веде до зниження показників міцності на розтяг при згині, але міцність на розтяг при згині для зразка, модифікованого 20 % добавкою високодисперсної крейди, стає такою ж як і у зразка без добавки крейди.

Для зразків, модифікованих 30 % і 40 % високодисперсною крейди, спостерігається незначне зменшення міцності при згині і становить 3 % і 8 %

порівняно з контрольним зразком без добавки, в той же час відсоток зниження міцності на стиск у цих зразків значно вище.

Визначено вплив вмісту добавки високодисперсної крейди на водонепроникність. Проведені експерименти показали, що водонепроникність зразка, модифікованого 10 % високодисперсної крейди, підвищується на 20 %, порівняно з контрольним зразком без добавки (рис. 5.20).

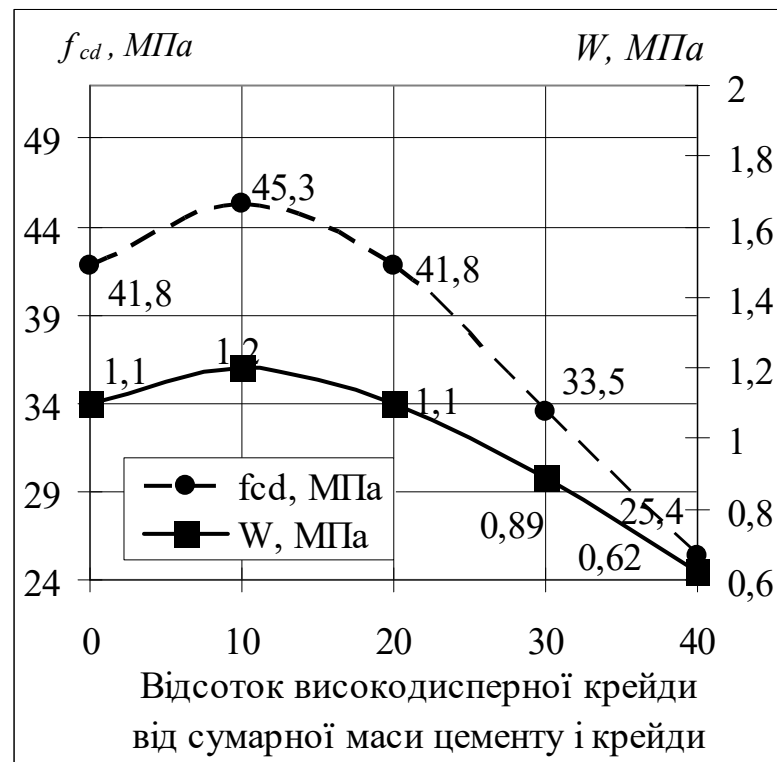


Рис. 5.20. Залежність міцності на стиск і водонепроникності зразків від вмісту добавки високодисперсної крейди

Підвищення водонепроникності зразків, модифікованих 10 % і 20 % високодисперсної крейди, обумовлено тим, що розміри частинок високодисперсної крейди можна порівняти з розмірами капілярів цементного каменю. Високодисперсна крейда, розподіляючись у капілярних порах, кольматує їх і перешкоджає просуванню води вглиб бетонних зразків, що веде до ущільнення зони «цементний камінь - наповнювач». При цьому відбувається «заростання» пор продуктами гідратації цементу, що зумовлює зменшення загальної пористості бетону і підвищує його щільність.

Досить високі показники міцності бетону на розтяг, навіть за умови зменшення показників міцності на стиск і щільності, підтверджують попередні теоретичні припущення про вплив збільшення кількості електрогетерогенних контактів у структурі композиту, у даному випадку бетону. Додавання високодисперсної крейди сприяє утворенню низькоосновних гідросилікатів кальцію з негативним поверхневим зарядом за рахунок взаємодії із кремнекислотою на поверхні частинок крейди, паралельно з цим відбувається вивільнення карбонатної складової частинок, підвищення дисперсності структуроутворюючих частинок композиту (бетону), збільшенню кількості елементарних електрогетерогенних контактів.

У [361] розглянуто також вплив добавки високодисперсної крейди на корозійну стійкість бетону.

М.І. Стрілковим [362] було розроблено експресну методику для визначення корозійної стійкості цементного каменю бетону, яку і використано у роботі. Методика включає дослідження впливу на цементний камінь розчинів, що включають іони Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} . Всього використовується 32 розчини із різним вмістом солей $NaCl$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$, $MgSO_4$, за основу для розрахунку вмісту зазначених солей прийнята концентраційна діаграма чотирьохкомпонентної системи (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}). Згідно з [362] висока агресивність цієї системи обумовлена утворенням сполук з великою молекулярною масою в результаті хімічної взаємодії між солями системи: $NaCl$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$, $MgSO_4$ та продуктами гідратації цементу.

Зразки цементного каменю були виготовлені з портландцементу без добавки та з добавкою крейди: 1 – контрольний зразок, що виготовлений з портландцементу без добавки; 2, 3, 4, 5 – з добавкою, відповідно, 10, 20, 30, 40 % крейди від сумарної маси цементу при В/Ц=0,45. Після твердіння у нормальних умовах на протязі 28 діб зразки подрібнювалися до розміру 0,14-0,315 мм. Для подальших досліджень було відібрано проби однакового об'єму, які поміщались у мірні циліндри з агресивними розчинами – розчинами різних солей [362, 363].

Інтенсивність взаємодії середовища із зразками, що досліджуються, оцінювалася за величиною приросту об'єму твердої фази, що обумовлено зміною ступеня дисперсності вихідних частинок і продуктів корозії, що утворилися. Цей приріст оцінювався величиною приросту висоти осаду h у циліндрі (рис. 5.21).

Результати дослідження зміни величини седиментаційного осаду, що складається з продуктів корозії, які утворилися у цементному камені під дією агресивних розчинів, представлені та на рис. 5.22.

Як видно на рис. 5.22 висота осаду продуктів корозії в'язучого, модифікованого високодисперсною крейдою у розчинах солі значно менше, ніж висота осаду продуктів корозії контрольного зразку.

За даними досліджень [324] найбільшу агресивність по відношенню до цементного каменю виявляють 6 розчинів, склад розчинів і результати досліджень наведено у табл. 5.6.

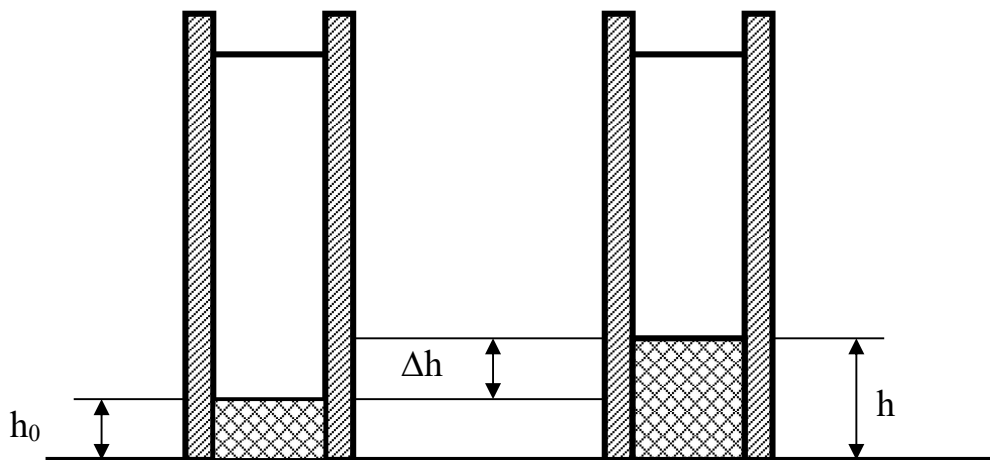
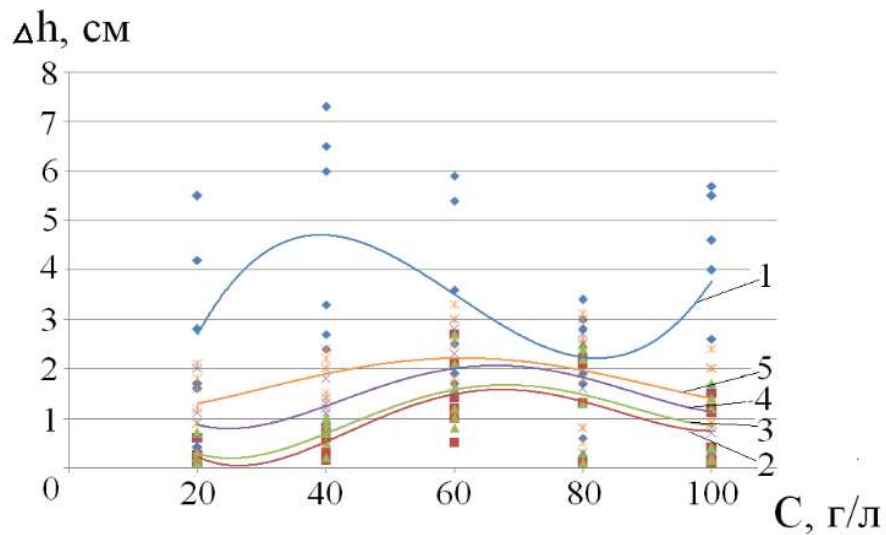
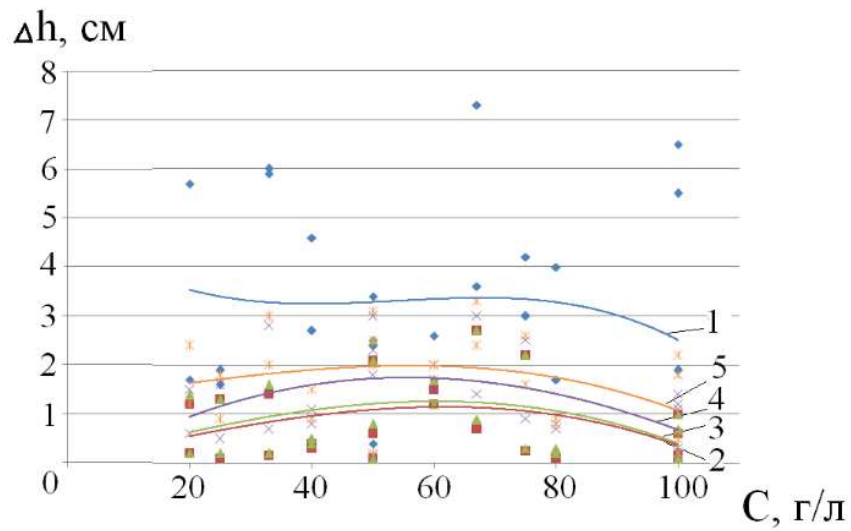


Рис. 5.21. Схема вимірювання висоти осаду



a



б

Рис. 5.22. Залежність висоти седиментційного осадку (Δh) подрібненого цементного каменю від концентрації C сульфатів (*a*) і солей магнію (*б*) у розчинах після 3-х місяців експозиції: 1 – цементного каменю без добавки; 2, 3, 4, 5 – цементного каменю з добавкою високодисперсної крейди, відповідно, 10, 20, 30, 40 % від сумарної маси цементу і крейди

Склади солевих розчинів для дослідження корозійної стійкості вяжучого та
результати досліджень

№	Вміст солей в агресивному розчині, г/л	Висота осаду, см, для складів з добавкою високодисперсної крейди, %				
		0	10	20	30	40
1	NaCl – 40; Na ₂ SO ₄ – 20; MgCl ₂ – 27; MgSO ₄ – 13	6,0	0,15	0,2	0,7	2,0
2	NaCl – 20; Na ₂ SO ₄ – 40; MgCl ₂ – 13; MgSO ₄ – 27	7,3	0,7	0,9	1,4	2,4
3	NaCl – 13; Na ₂ SO ₄ – 27; MgCl ₂ – 20; MgSO ₄ – 40	3,6	2,7	2,7	3,0	3,3
4	NaCl – 10; Na ₂ SO ₄ – 10; MgCl ₂ – 40; MgSO ₄ – 40	3,4	2,1	2,5	3,0	3,1
5	NaCl – 0; Na ₂ SO ₄ – 0; MgCl ₂ – 100; MgSO ₄ – 0	5,5	1,1	1,2	1,6	2,0
6	NaCl – 0; Na ₂ SO ₄ – 0; MgCl ₂ – 20; MgSO ₄ – 80	4,0	0,1	0,2	0,7	0,9

Для визначення ступеню стійкості в'язучого компоненту дрібнозернистого бетону були проведені дослідження балочок, які виготовлені на основі портландцементу, зокрема з добавкою 10, 20, 30 та 40 % високодисперсної крейди. Розчини для дослідження були відібрані за результатами визначення корозійної стійкості за експресною методикою.

Ступінь стійкості зразків встановлювався за величиною коефіцієнту стійкості (K_c), який визначався за формулою:

$$K_c = \frac{f_{ct}^{3\text{міс}}}{f_{ct}^{28}} \quad (5.1)$$

де $f_{ct}^{3\text{міс}}$ – міцність на стиск зразка після занурення в агресивне середовище на протязі 3 місяців, МПа; f_{ct}^{28} – міцності зразків після 28 - добового твердіння до занурення у агресивне середовище, МПа.

У табл. 5.7 наведені результати визначення коефіцієнту стійкості різних складів в'язучого.

Коефіцієнт стійкості бетону

Д Ц+Д %	Початкова міцність на стиск f_{cd} , МПа	Коефіцієнт стійкості, %, в агресивному розчині агресивному розчині*					
		1	2	3	4	5	6
0	41,8	70	78	62	85	76	67
10	41,9	120	103	99	92	90	95
20	38,4	123	99	98	92	85	93
30	33,5	98	95	88	86	93	91
40	25,4	86	91	76	78	87	86

* номер розчину відповідає табл. 5.6

Отримані дані свідчать, що зразки з добавкою 10-20 % високодисперсної крейди найбільш стійкі у всіх агресивних середовищах (коефіцієнт стійкості K_c перевищує 85 %).

Використання високодисперсної крейди забезпечує підвищення корозійної стійкості цементного каменю в умовах впливу агресивних розчинів, що містять сульфат-іони та іони-магнію за рахунок зниження кількості гідроксиду кальцію, і зв'язування алюмінатної фази у стійкі продукти гідратації. Як зазначалось у розд. 4.3, при зміні рН за рахунок впливу кислих середовищ рівноважний електроповерхневий потенціал гідросилікатів кальцію в цементному камені набуває позитивних значень, що призводить до зміни балансу позитивно і негативно заряджених площ поверхонь з перетворенням електрогетерогенних контактів на електрогомогенні. Крейда за рахунок негативно заряджених поверхонь частинок компенсує втрати структурою штучного каменю електрогетерогенних контактів між гідросилікатним гелем і кристалогідратами під впливом кислих середовищ. Ефективність добавки високодисперсної крейди визначається не тільки її взаємодією з мінералами клінкеру, але й з ущільненням мікроструктури за рахунок розміщення зерен

добавки у проміжках між зернами цементу. Це створює більш щільну структуру цементного каменю.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. Встановлено, що підвищення водостійкості будівельного гіпсу можливо за рахунок введення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами. Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, в якій кристали гіпсу-двугідрата максимально захищені від контакту з водою і розчинення. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що введення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами забезпечує підвищення міцності гіпсового каменю в водонасиченому стані. Підвищення коефіцієнта водостійкості гіпсу відбувається до величини 1, тобто на величину до 0,8 одиниць.

2. Розроблено склади ефективних гідроізоляційних композитів на основі портландцементу. Підвищення фізико-механічних та гідрофізичних властивостей цементних композитів, їх зчеплення з пористими мінеральними основами здійснювалось за рахунок спрямованого формування їх структури: на мезорівні – за рахунок введення оптимальної кількості мікронаповнювачів і армуючих волокон, на мікро- і субмікрорівні – за рахунок уведення комплексної хімічної добавки, яка забезпечує синтез додаткових кристалогідратів, що утворюють з поверхнями капілярів, пор, тріщин, дисперсних частинок і волокон найбільшу кількість електрогетерогенних контактів.

3. Встановлено, що уведення волокон, мінеральних та хімічних добавок дозволяє істотно покращувати фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиційних матеріалів на основі портландцементу. Так, спільне

використання всього до 0,2 % за масою скловолокна та дисперсного кальциту забезпечує збільшення міцності композиції на стиск на 38 %, на згин – на 76 %, а марки з водонепроникності – від W4 до W10. Міцність на згин композиційного матеріалу з комплексною хімічною добавкою екстремально залежить від вмісту поліефірних волокон з максимумом з 5 % волокон, а водопоглинання залишається незначним при їх вмісті до 5 %.

4. Розроблено склад електропровідної композиції на портландцементі з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем. Використання у складі комплексної хімічної добавки забезпечує проникну дію покриття та ущільнення поверхневого шару бетону. В якості електропровідного наповнювача в склад введено графіт марки ГС-1, його раціональний вміст – 10% – підібрано за результатами визначення фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композиту

5. Розроблено склад корозійностійкої шпаклювальної композиції на основі рідкого скла з підвищеними показниками електропровідності.

Експериментально встановлено, що питомий електричний опір композиції ρ залежить від вмісту графіту $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ та силікату натрію $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$; мінімальні значення $\rho = 0,2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ спостерігаються за $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,2\text{--}0,8$ та $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,4\text{--}0,9$. Водостійкість K_v залежить від рідинно-твердого відношення $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$ та вмісту графітового наповнювача $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$; K_v є максимальним (до 0,8) за $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,3\text{--}1,0$ та перевищує 0,6 за $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ понад 0,7.

6. В результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору міцності цементного каменю і бетону з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння за різних температур. Для складів бетону для безпропарювальних і малопрогрівних режимів твердіння шпал обрано комплексні добавки у складі суперпластифікаторів нафталінформальдегідного та полікарбонатного типу і прискорювачів твердіння нітрату кальцію і нітриту кальцію (натрію).

7. Досліджено вплив різних типів суперпластифікаторів та метакаоліну на міцність бетону залізобетонних шпал після ТВО при $T=40\text{--}60^\circ\text{C}$. За

результатами досліджень одержано склади бетонів, які за 8–10 годин ТВО при температурах 40–60°C досягають міцності передачі напруження арматури на бетон (32 МПа), при класі міцності у проектному віці понад В40, марці морозостійкості F200 і водонепроникності W12, та характеризуються зниженими витратами цементу 350–400 кг на 1 м³ бетону.

8. Досліджено вплив мінеральних добавок на властивості композитів. Експериментально підтверджено, що використання добавки високодисперсної крейди в кількості 10 % підвищує міцність на стиск на 3,5 %; міцність на розтяг при згині на 11,4 %; водонепроникність на 20 %; морозостійкість на 26 % при відтаюванні у воді, а при відтаюванні у хлориді натрію на 28,3 %. Добавка високодисперсної крейди в кількості 10-20 % підвищує корозійну стійкість бетону в агресивному середовищі, що містить хлориди на 18 %, сульфати – на 32 % та іони магнію – на 39 %.

РОЗДІЛ 6

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1 Впровадження нових композиційних матеріалів при реалізації конструктивно-технологічних рішень з ремонту і захисту об'єктів інфраструктури

Результатом досліджень є розроблення нових високоефективних композиційних матеріалів, застосування яких дозволяє підвищити надійність і довговічність будівельних конструкцій і споруд, у т. ч. транспортних і гідротехнічних, підвищити безпеку руху транспорту.

Розроблені і впроваджені на об'єктах переважно Південної залізниці нові конструктивно-технологічні рішення з відновлення несучої здатності та подовження терміну служби споруд та будівель залізничного транспорту, що пошкоджені поперемінним заморожуванням–відтаванням, корозією блукаючими струмами, нерівномірною осадкою основ, розмиванням постійним водотоком і т.д. Ці рішення ґрунтуються на спеціально розроблених для цього ремонтних і захисних композиційних матеріалах.

Відновлення несучої здатності та захист пошкоджених корозією залізобетонних прогонових споруд балкових мостів

Характерні пошкодження на досліджуваних об'єктах: відшарування захисного шару бетону, корозія розподільчої арматури до втрати суцільності стержнів, корозія робочої арматури (рис. 6.1).

На рис. 6.2 наведено схеми конструктивно-технологічних рішень відновлення несучої здатності та захисту пошкоджених корозією конструкцій залізобетонної попередньо-напруженої прогонової споруди мостів.

Впроваджено наступні конструктивно-технологічні рішення і композиційні матеріали для ремонту і захисту споруд: додаткове попереднє напруження за допомогою арматурних пакетів із високоміцного дроту, рис. 6.2, а; улаштування навколо розтягнутої зони балки (ригеля) та/або вута

металоін'єкційної півобойми (сталеві суцільної півобойми на анкерах з нагнітанням в зазор під нею суперпластифікованої цементно-водної суспензії), рис. 6.2, б; ін'єктування в тріщини і ремонт відколів бетону полімерцементними розчинами або полімерними композиціями; нанесення гідроізоляційних сумішей проникної дії; підсилення опорних ділянок з тріщинами склополімерними накладками із конструкційної склотканини і епоксидної композиції; антикорозійний захист прогонової споруди полімеркомпозиційним захисним складом.



Рис. 6.1. Характерні пошкодження залізобетонних прогонових споруд

В процесі експлуатації під дією поперемінного заморожування та відтавання, струмів витоку і блукаючих струмів, агресивних середовищ (у т.ч. карбонізації, вилуговування), вібрації в бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкціях, що експлуатуються на залізницях, виникають і розвиваються пошкодження. У тих випадках, коли руйнування досягають значних об'ємів, проводиться підсилення конструкцій залізобетонними, сталобетонними або металоін'єкційними обоймами і півобоймами в місцях де це технічно можливе. Металоін'єкційні обойми і півобойми як різновид сталобетонних конструкцій

мають набагато більші несучу здатність, надійність і довговічність, ніж аналогічного перетину залізобетонні.

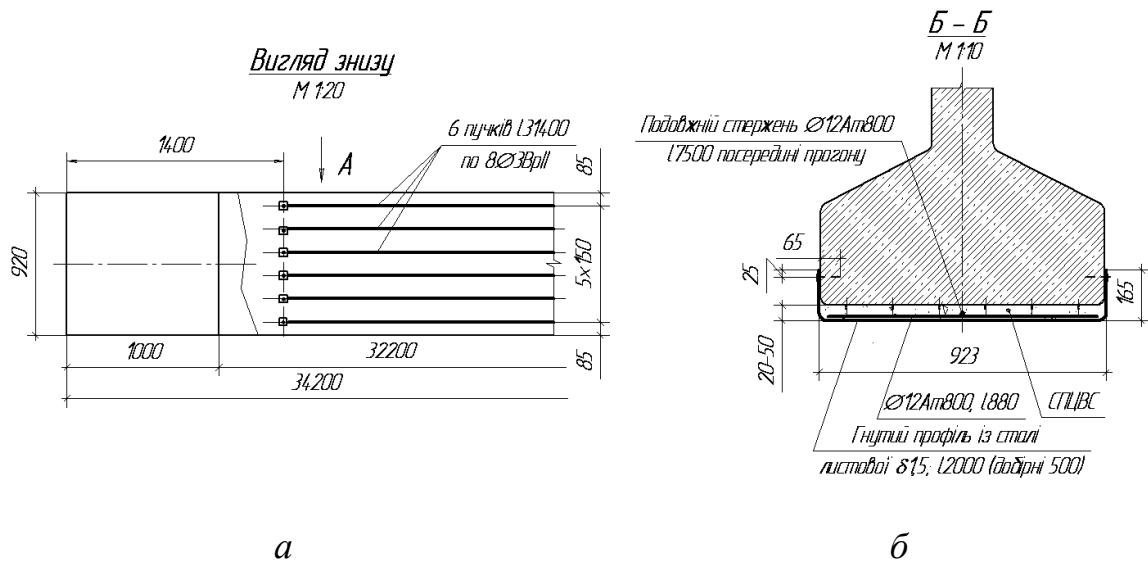


Рис. 6.2. Приклади реалізованих конструктивно-технологічних рішень відновлення несучої здатності та захисту пошкоджених корозією конструкцій залізобетонної попередньо-напруженої прогонової споруди мостів металоін'єкційними півобоймами: *а* – вигляд знизу; *б* – поперечний переріз

Як заходи вторинного захисту від агресивних дій поверхонь залізобетонних конструкцій, як тих, що будуються, так і експлуатованих, передбачено нанесення захисних лакофарбових покриттів - епоксидно-кам'яновугільні склади ЗС-3, ЗС-3М, ЗС-3МЦ [343].

Для захисту від електрокорозії металоін'єкційних обойм і сорочок, застосованих для підсилення конструкцій платформ на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць з позитивним або знакозмінним електричним потенціалом на рейках рекомендується улаштовувати їх діодне заземлення. Відповідно до цієї схеми на рис. 6.2 сталевий лист-екран металоін'єкційними півобоймами закріплюється між поверхнею нижнього пояса прогонової споруди і з'єднується з діодним заземлювачом поруч із нею.

Відновлення несучої здатності та захист пошкоджених корозією бетонних стояків і опор мостів, високих пасажирських платформ

Основні ушкодження відзначені на блоках опор у верхній частині в місцях спирання плит, як з боку колії, так і з протилежного боку, рис. 6.3, *а*. Серед можливих причин порівнювалися традиційно розглянуті причини: вилуговування водотоком річки (у періоди можливого підйому до місць руйнування паводкових вод), періодичне заморожування та відтавання бетону. Разом з цими факторами розглядався також фактор електрокорозії бетону від одночасного пульсуючого постійного струму витоку з рейкової колії. Впровадження заходів щодо захисту та посилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць виконано на прикладі опор, які мали значні руйнування, рис. 6.3, *а*.

Конструктивно-технологічні рішення і композиційні матеріали для ремонту і захисту споруд: улаштування на пошкоджених опорах металоін'єкційних (рис. 6.3, *б*) або сталобетонних обойм (сталевих суцільних обойм на анкерах з ін'єктуванням в зазор під ними СПЦВС); нанесення на поверхні конструкцій полімеркомпозиційних захисних складів.

*а**б*

Рис. 6.3. Бетонна опора високої пасажирської платформи: *а* – характерне пошкодження (руйнування бетону від спільної дії попереминого заморожування відтавання і пульсуючого однонаправленого струму витоку); *б* – сталобетонна (металоін'єкційна) півобойма (сорочка)

Відновлення несучої здатності та захист пошкоджених бетонних і кам'яних водопропускних труб, тунелів

Характерні пошкодження об'єктів: руйнування поверхні, тріщини, некрізні й наскрізні вивали у склепінні або стінах через попереми́нне заморожування й відтавання, електрокорозію від пульсуючих однонаправлених блукаючих струмів в обводненому стані, нерівномірне осідання, розмивання водотоком і т.п. (рис.6.4).

Основним конструктивним рішенням для пошкоджених в нижній частині труб (рис.6.4) є монолітний залізобетонний лоток, який складається із днища – бетонної розпірної плити і стінок – залізобетонних сорочок на найбільш пошкодженій нижній частині стін і влаштовується із швидкотверднучого бетону оптимального складу. У склепіння та стіни і за них в місцях тріщин, вивалів, нагнітається СПЦВС. Поверхні стін та склепіння гідроструменевим способом очищується до міцної основи, дрібні вивали і значні нерівності забиваються цементно-піщаним розчином оптимального складу. Захист всіх поверхонь конструкцій труби здійснюється шляхом нанесення на них полімеркомпозиційного захисного складу.



а



б

Рис. 6.4. Відновлення та підсилення склепіння та стін водопропускної труби комбінованою металоін'єкційно-сталебетонною сорочкою: а – монтаж сталевій оболонки; б – бетонування сталебетонної сорочки на рівні наскрізних вивалів

Розроблені матеріали і конструктивно-технологічні рішення застосовано при ремонті конструкцій і споруд залізниць України (Додаток Б). Економічний ефект, що обумовлений відновленням експлуатаційних властивостей пошкоджених конструкцій замість їх повної заміни, з урахуванням особистого внеску здобувача складає 2 290 268 грн.

Для реалізації вказаних рішень розроблено і впроваджено низку нормативних, інструктивних, рекомендаційних документів (Додаток В): «Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць», 2011 р.; «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів», 2012 р.; «Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витoku з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах», 2015 р.; ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна [364].

Як заходи первинного захисту від електрокорозії бетонних і залізобетонних конструкцій споруджуваних шляхопроводів, а також нових конструкцій, якими замінюють пошкоджені, слід передбачати застосування бетону важкого за ДСТУ Б В.2.7-43 класу за міцністю не нижче С 16/20, марки за морозостійкістю – не нижче F 200, марки по водонепроникності – не менше W 8, безнапірної водонепроникності W_{be} – не більш 1×10^{-10} м/с.

Спосіб підбору складу бетону повинен відповідати ДСТУ Б В.2.7-215. Рекомендується застосовувати склад бетону, призначений за методикою УкрДАЗТ із забезпеченням оптимальних значень коефіцієнтів розсунення великого заповнювача α_{opt} , дрібного заповнювача μ_{opt} , а також водоцементного відношення V/C_{opt} з оптимальним вмістом добавки суперпластифікатора, а при необхідності – добавки прискорювача твердіння за ДСТУ Б В.2.7-171, ДСТУ-Н Б В.2.7-175 і ЦБМЕС 0004.

В якості заходів вторинного захисту від електрокорозії бетонних і залізобетонних конструкцій шляхопроводів як тих, що будуються, так і експлуатованих, слід обов'язково передбачати захисні лакофарбові покриття.

Рекомендується застосовувати розроблені в УкрДАЗТ захисні склади ЗС-3, ЗС-3М, ЗС-3МО (на основі зневодненої кам'яновугільної смоли), ЗС-3МЦ (модифікований цеолітом).

Для захисту від електрокорозії металоін'єкційних і сталобетонних об'єктів і сорочок, виконаних за технологією, наведеною в [365], застосовуваних для підсилення конструкцій шляхопроводів на електрифікованих ділянках залізниць з позитивним або знакозмінним електричним потенціалом на рейках, рекомендується влаштовувати їх діодне заземлення.

Відновлення і захист бетонних конструкцій, що піддаються впливу агресивних підземних і виробничих стічних вод

Бетони з органо-мінеральною добавкою високодисперсної крейди можливо використовувати в умовах, що піддаються впливу агресивних підземних і виробничих стічних вод, що містять хлориди, сульфати та іони магнію, а саме для створення тротуарної плитки, бортових каменів; вхідних вузлів будинків; огорожувальних конструкцій споруд, що експлуатуються у мовах агресивного середовища; плит покриття; улаштування відмосток будинків.

Бетон для монолітних ділянок збірно-монолітних залізобетонних конструкцій та вхідного вузла, впроваджений під час зведення будівлі по пр. Олександрівському, 67 у м. Харків (Додаток В), рис. 6.5.



Рис. 6.5. Вхідний вузол будівлі

6.2 Застосування розроблених складів для захисту від електрокорозії (для заземлених екранів)

Металоін'єкційну сорочку доцільно застосовувати за необхідності відновлення несучої здатності споруди з суттєвими пошкодженнями. З метою здешевлення ремонту та захисту споруд запропоновано замінити металоін'єкційну сорочку заземленим екраном – покриттям із електропровідної композиції на основі мінеральних в'язучих [366], розроблені склади композицій на основі портландцементу [348] і отвердженого кремнійфтористим натрієм силікату натрію [352], з наповнювачем – графітовим порошком (Додаток Г).

У [366] була розроблена методика і виконані експериментальні дослідження ефективності такого захисту від електрокорозії на моделях. Досліджували екрани із електропровідних композицій з наповнювачем - графітовим порошком на основі портландцементу (проникної дії) та затвердженого кремнійфтористим натрієм силікату натрію, склади яких прийняли за [348] і [352], відповідно. Встановлено, що у порівнянні з моделлю без захисту величина струму, що протікає через неї, менше: у моделі з заземленим екраном-покриттям із композиції на основі портландцементу - на 49 – 66 %, а з композиції на основі силікату натрію – на 34 – 60 %.

Дослідні партії електропровідних композицій для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії було виготовлено на підприємстві ВАТ «Віа-Телос» (Додаток Г).

Електропровідні композиції застосовують для екранного захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом.

На рис. 6.6 наведено схему вузла сполучення електроду заземлення з електропровідним захисним екраном. Деталь сполучення провідника заземлення може бути виконана у вигляді пластини, рис. 6.6, б, а може бути замінена на пояс із смуги шириною 40-50 мм, товщиною 3-5 мм, або кутника

кутника з шириною полиці 63 мм товщиною 5 мм. Пластина, або пояс прикріплюються на торцеву грань опори за допомогою анкерів.

Шар електропровідної композиції товщиною 3-5 мм (шпаклювальна композиція на основі рідкого скла), або 7-10 мм (композиція проникної дії на основі портландцементу) наноситься під пластину, або пояс безпосередньо перед їх встановленням.

До сполучної деталі за допомогою зварювання або різьбового з'єднання прикріплюють провідник із сталевого дроту діаметром 8 мм, який приєднують до заземлених металевих перил платформи.

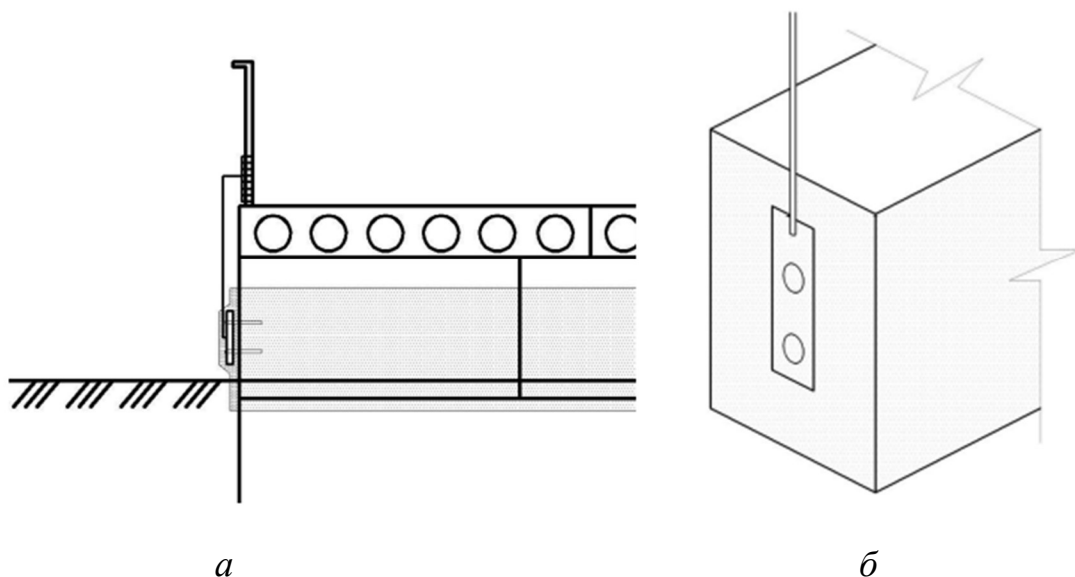


Рис. 6.6. Вузол сполучення електроду заземлення з екраном: *а* – загальний вигляд; *б* – кріплення провідника заземлення до пластини

Результати досліджень впроваджено в дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з. п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» (додаток Г). На даній платформі у жовтні–листопаді 2020 р. виконувався капітальний ремонт. У складі капітального ремонту на частині опор улаштовували захист заземленими екранами із електропровідних композицій, рис. 6.7. У складі ремонту на частині опор улаштовано захист заземленими екранами з електропровідних композицій. Застосовано такі

варіанти покрить: 1) екран із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача та без заземлення; 2) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем без заземлення; 3) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем із заземленням; 4) екран із композиції на основі силікату натрію з графітовим наповнювачем із заземленням. За опорами встановлено спостереження.

*a**б*

Рис. 6.7. Захисні екрани пасажирських платформ із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача і заземлення (*a*), з графітовим наповнювачем і заземленням (*б*)

За умови проведення ремонту замість заміни конструкцій пасажирських платформ економічний ефект досягається за рахунок зниження трудовитрат, відмови від використання важкої техніки і зупинки руху поїздів, а також за рахунок підвищення довговічності конструкцій.

Економічний ефект розрахований на прикладі платформи з.п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа Південної залізниці. Розраховано кошторисну вартість робіт з ремонту, на основі якої оцінено економічний ефект використання кожного варіанту покрить. Узагальнені показники кошторисів та результати

розрахунку економічного ефекту наведені у табл. 6.1. Як видно із табл. 6.1, економічний ефект складе для варіанту улаштування заземленого екрану із електропровідної композиції на основі портландцементу – 334011 грн., а із електропровідної силікатної композиції – 388833 грн.

Таблиця 6.1

Узагальнені показники кошторисів та результати розрахунку економічного ефекту від різних варіантів ремонту високої пасажирської платформи довжиною 210 м з опорами із залізобетонних блоків

№ з/п	Показник	Один. вимір	Величина для варіанту ремонту				
			поточний із улаштуванням заземлених екранів із електропровідних композицій		капітальний із частковою заміною конструкцій		
			на основі портландцементу	силікатно і	без улаштування захисних екранів	з улаштуванням заземлених екранів із електропровідних композицій	на основі портландцементу
1	№ кошторису		5232	5239	5230	5230+5232	5230+5239
2	Кошторисна трудомісткість	люд. год	187	209	2636	2823	2845
3	Будівельні машини і механізми	грн.	3048	3027	93061	96109	96088
4	Будівельні матеріали, вироби та конструкції	"	105376	49240	182262	287638	231502
5	Кошторисна вартість	"	124447	69625	458458	582905	528083
6	Економічний ефект від виконання поточного ремонту замість капітального	"	334011	388833			

6.3 Використання результатів досліджень для зниження енергоємності виробництва залізобетонних виробів

Проведено промислові випробування результатів досліджень на підприємстві ТД «Україна Промресурс» (Кременчуцький ЗЗБШ), ПрАТ «Гніванський завод спецзалізобетону» і ПрАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал», рис. 6.6 (Додаток Е).

На підприємстві ТД «Україна Промресурс» виготовлено дослідну партію залізобетонних шпал за безпропарювальною технологією. Безпропарювальна технологія виробництва залізобетонних шпал (з природним твердінням бетону шпал без тепловологісної обробки) забезпечена за рахунок застосування бетону оптимального складу [176] та комплексної хімічної добавки – суперпластифікатора нафталін-формальдегідного СП-1 у кількості 0,45 % від маси цементу та прискорювача хлориду кальцію в кількості 1 % від маси цементу.

Економічний ефект виробництва залізобетонних шпал за безпропарювальною технологією, що розрахований для підприємства ТД «Україна Промресурс» становив 4,20 грн на одній шпалі та 1206,402 тис. грн на рік при річному випуску 300 тис. шпал (Додаток Е).

У роботі розроблено оптимальні склади бетону без добавок і з добавками, які забезпечують досягнення передаточної міцності бетону за 8–48 годин в залежності від режиму роботи підприємства в інтервалі температур тверднення 24–42°C, тобто з мінімальною тепловологісною обробкою або за природного твердіння, табл. 6.2.

Річний обсяг випуску залізобетонних шпал підприємствами, що постачають шпали залізницям України, який доцільно прийняти для економічних розрахунків, складає в середньому:

- Гніванським ЗСЗБ – 462 тис. шт. / 50 тис. м³;
- Коростенським ЗЗБШ – 482 тис. шт. / 53 тис. м³;

- Старокостянтинівським ЗЗБШ – 92 тис. шт. / 11 тис. м³;
- усього 1,036 млн. шт. / 114 тис.м³.

Для виробництва залізобетонних шпал застосовується майже виключно портландцемент ПЦ І-500Н ДСТУ Б В.2.7-46 виробництва ПАТ «Волиньцемент» (здолбунівський). Сучасний здолбунівський цемент відрізняється від цементів інших заводів найвищою активністю – 36,3–38,8 МПа після пропарювання і 37,8–43,3 МПа у віці 2 діб. Вміст трьохкальцієвого алюмінату у здолбунівському цементі складає 6,82–7,82 %, лужних оксидів в перерахунку на Na_2O – 0,61–0,86 %.

Таблиця 6.2

Склади бетону, які забезпечують досягнення потрібної передаточної міцності за різних режимів тверднення для різних режимів роботи підприємства

Режим роботи підприємства	Термін отримання передаточної міцності, годин	Температура твердіння (ізотермічної витримки), °С	Спосіб забезпечення температури тверднення	Склад бетону	Ц, кг/м ³	ПК, %	НФ, %	МК, %	НК, %	НК* (НН), %
Щоденно 2-змінний	8	40–42	Взимку – пропарювання; влітку – «підпарювання» ¹ або тепловиділення цементу ²	Оптимальний	440–450	–	–	–	–	–
				Малоцементні	400	0,4	–	–	–	–
		380	0,4		–	–	1	–		
		380	0,74	–	5	1	–			
		32–33	Взимку – «підпарювання» або тепловиділення цементу, влітку – тепловиділення цементу	Оптимальний	440–450	0,4	–	–	1	1
						–	1,2	–	–	–
Щоденно 1-змінний	24	не нижче 24	Тепловиділення цементу (у добре ізольованих пропарюв. камерах)	Оптимальний	435–440	–	–	–	–	–
				Малоцементні	400	0,4	–	–	–	–
					380	0,4	–	–	1	–
380	0,74	–	5	1	–					
Через день	48	не нижче 20	Тепловиділення цементу (у добре ізольованих пропарюв. камерах)	Оптимальний	435–440	–	–	–	–	–
				Малоцементні	400	0,4	–	–	–	–
					380	0,4	–	–	1	–
380	0,74	–	5	1	–					

¹ «Підпарювання» – короткочасний підігрів пропарювальної камери;

² Тепловиділення цементу в добре ізольованій повністю завантаженій пропарювальної камері забезпечує підвищення температури на 8–9°C. У разі ізоляції теплоізоляційними матеріалами очікується підвищення ще на 3–5°C

З урахуванням цін на матеріали на час випробувань встановлено: склади з добавкою 1,2 % суперпластифікатора нафталінформальдегідного типу не забезпечують економію; склади з добавкою 5 % метакаоліну не забезпечують економію і їх доцільно застосовувати тільки у разі використання реакційно здатних заповнювачів і підвищеного вмісту в цементі лугів для запобігання реакцій до якості шпал через корозію бетону; додаткова добавка прискорювач нітриту кальцію (натрію) у кількості 1 % не забезпечує економію, допускається після дослідної перевірки застосувати тільки 1 % нітрату кальцію або 0,5 % нітрату кальцію та 0,5 % нітриту кальцію разом.

Для виробництва залізобетонних шпал застосовується як крупний заповнювач щебінь гранітний: на Гніванському ЗСЗБ – суміші фракцій 5–20 мм, а для збагачення – фракції 5–10 мм; на Коростенському і Старокостянтинівському ЗЗБШ – суміші фракцій 5–25 мм, як дрібний заповнювач – пісок кварцовий з модулем крупності 1,75–2,5, а для збагачення (на Гніванському ЗСЗБ) – гранітний відсів з модулем крупності 2,9–3,13. Властивості щебеню та піску відповідають нормованим вимогам.

Гніванський ЗСЗБ на основі емпіричного досвіду здійснює збагачення щебеню суміші фракцій 5–20 мм щебенем фракції 5–10 мм в кількості 5–45 %, в середньому 9,4 % (від маси щебеню 5–20 мм) шляхом їх роздільного дозування, або окремо дозуючи фракції 5–10 і 10–20 мм, фактично створюючи безперервну фракцію крупного заповнювача без визначальних окремих фракцій і зменшуючи середній розмір зерен, наближаючи його до розмірів зерен дрібного заповнювача.

Для виробництва залізобетонних шпал застосовуються жорсткі бетонні суміші з жорсткістю: на Гніванському ЗСЗБ – 14–20 с; на Коростенському ЗЗБШ – 20–24 с; на Старокостянтинівському ЗЗБШ – 20–24 с, яка забезпечує ущільнення шпал на віброплощадках: на Гніванському ЗСЗБ – за 3–4 хв.; на

Коростенському ЗЗБШ – за 3 хв.; на Старокостянтинівському ЗЗБШ – за 1,5–3 хв.

Заводами застосовуються склади бетонів, близькі до оптимальних, у яких відхилення фактичних величин структурних характеристик бетону від оптимальних в більшості випадків знаходяться у межах коливання властивостей заповнювачів, особливо при застосуванні Гніванським ЗСЗБ збагачення заповнювачів або Польськими підприємствами – роздільного дозування фракцій щебеню (створенні безперервної фракції).

Заводами застосовуються режими ТВО: Гніванським ЗСЗБ – $(2 + 2 + 1 \dots 3)$ $50 \dots 55^\circ\text{C}$; Коростенським ЗЗБШ – $(1 + 1 \dots 2 + 1 \dots 3)$ $45 \dots 60^\circ\text{C}$; Старокостянтинівським ЗЗБШ – $(1+3+3)$ до 80°C . Ці режими у порівнянні з режимами, що застосовувались у 1990–2000-х рр., менш витратні за оцінкою у градусо-годинах: на Гніванському ЗСЗБ – на 61–64 %; на Коростенському ЗЗБШ – на 45–80 %; на Старокостянтинівському ЗЗБШ – на 5,7 %.

Відзначена економія досягнута за рахунок застосування більш активного цементу – ПЦ І-500Н ДСТУ Б В.2.7-46 виробництва ПАТ «Волинь-цемент», а також застосування заповнювачів високої якості і складів бетону, близьких до оптимальних.

При постановці досліджень, спрямованих на зменшення енерговитрат у виробництві залізобетонних шпал, виникають супутні задачі, що необхідно вирішувати для бетонів, в складі яких пропонується використання модифікуючих добавок. При цьому залишається вимога до основних властивостей бетону, серед яких міцність, морозостійкість, тріщиностійкість, електричний опір, що регламентовані діючим стандартом ДСТУ Б В.2.6-57:2008 на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць. Використання модифікуючих добавок в бетоні для таких конструкцій підпорядковано можливості зниження В/Ц, покращенню реологічних характеристик бетонної суміші та прискоренню процесу гідратації цементу і набору міцності бетону, що в цілому забезпечує зменшення енергоємності виробництва конструкцій.

Введенням добавок водночас передбачає зниження ризику тріщиноутворення при використанні реакційноздатного заповнювача та електрокорозії від струмів витоку.



Рис. 6.8. Виробництво залізобетонних шпал на ПрАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал»

За розробленою методикою запроектовано оптимальні склади бетону залізобетонних шпал з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння, які за рахунок забезпечення оптимальних величин коефіцієнтів розсунення зерен заповнювачів, водоцементного відношення і відношення кількості гелевих і кристалогідратних продуктів гідратації цементу дозволили знизити температуру тепловологісної обробки з 55–60°C до 30–40°C, а витрату цементу з 435–450 до 380–400 кг/м³, забезпечивши потрібну передаточну міцність не менше 32 МПа через 8–10 годин. Виготовлено експериментальні партії (зразки) шпал, які витримали всі випробування, у т.ч. на тріщиностійкість (Додаток Е).

Результати досліджень враховано також у проекті ДСТУ Б В.2.6-ХХ:20ХХ Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови.

Впровадження результатів досліджень забезпечить досягнення економічного ефекту, обумовленого зниженням енергоресурсовитрат на виробництво

залізобетонних конструкцій (витрати цементу, тривалості віброущільнення, тривалості й температури тепловологісної обробки виробів за рахунок використання оптимальних складів бетону та ефективних хімічних добавок), зниженням кількості браку, збільшенням надійності, безпеки експлуатації й довговічності виробів, конструкцій, будівель, споруд, їх міжремонтних термінів (за рахунок застосування складів водонепроникного, тріщиностійкого бетону).

У разі отримання передаточної міцності бетону залізобетонних шпал 32 МПа через 8 годин твердіння зниження температури тепловологісної обробки від 80 до 55–60°C за рахунок застосування оптимальних складів бетону і цементу високої активності забезпечує економію 100–110 грн. на 1 м³ виробів. Подальше зниження температури твердіння від 55–60 до 30–40°C і, одночасно, витрати цементу від 435–450 до 380–400 кг/м³ за рахунок застосування добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння забезпечує економію на 1 м³ виробів ще 50–90 грн. Річний випуск шпал трьома заводами Укрзалізниці та Мінінфраструктури досягає 130 тис. м³, отже загальна економія досягатиме у разі зниження температури тепловологісної обробки від 80 до 55–60°C – 13–14 млн. грн. на рік, а подальшого зниження температури твердіння від 55–60 до 30–40°C і витрати цементу від 435–450 до 380–400 кг/м³ – ще 6,5–11,7 млн. грн. на рік, всього – 19,5–25,7 млн. грн. на рік.

6.4 Застосування розроблених складів у конструкціях трамвайної колії

Розроблено бетон і конструкції підрейкових основ із нього [344, 367], що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень у рейках і тріщиноутворення в бетоні порівняно з традиційними конструкціями, впроваджені під час реконструкції трамвайних колій міст Харкова, Дніпра, Києва.

Результати досліджень впроваджені під час реконструкції трамвайних ліній у м. Харків, м. Дніпро, м. Київ (Додаток Ж), рис. 6.9.



а



б

Рис. 6.9 Улаштування трамвайної колії: *а* – зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит з ізолюваними рейками (м. Харків, просп. Московський, 2016 р.); *б* – зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити (м. Харків, вул. Конєва, 2017 р.)

Впроваджено конструкції колії з ізолюваною рейкою, інтегрованою у дорожнє покриття, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні у порівнянні із традиційними конструкціями колії.

Запропоновано дві конструкції колії з ізолюваною рейкою, інтегрованою у дорожнє покриття:

1) конструкція зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит, в якій рейки у рейковому каналі закріплені та ізолювані поліуретановою мастикою;

2) конструкція зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити, в якій рейки механічно закріплені рейковими скріпленнями і герметизовані мастикою.

В обох випадках передбачено використання бетонних прирейкових вкладишів, що застосовуються для зниження віброколивань і витрати поліуретанової мастики. Рейкове скріплення, що використано у конструкції колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити захищено патентом [367]. Застосування такого скріплення забезпечує зниження вібраційних та електричних впливів від трамвайних колій [368, 369, 370], зниження тріщиноутворення у залізобетонних конструкціях колії та підвищення їх довговічності.

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, що виражений у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях). Результати розрахунку економічного ефекту наведено у актах впровадження (Додаток Ж). Економічний ефект від впровадження результатів досліджень з урахуванням особистого внеску автора складає 926 тис. грн

6.5 Розробка складу гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості

Розроблено склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, коефіцієнт розм'якшення якого перевищує 0,8. В'язуче містить гіпс-півгідрат, шлак доменний гранульований мелений, нанодисперсну мінеральну добавку нанодисперсного глинозему або мікрокремнезему з вмістом частинок розміром менше 5 мкм не менше 20 %, пластифікуючу добавку.

Таблиця 6.3

Експериментальні склади в'язучого та міцність на стиск f і коефіцієнт розм'якшення K_r штучного каменю з них

Показники		Склад з гіпсом марки, нанодисперсним наповнювачем і пластифікатором					
		Г-4, нанодисперсним глиноземом і сульфонафталінформальдегідом		Г-7, мікрокремнеземом і лігносульфонатом		Узагальнений для патентування з межами вмісту	
		Контрольний К4	Пропонований ПГ	Контрольний К7	Пропонований П	min	max
Вміст компонентів, %	Гіпс-півгідрат	99,9	57,9	98,0	68,2	57	75
	Доменний граншлак	0	38,6	0,0	27,7	23	40
	Нанодисперсний наповнювач	0	3,47	0	2,73	2	4
	Пластифікатор	0,150	0,087	1,961	1,364	0,08	1,40
Водогіпсове відношення		0,60	0,60	0,35	0,35		
Водотверде відношення		0,60	0,35	0,34	0,24		
Міцність на стиск f , МПа		4,20	5,30	5,1	6,1		
Коефіцієнт розм'якшення K_r		0,54	0,81	0,73	0,99		

Розроблено технологічний регламент виробництва гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості складу (Додаток І).

Гіпсове в'язуче підвищеної водостійкості рекомендовано застосовувати для виготовлення сухих сумішей для застосування у приміщеннях з підвищеною вологістю, призначених для: - штукатурки механізованого нанесення; - шпаклівки; - монтажного клею для гіпсокартонних листів; - вирівнювання підлоги шаром товщиною до 50 мм. Для визначення остаточних складів рекомендовано застосувати метод математичного планування експерименту. Рекомендації затверджені УкрДУЗТ і затверджені ТОВ НВП «Академія» (Додаток І).

Впровадження результатів досліджень виконано шляхом включення у проектно-кошторисну документацію, зокрема, у специфікації матеріалів, кошторисну документацію, сухих сумішей для штукатурки, шпаклівки, монтажного клею, вирівнювання підлог. Проектно-кошторисна документація розроблена ТОВ НВП «Академія». Проекти (об'єкти), у яких здійснено впровадження: реконструкція приміщення в торговому центрі під магазин продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: Закарпатська область, м. Ужгород, вул. 8 Березня, будинок 48, приміщення 2; реконструкція нежитлового приміщення під магазин продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: вул. Січових стрільців, буд. 4, приміщення 14, м. Хмельницький, Хмельницька область; реконструкція магазину продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: Донецька область, м. Краматорськ, вул. Паркова, 91.

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень, що складає 1796 грн у розрахунку на одну тону сухої штукатурної суміші, обумовлений виготовленням гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та сухих штукатурних та інших сумішей на його основі, в умовах виробничої бази будівельної організації замість їх постачання із торгівельної мережі. Розрахунок наведений у Додатку І. На склад подано заявку на видачу патенту на винахід (Додаток І).

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти, магістрантів, аспірантів спеціальностей 192 - Будівництво та цивільна інженерія та 273 – Залізничний транспорт у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проєктування.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 6

1. Впровадження результатів досліджень дозволило розробити нові високоефективні композиційні силікатні матеріали, застосування яких дозволяє підвищити надійність і довговічність будівельних конструкцій і споруд, у т. ч. транспортних, гідротехнічних, підвищити безпеку руху транспорту. Розроблені матеріали і конструктивно-технологічні рішення застосовано при ремонті конструкцій і споруд залізниць України. Економічний ефект, що обумовлений відновленням експлуатаційних властивостей пошкоджених конструкцій замість їх повної заміни, з урахуванням особистого внеску здобувача складає 2 290 тис. грн.

2. Розроблено електропровідну композицію проникної дії на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача, а також електропровідну шпаклювальну силікатну композицію на основі рідкого скла з графітовим наповнювачем (патенти на винахід №113600 UA та № 117194 UA). Розроблено конструктивно-технологічні рішення захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ заземленим екраном-покриттям. Результати досліджень впроваджено в дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з.п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Економічний ефект для даного об'єкту впровадження склав 722 тис. грн.

3. За результатами проведених досліджень у співавторстві розроблено та затверджено «Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах», «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів» тощо.

4. Розроблено оптимальні склади бетону без добавок і з добавками, які забезпечують досягнення передаточної міцності бетону за 8–48 год залежно від режиму роботи підприємства в інтервалі температур твердіння 24–42 °С, тобто з мінімальною тепловологісною обробкою або при природному твердінні. Розрахований економічний ефект від впровадження запропонованої технології складає 1 206 тис. грн на рік за умови виробництва 300 тис. шпал.

5. Проведено промислові випробування результатів досліджень на ПрАТ «Гніванський завод спецзалізобетону» і ПрАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал», зокрема заводам надано методичку проектування оптимального складу бетону з добавками. Методичку випробувано у промислових умовах, зокрема застосовано заводськими лабораторіями для аналізу і коригування складів бетону залізобетонних шпал з метою ресурсоенергозбереження за умови забезпечення регламентованих властивостей – передаточної і проектної міцності, морозостійкості та водонепроникності бетону і тріщиностійкості шпал. Результати досліджень враховано у проекті ДСТУ Б В.2.6-XX:20XX. Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови.

6. Розроблено конструкції підрейкових основ із зазначеного бетону, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень у рейках і тріщиноутворення в бетоні порівняно з традиційними конструкціями. Результати досліджень впроваджено під час реконструкції підрейкових основ електричного транспорту міст Харкова, Дніпра, Києва. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень з урахуванням особистого внеску здобувача складає 926 тис. грн

7. Розроблено склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, коефіцієнт розм'якшення якого перевищує 0,8. В'язуче містить гіпс-півгідрат, шлак доменний гранульований мелений, мінеральну добавку нанодисперсного глинозему або мікрокремнезему, пластифікуючу добавку.

8. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі з підготовки магістрів за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проектування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розвинуто теоретичні та методологічні основи визначення експлуатаційних впливів в залежності від умов експлуатації матеріалу в конструкції, захисному покритті тощо, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд: агресивних середовищ, внутрішніх факторів, електричних струмів, потенціалів, полів і надлишкових зарядів. В результаті аналізу даних про проникність композиційних матеріалів для агресивних середовищ показано, що хімічно активні речовини проникають у зволожені композити шляхом дифузії крізь їхні капіляри. Проникнення рідин відбувається за закономірностями безнапірної водопроникності під впливом зовнішнього гідростатичного та внутрішніх тисків – капілярного, електрокапілярного, осмотичного, капілярно-осмотичного, внутрішнього тертя (в'язкої течії), потенціалу течії. Всім видам перенесення полярної рідини, хімічно активних речовин, продуктів корозії, а також утворенню тріщин в конструкціях сприяє або повністю їх визначає наявність на них електричних потенціалів і надлишкових зарядів антропогенного або природного походження. Тому для визначення експлуатаційних впливів на матеріал в конструкції запропоновано новий принцип, який полягає у оцінці не тільки навантажень, температурно-вологісного режиму, виду і концентрації агресивних речовин, а й електричних потенціалів на конструкціях.

2. На основі уявлень про електроповерхневі властивості та явища в дисперсних системах, електроповерхневий потенціал дисперсної фази, електричну природу міцності контактів уточнено уявлення щодо формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю, який утворюється внаслідок гідратації мінеральних в'язучих. Встановлено, що стійка в умовах зовнішніх впливів структура штучного каменю формується у разі поєднання міцності, хімічної і термодинамічної стійкості дисперсної фази з максимально можливою кількістю міцних контактів між частинками дисперсної фази, стабільних за впливів, характерних для умов експлуатації, а

також за рахунок балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний S^- і позитивний S^+ поверхневі заряди.

3. Отримано емпіричну залежність між величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу ψ^0 мінералів, характерних для мінеральних в'язучих, та їх подвійним кутом відбивання рентгенівського випромінювання 2θ , згідно з якою зі збільшенням 2θ ψ^0 зростає за квадратичною залежністю і переходить від негативних до позитивних значень за 2θ близько 35° . Залежність запропоновано використовувати як додатковий незалежний метод визначення ψ^0 мінералів.

4. В результаті досліджень кристалічної структури двогідрату сульфату кальцію, гідросульфо- та гідрокарбоалюмінатів кальцію встановлено, що кристалогідрати анізометричної морфології можуть характеризуватись істотною відмінністю абсолютного ψ^0 та рівноважного ψ^p електроповерхневого потенціалу різних граней аж до різнойменних значень; розраховано величини ψ^0 і ψ^p кристалогідратів – продуктів гідратації мінеральних в'язучих: у двогідрату сульфату кальцію ψ^0 бічних граней складає 1,39 В, торцевих граней – (-0,31) В, ψ^p за $pH = 7$ бічних граней – 0,98 В, торцевих граней – (-0,72) В; у еtringіту ψ^0 бічних граней складає 1,17 В, торцевих граней – (-0,85) В, ψ^p за $pH = 12$ бічних граней – 0,46 В, торцевих граней – (-1,56) В. Встановлено, що електроповерхневі властивості карбонатних матеріалів залежать від їхнього генезису – органогенні карбонати, зокрема крейда, мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності на поверхні кремнекислоти, на відміну від хомогенних порід – вапняків, поверхня яких характеризується позитивним потенціалом.

5. З позицій фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їхній основі розвинуто класифікації структур і контактів у них, розраховано енергію взаємодії в контактах, яка зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів зі зростанням внеску іон-дипольних і, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома енергія взаємодії

визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між потенціалвизначальними іонами дисперсних частинок та у підсумку ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу. Встановлено, що міцність штучного каменю залежить від співвідношення різнойменно заряджених площ поверхонь у ньому S^-/S^+ . Максимальні показники фізико-механічних і гідрофізичних властивостей штучного каменю мають забезпечуватись шляхом забезпечення потрібного балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок з негативним і позитивним поверхневим зарядом. Для кальційсилікатних в'язучих S^-/S^+ має бути в межах 15–20.

6. Розроблено теоретичні та експериментальні основи отримання композиційних матеріалів із заданими властивостями - корозійною та електрокорозійною стійкістю, гідрофізичними та електрофізичними характеристиками, тріщиностійкістю. Проведено термодинамічні розрахунки з метою дослідження синтезу додаткових кристалогідратів, що зв'язують солі-електроліти комплексної хімічної добавки у стабільні продукти гідратації, а також вірогідності взаємодії мінеральних в'язучих із мінеральними добавками. Обґрунтовано підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композицій у результаті введення мінеральних та органічних волокон і мінеральних мікронаповнювачів з урахуванням їхнього поверхневого заряду. Встановлено, що поверхні волокон і частинок мікронаповнювачів є підкладками для зростання кристалогідратів і між ними утворюються електрогетерогенні контакти.

7. Розроблено структурні та математичні моделі композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих з полідисперсними мінеральними наповнювачами з урахуванням їхніх поверхневих зарядів. Адекватність розроблених схем підтверджено результатами фізико-хімічних досліджень. Встановлено, що введення таких наповнювачів забезпечує формування щільної структури композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, у якій кристалогідрати максимально захищені від контакту з водою і розчинення. Досліджено вплив кислих агресивних середовищ на контакти між

дисперсними частинками в штучному камені. Встановлено, що додатковим фактором цього впливу є збільшення зі зниженням pH величини ψ^p мінералів, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин. У цементному камені між гідросилікатами кальцію і кристалогідратами портландиту, гідроалюмінатів і гід-росульфоалюмінатів кальцію за $pH = 12-13$ існують міцні та стійкі електрогетерогенні контакти; зі зниженням pH величини ψ^p низькоосновних $CSH(I)$ і високоосновних $C_2SH(II)$ гідросилікатів кальцію, що за $pH = 12$ складають $-(0,39-0,32)$ і $-(0,23-0,13)$ В, відповідно збільшуються і набувають позитивних значень: $CSH(I)$ – за pH менше 6–5, $C_2SH(II)$ – менше 10–8; отже електрогетерогенні контакти з кристалогідратами перетворюються на електрогомогенні у CSH – за pH менше 6–5, у C_2SH – менше 10–8, чим додатково пояснюється відома більш висока корозійна стійкість низькоосновних гідросилікатів кальцію.

8. На основі результатів досліджень розроблено та впроваджено нові композиційні матеріали різного функціонального призначення із заданими фізико-механічними, гідрофізичними, електрофізичними властивостями: композиційні силікатні матеріали для ремонту, гідроізоляції і захисту конструкцій і споруд, у т.ч. заземлених електропровідних екранів для захисту від електрокорозії; склади бетону з хімічними та мінеральними добавками, що дозволили з мінімальними енерговитратами отримати бетони та вироби підрейкових основ залізниць із заданими ранньою і проектною міцністю, морозостійкістю, водонепроникністю, електричним опором, тріщиностійкістю; склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості. Впровадження цих матеріалів дозволило підвищити надійність і довговічність будівельних конструкцій і споруд, у т.ч. транспортних, гідротехнічних, покращити показники безпеки руху.

9. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений зниженням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій, збільшенням довговічності виробів і конструкцій, міжремонтних термінів будівель та споруд і склав понад 5 млн. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цілі Сталого Розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. 174 с.
2. Принципи стратегії сталого розвитку в цементній промисловості / Т. М. Круць, І. М. Гев`юк М. А. Саницький, Т. П. Кропивницька. *Будівельні матеріали та вироби*. 2015. № 3-4. С. 16–19.
3. Сегалова Е.Е., Ребиндер П.А. Современные физико-химические представления о процессе твердения минеральных вяжущих веществ. *Строительные материалы*. 1960. №1. С. 11-15.
4. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1979. 382 с.
5. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольникова В.С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979. 475с.
6. Стрелков М.И. Важнейшие вопросы теории твердения цементов. Химия и технология силикатов. М.: Госстройиздат, 1957. С.181-192.
7. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат. 1988. 304 с.
8. Полак А.Ф., Хаббибулин Р.Г., Латыпов В.М. Условия образования коагуляционной структуры при твердении минеральных вяжущих. Гидратация и твердение вяжущих. Тез.докл.и сообщ. Всесоюзн. совещ. Львов: ЛПИ. 1981. С.74-77.
9. Выродов И.П. Исследование процессов гидратации минеральных вяжущих веществ. *Сб. Твердение цемента*. 1974. С.41-47.
10. Сычев М. М. Каталитический характер процессов гидратации цементов. *Цемент*. 1990. № 1. С. 18–20.
11. Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В. Наномодифицированные цементные бетоны. М. : Изд-во АСВ, 2017. 198 с.
12. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Стройиздат, 1986. 406 с.

13. Плагин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс. ... д-ра хим. наук. К.: ИКХВ. 1989. 282 с.
14. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. К.: Будівельник, 1991. 144 с.
15. Шейкин А.Е. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1978. 432 с.
16. Шейкин А.Е., Якуб Т.Ю. Безусадочный портландцемент. М.: Стройиздат, 1966. 104 с.
17. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Л.Г. Шпынова, В.И. Чих, М.А. Саницкий [и др.]. Львов: Выща школа, 1981. 160 с.
18. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах. К.: Наукова думка, 1984. 300 с.
19. Калоусек Г.Л. Процессы гидратации на ранних стадиях твердения цемента. Тр. VI Междунар. конгр. по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. Т. II, кн.2, С. 65-81.
20. Полак А.Ф. Кинетика структурообразования цементного камня. Тр. VI Междунар. конгр. по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. Т.2, кн.1. С. 162-166.
21. Комохов П.Г. Особенности этtringитовой фазы при формировании микроструктуры бетона в условиях термического воздействия. Исследование бетонов повышенной прочности, водонепроницаемости и долговечности для транспортного строительства. Л.: ЛИИЖТ, 1978. С.28-41.
22. Mechanisms of cement hydration / J.W. Bullard, H.M. Jennings, R.A. Livingston, A. Nonat, G.W. Scherer, J.S. Schweitzer, K.L. Scrivener, J.J. Thomas. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, Issue 12, P. 1208-1223.
23. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, Issue 12, P. 1244-1256.
24. Influence of the synergy between mineral additions and Portland cement in the physical-mechanical properties of ternary binders / Á. Fernández, M. C. Alonso,

J. L. García-Calvoa, B. Lothenbach. *Materiales de Construcción*. 2016. Vol. 66, Issue 324, e097.

25. Scrivener K. I., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future. *Cement and Concrete Research*. 2011. 41. P. 651–665.

26. Influence of limestone on the hydration of Portland cements / B. Lothenbach, G.L. Saout, E. Gallucci, K. Scrivener. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38, Issue 6. P. 848-860.

27. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. М.: Стройиздат. 1968. 192 с.

28. Thomas N.L., Double D.D., Thomas N.L. Calcium and Silicon concentration of Portland cement and tricalcium silicate. *Cement and Concrete research*. 1981. V.11. P.675-687.

29. Исследования в области физико-химической механики дисперсных глинистых минералов / Ф.Д. Овчаренко, С.П. Нечипоренко, Н.Н. Круглицкий, В.Ю. Третинник. К.: Наукова думка. 1965. 178 с.

30. Грушко И.М. Основы структурной теории прочности дорожных бетонов. Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов: тез. докл. респ. конф. Х.: ХАДИ. 1989. С.104-106.

31. Золотарев В.А. О некоторых задачах в области фундаментальных исследований дорожных бетонов на органических вяжущих. *Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов*: тез. докл. респ. конф. Х.: ХАДИ. 1989. С. 4-6.

32. Саницкий М. А. Некоторые вопросы кристаллохимии цементных минералов. К.: УМК ВО. 1990. 64 с.

33. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. А.И. Бойковой, Т.В. Кузнецовой М.: Мир. 1996. 560 с.

34. Kurdowski W. *Chemia cementu i betonu*. Wyd. Polski Cement. 2010. 728 s.

35. Гидросиликаты кальция. Синтез монокристаллов и кристаллохимия / В.В. Илюхин, В.А. Кузнецов, А.Н. Лобачев, В.С. Бакшутков. М.: Наука. 1979. 184 с.

36. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. М.: Высшая школа. 1989. 384 с.
37. Теория цемента / А. А. Пащенко, Е. А. Мясникова, М. А. Саницкий и др. Под ред. А. А. Пащенко. К.: Будівельник. 1991. 169 с.
38. Саницький М. А., Соболь Х. С., Марків Т. Є. Модифіковані композиційні цементи. Львів: Вид-во Львів. Політехніки. 2010. 132 с.
39. Glasser F. P., Kindness A., Stronach S. A. Stability and solubility relationships in AFm phases. Part 1. Chloride, sulfate and hydroxide. *Cement and Concrete Research*. 1999. Vol. 29. P. 861-866.
40. A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. Edited By K. Scrivener, R. Snellings, B. Lothenbach. Boca Raton: CRC Press. 2016. 60 p.
41. Matschei T., Lothenbach B., Glasser F.P. The role of calcium carbonate in cement hydration. *Cement and Concrete Research*. Vol. 37, Issue 4, April 2007. P. 551-558.
42. Pollmann H. Calcium Aluminate Cements - Raw Materials, Differences, Hydration and Properties. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Vol. 74, issue 1. P. 1-82.
43. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максунув С.Е. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения. К.: Вища школа. 1991. 243 с.
44. Кривенко П.В. Синтез вяжущих с заданными свойствами в системе $Me_2O - MeO - Me_2O_3 - SiO_2 - H_2O$: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.11. Киев. 1986. 40 с.
45. Рунова Р.Ф. Основы технологии силикатных материалов контактно-конденсационного твердения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.11. Киев: Киевский политехнический институт. 1987. 33 с.
46. Щелочные цементы: монография / П.В. Кривенко, Р.Ф. Рунова, М. А. Саницкий, И.И. Руденко. Київ: «Основа». 2015. 448 с.

47. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Applications. Saint Quentin, France: Geopolymer Institute. 2008.
48. Шейнич Л.А., Пушкарева Е.К. Процессы самоорганизации структуры строительных композитов. Київ : Гамма-принт. 2009. 153 с.
49. Roy D.M., Gouda G.R. Optimization of strength in cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 1975. Vol. 5, Issue 2. P. 153-162.
50. Ольгинский А.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минералами заполнителя: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Х.: Харьковский автомобильно-дорожный технический ун-т. 1994. 397 с.
51. Kropyvnytska T., Sanytsky M. Nanomodified alkali activated composite cements with high early strength. International Seminar in Sustainability, Economics and Safety (ISSES 2019), Szczecin, Poland. P. 49.
52. Кропивницька Т.П. Лужноактивовані композиційні портландцементи з високою ранньою міцністю та наномодифіковані бетони на їх основі: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Львів. 2020. 452 с.
53. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат. 1981. 464 с.
54. Капранов В.В. Твердение вяжущих веществ и изделий на их основе. Челябинск: Южно-Уральск. книж. изд. 1976. 192с.
55. Матвиенко В.А., Бабушкин В.И. Роль электроповерхностных свойств компонентов в формировании структуры бетона. Материалы для строительства: тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. Днепропетровск: ДИСИ, 1993. С.116-117.
56. Пауэрс Т.К. Физическая структура портландцементного теста. Химия цементов. Под ред. Х.Ф.У. Тейлора. М.: Стройиздат. 1969. - С.300-319.
57. Старосельский А.А., Ольгинский А.Г., Спирин Ю.А. Электрокинетические свойства цементного камня. Тр. VI Междунар. конгр. по химии цемента. М.: Стройиздат. 1976. Т.2, кн.2. С. 192-195.
58. Филатов Л.Г. Физико-химическая сущность самопроизвольных деформаций твердеющего цемента. Гидратация и твердение вяжущих. Тез. докл. и сообщ. Всесоюзн. совещ. Уфа: НИИПромстрой. 1978. С.279-282.

59. Approach by Zeta Potential measurement on the surface change of hydrating C_3S / K. Suzuki, T. Nichikawa and oth. *Cement and Concrete research*. 1981. Vol. 11. P.759-764.

60. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. К.: Вища школа. 1975. 133 с.

61. Шукин Е.Д., Конторович С.И., Амелина Е.А. Физико-химические закономерности структурообразования в дисперсных системах как научная основа повышения прочности и долговечности материалов. *Ж. Всесоюзн. хим. общ. им. Д.И. Менделеева*. 1989. Т. 34, №2. С.167-174.

62. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, А.М. Плугін, М.А. Саницький та ін. К.: ЕксОб. 2008. 360 с.

63. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3 т. / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз и др. Под ред. А.Н. Плуцина. Т. 1: Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. К.: Наукова думка. 2011. 331 с.

64. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3 т. / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А.Калинин и др. Под ред. А.Н. Плуцина. Т. 2: Теория твердения портландцемента. К.: Наукова думка. 2012. 224 с.

65. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3 т. / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А.Калинин и др. Под ред. А.Н. Плуцина. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. К.: Наук. Думка. 2012. 287 с.

66. Кунцевич О.В. Увеличение объема твердой фазы при гидратации минеральных вяжущих веществ. М.: Промстройиздат. 1956. 264 с.

67. Гидратация цемента, активированного током высокого напряжения / В.И. Бабушкин, В.А. Матвиенко [и др.]. *Известия вузов, строительство*. 1993. №2. С. 47-50.
68. Барабаш І. В. Бетони на механоактивованих мінеральних в'язучих: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Одеса. 2005. 35 с.
69. The Influence of Modification of the Structure of Silicate Materials on Their Properties After Non-Autoclaved Hardening / E.S. Shinkevich, Y.S. Lutskin, O.P. Gnyp, A.A. Koichev, J.V. Dotsenko. *Brittle Matrix Composites*. 2006. Vol. 8. P. 517-525.
70. Болотских О. Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона. Харків : Торнадо, 2010. 144 с.
71. Stark J., Möser B. Nano- and microstructure of Portland cement paste. International workshop. Essen (Germany), 2002. P. 15–25.
72. Химические и минеральные добавки в бетоны / Под ред. А.В.Ушерова-Маршака. Харьков: Колорит. 2005. 280 с.
73. Nanocomposite of cement/graphene oxide – Impact on hydration kinetics and Young's modulus / E. Horszczaruk, E. Mijowska, R.J. Kalenczuk, M. Aleksandrak, S. Mijowska. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 78. P. 234-242.
74. The effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates / E. Horszczaruk P. Sikora, K. Cendrowski, E. Mijowska. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 137, Pp. 420-431.
75. Land G. Stephan D. The influence of nano-silica on the hydration of ordinary Portland cement. *Journal of Materials Science*. 2012. Vol. 47. P. 1011–1017.
76. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М. Швидкотверднучі портландцементи з добавкою вапняку. *Будівельні матеріали та вироби*. 2019. № 1/2 (100). С. 34–37.

77. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H., Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019. Vol. 13, № 4. P. 495–502.

78. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone / M. Sanytsky, A. Usherov-Marshak, T. Kropyvnytska, I. Heviuk. *Cement Wapno Beton*, 25(5), (2020), 416-427.

79. Соболь Х.С. Модифіковані композиційні цементи з додатками поліфункціональної дії: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.11. Львів: НУ «Львівська політехніка». 2006. 31 с.

80. Сердюк В.Р., Лемешев М.С., Христич О.В. Комплексне в'язуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. 2009. Вип. 33. С. 57– 62.

81. Influence of limestone on the hydration of ternary slag cement / S. Adumankwah, M. Zajac, C. Stabler et al. *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 100. P. 96–109.

82. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А. Применение углеродных коллоидных наночастиц в мелкозернистых цементных бетонах. Харьков: ХНАДУ. 2014. 152 с.

83. Plugin A. A., Runova R. F. Bonding calcium chloride and calcium nitrate into stable hydration portland cement products: Stability conditions of calcium hydrochloraluminates and calcium hydronitroaluminates. *International Journal of Engineering Research*. 2018. Vol. 36. P. 69-73.

84. Дворкін Л.Й., Гоц В.І., Дворкін О.Л. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів: навчальний посібник. К.: Основа. 2014. 304 с.

85. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони / Л. Й. Дворкін, Є. М. Бабич, В. В. Житковський та ін. Рівне : НУВГП. 2017. 331 с.

86. Гоц В. І., Павлюк В. В., Шилюк П. С. Бетони і будівельні розчини: підручник / К. : Основа, 2016. 568 с.

87. Наномодифицированное гипсовое вяжущее / В.Н. Деревянко, А.Н. Гришко, Л.В. Мороз, В.Ю. Мороз, Кушнерова Л.А. Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения. 2017. С. 73-78.
88. Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Калантаєвський Д.О. Дослідження високоміцних цементних композицій, модифікованих комплексними органомінеральними добавками. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 5. № 5(77). С. 42–51.
89. Мишутин А.В. Развитие научных основ повышения долговечности судостроительных бетонов. Дисс... д.т.н. 05.23.05. Одесса: ОГАСА. 2009. 345 с.
90. Шейніч Л.О., Іонов Д.С., Сопов Д.С. Особливості процесів структуроутворення цементного каменю, модифікованого комплексно органомінеральною добавкою. *Вісник Одеської державної академії будівництва*. 2013, № 52, С. 308-314.
91. Марущак У. Д. Наномодифіковані надшвидкотверднучі цементуючі системи та високофункціональні бетони на їх основі: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Львів: НУ «Львівська політехніка». 2019. 432 с.
92. Троян В.В. Добавки для бетонов і будівельних розчинів: навчальний посібник. Ніжин: ТОВ «Видавництво «АспектПоліграф». 2010. 228 с.
93. Руденко І.І. Розвиток наукових основ структуроутворення пластифікованих розчинів і бетонов на основі лужних цементів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Київ: КНУБА. 2021. 432 с.
94. Суханевич М. В. Наукові засади отримання гідроізоляційних розчинів на основі цементних композицій, модифікованих вуглецевими нанодобавками : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.23.05 / КНУБА. Київ, 2020. 42 с.
95. Recent advance of chemical admixtures in concrete / J. Liu, C. Yu, Q. Ran, Y. Yang. *Cement and Concrete Research*. Vol. 124, 2019. P.105-834.
96. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука. 1976. 279 с.
97. Дворкін Л.И. Будівельне матеріалознавство. Рівне: РДТУ. 2000. 478 с.

98. Бондаренко Д.А. Сухая строительная смесь для получения теплоизоляционных материалов пониженной паропроницаемости: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Х.: ХГТУСА. 2000. 198 с.

99. Вознесенский В.А. Оптимизация состава многокомпонентных добавок в композиты. К.: "Знание". 1981. 201 с.

100. Салия М.Г. Гидроизоляционное покрытие на цементной основе повышенной трещиностойкости: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДАЗТ. 2012. 154 с.

101. The Mechanism of Water and Ionic Permeability of Concrete / A.Plugin, I. Prokopova, S. Wild, A. Plugin. Proc. of the 10th Intern. Congr. of the Chemistry of Cement. Goteborg: Inform Trycket, 1997. Vol. 4., 8 p.

102. Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Харьков: УкрГАЖТ. 2005. 442 с.

103. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СРСР. - М.: ЦИТП Госстроя СРСР. 1986. 48 с.

104. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. Под ред. В.М. Москвина. Москва: Стройиздат. 1980. 536 с.

105. Штарк Й. Щелочная коррозия бетона / пер. с нем. А. Тулаганова; под ред П. Кривенко. К., 2010. 166 с.

106. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. Под ред.Ф.М.Иванова. Москва: Стройиздат. 1990. 320 с.

107. Hooton R. D. Future directions of design, specification, testing and construction of durable concrete structures. *Cement and Concrete Research*. 2019. 124. P. 105827.

108. Horszczaruk E., Brzozowski P., Rucinska T. Odpornosc na korozje chlorkow podwodnego betonu naprawczego dojrzewajacego w warunkach oddziaływania cisnienia hydrostatycznego. *Budownictwo i Architektura*. 2013. 12(3).

P. 161-168.

109. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона Пер.с нем. А.Тулаганова. Под ред.П.Кривенко. Киев: Оранта. 2004. 295 с.

110. Захист будівельних конструкцій і споруд від агресивних дій з рішенням практичних задач / В.І. Бабушкін, А.А. Пługін, І.Е. Казімагомедов, О.О. Скорик. Харків: УкрДАЗТ, 2006. 214 с.

111. Андреюк Е.И., Козлова И.А. Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия. Киев: Наукова думка. 1977. 164 с.

112. Юрченко В.А., Чернявский В.Л., Ольгинский А.Г. Биогеохимические превращения бетона канализационных коллекторов. *Экология и ресурсосбережение*. 2001. №6. С.52-57.

113. Седых А.А. Защита зданий от вибрации. *Омский научный вестник*. 2009. №1. С. 11-14.

114. Harris C., Piersol A., Harris' Shock and Vibration Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill. 2002.

115. Палант О.В. Бетони та вироби для трамвайних колій підвищеної стійкості до динамічних, електричних і температурних впливів: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДАЗТ. 2019. 287 с.

116. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. Киев: Будівельник. 1978. 168 с.

117. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них): монографія / О.А. Пługін, О.С. Борзяк, В.Б. Мартинова, О.К. Халюшев. За ред. А.А. Пługіна і М.М. Зайченка. Харків: Форт. 2013. 300 с.

118. Пługін Д.А. Розвиток теорії електрокорозії обводнених конструкцій і розробка електрокорозійностійких матеріалів і способів захисту: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДАЗТ. 2014. 492 с.

119. Конєв О.А. Вплив надлишкових негативних зарядів від струму витоку на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков: УкрГАЗТ. 2015. 227 с.

120. Дудін О.А. Механізм впливу змінного струму витоку й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні споруди: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДАЗТ. 2012. 26 с.

121. ЦЭ 3551. Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами: ЦЭ МПС СССР. М.: Транспорт. 1979. 89 с.

122. Инструкция по защите от электрокоррозии арматуры подземных железобетонных напорных трубопроводов. М.: ОНТИ АКХ. 1970. 24 с.

123. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах / А.В. Котельников, В.И. Иванова, Э.П. Селедцов и др. М.: Транспорт. 1974. 150 с.

124. ДБН В.2.3–14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. [Чинний від 2006–05–06]. К.: Мінбудархжиткомгосп, 2006. 217 с. (Державні будівельні норми України).

125. The NACE Annual Conference and Corrosion Show, 11–15.03.1995, Cincinnati Convention Center, Cincinnati, Ohio. 1995. P. 519.

126. Артамонов В.С., Молгина Г.М. Защита от коррозии железобетона транспортных сооружений. М.: Стройиздат. 1976. 192 с.

127. Бутт Ю.М., Колбасов В.М., Левшин А.М. Влияние импульсного электрического поля на кинетику гидратации и твердение структуры цементного камня. *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. 1973. № 9. С. 65 – 68.

128. Котельников А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта. М.: Транспорт. 1986. 279 с.

129. Плугин Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков. 2010. 256 с.

130. Плугин Д.А. Развитие теории электрокоррозии обводненных конструкций и разработка электрокоррозионностойких материалов и способов

защиты: дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.23.05. Х. 2014. 492 с.

131. Старосельский А.А., Дмитриев И.Б., Сивцов А.П. Бетоны с улучшенными электроизоляционными свойствами для защиты от коррозии. Харьков: ХИИГХ. 1986. 48 с.

132. Старосельский А.А. Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрических воздействий: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. М.: НИИЖБ. 1989. 282 с.

133. Bertolini L., Carsana M., Pedefferri P. Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current. *Corrosion Science*. 2007. Vol. 49, Issue 3. P. 1056 – 1068.

134. Rodríguez P., Ramírez E., González J.A. Methods for studying corrosion in reinforced concrete. *Magazine of Concrete Research*. 1994. Vol. 46, Issue 167. P. 81–90.

135. Development of a real-time AC/DC data acquisition technique for studies of AC corrosion of pipelines / Xu L.Y., Su X., Yin Z.X., Tang Y.H., Cheng Y.F. *Corrosion Science*. 2012. Vol. 61, P. 215 – 223.

136. Lalvani S.B., Lin X. A revised model for predicting corrosion of materials induced by alternating voltages. *Corrosion Science*. 1996. Vol. 38, Issue 10. P. 1709–1719.

137. New findings on the factors accelerating AC corrosion of buried pipeline / Jiang Z., Du Y., Lu M., Zhang Y., Tang D., Dong L. *Corrosion Science*. 2014. Vol. 81, P. 1 – 10.

138. Kruger S., Bird C.E. Corrosion of Metals by Applied Alternating Currents. *British Corrosion jour.* 1978. Vol. 13 (4). P. 163 – 166.

139. Горбачева Ю.Н. Механизм коррозии стали под защитным покрытием и разработка эпоксикаменноугольного покрытия на основе обезвоженной каменноугольной смолы: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков. 2010. 241 с.

140. Дослідження та розробка рекомендацій із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії

електричного струму, вібрації, ґрунтових вод: Звіт з НДР за договором №24/08–ЦТех–319/08–ЦЮ (60/2–2008). Харків: УкрДАЗТ. 2008. Етап 1. 61 с.; Етап 2. 92 с.; Етап 3. 110 с.

141. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: верхня будова колії в залізничних тунелях / А.А. Плугін, А.М. Плугін, Д.А. Плугін, О.С. Борзяк, О.О. Скорик, О.А. Конєв. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ. 2011. Вип.122. С.187–201.

142. Борзяк О.С. Механизм электрокоррозии бетона железобетонных конструкций в сложных условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков. 2010. 240 с.

143. Борзяк О.С. Физико-химические исследования фазового состава цементного камня в бетоне, находившемся под воздействием пульсирующего однонаправленного электрического потенциала. Харків: УкрДАЗТ. 2012. вип. 130. с.71-78.

144. Борзяк О.С., Плугин Ал.А., Плугин Д.А. Исследование состава водной среды, контактирующей с бетоном, подвергающимся электрокоррозии. *Вісник НТУ «ХП»*. 2011. № 27. С. 138-145.

145. Механизм электрокоррозии железобетонных конструкций под действием высоковольтного переменного напряжения в контактных проводах / А.А. Плугин, А.Н. Плугин, Д.А. Плугин, О.С. Борзяк, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин. *Комунальне господарство міст. Наук.-техн. зб.* Харків: ХНАМГ. 2012. Вип.103. Серія технічні науки та архітектура. С.13–23.

146. Забіяка О.А. Підвищення довговічності безбаластного мостового полотна на залізобетонних плитах: Вплив надлишкових електричних зарядів і механічних напружень на тріщиноутворення. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків. 2015. Вип.155. С.98–103.

147. Плугін А.А., Лобяк О.В., Головка Д.В. Моделювання повзучості бетону при оцінюванні напружено-деформованого стану сталобетонних плит перекриття. *Вісник ОДАБА*. Одеса: Атлант. 2016. С.79–83

148. Новые силы, монолитное строительство и высотные дома / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев, О.С. Борзяк. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ. 2014. №3(77). С.85–93.

149. Трикоз Л.В. Теорія надлишкових електричних зарядів та розробка способів збереження стійкості матеріалів і конструкцій за їх наявності: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Х.: УкрДАЗТ. 2015. 482 с.

150. Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, А.А. Конев, О.С. Борзяк. *Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті*: матеріали міжнар. наук.-тех. конф., м. Харків, 26–28 листопада 2014. Харків: УкрДАЗТ, 2014. С.48.

151. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А. [та ін.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений. Міжнар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (26–28 листопада 2014 р., Харків). Харків: УкрДАЗТ, 2014. С.48.

152. Дослідження та розробка рекомендацій по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій: Звіт з НДР за договором № 4/07-ЦТех-778/07-ЦЮ від 30.03.2007. УкрДАЗТ. 2007. Етап 1. 72 с.; Етап 2. 99 с.; Етап 3. 100 с.

153. Борзяк О.С. Исследование механизма воздействия токов утечки на конструкции пассажирской платформы. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 134. С. 271-276.

154. Борзяк О.С., Плугин Д.А., Герасименко О.С. [и др.] Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути. *Науковий вісник будівництва*. 2014. №1(75). С.80–85.

155. Розробка конструктивно-технологічних рішень з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів та рекомендацій з їх впровадження при

експлуатації: Звіт з НДР за договором № 2/2012-ЦТех-38/2012-ЦЮ. УкрДАЗТ. 2012. 50 с.

156. Борзяк О.С. Дослідження бетону монолітних залізобетонних фундаментів при поновленні будівництва. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ. 2013. Вип. 71. С.272-276.

157. Досвід експлуатації залізобетонних шпал з пружними рейковими скріпленнями, розробленими в УкрДАЗТ / А.М. Пługін, А.А. Пługін, Ю.Л. Тулей, С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін, В.А. Лютий. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148. Ч.2. С.92-103.

158. Досвід експлуатації пружних рейкових скріплень типу PRS і залізобетонних шпал із ними / А.А. Пługін, А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін, В.А. Лютий, Ю.Л. Тулей. *Українські залізниці*. 2015. №3–4. С.60-64.

159. Crack resistance of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate / Plugin A.A., Miroshnichenko S.V., Lobiak O.V., Kalinin O.A., Plugin D.A. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 1002(1). 012010.

160. A. A. Plugin et al., The Influence of Storage Conditions on the Electric Conductivity of Concrete. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968, P. 50-60.

161. Вплив умов зберігання на електропровідність бетону / А.А. Пługін, А.І. Бабій, О.А. Пługін, О.С. Борзяк, О.В. Калюжна. *Актуальні проблеми інженерної механіки: матеріали VI міжнар. конф., м. Одеса, 20-24 травня 2019*. С. 320–324.

162. Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України (ЦП-0150) / НКТБ ЦП Укрзалізниці. Київ. 2006. 56 с.

163. Спосіб одержання поліуретанової композиції для захисного покриття / Ю.В. Савельєв, Л.А. Марковська, Н.Й. Пархоменко, О.О. Савельєва: Патент 37906 UA; заявл. 23.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23. 4 с.

164. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И.

Модифицированные высококачественные бетоны / М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.

165. Восстановление кирпичной кладки методом инъектирования / Говоруха И.М., Яковлева Р.А., Копейко А.Е. и др. *Науковий вісник будівництва*. 2008. № 50. С. 118-121

166. Зеленський Д.Ю. Бетони, стійкі в умовах систем каналізації: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: Харківський держ. автомоб.-дор. техн. ун-т. 1999. 17 с.

167. Токарев М.М. Підвищення якісних показників пористих композиційних матеріалів шляхом насичення твердіючими рідинами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: ХДТУБА. 2010. 18 с.

168. Черкинский Ю.С. Полимерцементные бетоны. М.: Госстройиздат. 1960. 263 с.

169. Кольматирующие системы нового поколения на основе модифицированных растворов полисиликатов натрия для бетона / В.Р. Филикман, Н.Ф. Башлыков, А.Я. Вайнер, Ю.В. Сорокин. *Долговечность строительных конструкций*: материалы междунар. конф., Москва, 7-9 окт. 2002. С.80-87.

170. Дослідження впливу лужного компоненту на фізико-механічні властивості безклінкерних і малоклінкерних гідроізоляційних композицій / Ю.Ю. Савчук, А.А. Пługін, В.А. Лютий, О.А. Пługін, О.С. Борзяк. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*: тези доповідей 7-ої Міжнародної наук.-техн. конф., м. Харків, 14-16 листопада 2018 р., Харків: УкрДУЗТ. 2018. С. 211.

171. Костюк Т.А. Спрямоване формування структури цементних композитів для гідроізоляції: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДУЗТ. 2015. 35 с.

172. Гідроізоляційні цементні композити проникної дії / А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Процин та ін. Харків: Колегіум. 2018. 268 с.

173. Андрейчук Т. Гидроизоляция строительных конструкций

проникающего действия. *Обозрение капитального строительства*. 2004. №2. С.16-20.

174. Современные гидроизоляционные материалы: Справочник / А.И. Войтов, В.Л. Козачук, В.В. Лакин, А.А. Шкуратовский. К. 2002. 204 с.

175. Способ определения состава бетонной смеси: А.с.1787972 SU; заяв. 26.06.1990; опубл. 15.01.1993, Бюл.№2.

176. Спосіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону: Пат.62613 UA: МПК 7С04В28/12 №2003043396; заяв.15.04.2003., опубл. 15.06.2005, Бюл.№6.

177. Спосіб визначення складу важкого бетону з мінеральним наповнювачем: Пат.71122 UA: МПК G01N33/38, С04В28/00. №2003087901 заяв. 21.08.2003, опубл.15.06.2006, Бюл.№6

178. Суперпластифікована цементно-водяна суспензія СПЦВС для цементациі гірських порід і будівельних конструкцій: Пат.71208 UA: МПК 7С04В28/12. №20031210920; заяв. 02.12.2003; опубл. 25.02.2008, Бюл.№4.

179. Increase of gypsum water resistance by mineral additives / А.А.Plugin, О.А.Plugin, Н.-В.Fisher, G.N.Shabanova. 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: F.A.Finger–Institut für Baustoffkunde, Bauhaus–Universität Weimar, 2011. N P21. P.435–443.

180. Повышение водостойкости строительного гипса минеральными добавками / А.А.Плугин, Ал.А.Плугин, Х.-Б.Фишер, Г.Н.Шабанова. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.122. С.227–236.

181. Романенко А.В. Особобыстротвердеющий безпропарочный бетон для изготовления шпал без тепловлажностной обработки: дисс. ... канд. тех. наук. Харьков: ХарГАЖТ, 2012

182. Добавки в бетон / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. М.: Стройиздат. 1988. 576 с.

183. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат. 1989. 188 с.

184. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах / Л.Й. Дворкін, Н.В. Лушнікова, Р.Ф. Рунова, В.В. Троян. К.: КНУБА. 2007. 216 с.
185. Davidovits J. Ancient and Modern Concretes: What is the Real Difference? *Concrete International*. 1987. V.9. №12. P.23-28.
186. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. К.: Будівельник. 1989. 128 с.
187. Суперпластификаторы в бетоне: обзорно - аналитическая справка. М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР. 1989. 27 с.
188. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85) / НИИЖБ. М.: Стройиздат. 1989. 39 с.
189. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ) [Чинний від 2010-04-01] - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 12 с.
190. ДБН В.2.7-64-97 Будівельні матеріали. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах [Чинний від 1998-04-01] / Держбуд. Київ: Укрархбудінформ. 1999. 60 с.
191. ЦБМЕС 0004 Інструкція щодо використання хімічних добавок до бетонів та розчинів загальнобудівельного та транспортного призначення / УкрДАЗТ; А.М. Пługін, О.А. Калінін, А.А. Пługін та ін. Київ: Укрзалізниця. 2006. 148с.
192. Доломитовый цемент, затворяемый водой / А.А. Пługин, В.И. Винниченко, О.С. Борзяк, А.Н. Рязанов. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип.143. С.87–97.
193. Study of influence of the alkaline component on the physico-mechanical properties of the low clinker and clinkerless waterproof compositions / Y. Savchuk, A. Plugin, V. Lyuty, O. Pluhin, O. Borziak. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018). MATEC Web Conf., 2018. № 230. Art. N. 03018.

194. Створення ресурсо- та енергозберігаючих композицій важких бетонів на основі шлаків / Костюк Т.О., Вінниченко В.І., Пługін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. *Енергоефективність на транспорті: тези доповідей міжнар. наук.-техн. конф. м. Харків, 18-20 листопада 2020 р. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 76-77.*

195. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат. 1998. 768 с.

196. Експериментальні дослідження проникної здатності тампонажних розчинів / А.М. Пługін, О.А. Калінін, Арт.М. Пługін та ін. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. 2000. Вип.37. С. 3–13.*

197. Пługін, А.А. Костюк Т.О., Бабушкін В.І. Управління міцністю дрібнозернистого бетону одразу після формування на основі урахування електроповерхневих властивостей його складових. Науковий вісник будівництва. 1999. №7. С. 63-67.

198. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги / ДП НДІБК. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.

199. Effects of Alkali Metal Hydroxides on the Efficacy of Alkali-Free Accelerators / С. Maltese , С. Pistolesi , А. Bravo et al. Cementing a sustainable future: XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3–8 July 2011. 050. 7 p.

200. Кузьмин Е.Д. Бетоны с противоморозными добавками. К.: Будівельник. 1976. 108 с.

201. Ларионова З.М., Никитина Л.В., Гарашин В.Р. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного состава и бетона. М.: Стройиздат. 1997. 264 с.

202. Никитинский А.В. Наполненные суперпластифицированные цементно-водные суспензии для герметизации и усиления обводненных тоннелей. Дисс...к.т.н. Харьков: УкрГАЖТ. 2006. 169 с.

203. Кучеряева Г.Д., Розенберг Т.И., Ратинов В.Б. Влияние добавок на основе хорошо растворимых солей кальция на структурно-механические свойства цементного камня и морозостойкость цементных материалов. Новые эффективные виды цемента. Москва: Минстройматериалов СССР. 1981. С. 110-113.

204. Никитина, Л.В. Исследование комплексных солей кальция в цементном камне и бетоне с химическими добавками: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: НИИЖБ. 1967.

205. Брейтман Э.Д. Исследования бетонов с комплексной добавкой НКМ, твердеющих при температурах ниже 0°C: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МАДИ, 1970.

206. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И., Кучеряева Г.Д. Комплексные добавки для бетона. *Бетон и железобетон*. 1981. №9. С.9-10.

207. Баженов, Ю.М. Пути развития технологии бетона. Сб. научн. тр. института строительства и архитектуры. М.: МГСУ. 2009. С.13–17.

208. Шумик Д.В. Суперпластифицированная цементно-водная композиция для ремонта горных тоннелей: дисс. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Харьков: УкрГАЖТ. 2001. 231 с.

209. Rickert J., Herrmann J. Interactions between Granulated Blastfurnace Slag or Limestone as Cement Main Constituent and Super-Plasticisers Based on Polycarboxylate Ether. Cementing a sustainable future: XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3-8 July 2011. 077. 7 p.

210. Compatibility between PCE admixtures and calcium aluminate cement / M.M. Alonso, T. Vázquez, F. Puertas, M. Palacios. Cementing a sustainable future: XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3-8 July 2011. 087. 7 p.

211. Habbaba A., Plank J. Surface chemistry of ground granulated blast furnace slag in cement pore solution: Understanding the behavior of slag in blended cements containing polycarboxylate superplasticizers/ Cementing a sustainable future: XIII

ICCC International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3-8 July 2011. 160. 7 p.

212. Ng S., Plank J. Formation of Organo-Mineral Phases Incorporating PCE Superplasticizers During Early Hydration of Calcium Aluminate Cement. Cementing a sustainable future: XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3-8 July 2011. 188. 7 p.

213. Ціак М.Я. Термокінетична оцінка і прогноз впливу добавок на твердіння та властивості цементу і бетону: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Київ, КНУБА. 2010. 39 с.

214. ДСТУ Б В.2.7-128:2006. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. Технічні умови. К. : Мінбуд України, 2006. 25 с.

215. Відновлення та захист промислових будівель і споруд на залізничному транспорті / А.М. Пługін, А.А. Пługін, О.А. Калінін та ін. Х.: ХарДАЗТ, 2001. Ч.1 137с.; Ч.2. 74с.

216. Бабков В.В., Каримов И.Ш., Комохов П.Г. Аспекты формирования высокопрочных и долговечных цементных связей в технологии бетонов. *Известия ВУЗов. Строительство*. 1996. №4. С. 41-48.

217. Природа поверхности наполнителей в пенобетонах / Н.Н. Шангина, Л.Б. Сватовская, П.Г. Комохов и др. Инженерно-химические проблемы пеноматериалов третьего тысячелетия: Сб. научн. тр. СПб: ПГУПС. 1999. С. 32-46.

218. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов. *Бетон и железобетон*. 1995. №6. С. 16-20.

219. Ольгинский А.Г. Пылеватые минеральные добавки к цементным бетонам. *Строительные материалы и конструкции*. 1990. №3. С.18-19.

220. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Високодисперсна крейда як добавка для бетонів. Тези доповіді 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції м. Харків, 19-21 квітня 2017 р. Х.: УкрДУЗТ. 2017. С. 78-79.

221. Larbi J.A., Bijen J.M. The chemistry of the pore fluid of silica fume-blended cement systems. *Cem. and Concr. Res.* 1990. V20. №4. P. 506-516.
222. Sarkar Shendeep L. Microstruktura of a very low water/cement silica fume concrete. *Microscope.* 1990. V38. №2. P. 141-152.
223. Larbi J.A., Bijen J.M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems. *Cem. and Concr. Res.* 1990. V20. №5. P.783-794.
224. Roberts L.R., W.R. Grace. Microsilica in concrete. 1 Mater. Sci. Concr.1. Westerville (Ohio). 1989. P.197-222.
225. Bendz Dale P., Garfodzi Edward J. Simulation studies of the effects of mineral admixtures on the cement paste-aggregate interfacial zone. *ACI Mater. J.* 1991. V88. №8. P.518-529.
226. Feng Nai-Qian, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu. High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture. *Cem., Concr., and Aggreg.* 1990. V12. №2. Pp. 61-69.
227. Colleparidi M. Admixtures: Enhancing concrete performance. 6th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. 5-7 July 2005.
228. Влияние активных поверхностных центров на прочность свежесформованных мелкозернистых бетонов / В.И. Бабушкин, А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Матвиенко. *Науковий вісник будівництва.* 1998. Вип. 5. С.85-88.
229. Тимашев В.В., Колбасов В.М. Свойства цементов с карбонатными добавками. *Цемент.* 1981. №10. С.10-12.
230. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. К. : Мінрегіонбуд України, 2010. –109 с.
231. Використання потенціометричних методів для оцінки корозійного впливу добавок на сталеву арматуру залізобетонних конструкцій / О.В. Калюжна, О.С. Борзяк, А.А. Плугин, В.В. Булгаков. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези*

доповідей VII міжнар.. наук.-техн. конф., м. Харків, 14-16 листопада 2018 р. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.186.

232. Борзяк О.С., Калюжна О.В., Плугін А.А. Вплив добавок-прискорювачів твердіння на захисні властивості бетону щодо сталеві арматури. *Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві*: матер. VIII міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 19-20 листопада 2020 р. Харків : ХНУБ. 2020. С. 9-10.

233. ДСТУ EN 13263-1:2019 Мікрокремнезем для бетону. Частина 1. Визначення, вимоги та критерії відповідності (EN 13263-1:2005 + A1:2009, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. ДП «УкрНДНЦ».

234. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 14 с.

235. ДСТУ Б EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT). Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. К. : Мінрегіон України, 2016. 53 с.

236. ДСТУ Б В.2.7-82:2010 Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови / ДП «НДІБМВ». [Чинний від 2010-08-18]. Київ: Мінрегіонбуд України. 2010. 29 с.

237. ДСТУ Б В.2.7-302:2014 Шлак доменний гранульований для цементів, бетонів і будівельних розчинів. Технічні умови та оцінка відповідності (EN 15167-1:2006, NEQ. [Чинний від 2015-10-01]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2015.

238. Емельянова И.А., Доброходова О.В., Буцкий В.А., Борзяк О.С. Технологические особенности приготовления строительных смесей в трехвалном бетоносмесителе. *Науковий вісник будівництва*. 2011. Вип.63. С.331-336.

239. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. Москва: Издательство Московского университета. 1976. 175 с.

240. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М: Высшая школа. 1981. 335 с.

241. Борзяк О.С., Плугін Д.А. Використання методу інфрачервоної спектроскопії при дослідженні будівельних матеріалів. Тези доповідей 76-ї Міжнародної науково-технічної конференції 15-17 квітня 2014 р., м. Харків. Х.: УкрДАЗТ, 2014. С. 259.

242. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Про природу явищ, на яких ґрунтується спектральний аналіз будівельних матеріалів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: матер. допов. 78 Міжнар. наук.-техн. конфер., м. Харків, 26–28 квітня 2016. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків. 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78–79

243. Новикова С.П. К вопросу о природе деформаций цементных бетонов в процессе твердения. Москва: Тр. ВНИИВОДГЕО. 1973. С.124–132.

244. Твердіння портландцементу в ранні строки / Є.І.Ведь, Є.Ф.Жаров, Г.Бакланов та ін. *Будівельні матеріали і конструкції*. 1972. №3. С.30.

245. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. Київ: Вища школа, 1975. Ч.1. 268 с.; 1976. Ч.2. 208 с.; 1977. Ч.3. 138 с.

246. Матвиенко, В.А., Толчин С.М. Электрические явления и активационные воздействия в технологии бетона. Макеевка: ДГАСА. 1998. 154 с.

247. О механизме возникновения электроповерхностного потенциала различных веществ в водных растворах / А.Н. Плугин, Н.В. Вдовенко, А.И. Бирюков, Ф.Д. Овчаренко. *ДАН СССР*. 1988. Т.298. №3. С.656–661.

248. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. М.: Стройиздат, 1966. 208 с

249. Грунтоведение: Классич. унив. учебник. 6-е изд., перераб. и доп. / В.Т. Трофимов и др. М.: МГУ. 2005. 1024 с.

250. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19' Ibausil. Weimar. 2015. PV03. 18 pp.

251. Бабушкин В.И., Костюк Т.А., Кондращенко Е.В. Роль коллоидно-химических явлений в процессах формирования структурной и конечной прочности цементно-песчаных прессованных изделий. Сборник трудов по технической химии. К.: УкрХО. 1997. С. 264-267.

252. Плугин, А.А. Об электроповерхностном потенциале в твердеющих минеральных вяжущих. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2003. Вып.15. С.66–74.

253. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / О.Н. Григоров, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина, Д.А. Фридрихсберг. Л.: ЛГУ. 1955. 212 с.

254. Костюк, Т.А. Цементно-песчаные бетоны и изделия, получаемые полусухим прессованием без тепловлажностной обработки: дисс. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Х.: ХГТУСА. 1999. 155 с.

255. Нечипоренко А.П., Кудряшова А.И. Исследование кислотности твердых поверхностей методом рН-метрии. *ЖПХ*. Т.60, №9. С. 1957-1961.

256. Нечипоренко А.П., Шевченко Г.К. Исследование влияния термообработки и дисперсности образца на кислотно-основные свойства поверхности кремнезёма. *ЖОХ*. 1985. Т.55, №2. С.244-253.

257. Данченко Ю.М. Фізико-хімічні основи створення багатофункціональних композиційних епоксиполімерних будівельних матеріалів: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Харків: ХНУБА. 2019. 394 с.

258. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир. 1980. 488 с.

259. Киселев В.Ф., Крылов О.В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М.: Наука. 1978. 256 с.

260. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат, 1983. 160 с.

261. Комохов П.Г., Шангина Н.Н. Конструирование композиционных материалов на неорганических вяжущих с учетом активных центров поверхности наполнителя. *Вестник отделения строительных наук*. М.: Российская академия архитектуры и строительства. 1996. №1. С.31-34.

262. Плугин А.Н., Плугин А.А. Теория строения ядер атомов простых веществ, основанная на новых положениях коллоидной химии. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків, 2012. Вип.130. С.5–22.

263. Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. Зависимость углов отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала кристаллов. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С. 153–158.

264. Борзяк О.С. Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 23–24 квітня 2015 р. Харків: УкрДУЗТ. 2015. С.34.

265. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Рентгеновские методы исследования строительных материалов: особенности взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллами. Моделювання та оптимізація будівельних композитів: матер. міжнар. наук.-техн. Семінару, м. Одеса, 27-28 жовтня 2016 р. Одеса: ОДАБА. 2016. С. 105-111.

266. C.D. Igwebike-Ossi, Failure Analysis and Prevention. 10. X-Ray Techniques, edited by Aidy Ali (IntechOpen, 2017), available at <https://www.intechopen.com/chapters/58172>.

267. Mahan B.M., Myers R.J. University Chemistry, 4th ed. The Benjamin Cummins Publishing Company, California, Inc. 1987. P. 998-1002.

268. Cowley J. M. Diffraction physics. Elsevier, 1995. 481 p.

269. Johanssen AE, Campbell JL, Malmqvist KG. Particle-induced X-ray emission spectrometry (PIXE). In: Chemical Analysis—A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Application. New York: John Wiley and Sons, Inc.; 1995. P. 1-20

270. Oxtoby D.W., Nachtrieb N.H. Principles of Modern Chemistry. 3rd ed. Orlando: Saunders College Publishing; 1996. P. 483-494.

271. Housecroft C.E., Alan G.S. Inorganic Chemistry. 3rd ed. Essex, England: Pearson Education Limited; 2008. P. 166

272. Губкин А.Н. Физика диэлектриков. М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.

273. Структура и прочность гипсового камня: развитие представлений о структуре / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ю.Г.Гасан, Е.Н.Червенко. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип.138. С.125–136.

274. Підвищення міцності та водостійкості гіпсових в'язучих нанодисперстними мінеральними добавками. А.А. Плугін, Х.-Б. Фішер, О.С. Борзяк, А.С. Єфіменко, А.А. Жигло. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, 2017. Вип.171. С. 37-43.

275. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. Учебное пособие. Екатеринбург: КДУ. 2007. 720 с.

276. Sanytsky M., Fischer H.-B., Korolko S. Modified composite gypsum binders based on phosphogypsum. 16 Internationale Baustofftagung. - Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P.875-882.

277. Механизм структурообразования и дегидратации гипсовых вяжущих / А.Н.Плугин, Х.-Б.Фишер, А.А.Плугин, К.А.Рапина. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ. 2010. Вип.115. С.5-22.

278. Повышение водостойкости гипса добавками микронаполнителей / А.А. Плугин, С.В. Воронин, О.С. Борзяк, А.С. Ефименко. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА; ХОТВ АБУ. 2016. №2(84). С.239–242.

279. Ettringite Formation in Concrete Jochen Stark, Katrin Bollmann Bauhaus-University Weimar / Germany Stark, J., & Bollmann, K. Delayed Ettringite Formation in Concrete. <https://www.imxtechnologies.com/storage/app/media/uploaded-files/ettringite.pdf>

280. Balonis M. The Influence of Inorganic Chemical Accelerators and Corrosion Inhibitors on the Mineralogy of Hydrated Portland Cement Systems: A Thesis presented for the degree of PhD. Aberdeen: University of Aberdeen. 2010. 294 p.

281. Аршинніков Д.І., Свідерський В.А. Порівняльний аналіз мінералогічного складу природної крейди родовищ України. *Technology audit and production reserves*. 2015. Vol. 4, № 4 (24). S. 7-11.

282. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М.: Стройиздат. 1975. 152 с.

283. Чепурна С.М. Бетон підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДУЗТ. 2018. 202 с

284. Борзяк О.С., Чепурна С.М. Гідратація портландцементу в присутності добавки високодисперсної крейди. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 175. С. 110–117.

285. Коллоидно-химические свойства водных дисперсий мела и мрамора / Полуэктова В.А., Ломаченко В.А., Столярова З.В., Ломаченко С.М. и др. *Фундаментальные исследования: Технические науки*. 2014. № 9. С. 1205–1209.

286. Чернышов Е.М., Черных Д.И., Потамошнева Н.Д. Композиты на основе утилизации техногенного (конверсионного) карбоната кальция: модели и возможные механизмы структурообразования. *Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительства и архитектура*. 2014. Вып. 3 (35). С. 38–50.

287. Трикоз Л.В., Борзяк О.С., Савчук В.Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, 2017. Вип.171. С. 44-52.

288. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом инфракрасной спектроскопии. *Вісник ОДАБА. Зб. наук. праць*. Одеса: ОДАБА, 2013. Вип.52. С.281-285.

289. The electric surface interaction in the soil-slag-biological solids system / L. V. Trykoz, S. V. Panchenko, D. O. Bondarenko, A. A. Plugin and O. S. Borziak. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 708 (2019) 012110.

290. Логвиненко Н. В., Сергеева Э.И. Методы определения осадочных пород: учебн. пособие для вузов. Л.: Недра. 1986. 240 с.

291. Соколов, В.Н. Глинистые породы и их свойства / Соросовский образовательный журнал. – Т.6. – № 9. – 2000.

292. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. К.: Наукова Думка. 1975. 351 с.

293. Развитие некоторых аспектов коллоидной химии и физико-химической механики дисперсных систем и материалов применительно к устойчивости откосов и склонов / А.Н. Плугин, Л.В. Трикоз, О.С. Герасименко и др. *Вісник ДНУЗТ ім.акад.В.Лазаряна*. Дніпропетровськ: 2011. Вип. 39. С.150-156.

294. Трикоз, Л.В. Коллоидно-химические основы нарушения устойчивости глиносодержащих грунтовых материалов. *Зб. наук. праць*. Х.: УкрДАЗТ. 2011. Вип. 127. С.184-192.

295. Физико-химические процессы, протекающие в глинистом сырье при электрокинетическом воздействии / А.В. Корнилов, Т.З. Лыгина, Н.И. Наумкина и др. Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Сборник научных статей по материалам российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2009. С. 118-121.

296. Трикоз Л.В. Електроповерхневі взаємодії в системі ґрунт-шлак активний мул / Л.В. Трикоз, С.В. Панченко, Д.О. Бондаренко, О.С. Борзяк, А.А. Плуґін. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Тези доповідей. Ч.2. VIII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 20-22 листопада 2019 р. Харків: УкрДУЗТ. 2019. С.209-210.

297. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом рентгенофазового анализа. *Сборник научных трудов SWorld*. Вып. 2. Том 17. Иваново: Маркова АД. 2014. ЦИТ: 214-306. С. 10-17.

298. Краткий справочник Физико-химических величин / Под ред. А.А.Равделя и А.М. Пономаревой. – Санкт-Петербург: Специальная литература, 1998. – 232 с.

299. Плуґин А.Н., Плуґин А.А. Природа коагуляционных контактов и их роль в обеспечении прочности и водостойкости вяжущих и композиционных

материалов. *Создание новых композиционных материалов и повышение эксплуатационной надежности и сроков службы конструкций и сооружений на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. научн. тр.* Харьков: ХарГАЗТ. 1996. Вып.26. Т.1. С.39–47.

300. Термодинамические свойства индивидуальных веществ; в 4 т. / Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев. М.: Наука. 1981.

301. Matschei T., Lothenbach B., Glasser F.P., Thermodynamic properties of Portland cement hydrates in the system $CaO-Al_2O_3-SiO_2-CaSO_4-CaCO_3-H_2O$. *Cement and Concrete Research*. 2007. 37: p. 1379-1410.

302. Balonis, M., Lothenbach, B., Le Saout, G., Glasser, F.P., Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2010. 40(7). P. 1009-1022.

303. Balonis, M., Međala, M., Glasser, F.P., Influence of calcium nitrate and nitrite on the constitution of the *AFm* and *AFt* cement hydrates - experiments and thermodynamic modelling. *Advances in Cement Research*. 2011. 23(3). P. 129-143.

304. Патент 93322 UA МПК С04В 41/65, С04В 103/65, С04В 24/00, С04В 14/00, С04В 28/00. Мінеральна суміш, що самоущільнюється, для гідроізоляційного покриття / Костюк Т.А., Салия М.Г., Бондаренко Д.А., Избаш Ю.М. Заявл. 29.01.2009; опубл. 25.01.2011.

305. Проведення досліджень та розробка рекомендацій по застосуванню пластифікаторів та прискорювачів твердіння при виготовленні залізобетонних шпал та плит безбаластного мостового полотна: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2007. – г/д №5/07ЦТех-779/07ЦЮ (6/7-2007).

306. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання та їх фізико-хімічні дослідження / Плугін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения: матер. междунар. науч.-практ. конф., г. Харьков, 28–29 октября 2015. Харьков: ХНУСА. 2015. С.39–50.

307. Борзяк О. С., Плугин А.А. Фізико-хімічні дослідження впливу добавок суперпластифікаторів та прискорювачів твердіння на продукти гідратації портландцементу. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: матер. допов. 78 Міжнар. наук.-техн. конф., 26–28 квітня 2016. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*: Харків, 2016. Вип. 160 (додаток). С.78.

308. Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм: Звіт з НДР г/т №6/5-2013. Договір №0114U006551. Харків: УкрДАЗТ. 2014. Етап 1. – 34 с.; Етап 2. – 259 с.

309. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods / A.A. Plugin, O. S. Borziak, O.A. Pluhin, T.A. Kostuk, D.A. Plugin. International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering. EcoComfort 2020: Proceedings of EcoComfort 2020. P. 328-335.

310. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. Academic Press. London. 1990.

311. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. (2020) The Mechanism of a Penetrative Action for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions. In: Blikharsky Z., Koszelnik P., Mesaros P. (eds) Proceedings of CEE 2019. CEE 2019. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 47. P. 34-41

312. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders / O. Pluhin, A. Plugin, D. Plugin, O. Borziak, O. Dudin. *Matec Web of Conference*. 2017. 116. 01013.

313. Плугин, А.А. Совершенствование состава и структуры бетона с учетом электроповерхностных свойств его составляющих для повышения прочности и стойкости изделий кольцевого сечения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков: ХИСИ. 1994. 245 с.

314. Шаскольская, М.П. Кристаллография. Москва: Высш. Школа. 1976. 392 с.

315. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. Москва: Стройиздат. 1979. 344 с.

316. Рыбьев, И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. Москва: Высш. Школа. 1978. 309 с

317. Касьянов В.В. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДУЗТ. 2018. 281 с.

318. Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості композицій на основі портландцементу / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, А.А. Пługін, Д.А. Пługін, О.С. Борзяк. *Науковий вісник будівництва. Х.: ХНУБА; ХОТВ АБУ*. 2018. № 1 (91). С. 156-163.

319. Сучасні будівельні матеріали і конструктивні системи для зведення доступного житла та об'єктів інфраструктури / К.К. Пушкарьова, А.М. Бамбура, Л.Й. Дворкін, О.В. Градобоев, М.Л. Зоценко, О.С. Кагановський, А.М. Павліков, А.А. Пługін, С.А. Тимошенко, Г.М. Шабанова. Київ: Вік-принт. 2015. 280 с.

320. Развитие теоретических представлений влияния коксовой пыли на структурообразование цементных композитов / Е.А.Беличенко, А.Н.Плугин, А.А.Плугин, С.Н.Толмачев. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. Харьков: ЕЕJET. 2012. №6/5(60). С.13–17

321. Оценка возможности применения полиэфирной микрофибры в гидроизоляционных составах на основе портландцемента / А.А.Плугин, В.А.Арутюнов, Т.А.Костюк, Д.А.Бондаренко, О.В.Старкова. *Современный научный вестник*. 2013. №32(171). С.109–116.

322. Effect of microfillers on the concrete structure formation / O. Borziak, S. Vandolovskyi, V. Chajka, V. Perestiuk, O. Romanenko. *Matec Web of Conference*. 2017. V.116. 01001. 6 pp.

323. Structure formation of the cement stone in the presence of fine-grained calcite / S. M. Cherpurna, A. A. Plugin, O. S. Borziak. 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht.- Weimar: Bauhaus-Universitet Weimar, 2018. Band 2. P. 479–485.

324. The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions / O S Borziak, A A Plugin, S M Chepurna, O V Zavalniy, O A Dudin. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 708 (2019) 012080. IOP Publishing.

325. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Бетони підвищеної водонепроникності з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди). *Науково-технічний збірник Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА. 2018. № 66. С. 629–637.

326. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures / O. Borziak, S. Chepurna, T. Zidkova, A. Zhyhlo, A. Ismagilov. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2018). – MATEC Web Conf., 2018. № 230. Art. N. 03003

327. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Механізм впливу добавки високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. Вип. 72, С.99-106.

328. Беркович, Т.М. Основы технологии асбестоцемента / Беркович Т.М. – М.: Стройиздат, 1979. – 233 с.

329. Плугин А.А., Салия М.Г., Костюк Т.А. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных покрытий. *Вісник НТУ «ХПИ»*. Харків, 2011. Вип.50. С.97–103.

330. Обоснование выбора солей-электролитов для содержащих кальцит и стекловолокну комплексных добавок в гидроизоляционные смеси / Т.А.Костюк, А.А.Плугин, Н.Н.Партала, М.Г.Салия, Д.А.Бондаренко. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*. 2012. №44. С.105–108.

331. Плугин А.А. Арутюнов В.А., Костюк Т.А. Гидроизоляционные составы на основе портландцемента, армированные полимерными волокнами:

оценка возможности применения полиэфирной микрофибры. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків, 2013. Вип.138. С.70–77.

332. Кагановский А.С., Градобоев О.В, Плугин Ал.А. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: Проблемы производства хризотил-цемента. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип.138. С.50–55.

333. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: Физико-химические свойства волокон / Ал.А.Плугин, А.С.Кагановский, О.В.Градобоев, А.А.Плугин. Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2014. №2(76). С.94–102.

334. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов / Т.А. Костюк, А.А. Плугин, Ал.А. Плугин и др. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків, 2014. Вип.148. Ч.2. С.32–38

335. Вплив поліфункціональної добавки на характер новоутворень та властивості штучного каменю, виготовленого з композиційної гіпсовміщуючої в'язучої речовини / Гасан Ю.Г., Червенко Є.М., Бердник О.В., Борзяк О.С. *Зб. «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка»*. К., НДІБМВ, 2011. Вип. 42, с. 56-62

336. Жигло А.А., Борзяк О.С. Перспективи зниження енерговитрат на виробництво високоміцного гіпсу. *Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі: Міжнар. наук.-практ. конф., 18-19 листопада 2020 року*. ХНУМГ ім. О.М.Бекетова. Харків. 2020. С. 72-73

337. Вплив мінеральних наповнювачів на процеси структуроутворення гіпсового каменю / А.А.Плугін, О.С.Борзяк, А.С.Єфіменко, Х.-Б.Фішер. *Науковий вісник будівництва*. Т.90. №4. 2017. С.116-119.

338. Increasing the Water-Resistance of Gypsum Materials Using Polydisperse Mineral Additives / A.A. Plugin, H.-B. Fisher, O.S. Borziak, A.S. Iefimenko. 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universitet Weimar. 2018. Band 2. P. 549–558.

339. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии . Ленинград: Химия, 1974. 496 с.

340. Establishing Patterns in the Influence of Microand Nano-dispersed Mineral Additives on The Water Resistance of Construction Gypsum / A. Plugin, A. Iefimenko, O. Borziak, E. Gevorkyan, O. Pluhin, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 1. pp. 22–29.

341. Шляхи підвищення міцності гіпсових композицій / А.С.Єфіменко, Х.-Б. Фішер, К. Матхес, О.С. Борзяк, А.А. Плугін, Е.С. Геворкян. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доп. VI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 19-21 квітня 2017. Харків: УкрДУЗТ. 2017. С.50–51.

342. Пат. 73395 UA C27 C04B 28/00, 41/65, 22/06. Композиція проникної дії для відновлення зруйнованого бетону / В.І. Бабушкін, О.В. Кондращенко, Т.О. Костюк, О.Ю. Процин. - Заявл.24.06.2003. - Опубл. 15.07.2005. - Бюл. № 7.

343. Исследование взаимодействий между инден-кумароновой и эпоксидной смолами в защитном составе ЗС-1М / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.В. Подтележникова, О.С. Борзяк. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.125. С. 139–145.

344. Пат. 117383 UA. МПК (2018.01) С2. Гідрофобізований матеріал для влаштування баластного шару залізничної колії з підвищеним електроопором / Плугін А.А., Трикоз Л.В., Багіянц І.В., Мороз В.П., Герасименко О.С., Борзяк О.С. Заявл.26.04.2016. Опубл.25.07.2018. Бюл.№14

345. Розробка заходів по захисту штучних споруд залізничного транспорту від електрокорозії під дією змінного струму витоку і високовольтної напруги / О.С. Борзяк, О.А. Дудін, М.Ю. Куценко, В.Г. Познякова. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182. С. 28-36.

346. Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Дудин А.А. [и др.] Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 127. С. 204-212.

347. Борзяк О.С., Чайка В.М., Вандоловський С.С. Формування структури дрібнозернистого бетону. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доп. VI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 19-21 квітня 2017. Харків: УкрДУЗТ. 2017. С. 42–43.

348. Пат.113600 UA МПК(2016.01) C04B28/00 C04B41/65(2006.01) C04B111/90(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/72(2006.01) Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; Пflugін А.А, Костюк Т.О., Прощін О.Ю., Пflugін О.А., Бондаренко Д.О., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В. Заявл. 01.03.2016. Опубл.10.02.2017. Бюл.№3. 4 с.

349. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев: Будивельник. 1993. 224 с.

350. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags / Т.А. Kostyuk, V.I. Vinnichenko, А.А. Plugin, O.S. Borziak, Iefimenko A.S. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 1021. 012016.

351. Конєв В. В. Електропровідна силікатна композиція для захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДУЗТ. 2021. 338 с.

352. Пат.117194 UA МПК C04B28/26(2006.01) C04B41/65(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/26(2006.01) C04B111/94(2006.01) Електропровідна шпаклювальна композиція / УкрДУЗТ; Пflugін А.А., Пflugін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В., Савчук Ю.Ю., Костюк Т.О., Бондаренко Д.О. Заявл.24.03.2017. Опубл.25.06.2018. Бюл.№12. 3 с.

353. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання / А.А. Пflugін, О.В. Романенко, А.І. Бабій, О.А. Калінін, О.А. Пflugін. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С.62–72.

354. Рунова Р.Ф., Троян В.В., Сова Н.О. Склади бетону з хімічними та мінеральними добавками зі зниженими витратами цементу для виробництва залізобетонних шпал. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С.73–77.

355. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев, И.А. Козеняшев, С.В. Нестеренко. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2012. вип. 130. С. 64-70.

356. Петрова, Т.М., Сорвачева Ю.А. Внутренняя коррозия бетона как фактор снижения долговечности объектов транспортного строительства. *Наука и транспорт. Транспортное строительство*. 2012. №4.

357. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Ресурсоенергозберігаючі бетони з добавкою високодисперсної крейди. Ефективні технології в міському будівництві та господарстві: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 17-18 травня 2018 року. Одеса: ОДАБА. 2018. С. 164-167.

358. Королев Л.В., Лупанов А.П., Придатко Ю.М. Плотная упаковка полидисперсных частиц в композитных строительных материалах. *Современные проблемы науки и образования*. 2007. № 6 (часть 1). С. 109-114

359. Cherpurna S.M. Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P. 82-88.

360. Вплив добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості бетонів / О.С. Борзяк, С.М. Чепурна, Т.В. Жидкова та ін. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 14-16 листопада 2018 р. Харків: УкрДУЗТ. 2018. С.172.

361. Чепурная С.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ. 2018. № 1(91). С. 292–298.

362. Стрелков М.И., Заславский И.Н. Ускоренная оценка агрессивности к бетону водных растворов с учетом многокомпонентности их состава. *Лен.ПромстройНИИпроект*. 1987. С. 4-10.

363. Вплив добавки високодисперсного кальциту на корозійну стійкість цементних композитів / О.С. Борзяк, А.А. Пługін, С.М. Чепурна та ін. VIII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 20-22 листопада 2019 р. Ч.2. Харків: УкрДУЗТ. 2019. С.137-138.

364. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна / А.А.Пługін, А.М.Пługін, С.В.Мірошніченко та ін. Київ: ЦП УЗ, 2010. 42 с.

365. Нові технології гідроізоляції та підсилення мостів, будівель та інших споруд, що руйнуються / А.М. Пługін, Ю.М. Федюшин, А.А. Пługін. Реєстраційна картка технології. УкрІЕНТІ. № 0606U000057. 2006. 96 с.

366. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V. Kasyanov, S. Nesterenko, A. Afanasiev. Matec Web of Conference. 2017. V.116, 01012. 6 pp.

367. Пат.122625 UA. МПК E01B 9/30 (2006.01) E01B 9/48 (2006.01) C2. Скріплення рейкове пружне безанкерне для трамвайної колії / Палант О.В., Захаров Д.С., Аронов Л.С., Шматко В.В., Пługін А.М., Пługін А.А., Пługін Д.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А., Романенко О.В., Пługін О.А., Борзяк О.С., Савченко О.М. Заявл. 28.03.2019. Опубл. 10.12.2020. Бюл.№23.

368. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту // Д.А.Пługін, А.А.Пługін, О.С.Борзяк, О.В.Палант, О.М.Савченко // Науковий вісник будівництва, Т.90, №4, 2017. – С.250-254.

369. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий / А. Н. Пługин. Е. В. Палант, Д. А. Пługин, Ал. А. Пługин, О. С. Борзяк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2018. – № 35. – С. 25–28.

370. Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A., Borziak O.S. The Influence of the Molecular Structure of Polyurethane on Vibro– and Electroinsulation Properties of the Tramway Structures. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol 47. P. 346-353.

**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про
апробацію результатів дисертації**

Монографії:

1. Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3 т. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. Под ред. А.Н.Плугина. Киев: Наук. думка, 2012. 288 с. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

2. Плугин А.А., Костюк Т.О., Процин О.Ю. [та ін.] Гідроізоляційні цементні композити проникної дії. Харків: Колегіум, 2018. 268 с. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

Статті у наукових фахових виданнях України та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

3. Плугин А.А., Плугин А.М., Борзяк О.С. [та ін.] Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: верхня будова колії в залізничних тунелях. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.122. С. 187–201. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

4. Емельянова И.А., Доброходова О.В., Буцкий В.А., Борзяк О.С. Технологические особенности приготовления строительных смесей в трехвальном бетоносмесителе. *Науковий вісник будівництва*. 2011. Вип.63. С.331-336. (*Вивчення впливу режиму роботи змішувача на поверхневу активацію в'язучих*)

5. Плугин А.Н., Плугин А.А., Подтележникова И.В., Борзяк О.С. Исследование взаимодействий между инден-кумароновой и эпоксидной

смолами в защитном составе ЗС-1М. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.125. С. 139–145. (*Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації*)

6. Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Дудин А.А. [и др.] Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 127. С. 204-212. (*Розробка конструкції кріплення заземлювача*)

7. Борзяк О.С., Плугин Ал.А., Плугин Д.А. Исследование состава водной среды, контактирующей с бетоном, подвергающимся электрокоррозии. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2011. № 27. С. 138-145. (*Розрахунок концентрації робочих розчинів*)

8. Борзяк О.С. Физико-химические исследования фазового состава цементного камня в бетоне, находившемся под воздействием пульсирующего однонаправленного электрического потенциала. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 130. С. 71–78.

9. Плугин А.А., Плугин А.Н., Плугин Д.А., Борзяк О.С. [и др.] Механизм электрокоррозии железобетонных конструкций под действием высоковольтного переменного напряжения в контактных проводах. *Комунальне господарство міст*. 2012. Вип.103. С. 13–23. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

10. Борзяк О.С. Исследование механизма воздействия токов утечки на конструкции пассажирской платформы. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 134. С. 271-276.

11. Борзяк О.С. Дослідження бетону монолітних залізобетонних фундаментів при поновленні будівництва. *Науковий вісник будівництва*. 2013. Вип. 71. С. 272–276.

12. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом инфракрасной спектроскопии. *Вісник ОДАБА*. 2013. Вип.52. С. 281–285. (*Виявлення закономірностей впливу*

кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

13. Плугин А.А., Винниченко В.И., Борзяк О.С., Рязанов А.Н. Доломитовый цемент, затворяемый водой. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.143. С. 87–97. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

14. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений /. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148, Ч.2. С.5–20. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

15. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые силы, монолитное строительство и высотные дома *Науковий вісник будівництва*. 2014. №3(77). С. 85–93. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

16. Борзяк О.С., Плугин Д.А., Герасименко О.С. [и др.] Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути. *Науковий вісник будівництва*. 2014. №1(75). С.80–85. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

17. Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. Зависимость углов отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала кристаллов. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С. 153–158. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

18. Плугин А.А., Фішер Х.-Б., Борзяк О.С. [та ін.] Підвищення міцності та водостійкості гіпсових в'язучих нанодисперстними мінеральними добавками.

Зб. наук. праць УкрДУЗТ. 2017. Вип.171. С.37–43. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

19. Плугін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б. Вплив мінеральних наповнювачів на процеси структуроутворення гіпсового каменю. *Науковий вісник будівництва. 2017. №4(90). С.116–119. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

20. Борзяк О.С., Чепурна С.М. Гідратація портландцементу в присутності добавки високодисперсної крейди. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ. 2018. Вип. 175. С. 110–117. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

21. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Бетони підвищеної водонепроникності з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди). *Містобудування та територіальне планування. 2018. № 66. С. 629–637. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

22. Плугін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С. [та ін.] Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості композицій на основі портландцементу *Науковий вісник будівництва. 2018. №1(91). С. 156–163. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

23. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Механізм впливу добавки високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю. *Вісник ОДАБА. 2018. Вип. 72, С.99–106. (Встановлення закономірностей*

формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

24. Плуґин А.Н., Палант Е.В., Плуґин Д.А., Плуґин Ал.А., Борзяк О.С. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 35. С. 25–28. *(Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)*

25. Борзяк О.С., Дудін О.А., Куценко М.Ю., Познякова В.Г. Розробка заходів по захисту штучних споруд залізничного транспорту від електрокорозії під дією змінного струму витoku і високовольтної напруги. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182, С. 28–36. *(Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)*

Публікації у міжнародних періодичних виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

26. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V., Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation. *MATEC Web Conf.* 2017. V. 116, 01001. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

27. Borziak O., Cherpurna S., Zidkova T. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures. *MATEC Web Conf.* 2018. V. 230, 03003. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

28. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Mechanism of a Penetrative Action for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. V. 47. P. 34–41. *(Вивчення впливу мінеральних та*

хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

29. Cherpurna S., Borziak O., Zubenko S. Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. *Materials Science Forum*. 2019. V. 968. P. 82–88. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

30. Borziak O.S., Plugin A.A., Cherpurna S.M. The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 708, 012080. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

31. Kostyuk T., Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 1021, 012016. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

32. Plugin A., Borziak O., Pluhin O., Kostuk T., Plugin D. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020: Proceedings of EcoComfort. 2020. P. 328–335. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

33. Plugin A., Iefimenko A., Borziak O., Gevorkyan E., Pluhin O. Establishing Patterns in the Influence of Microand Nano-dispersed Mineral Additives on The Water Resistance of Construction Gypsum. *Eastern-European Journal of Enterprise*

Technologies. 2021. V. 1/6 (109). P. 22–29. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

Патенти:

34. Композиція проникної дії гідроізоляції та захисту від електрокорозії: Пат. 113600 Україна: МПК (2016.01) С04В 28/00 С04В 41/65 (2006.01) С04В 111/90 (2006.01) С04В 111/20 (2006.01) С04В 111/72 (2006.01); заявл.01.03.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3. 4 с. (Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)

35. Електропровідна шпаклювальна композиція: Пат. 117194 Україна: МПК С04В 28/26 (2006.01), С04В 41/65 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01), С04В 111/26 (2006.01), С04В 111/94 (2006.01); Заявл. 24.03.2017. Опубл. 25.06.2018, Бюл.№12. 3 с. (Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

36. Борзяк О.С., Плугін Д.А. Використання методу інфрачервоної спектроскопії при дослідженні будівельних матеріалів. Тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конфер. (15-17 квітня 2014 р., м. Харків). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. С. 259. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

37. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А. [та ін.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений. Міжнар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (26–28 листопада 2014 р., Харків). Харків: УкрДАЗТ, 2014. С.48. (Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)

38. Плугін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання та їх фізико-хімічні дослідження. Междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (28–29 октября 2015 р., Харьков). Харьков: ХНУСА, 2015. С.39–50. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

39. Борзяк О.С. Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів. 5-а Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (23–24 квітня 2015 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2015. С.34.

40. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Рентгеновские методы исследования строительных материалов: особенности взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллами. Між нар. науково-техн. семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (27-28 жовтня 2016 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2016. С. 105–111. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

41. Борзяк О.С., Плугин А.А. Фізико-хімічні дослідження впливу добавок суперпластифікаторів та прискорювачів твердіння на продукти гідратації портландцементу. 78 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

42. Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А. Про природу явищ, на яких ґрунтується спектральний аналіз будівельних матеріалів. 78 Міжнар. наук.-техн.

конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78–79. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

43. Борзяк О.С., Чайка В.М., Вандоловський С.С. Формування структури дрібнозернистого бетону. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 42–43. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

44. Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б., Матхес К., Борзяк О.С. [та ін.] Шляхи підвищення міцності гіпсових композицій. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С.50–51. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

45. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Високодисперсна крейда як добавка для бетонів. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 78–79. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

46. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Ресурсоенергозберігаючі бетони з добавкою високодисперсної крейди. VII Міжн. наук.-практ. конф. «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (17-18 травня 2018 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2018. С. 164–167. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

47. Cherpurna S.M., Plugin A.A., Borziak O.S. Structure formation of the cement stone in the presence of fine-grained calcite. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. Band 2. P. 479–485. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

48. Plugin A.A., Fisher H.-B., Borziak O.S., Iefimenko A.S. Increasing the Water-Resistance of Gypsum Materials Using Polydisperse Mineral Additives. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. Band 2. P. 549–558. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

49. Борзяк О.С., Чепурна С.М., Жидкова Т.В. [та ін.] Вплив добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості бетонів. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.172. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

50. Калюжна О.В., Борзяк О.С., Плугін А.А., Булгаков В.В. Використання потенціометричних методів для оцінки корозійного впливу добавок на сталеву арматуру залізобетонних конструкцій. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.186. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

51. Савчук Ю.Ю., Плугін А.А., Лютий В.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Дослідження впливу лужного компоненту на фізико-механічні властивості безклінкерних і малоклінкерних гідроізоляційних композицій. 7 Міжнар. наук.-

техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 211. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

52. Плугін А.А., Бабій А.І., Плугін О.А., Борзяк О.С., Калюжна О.В. Вплив умов зберігання на електропровідність бетону. VI Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (20-24 травня 2019 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 320–324. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

53. Борзяк О.С., Плугін А.А., Чепурна С.М. [та ін.] Вплив добавки високодисперсного кальциту на корозійну стійкість цементних композитів. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.137–138. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

54. Трикоз Л.В., Панченко С.В., Бондаренко Д.О., Борзяк О.С., Плугін А.А. Електроповерхневі взаємодії в системі ґрунт-шлак активний мул. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.209–210. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

55. Жигло А.А., Борзяк О.С. Перспективи зниження енерговитрат на виробництво високоміцного гіпсу. Міжнар. наук.-практ. конф. «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (18-19 листопада 2020 р., Харків). Харків: ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2020. С. 72–73. *(Виявлення закономірностей впливу*

кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

56. Костюк Т.О., Вінниченко В.І., Пługін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Створення ресурсо- та енергозберігаючих композицій важких бетонів на основі шлаків. Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергоефективність на транспорті» (18-20 листопада 2020 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 76–77. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

57. Борзяк О.С., Калюжна О.В., Пługін А.А. Вплив добавок-прискорювачів твердіння на захисні властивості бетону щодо сталеві арматури. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (19-20 листопада 2020 р., Харків). Харків: ХНУБА, 2020. С. 9–10. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

Додаткові публікації

58. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом рентгенофазового анализа. *Сборник научных трудов SWorld*. 2014. Вып. 2, Том 17. С. 10–17. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

59. Гасан Ю.Г., Червенко Є.М., Бердник О.В., Борзяк О.С. Вплив поліфункціональної добавки на характер новоутворень та властивості штучного каменю, виготовленого з композиційної гіпсовміщуючої в'язучої речовини. *Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка*. 2011. Вип. 42. С. 56–62. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

60. Пługин А.А., Воронин С.В., Борзяк О.С., Ефименко А.С. Повышение водостойкости гипса добавками микронаполнителей. *Науковий вісник будівництва*. 2016. №2(84). С. 239–242. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

61. Трикоз Л.В., Борзяк О.С., Савчук В.Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип.171. С. 44–52. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

62. Пługин Д.А., Пługин А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2017. №4(90). С. 250–254. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

63. Чепурная С.Н., Пługин А.А., Борзяк О.С. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 1(91). С. 292–298. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

64. Savchuk Y., Plugin A., Lyuty V., Pluhin O., Borziak O. Study of influence of the alkaline component on the physico-mechanical properties of the low clinker and clinkerless waterproof compositions. *MATEC Web Conf.* 2018. V. 230, 03018. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

65. Pluhin O., Plugin A., D. Plugin, O. Borziak, Dudin O. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive

compositions based on mineral binders. *MATEC Web Conf.* 2017. V. 116, 01013. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

66. Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A., Borziak O.S. The Influence of the Molecular Structure of Polyurethane on Vibro– and Electroinsulation Properties of the Tramway Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2020. V. 47. P. 346–353. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

67. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Influence of Storage Conditions on the Electric Conductivity of Concrete. *Materials Science Forum.* 2019. V. 968. P. 50–60. (Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)

68. Trykoz L.V., Panchenko S.V., Bondarenko D.O., Plugin A.A., Borziak O.S. The electric surface interaction in the soil-slag-biological solids system. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019. V. 708, 012110. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

69. Плугін А.А., Плугін А.М., Борзяк О.С. [та ін.] ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна. Київ: ЦП УЗ, 2010. 42 с. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

Відомості про апробацію результатів дисертації

Міжнародна науково-технічна конференція «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 2014) – очна участь;

76-а і 78-а Міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2014, 2016) – очна участь;

Міжнародна науково-практична конференція «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (Харків, 2015) – очна участь;

V-VIII Міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2015, 2017-2019) – очна участь;

Міжнародний науково-технічний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2016) – заочна участь;

VII Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (Одеса, 2018) – заочна участь;

73-я науково-методична конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури (Харків, 2018) – очна участь;

20-а Міжнародна конференція з будівельних матеріалів «20'baustil» (Німеччина, Веймар, 2018) – очна участь;

VI Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 2019) – заочна участь;

XVII International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv - Košice – Rzeszów (Львів, 2019) – очна участь;

Міжнародна науково-практична конференція «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (Харків, 2020) – заочна участь;

Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті» (Харків, 2020) – очна участь;

VIII Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (Харків, 2020) – заочна участь;

International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020 (Львів, 2020) – заочна участь.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд
Південної залізниці



О.Д. Герасименко

11 2012 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідних робіт

від «28» 11 2012 р.

Ми, комісія у складі:

- від служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Південної залізниці
головний інженер Конев В.В.;

- від кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту: зав. кафедри Пługін А.А.; зав. ГНДІ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В.; зав. ГНДІ підрейкових основ і спеціалізабетону Калінін О.А.

склали цей акт в тому, що провели перевірку результатів впровадження науково-дослідних робіт, виконаних кафедрою БМКС УкрДАЗТ у 2010–12 рр. на об'єктах Південної залізниці, наведених в таблиці.

Встановлено, що впровадження виконувалось у складі: обстеження технічного стану будівель, виявлення факторів, що обумовили пошкодження, оцінки їх залишкового ресурсу та прогнозу довговічності за новими методиками, розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту при поточному і капітальному ремонті. Означені розробки проводилися згідно Договорам між структурними підрозділами служби БМЕС Південної залізниці і Українською державною академією залізничного транспорту (табл.). Авторами розробок є: Пługін А.А., Палій В.В., Мірошніченко С.В., Трикоз Л.В., Пługін О.А., Борзяк О.С., Забіяка О.А., Конев О.А., Нестеренко С.Г., Пługін А.М., Калінін О.А., Пługін Д.А., Кас'янов В.В., Партала Н.М.

Реалізація розроблених нових конструктивно-технологічних рішень забезпечує повне відновлення експлуатаційних властивостей означених об'єктів, продовження їх терміну служби. Економічний ефект забезпечується за рахунок менш ма-

теріаломістких і трудомістких конструктивних і технологічних рішень у порівнянні з типовими, що полягають у повній перебудові або перекладенні стін з улаштуванням монолітних залізобетонних поясів, без залучення важкої техніки. Досягнута економія визначена як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними витратами на проведення робіт.

Загальний економічний ефект за період 2010–12 рр. склав 24 712 190 грн. або 8 237 397 грн, на рік.

Таблиця

№	Найменування проведених або запланованих робіт	№ договору	Вартість робіт, грн.		Досягнута або очікувана економія, грн.
			виконаних (запланованих)	за традиційними рішеннями (орієнтовна)	
1	2	3	4	5	6
1	Інженерно-геологічні вивчення на ст. Кислівка Південної залізниці	№86 (6/20-2010) від 22.10.2010	66 050		
2	Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці	№84 (60/4-2010) від 22.10.2010	33 062	7 000 000 ²	5 933 913
	Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці	Заплановано Куп'янським БМЕУ-4 на 2013	1 000 000		
3	Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці	№85 (60/5-2010) від 22.10.2010	34 568	2 500 000 ²	1 932 407
	Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці	Заплановано Куп'янським БМЕУ-4 на 2013	500 000		
4	Інженерно-геологічні вивчення основи будівлі посту ЕЦ ст. Кагамлицька Південної залізниці	№60/6-2011 від 12.08.2011	66 050	15 000 000 ¹	14 387 467
	Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту будівлі посту ЕЦ ст. Кагамлицька Південної залізниці	№6/16-2011 від 12.08.2011	70 445		
	Підсилення кладки стін будівлі посту ЕЦ ст. Кагамлицька Південної залізниці	Виконано Кременчуцьким БМЕУ-7 у 2012	476 038		

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6
5	Інженерно-геологічні випробування основи службово-технічної будівлі ст. Черденички Південної залізниці	№60/7-2011 від 12.08.2011	33 025	3 000 000 ¹	2 458 403
	Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту службово-технічної будівлі ст. Черденички Південної залізниці	№6/17-2011 від 12.08.2011	48 004		
	Відселення кладки стін службово-технічної будівлі ст. Черденички Південної залізниці	Виконано Кременчуцьким БМЕУ-7 у 2012	460 568		
	Всього		2 787 810	27 500 000	24 712 190

1 повна перебудова – знесення існуючої і зведення нової будівлі
2 часткове перекладення стін з улаштуванням залізобетонних поясів



В.В. Конєв



С.В. Мірошніченко



А.А. Плуґін



О.А. Кавінін

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник служби колії
Південної залізниці

І.В. Куриляк

2012 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідних робіт

від « » _____ 2012 р.

Ми, комісія у складі:

- від служби колії Південної залізниці начальник відділу інженерних споруд Курдюков О.В.;
- від кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту: зав. кафедри Плугін А.А.; зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В.; зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецалізобетону Калінін О.А.

склали цей акт в тому, що провели перевірку результатів впровадження науково-дослідних робіт, виконаних кафедрою БМКС УкрДАЗТ у 2006–12 рр. на об'єктах Південної залізниці, наведених в таблиці.

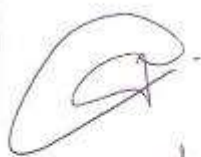
Встановлено, що впровадження виконувалось у складі: обстеження технічного стану споруд; виявлення факторів, що обумовили пошкодження; оцінки їх залишкового ресурсу та прогнозу довговічності за новими методиками; розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту при капітальному ремонті; розробки робочих проектів і проведення ремонтних робіт. Означені розробки проводилися згідно договорам між службою колії Південної залізниці і Українською державною академією залізничного транспорту або її підрозділом – Східноукраїнським науково-інноваційним центром залізничного транспорту (табл.). Авторами розробок є: д.т.н., проф. Плугін А.А., д.х.н., проф. Плугін А.М., к.т.н., доценти Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Плугін Д.А., Трикоз Л.В., Плугін О.А., Борзяк О.С., Лютий В.А., Герасименко О.С., Подтележнікова І.В., Афанасьєв О.В., Горбачова Ю.М., інженери Забіяка О.А., Конєв О.А., Кас'янов В.В., Нестеренко С.Г., Партала Н.М.

В результаті виконання цього комплексу робіт технічний стан означених об'єктів був повністю відновлений (знято обмеження швидкості руху і т.п.), термін служби продовжений. Був досягнутий економічний ефект за рахунок розробки менш матеріаломістких і трудомістких конструктивних і технологічних рішень у порівнянні з типовими, без заміни крупних конструкцій, без залучення важкої техніки і зупинки руху поїздів. Досягнута економія визначена як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними витратами на проведення робіт.

Загальний економічний ефект за період 2006–12 рр. склав 4 273 696 грн. або 712 283 грн. на рік.

Таблиця

№	Найменування проведених робіт	№ договору	Вартість робіт, грн.		Досягнута або очікувана економія, грн.
			виконаних	за традиційними рішеннями (орієнтовна)	
1	Розробка робочого проекту ремонту з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси	П/П-06688/НЮ від 01.03.2006	44 400	1 128 600	786 600
	Ремонт з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси	П/П-061454/НЮ від 03.04.2006	297 600		
2	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 111 км ділянці Харків-Куп'янськ	П/П-062975/НЮ від 25.12.2006	63 000	1 171 000	820 000
	Ремонт водопропускної труби на 111 км ділянці Харків – Куп'янськ	П/П-07587/НЮ від 23.03.2007	288 000		
3	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 365 км ділянці Основа – Букіне	П/П-062974/НЮ від 25.12.2006	90 000	1 580 260	1 094 260
	Ремонт водопропускної труби на 365 км ділянці Основа – Букіне	П/П-07586/НЮ від 23.03.2007	396 000		
4	Ремонт водопропускної труби на 19 км ділянці Харків – Люботин	П/П-071913/НЮ від 15.06.2007 (6/20-2007)	390 000	1 135 700	745 700
5	Робочий проект «Ремонт опор моста на 377 км ділянці Основа – Букіне»	П/П-12616/НЮ від 24.04.2012 (60/3-2012)	111 942	1 186 760	827 136
	Ремонт опор моста на 377 км ділянці Основа – Букіне	Робота у плані капремонту	247 682		
Всього			1 928 624	6 202 320	4 273 696



О.В. Курдюков



С.В. Мірошніченко



А.А. Плуґін



О.А. Калінін

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи Української
державної академії залізничного транспорту

д.т.н., проф. Д.В.Ломотько

2012 р.

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 5

засідання кафедри «Будівельні матеріали, конструкції та споруди»
Української державної академії залізничного транспорту

28 листопада 2012 р.

ПРИСУТНІ: 25 чол.

СЛУХАЛИ:

Зав. кафедри, проф. Пługін А.А. про розподіл особистого внеску членів кафедри в загальний економічний ефект, одержаний у 2006–2012 рр. замовниками науково-дослідних робіт від використання матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, розроблених на кафедрі.

УХВАЛИЛИ:

Розподілити особистий внесок в одержаний загальний економічний ефект таким чином:

№	Найменування робіт	П.І.Б.	Особистий внесок	
			%	грн.
1	2	3	4	5
1	Розробка робочого проекту ремонту з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси Ремонт з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси (2006 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	12	94 392
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	12	94 392
		К.т.н., доц. Міроніченко С.В.	11	86 526
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	11	86 526
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	11	86 526
		К.т.н., доц. Борзак О.С.	11	86 526
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	9	70 794
		К.т.н., доц. Никитинський А.В.	8	62 928
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	8	62 928
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	7	55 062
	Всього по об'єкту		786 600	
2	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 111 км ділянки Харків – Куп'янськ Ремонт водопропускної труби на 111 км ділянки Харків – Куп'янськ (2007 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	21	172 200
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	18	147 600
		К.т.н., доц. Міроніченко С.В.	11	90 200
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	11	90 200
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	82 000
		К.т.н., доц. Борзак О.С.	8	65 600
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	7	57 400
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	7	57 400
		Ас. Романенко О.В.	3	24 600
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	2	16 400
К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	2	16 400		
	Всього по об'єкту		820 000	

1	2	3	4	5
3	Розробка робочого проєкту ремонту водопропускної труби на 365 км дільниці Основа – Букіне Ремонт водопропускної труби на 365 км дільниці Основа – Букіне (2007 р.)	Д.х.н., проф. Плуґін А.М.	15	164 139
		Д.т.н., проф. Плуґін А.А.	12	131 311
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	109 426
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	109 426
		К.т.н., доц. Плуґін Д.А.	10	109 426
		К.т.н., доц. Плуґін О.А.	10	109 426
		К.т.н., доц. Борзак О.С.	7	76 598
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	5	54 713
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	4	43 770
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	4	43 770
		К.т.н. Дудін О.А.	4	43 770
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	3	32 828
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	3	32 828
		Ас. Романенко О.В.	3	32 828
	Всього по об'єкту		1 094 260	
4	Ремонт водопропускної труби на 19 км дільниці Харків – Люботин (2007 р.)	Д.х.н., проф. Плуґін А.М.	15	111 855
		Д.т.н., проф. Плуґін А.А.	12	89 484
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	74 570
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	74 570
		К.т.н., доц. Плуґін Д.А.	10	74 570
		К.т.н., доц. Плуґін О.А.	10	74 570
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	5	37 285
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	5	37 285
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	5	37 285
		К.т.н. Дудін О.А.	5	37 285
		Ас. Романенко О.В.	4	29 828
		К.т.н., доц. Борзак О.С.	3	22 371
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	3	22 371
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	3	22 371
	Всього по об'єкту		745 700	
5	Робочий проєкт «Ремонт опор моста на 377 км дільниці Основа – Букіне» Ремонт опор моста на 377 км дільниці Основа – Букіне (2012 р.)	Д.т.н., проф. Плуґін А.А.	10	82 714
		Д.х.н., проф. Плуґін А.М.	10	82 714
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	8	66 171
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	8	66 171
		К.т.н., доц. Плуґін Д.А.	8	66 171
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	8	66 171
		К.т.н., доц. Плуґін О.А.	8	66 171
		К.т.н., доц. Борзак О.С.	8	66 171
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	7	57 900
		Асп. Забіяка О.А.	5	41 357
		Асп. Конєв О.А.	5	41 357
		Асп. Кас'янов В.Б.	5	41 357
		Асп. Несстеранко С.Г.	5	41 357
		Асп. Паргала Н.М.	5	41 357
	Всього по об'єкту		827 136	

1	2	3	4	5
6	Капітальний ремонт шляхо- проводу №26 на перегоні Са- ртана – Північна ВАТ МК «Азовсталь» (2007 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	3 572
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	3 572
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	3 572
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	3 215
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	3 215
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	9	3 215
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	3 215
		Ас. Романенко О.В.	9	3 215
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	8	2 858
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	8	2 858
		К.т.н. Дудін О.А.	5	1 786
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	4	1 429
		Всього по об'єкту		
7	Розробка безпронаривальної технології виробництва залі- зобетонних шпал на підпри- ємстві ТОВ «ТД Україна Промресурс» (2009 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	12	144 768
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	12	144 768
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	11	132 704
		Ас. Романенко О.В.	11	132 704
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	120 640
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	10	120 640
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	120 640
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	5	60 320
		К.т.н. Дудін О.А.	5	60 320
		Асп. Конєв О.А.	5	60 320
		Асп. Забіяка О.А.	5	72 384
		Ас. Корнієнко І.Г.	4	36 192
		Всього по об'єкту		
8	Інженерно-геологічні вишу- кування на ст. Кислівка Пів- денної залізниці Обстеження і розробка пред- проектних рішень будівлі вок- залу ст. Кислівка Південної залізниці Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної заліз- ниці (2011 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	593391
		Інж. Палій В.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	9	534052
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	534052
		Інж. Забіяка О.А.	4	237357
		Асп. Конєв О.А.	4	237357
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	178017
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	593391
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	534052
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	9	534052
		Асп. Кас'янов В.В.	3	178017
		Асп. Паргала Н.М.	3	178017
		Всього по об'єкту		

1	2	3	4	5
9	Інженерно-геологічні вишукування на ст. Кислівка Південної залізниці Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці (2011 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	193241
		Інж. Палій В.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	9	173917
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	173917
		Інж. Забіяка О.А.	4	77296
		Асп. Конєв О.А.	4	77296
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	57972
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	193241
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	173917
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	9	173917
		Асп. Кас'янов В.В.	3	57972
Асп. Партала Н.М.	3	1 932 407		
10	Інженерно-геологічні вишукування основи будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці Підсилення кладки стін будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці (2012 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	1438747
		Інж. Палій В.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	9	1294872
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	1294872
		Інж. Забіяка О.А.	4	575499
		Асп. Конєв О.А.	4	575499
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	431624
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	1438747
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	1294872
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	9	1294872
		Асп. Кас'янов В.В.	3	431624
Асп. Партала Н.М.	3	431624		
	Всього по об'єкту		14 387 467	
11	Інженерно-геологічні вишукування основи службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці Підсилення кладки стін службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці (2012 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	245 840
		Інж. Палій В.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	9	221 256
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	221 256
		Інж. Забіяка О.А.	4	98 336
		Асп. Конєв О.А.	4	98 336
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	73 752
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	245 840
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	221 256
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	9	221 256
		Асп. Кас'янов В.В.	3	73 752
Асп. Партала Н.М.	3	73 752		
	Всього по об'єкту		2 458 403	
	Всього по об'єктам		30 570 012	

Голова засідання
зав. кафедри д.т.н., проф.

Секретар



А.А. Пługін

С.Г. Нестеренко

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ФОП Гмиря О.В. (Харків)



Гмиря О.В.

« 23 » травня

2017 р.

АКТ

23 травня 2017 р.

м. Харків

Про впровадження результатів дисертаційної роботи**«БЕТОНИ ПІДВИЩЕНОЇ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ ТА
КОРОЗИЙНОЇ СТІЙКОСТІ З ДОБАВКОЮ ВИСОКОДИСПЕРСНОЇ
КРЕЙДИ»**

виконаний асистентом кафедри міського будівництва Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова
Чепурною Світлоною Миколаївною

Цей акт складений:

Голова: Головний інженер ФОП Гмиря О.В. Гриценко Олексій
Володимирович

Члени комісії: науковий керівник к.т.н., доцент Борзяк Ольга Сергіївна,
к.т.н., доц. Жидкова Тетяна Володимирівна, асистент Чепурна
Світлана Миколаївна

У період з 15 по 22 травня 2017 комісія провела роботу з визначення практичного упровадження результатів дисертаційної роботи «Бетони підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди» та встановили наступне:

1. Розробка виконана згідно з затвердженою програмою та прийнята до впровадження 22 травня 2017 р.

2. Характеристика упровадження. Згідно з проведеними дослідженнями водонепроникності та корозійної стійкості бетонів з добавкою високодисперсної крейди були виконані роботи з улаштування вхідного вузла при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку за адресою пр. Олександрівський, 67. Площа улаштування сходів та вхідного майданчику становить 25 м².

3. Характеристика результатів впровадження та їх оцінка.

Конструкції сходів вхідного вузла піддаються впливу атмосферних опадів, а використання бетону з добавкою високодисперсної крейди дозволило поліпшити експлуатаційні характеристики сходів вхідного вузла. Крім того, дозволило зменшити витрати цементу на 20%.

4. Висновки та пропозиції щодо подальшого використання розробки.

Бетони з добавкою високодисперсної крейди рекомендується використовувати при експлуатації будівель та споруд, які піддаються впливу агресивних поверхневих вод, зокрема снігу, дощу.

Голова комісії



О.В. Гриценко

Члени комісії



О.С. Борзяк



Т.В. Жидкова

С.М. Чепурна

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ФОП Гмиря О.В. (Харків)



Гмиря О.В.

2017 р.

АКТ

16 березня 2017 р.

м. Харків

Про впровадження результатів дисертаційної роботи

**«БЕТОНИ ПІДВИЩЕНОЇ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ ТА
КОРОЗИЙНОЇ СТІЙКОСТІ З ДОБАВКОЮ ВИСОКОДИСПЕРСНОЇ
КРЕЙДИ»**

виконаний асистентом кафедри міського будівництва Харківського
національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова
Чепурною Світланою Миколаївною

Цей акт складений:

Голова: Головний інженер ФОП Гмиря О.В. Гриценко Олексій
Володимирович

Члени комісії: науковий керівник к.т.н., доцент Борзяк Ольга Сергіївна,
к.т.н., доц. Жидкова Тетяна Володимирівна, асистент Чепурна
Світлана Миколаївна

У період з 1 по 15 березня 2017 комісія провела роботу з визначення
практичного упровадження результатів дисертаційної роботи «Бетони
підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою
високодисперсної крейди» та встановили наступне:

1. Розробка виконана згідно з затвердженою програмою та прийнята
до впровадження 16 травня 2017 р.

2. Характеристика упровадження. Згідно з проведеними
дослідженнями водонепроникності та корозійної стійкості бетонів з
добавкою високодисперсної крейди були виконані роботи з улаштування
монолітних ділянок при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку
за адресою пр. Олександрівський, 67. Площа улаштування монолітних
ділянок становить 35 м².

3. Характеристика результатів впровадження та їх оцінка.

Використання бетону з добавкою високодисперсної крейди дозволило поліпшити фізико-механічні характеристики покриття, зокрема водонепроникність. Крім того, дозволило зменшити витрати цементу на 20% та придати привабливий вид.

4. Висновки та пропозиції щодо подальшого використання розробки.

Бетони з добавкою високодисперсної крейди рекомендується використовувати при експлуатації будівель та споруд, які піддаються впливу агресивних поверхневих та підземних вод.

Голова комісії

Члени комісії



О.В. Гриценко



О.С. Борзяк



Т.В. Жидкова



С.М. Чепурна

Міністерство інфраструктури України
Українська державна академія залізничного транспорту

Узгоджено:

Начальник Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці

В.В. Палій
« » _____ 2011 р.

Затверджую:
Проректор академії з наукової роботи
д.т.н., проф. 
Д.В. Ломотко
« » _____ 2011 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ
на електрифікованих ділянках залізниць

Перший заступник Начальника
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці

М.І. Петрашук
« » _____ 2011 р.

Зав. кафедри БМКС
д.т.н., проф. 
А.А. Плугін
« » _____ 2011 р.

Науковий керівник
д.х.н., проф. 
А.М. Плугін
« » _____ 2011 р.

Зав. ГНДЛ КЗККСЗ
к.т.н., доц. 
С.В. Мірошніченко
« » _____ 2011 р.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Українська державна академія залізничного транспорту

Узгоджено:

Перший заступник начальника
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці



М.І. Петрашук

2012 р.

Затверджую:

Проректор УкрДАЗТ
з наукової роботи

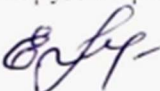


Д.В. Ломотко

2012 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів

Начальник управління
експлуатації і водопостачання
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці

 С.Г. Шур
« » _____ 2012 р.

Зав. кафедри БМКС

д.т.н., проф.  А.А. Плугін
« » _____ 2012 р.

Науковий керівник

д.х.н., проф.  А.М. Плугін
« » _____ 2012 р.

Зав. ГНДЛ ПОСЗБ

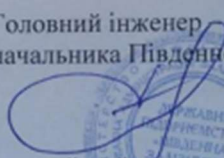
к.т.н., доц.  О.А. Калінін
« » _____ 2012 р.

Харків 2012

Міністерство інфраструктури України
 Державне підприємство «Південна залізниця»
 Український державний університет залізничного транспорту

Затверджую:

Головний інженер, перший заступник
 начальника Південної залізниці


 О.Д. Герасименко

« » 2015 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витoku з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах

Узгоджено:

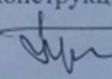
Начальник служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Південної залізниці


 В.І. Канівець

« » 2015 р.

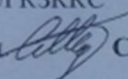
Розроблено:

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

д.т.н., проф.  А.А. Плуґін

« » 2015 р.

Зав. ГНДІ КЗККС

к.т.н., доц.  С.В. Мірошніченко

« » 2015 р.

Харків 2015



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113600** (13) **C2**

(51) МПК (2016.01)

C04B 28/00

C04B 41/65 (2006.01)

C04B 111/90 (2006.01)

C04B 111/20 (2006.01)

C04B 111/72 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

- (21) Номер заявки: а 2016 02005
 (22) Дата подання заявки: 01.03.2016
 (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.02.2017
 (41) Публікація відомостей про заяву: 11.07.2016, Бюл.№ 13
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2017, Бюл.№ 3

- (72) Винахідник(и):
 Плугін Андрій Аркадійович (UA),
 Костюк Тетяна Олександрівна (UA),
 Прошин Олег Юрійович (UA),
 Плугін Олексій Андрійович (UA),
 Бондаренко Дмитро Олександрович (UA),
 Касьянов Володимир Володимирович (UA),
 Борзяк Ольга Сергіївна (UA),
 Конев Віталій Васильович (UA)
- (73) Власник(и):
 УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
 ТРАНСПОРТУ,
 пл. Фейербаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)
- (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
 UA 73395 C2, 15.07.2005
 UA 103280 C2, 25.09.2013
 SU 270581 A1, 10.04.1982
 RU 2185911 C1, 27.04.2001
 US 6855199 B1, 15.02.2005
 CN 1092048 A, 14.09.1994
 CN 1483699 A, 24.03.2004
 CN 104860804 A, 26.08.2015
 KR 20100012495 A, 08.02.2010

UA 113600 C2

(54) КОМПОЗИЦІЯ ПРОНИКНОЇ ДІЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі виробництва атмосферостійких водонепроникних будівельних матеріалів, застосовуваних для ремонтних і будівельних робіт. Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії містить: цемент, пісок кварцовий, нітрат натрію, кальцеву сіль слабкої неорганічної кислоти, хлорид кальцію, сульфат натрію, карбонат натрію, гідроксид кальцію або карбід кальцію, перетворювач іржі, інгібітор корозії, пластифікатор та графітовий наповнювач при визначеному співвідношенні компонентів. Покриття з композиції має високі показники фізико-механічних властивостей і водонепроникності та, одночасно, невисокий електричний опір, що забезпечує можливість застосування покриття як гідроізоляційного та додатково як заземленого екрана для захисту від електрокорозії.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117194** (13) **C2**

(51) МПК

C04B 28/26 (2006.01)**C04B 41/65** (2006.01)**C04B 111/20** (2006.01)**C04B 111/26** (2006.01)**C04B 111/94** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 02778

(22) Дата подання заявки: 24.03.2017

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.06.2018

(41) Публікація відомостей про заяву: 10.08.2017, Бюл.№ 15

(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2018, Бюл.№ 12

(72) Винахідник(и):

Плугін Андрій Аркадійович (UA),

Плугін Олексій Андрійович (UA),

Касьянов Володимир Володимирович (UA),

Борзяк Ольга Сергіївна (UA),

Конєв Віталій Васильович (UA),

Савчук Юлія Юріївна (UA),

Костюк Тетяна Олександрівна (UA),

Бондаренко Дмитро Олександрович (UA)

(73) Власник(и):

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ,

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:

UA 113600 C2, 10.02.2017

RU 2291130 C1, 10.01.2007

US 4806272 A, 21.02.1989

JP 2007039328 A, 15.02.2007

CN 101792287 A, 04.08.2010

CN 104829202 A, 12.08.2015

(54) ЕЛЕКТРОКРОПРОВІДНА ШПАКЛЮВАЛЬНА КОМПОЗИЦІЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до технології виробництва будівельних матеріалів, а саме стосується речовин антикорозійного призначення, що застосовуються в специфічних умовах, в тому числі для захисту бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій від руйнівного впливу струмів витоку та блукаючих струмів. Електропровідна шпаклювальна композиція містить, мас. %: скло рідке натрієве - 26-27, натрій кремнійфтористий - 5-6, шлак доменний гранульований тонкомелений - 6,5-33, порошок графітовий - 34-58, добавку суперпластифікатора - сульфонафталінформальдегіду сухого - 2-2,5. Композиція, нанесена як покриття, забезпечує захист будівель і споруд від корозійного та електрокорозійного руйнування.

UA 117194 C2

УЗГОДЖЕНО:

Головний інженер структурного
підрозділу
ПАТ «Укрзалізниця»


В.В. Конєв
« 7 » грудня 2017 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ВАТ «Віа-Телос»



Т.В. Губіна
« 8 » грудня 2017 р.



ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ

виробництва суміші електропровідної композиції
проникної дії для гідроізоляції і захисту від електрокорозії
залізобетонних конструкцій з вказівками із застосування

РОЗРОБЛЕНО:

Зав. кафедри будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд, Українського державного
університету залізничного транспорту

д.т.н., проф. А.А. Пługін

« 7 » грудня 2017 р.

Зав. кафедри будівельних матеріалів та виробів
Харківського національного університету
будівництва та архітектури

д.т.н., проф. Т.О. Костюк

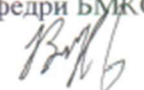
« 7 » грудня 2017 р.

Докторант кафедри будівельної механіки
та гідравліки УкрДУЗТ

к.т.н., доц. О.А. Пługін

« 7 » грудня 2017 р.

Мол. наук. співроб. кафедри БМКС



В.В. Касьянов
« 7 » грудня 2017 р.

Харків 2017

УЗГОДЖЕНО:
 Проректор з наукової роботи
 Українського державного університету
 залізничного транспорту
 д.т.н., проф. Г.Л. Вагуля
 «24» листа 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Директор ВАТ «Віа-Телос»
 Т.В. Губіна
 «25» листа 2018 р.

АКТ

виготовлення дослідних партій електропровідних композицій
 для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії

м. Харків

24.01.2018

Ми, що підписалися нижче, директор ВАТ «Віа-Телос» Губіна Т.В. та Пługін А.А., Костюк Т.О., Прошін О.Ю., Пługін О.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Бондаренко Д.О., Борзяк О.С., Савчук Ю.Ю. – автори розробок:

- електропровідна композиція проникної дії на основі портландцементу для гідроізоляції та захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (патент на винахід 113600 UA);

- електропровідна шпаклювальна композиція на основі силікату натрію для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (заявка на винахід № а2017 02778),

склали цей акт про те, що у січні 2018 р. ВАТ «Віа-Телос» (м. Харків) було виготовлено дослідні партії:

- композиції за патентом 113600 UA – в кількості 500 кг;

- композиції за заявкою на винахід № а2017 02778 – в кількості 500 кг.

Дослідні партії композицій призначені для дослідного ремонту з захистом від електрокорозії заземленими екранами-покриттями опор високої пасажирської платформи з.п. Високий Південної залізниці, обраних для такого ремонту актом від 18.10.2017.

Від ВАТ «Віа-Телос»
 Т.В. Губіна

Від авторів:
 А.А. Пługін
 Т.О. Костюк
 О.Ю. Прошін

О.А. Пługін
 В.В. Касьянов
 В.В. Конєв
 Д.О. Бондаренко
 О.С. Борзяк
 Ю.Ю. Савчук

УЗГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи
Українського державного
університету залізничного
транспорту
Д.Т.Н. проф. Г.Л. Ватуля
«12» 11 2020 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник Харківського
територіального управління філії
«Центр будівельно-монтажних робіт
та експлуатації будівель та споруд»
АТ «Укрзалізниця»
Д.В. Борисенко
«12» 11 2020 р.



АКТ

впровадження захисту конструкцій високих пасажирських платформ
від електрокорозії заземленими екранами-покриттями
із електропровідних композицій

м. Харків

12.11.2020

Ми, що підписалися нижче, головний інженер Харківської дирекції філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд» АТ «Укрзалізниця» Конєв В.В., зав. кафедри залізничної колії і транспортних споруд УкрДУЗТ Пругін А.А., зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ Пругін Д.А. склали цей акт про те, що 12.11.2020 здійснили перевірку результатів дослідного експерименту і дослідно-промислового впровадження захисту конструкцій високих пасажирських платформ від електрокорозії заземленими екранами-покриттями:

- із електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу для гідроізоляції та захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (патент на винахід 113600 UA);
- із електропровідної шпаклювальної композиції на основі силікату натрію для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (заявка на винахід № а2017 02778).

Впровадження здійснено на високій пасажирській платформі з.п. Комарівка ділянки Харків–Мерефа РФ «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» силами Харківського територіального управління філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд» АТ «Укрзалізниця». З.п. Комарівка розташована між з.п. Високий і Артемівка ділянки Харків–Мерефа РФ «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та є однотипною з ними.

Роботи виконано 04-11.11.2020.

У складі впровадження на чотири опори нанесено:

- 1) екран із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача та без заземлення;
- 2) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем без заземлення;
- 3) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем із заземленням;
- 4) екран із композиції на основі силікату натрію з графітовим наповнювачем із заземленням.

В.В. Конев



А.А. Плуґін



Д.А. Плуґін




ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Директор ТОВ «Віа - Телос»,
 Т.В. Губіна

« » 2017 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських та технологічних робіт у вищих навчальних закладах

Дійсним актом підтверджується, що результати роботи
Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками
(назва роботи)

виконаній в Українському державному університеті залізничного транспорту (УкрДУЗТ)
(назва вищого навчального закладу)

впроваджено на підприємстві ТОВ «Віа - Телос» м. Харкова
(назва підприємства, де здійснено впровадження)


1. Вид впроваджених результатів: рецептура на сухі суміші
(вироби, технології)
2. Характеристика масштаба впровадження: партія
(одиничне, партія, масово, серійно)
3. Форма впровадження: сухі суміші
4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: забезпечена патентами України на винахід
(якісно нове, модифікація, модернізація старих розробок)
5. Економічний ефект: 12,5 грн/м² (дванадцять грн. 50 копійок на один кв.метр)
(цифрами та прописом)
6. Соціальний та екологічний ефект: використання водонепроникних та корозійностійких сухих сумішей дає можливість застосовувати їх для захисту будівельних конструкцій від корозії та зносу, що підвищує термін дії конструкцій.

Від УкрДУЗТ:

керівник теми д.т.н., проф. УкрДУЗТ

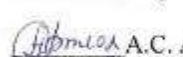
 А.А. Плуґін

відповідальний виконавець к.т.н.,
 доц. УкрДУЗТ


 О.С. Борз'як

Від підприємства

Начальник виробничої ділянки

 А.С. Артюх

Старший бухгалтер

 Л.А. Бараннікова

Утверждаю:



Зам. директора по производству
ТД «Украина Промресурс»

В.А. Мирошкин

22.09.2011 г.

АКТ

внедрения результатов исследований по разработке
беспропарочной технологии производства железобетонных шпал
на предприятии ТД «Украина Промресурс»

от 22.09.2011

г. Кременчуг

Составлен комиссией в составе:

- от ТД «Украина Промресурс» – главный технолог Бовт Г.Н.;
- от кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинской государственной академии железнодорожного транспорта: зав. кафедрой д.т.н., проф. Плугин А.А.; зав. ГНДЛ подрельсовых оснований и спецжелезобетона к.т.н., доц. Калинин О.А.; зав. ГНДЛ коррозии и защиты от коррозии конструкций и сооружений железных дорог к.т.н., доц. Мирошниченко С.В.; ас. Романенко О.В.

о том, на предприятии ТД «Украина Промресурс» изготовлена опытная партия железобетонных шпал Ш-1-1 по беспропарочной технологии, разработанной в УкрГАЗТ.

Опытная партия железобетонных шпал Ш-1-1 изготовлена в августе 2009 г. в качестве внедрения результатов исследований, выполненных кафедрой СМКС УкрГАЗТ в инициативном порядке, а также в соответствии с планом НИОКР «Укрзалізниці» в составе научно-исследовательской работы «Проведення досліджень та розробка рекомендацій по застосуванню пластифікаторів та прискорювачів твердіння при виготовленні залізобетонних шпал та плит безбаластного мостового полотна» (№ 5/07-ЦТех-344/07-ЦЮ от 30.03.2007).

Соавторы разработки: д.х.н., проф. Плугин А.Н., д.т.н., проф. Плугин А.А., к.т.н., доц. Калинин О.А., к.т.н., доц. Мирошниченко С.В., к.т.н., доц. Плугин Д.А., ас. Романенко А.В., к.т.н. Плугин Ал.А., к.т.н. Борзяк О.С., ас. Дудин А.А., асп. Корниенко И.Г., асп. Конев А.А., асп. Забияка А.А.

Объем опытной партии шпал – 20 шт. (2 формы по 10 шт.).

Беспропарочная технология производства железобетонных шпал (с естественным твердением бетона шпал без тепловлажностной обработки) обеспечена за счет применения бетона оптимального состава (с оптимальными значениями коэффициентов раздвижки зерен щебня α_{opt} и песка μ_{opt} , а также водоцементного отношения B/C_{opt}) и комплексной химической добавки суперпластификатора нафталин-формальдегидного СП-1 в количестве 0,45 % от массы цемента и ускорителя хлорида кальция в количестве 1 % от массы цемента.

При приготовлении бетонной смеси добавки вводили отдельно – сначала водный раствор суперпластификатора СП-1, затем ускорителя хлорида кальция.

Контрольные образцы бетона в виде кубов с размером ребра 100 мм в количестве 12 шт. (по 6 шт. на каждую форму) изготавливали одновременно со шпалами.

После укладки и уплотнения бетонной смеси формы со шпалами и контрольные образцы бетона помещали в пропарочную камеру, температура в которой составляла 36°C. Шпалы и образцы выдерживали в камере без подачи пара в течение 16 часов.

Через 16 часов контрольные образцы испытали на прочность при сжатии, шпалы распалубили и 10 из них (по 5 с каждой формы) испытали на трещиностойкость.

В течение 6 месяцев после изготовления образцы бетона подвергли испытанию на морозостойкость и измерили электрическое сопротивление шпал в дождливую погоду. Электрическое сопротивление шпал измеряли в под рельсовом сечении шпалы цифровым мультиметром, прикладывая электроды в виде пропитанной раствором медного купороса губки к боковым граням шпалы.

Результаты испытаний образцов бетона на прочность, шпал – на трещиностойкость и электрическое сопротивление представлены в табл.1-3. Испытания образцов бетона на морозостойкость показали соответствие марке F200.

После 16 часов естественного твердения прочность бетона опытной партии шпал составила 38,8-40,9 МПа, что соответствует нормативному требованию к передаточной прочности не менее 32 МПа, трещиностойкость шпал и морозостойкость бетона соответствует нормативным требованиям, а электрическое сопротивление шпал опытной партии в неблагоприятных условиях (в дождливую погоду) не менее электрического сопротивления стандартных шпал (в исследованной выборке больше на 37 %).

По состоянию на 22.09.2011 шпалы опытной партии отгружены потребителю.

Расчетный экономический эффект от внедрения беспропарочной технологии составит 3,54 грн. на одной шпале и 1206,402 тыс. грн. в год при годовом выпуске 300 тыс. шпал (расчет прилагается).

Таблица 1

Прочность бетона на сжатие
через 16 часов естественного твердения

№ формы	№ образца	Прочность бетона на сжатие R, МПа	
1	2	3	
1	1	36,4	38,8
	2	38,2	
	3	39,4	

Окончание табл. 1

1	2	3	
2	1	37,7	40,9
	2	40,6	
	3	41,1	

Таблица 2

Результаты испытания шпал на трещиностойкость

№ формы	№ шпалы	Результаты испытания сечения шпалы контрольным усилием			Сорт шпалы
		Подрельсового левого, 13,2 тс	Подрельсового правого, 13,2 тс	Среднего, 10,5 тс	
1	1	Без трещин	Без трещин	Без трещин	I
	2	«	«	«	I
	3	«	«	«	I
	4	«	«	«	I
	5	«	«	«	I
2	6	«	«	«	I
	7	«	«	«	I
	8	«	«	«	I
	9	«	«	«	I
	10	«	«	«	I

Таблица 3

Электрическое сопротивление шпал в дождливую погоду

Шпалы	№ шпалы	Электрическое сопротивление, кОм			Средн.
		1 измер.	2 измер.	Средн.	
Опытной партии	1	25	40	32,5	19,2
	2	5	15	10,0	
	3	10	20	15,0	
Стандартная	–	8	20	14,0	

От ТД «Украина Промресурс»

Г.Н. Бовт

От УкрГАЗТ

А.А. Плугин

О.А.Калинин

С.В. Мирошниченко

А.В. Романенко

Расчет экономии от замены тепловлажностной обработки железобетонных шпал комплексной добавкой в ценах начала 2009 г.

Показатель	Ед. изм.	Величина
Расход газа на 1 м ³ бетона	м ³	32
Кол-во шпал из 1 м ³ бетона	шт.	10
Расход газа на 1 шпалу	м ³	3,2
Цена 1000 м ³ газа	грн.	2626,50
Курс долл.	грн.	
Цена 1 м ³ газа	грн.	2,63
Стоимость газа на 1 шпалу	грн.	8,40
Состав бетона		
Расход цемента на 1 м ³	кг	460
С-3/Ц	%	0,45
ХК/Ц	%	1
Расход СП-1 на 1 м ³ бетона	кг	2,76
Расход ХК на 1 м ³ бетона	кг	4,60
Расход СП-1 на 1 шпалу	кг	0,28
Расход ХК на 1 шпалу	кг	0,46
Цена СП-1 за 1 кг	грн.	7,50
Цена ХК за 1 кг	грн.	2,50
Ориентировочный расход газа на предварительный подогрев камеры	%	10
Стоимость добавок на 1 шпалу	грн.	3,54
Расчетная экономия на 1 шпале	грн.	4,02
Проектная мощность производства	тыс. шпал	1700
Расчетная экономия в год для проектной мощности производства	грн.	6836278
Фактический годовой выпуск шпал	тыс. шпал	300
Расчетная экономия в год	грн.	1206402


От ТД «Украина Промресурс»

 Любченко О.В.

От УкрГАЗТ

 А.А. Плугин

 О.А. Калинин

 С.В. Мирошниченко

 А.В. Романенко

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Голова правління
ПрАТ «Гніванський завод
спеціалізобетону»

О.С.Лазанюк

« » 2014 р.

АКТ

від 18.12.2014

м. Гнівань

складений комісією у складі: від ПрАТ «Гніванський завод спеціалізобетону» – головного технолога Бабія А.І. (голови комісії), від Української державної академії залізничного транспорту – зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Пługіна А.А., від Київського національного технічного університету будівництва і архітектури – професора кафедри технології будівельних конструкцій та виробів Рунової Р.Ф. в тому, що у вересні–листопаді 2014 р. на Гніванському ЗСЗБ були проведені виробничі дослідження з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал, у складі яких в період з 24.09 по 14.10.2014 було виготовлено серії зразків бетону дослідних складів, а 22.10.2014 – дослідні партії шпал у кількості 4 по 8 шт. кожна із складів №№ 35; 37; 38; 39. Склади бетону і результати випробувань серій зразків бетону і дослідних партій шпал наведені у табл.1, 3, режими твердіння зразків бетону і шпал – у табл.2.

Голова комісії

А.І.Бабій



Члени комісії:

А.А.Плугін



Р.Ф.Рунова



Кінець табл.1

№	Назва	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
																																					36	37
19	Оптим448	11,464	1,146	0,42	4,196	3,942	0,925																															
20	Оптим448-НН1	11,464	1,146	0,42	4,196	3,942	0,874	47,3	89,8	90,9	0,96	0,301	0,268	448	187,7																							
21	Оптим448-МК*	11,464	1,146	0,42	4,196	3,942	0,874	47,3	89,8	90,9	1,15	0,349	0,268	448	130,7																							
22	Оптим448*	11,464	1,146	0,42	4,196	3,942	0,852		15,8	80,8	90,9	1,06	0,326	0,268	448	120,5																						
23	Оптим448+МК*	11,464	1,146	0,42	4,196	3,942	0,852		15,8	80,8	90,9	1,19	0,359	0,268	448	135,2																						
24	Оптим467	10,463	1,046	0,474	4,744	4,110	1,148					1,285	0,368	0,312	467	146	$N_f=2; D_f=0,04$																					
25	Оптим467*	10,463	1,046	0,474	4,744	4,110	1,066	49,3	93,6	94,8	1	0,299	0,312	467	113,6																							
26	Оптим496*	11,175			4,808	4,361	1,381	56,7	99,3	100,6	1,11	0,362	0,301	496	126,1																							
27	Оптим496*	11,175			4,808	4,361	1,381		17,4	99,3	100,6	1,19	0,321	0,301	496	135,2																						
28	Оптим496*	11,175			4,808	4,361	1,447					1,47	0,385	0,301	496	167																						
29	Оптим496*	11,675			5,321	4,178	0,825	50,1	95,2	96,4	1,09	0,314	0,313	475	123,9																							
30	Оптим496*	11,675			5,321	4,178	0,855		16,7	95,2	96,4	1,14	0,326	0,313	475	129,5																						
31	Оптим475	11,875			5,321	4,178	0,918					1,43	0,396	0,313	475	162,5																						
32	Завод450*	10,89	0,900	0,864	4,482	4,050	1,268	52,7	94,19	93,4	1,12	0,336	0,312	450	127																							
33	Завод450*	10,89	0,900	0,864	4,482	4,050	1,268		16,2	94,19	93,4	1,21	0,359	0,312	450	138																						
34	Завод450	10,89	0,900	0,864	4,482	4,050	1,268					1,46	0,420	0,312	450	166																						
35	Завод450*	1210	100	96	498	450	111	5856	10466	10378	105	0,293	0,312	450	105																							
36	Економ400+ПК+НН	1226	100	178	495	400	121	1600	9111																													
37	Економ380*	1226	100	178	495	380	127	2800	9111	19000	110	0,369	0,337	380	119																							
38	Оптим496*	1270			546	496	123	1977	11432																													
39	Економ400+ПК+НН	1226	100	178	495	400	139	1600	6456																													
К	Завод435																																					
К	Завод435																																					

* Вологість за масою W; Ш_{с-ш} – 1%; Ш_{с-ю} – 1%; ГВ – 4%; П – 2%

† 01.10.2014 і 13.10.2014 середня густина і міцність на стиск у віці 8 і 9,5 год, 22.10.2014 – 10 і 12 год (замість 8 і 10 год)

‡ у чисельнику міцність на стиск за результатами випробування зразків-кубів, у знаменнику – визначена неруйнівним методом за допомогою електронного вимірювача міцності бетону ИПС-МГ.03 виробництва ТОВ «СКБ «Стройрибор» (м. Чельобіськ)

§ Щодня із бетону всіх серій випробування на тріщинистість без розкриття тріщин

Режими тепловологісної обробки серій зразків бетону і шпал

Таблиця 2

Дата	Время		T, °C	Вырачено до 8 год. тепло, град·год	Режим факт.	
	Начало	Конец				
24.09.14	12:00	0	0	15	238	ТВО42(2+3+3)
	13:00	1:00	1,0	15		
	14:00	2:00	2,0	15		
	15:00	3:00	3,0	22		
	16:00	4:00	4,0	30		
	17:00	5:00	5,0	40		
	18:00	6:00	6,0	42		
	19:00	7:00	7,0	44		
	20:00	8:00	8,0	45		
	21:00	9:00	9,0	38		
	21:30	9:30	9,5	38		
	22:00	10:00	10,0	38		
25.09.2014	11:30	0:00	0,0	15	214	ТВО33(1+4+3)
	12:30	1:00	1,0	15		
	13:30	2:00	2,0	20		
	14:30	3:00	3,0	26		
	15:30	4:00	4,0	26		
	16:30	5:00	5,0	29		
	17:30	6:00	6,0	32		
	18:30	7:00	7,0	36		
	19:30	8:00	8,0	35		
	20:00	8:30	8,5	35		
	21:00	9:30	9,5	33		
	01.10.2014	11:30	0	0,0		
12:30		1:00	1,0	16		
13:30		2:00	2,0	20		
14:30		3:00	3,0	22		
15:30		4:00	4,0	28		
16:30		5:00	5,0	30		
17:30		6:00	6,0	33		
18:30		7:00	7,0	35		
19:30		8:00	8,0	32		
20:00		8:30	8,5	32		
21:00		9:30	9,5	29		
12.10.2014		11:30	0:00	0,0	14	236
	12:00	0:30	0,5	15		
	13:00	1:30	1,5	28		
	14:00	2:30	2,5	30		
	15:00	3:30	3,5	32		
	16:00	4:30	4,5	32		
	17:00	5:30	5,5	31		
	18:00	6:30	6,5	34		
	19:00	7:30	7,5	34		
	19:30	8:00	8,0	34		
	20:00	8:30	8,5	32		
	21:00	9:30	9,5	30		
14.10.2014	9:30	0:00	0	12	232	ТВО31(0,5+1+6,5)
	10:00	0:30	0,5	25		
	11:00	1:30	1,5	31		
	12:00	2:30	2,5	31		
	13:00	3:30	3,5	32		
	14:00	4:30	4,5	32		
	15:00	5:30	5,5	29		
	16:00	6:30	6,5	27		
	17:00	7:30	7,5	28		
	17:30	8:00	8,0	28		
	18:00	8:30	8,5	26		
	19:00	9:30	9,5	26		
22.10.2014	Рис.1, а					ТВО06
	Рис.1, б					ПТ24

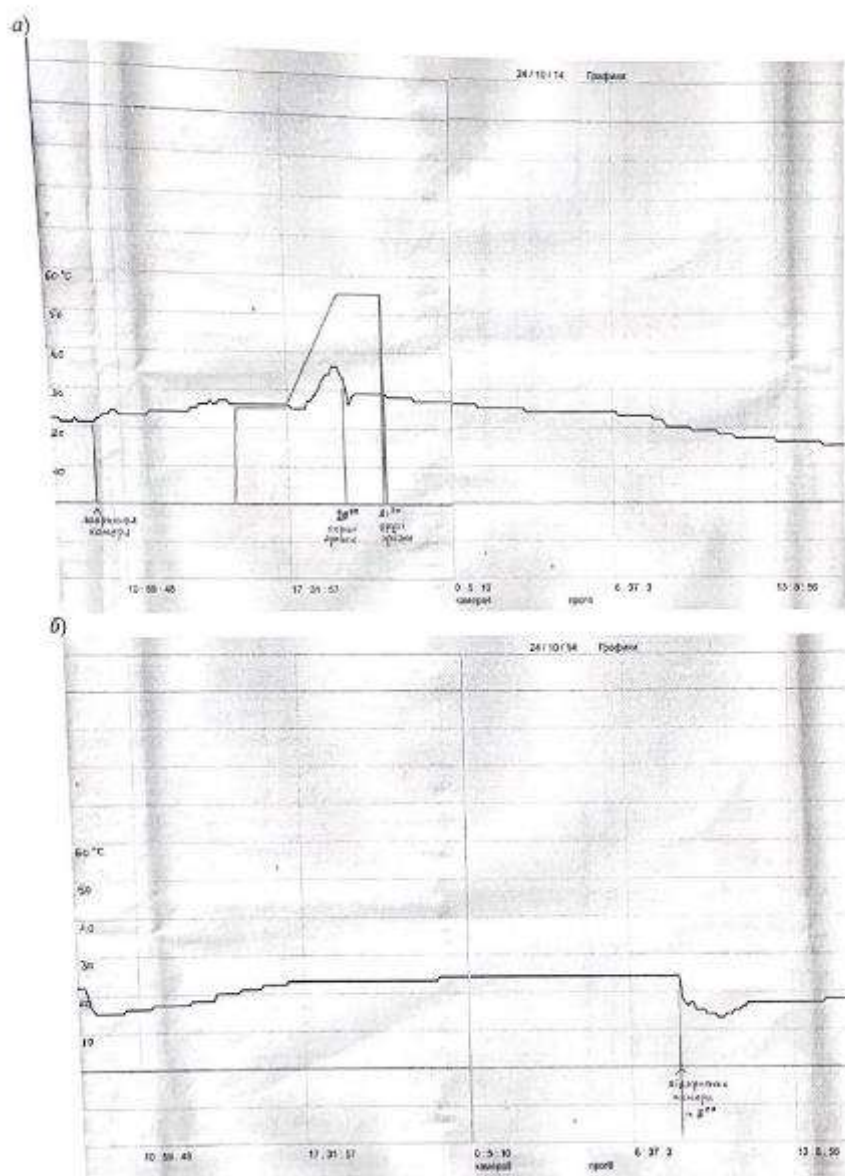


Рис.1 Температурний режим ТВО (а) і природного твердіння в пропарувальній камері (б) шпал і зразків бетону, виготовлених 22.10.2014

Таблиця 3

Питомий електричний опір бетону Ом_{кх},
складів без добавок з добавками у віці 24 години

№	Склад бетону	Вміст добавок, % від маси цементу				Питомий електричний опір, Ом _{кх}
		Суперпластифікаторів		Прискорювачів		
		НФ	ПК	НК	ШІ	
1	Завод450	0	0	0	0	74
8	Економ380+МК+ПК+НК	0	0,74	1	0	98
6	Економ400+ПК+НН	0	0,4	0	1	87
7	Економ400+ПК+НК	0	0,4	1	0	1358
2	Завод450+НФ+НК+ШІ	1,3	0	1	1	1521
3	Завод450+ПК+НК+НН	0	0,4	1	1	1119
4	Оптим496+НФ+НК+НН	1,3	0	1	1	1439
5	Оптим496+ПК+НК+НН	0	0,4	1	1	110

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Голова правління
ПрАТ «Коростенський завод
залізобетонних шпал»

В.І.Куницький

« 2014 р.

АКТ

від 18.12.2014

м. Коростень

складений комісією у складі: від ПрАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал» – головного інженера Зайця Ю.К. (голови комісії), головного технолога Красевського А.В., начальника заводської лабораторії Жданюка В.М., від Української державної академії залізничного транспорту – зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Пługіна А.А., від Київського національного технічного університету будівництва і архітектури – професора кафедри технології будівельних конструкцій та виробів Рунової Р.Ф. в тому, що у жовтні – листопаді 2014 р. на Коростенському ЗЗБШ були проведені виробничі дослідження з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал, у складі яких 30.10.2014 було виготовлено серії зразків бетону дослідних складів, а 31.10.2014 – дослідні партії шпал у кількості 5 по 10 шт. кожна із складів №№ 7–11. Склади бетону і результати випробувань серії зразків бетону і дослідних партій шпал наведені у табл.1, 2.

Голова комісії

Ю.К.Зайць

Члени комісії:

А.В.Красевський

В.М.Жданюк

А.А.Плугін

Р.Ф.Рунова



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122625** (13) **C2**

(51) МПК

E01B 9/30 (2006.01)**E01B 9/48** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: a 2019 03024</p> <p>(22) Дата подання заявки: 28.03.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 11.12.2020</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 26.12.2019, Бюл.№ 24</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 10.12.2020, Бюл.№ 23</p>	<p>(72) Винахідник(и): Палант Олена Валентинівна (UA), Захаров Денис Сергійович (UA), Аронов Леонід Семенович (UA), Шматко В'ячеслав Володимирович (UA), Плугін Аркадій Миколайович (UA), Плугін Андрій Аркадійович (UA), Плугін Дмитро Артурович (UA), Мірошніченко Сергій Валерійович (UA), Калінін Олег Анатолійович (UA), Лютій Віталій Анатолійович (UA), Романенко Олександр Валерійович (UA), Плугін Олексій Андрійович (UA), Борзяк Ольга Сергіївна (UA), Савченко Олександр Михайлович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володілці): ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "РС ІНЖЕНЕРІНГ", вул. Шевченка, 146, офіс 38, м. Харків, 61013 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 36449 A, 16.04.2001 RU 2624765 C1, 06.07.2017 US 7637438 B2, 29.12.2009 US 3724754 A, 03.04.1973 UA 107501 C2, 12.01.2015 UA 89428 C2, 25.01.2010 UA 51726 C2, 16.12.2002 UA 63615 A, 15.01.2004</p>
---	---

UA 122625 C2
(54) СКРІПЛЕННЯ РЕЙКОВЕ ПРУЖНЕ БЕЗАНКЕРНЕ ДЛЯ ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**(57) Реферат:**

Скріплення рейкове пружне безанкерне для трамвайної колії включає пружну клеми з дугоподібними зовнішніми ділянками та прямими внутрішніми кінцями, регулятор натягу, полімерний ізолюючий вкладиш з горизонтальною виїмкою зверху та вертикальним виступом вниз, амортизуючу підрейкову прокладку. Для забезпечення можливості регулювання ширини колії і натиску клеми на підшву рейки у широких межах, а також зниження вібраційних та динамічних впливів рейки на шпалу і далі на основу регулятором натягу є шуруп з притисною шайбою, що угвинчується у закладений у бетон шпали полімерний дюбель. Притисна шайба виконується П-подібною, декількох типорозмірів за положенням отвору в поперечному відносно рейки напрямку та висотою полиць. Прямі внутрішні кінці клеми мають пази, у які заходить П-подібна притисна шайба, фіксуючи положення клеми під час її натягу загвинчуванням шурупа.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117383** (13) **C2**

(51) МПК (2018.01)

E01B 1/00**E01B 27/02** (2006.01)**E01C 7/18** (2006.01)**C09D 195/00****C08L 93/04** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2016 04676</p> <p>(22) Дата подання заявки: 26.04.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.07.2018</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.11.2016, Бюл.№ 21</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.07.2018, Бюл.№ 14</p>	<p>(72) Винахідник(и): Плугін Андрій Аркадійович (UA), Трикоз Людмила Вікторівна (UA), Багіянець Ірина Вікторівна (UA), Мороз Володимир Петрович (UA), Герасименко Олег Степанович (UA), Борзяк Ольга Сергіївна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: EP 1025312 B1, 21.01.2004 US 3878987 A, 22.04.1975 US 9102834 B2, 11.08.2015 RU 2573676 C2, 27.01.2016 US 3900692 A, 19.08.1975 US 4267085 A, 12.05.1981 RU 2448212 C2, 20.04.2012 EP 0058290 A1, 25.08.1982 US 3788883 A, 29.01.1974 EP 0203307 A2, 03.12.1986</p>
--	---

UA 117383 C2

(54) ГІДРОФОБІЗОВАНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ З ПІДВИЩЕНИМ ЕЛЕКТРООПОРОМ**(57) Реферат:**

Винахід належить до гідрофобізованого матеріалу для влаштування баластного шару залізничної колії, який має підвищений електроопір, і може бути використаний при будівництві, реконструкції та ремонті верхньої будови залізничної колії. Гідрофобізований матеріал для влаштування баластного шару з підвищеним електроопором містить щебінь із природного каменю, який одержують дробленням гірських порід і використовують як баластний шар залізничної колії залізниць загального користування, а також залізниць підприємств і організацій, і перед укладанням у колію на щебінь розпилюванням або зануренням наносять композицію, яка збільшує питомий електричний опір баластного шару. Технічний результат: збільшення питомого електричного опору і терміну експлуатації баластного шару, збільшення проміжку між ремонтами колії, запобігання адгезійному забрудненню та суттєве зменшення випадків несправжньої зайнятості рейкових кіл, що, в свою чергу, сприяє підвищенню переробної та пропускної спроможності станцій та пропускної спроможності перегонів.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської радиС.Б. Дульфан
« » 2015 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних
рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харковівід «24» Грудня 2015 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;

– від ТОВ «ВСП Констракшн» – директор Руєва О.М., головний бухгалтер Ткаченко Н.О.;

про те, що у грудні 2015 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «ВСП Констракшн» у 2013–15 рр. під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах

поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2013–15 рр. у м. Харкові ТОВ «ВСП Констракшн» виконано реконструкцію трамвайних ліній та переїздів загальною протяжністю 3,127 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

у 2013 році

- трамвайний переїзд просп. Науки – просп. Правди – 100 м;
- трамвайний переїзд просп. Московський – вул. Академіка Павлова – 355 м;
- трамвайний переїзд вул. Академіка Павлова – вул. Лесі Українки – 627 м;
- трамвайний переїзд по вул. Полтавський шлях № 181 – 36 м;

у 2014 році

- трамвайний переїзд вул. Сумська – вул. Маяковського – 278 м;
- трамвайна колія по вул. Трінклера (вул. Маяковського – вул. Культури) – 268 м;

- трамвайний переїзд вул. Трінклера – вул. Культури – 72 м;

у 2015 році

- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Доброхотова – 118 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Соїча – 68 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Кошкіна – 326 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Морозова – 72 м;
- трамвайна колія на перехресті майдан Конституції – пр. Московський – 222 м;
- трамвайна колія по майдану Конституції (пр. Московський – майдан Павловський) – 193 м;
- трамвайна колія на перехресті майдан Конституції – майдан Павловський – 93 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському (майдан Конституції – арка дому № 8) – 211 м;
- трамвайний переїзд пр. Перемоги – пр. Людвіга Свободи – 88 м;

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 257 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для обсягу 3,127 км – 803,639 тис. грн. за три роки або у середньому 267,879 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Пługін

Д.А. Пługін

О.В. Палант

О.М. Савченко

О.М. Русва



О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Пługін

Н.О. Ткаченко

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колій, що улаштується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колій із заміною рейко-шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колій, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	20 000	7	2857	257
Запропонована	65 000	25	2600	
Об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м за 2013-2015 рр.				3 127
Трирічний економічний ефект усього по господарству трамвайних колій, грн.				803 639
Середній економічний ефект, грн.				267 879

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ

Головний бухгалтер
ТОВ «ВСП Констракшн»



А.А. Пługін

Н.О.Ткаченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської ради

С.Б. Дульфан
« » 2016 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від « 19 » 12 2016 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

- від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спеціалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;
 - від ТОВ «СК СТС» – директор Сукесов А.Е., бухгалтер Бордун І.В.;
- про те, що у грудні 2016 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «СК СТС» у 2016 році під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2016 році у м. Харкові ТОВ «СК СТС» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 1,039 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

- трамвайний переїзд майдан Павловський – вул. Університетська – 518 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському (арка дому № 8 – вул. Університетська) – 96 м;
- трамвайна колія по майдану Пролетарському – вул. Полтавський шлях – 110 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському – майдан Пролетарський – 315 м;

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 891 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 1,039 км – 925,749 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витoku і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Плугін

Д.А. Плугін

О.В. Палант

О.М. Савченко

А.Е.Сукесов

О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Плугін

І.В.Бордун



РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейково-шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	25000	7	3571	891
Запропонована	67000	25	2680	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м в 2016 році				1 039
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				925 749

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ

А.А. Плугін

Бухгалтер ТОВ «СК СТС»



І.В.Бордун

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ

«СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ»



В.А.Перепелиця

2018 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від «21» грудня 2018 р.

м. Дніпро

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;

– від ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» – головний інженер Ібрагимов Ш., головний бухгалтер Дунасва О.В.;

про те, що у грудні 2018 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» у 2018 році під час реконструкції трамвайних колій в м. Дніпро.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2018 році у м. Дніпрі ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» виконано капітальний ремонт трамвайних ліній загальною протяжністю 1,498 км в одношляховому вимірі по вулиці Курчатова.

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1 331 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 1,498 км – 1 993,838 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Пругін

Д.А. Пругін

О.В. Палант

О.М. Савченко

Ш. Ібрагімов

О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Пругін

О.В. Дунаєва

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колій, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колій із заміною рейко-шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колій, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	32 000	7	4 571	1 131
Запропонована	81 000	25	3 240	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Дніпро в 2018 році, м				1 498
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				1 993 838

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ



А.А. Плугін

Головний бухгалтер
ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ»



О.В. Дунаєва

ЗАТВЕРДЖУЮДиректор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської ради*С.Б. Дульфан*
С.Б. Дульфан
« — » _____ 2018 р.**АКТ**впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних
рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від « 08 » лютого 2019 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спеціалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;

– від ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» – директор Марченко К.О., головний бухгалтер Мусієнко Л.Ю.;

про те, що у лютому 2019 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» у 2017-2018 роках під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах

поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2017-2018 роках у м. Харкові ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 4,016 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

у 2017 році:

- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – узвіз Клочківський – 675 м;
- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – просп. Перемоги – 635 м;
- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – вул. Новгородська – 62 м;
- Трамвайний переїзд вул. Велика Панасівська – вул. Євгена Котляра – 485 м;
- Трамвайний переїзд вул. Велика Панасівська – Новоіванівський міст – 421 м;
- Трамвайний переїзд вул. Полтавський шлях – вул. Конєва – 275 м;

у 2018 році:

- Трамвайний переїзд вул. Шевченко – вул. Матюшенка – 495 м;
- Трамвайна колія по просп. Московському (пров. Вірменський – Харківський міст) – 141 м;
- Трамвайний переїзд просп. Тракторобудівників – вул. Героїв праці – 827 м.

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1165 грн. на рік на 1 пог. м колії, для дворічного обсягу 4,016 км – 4 678,64 тис. грн., або в середньому – 2 339,32 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Пługін

О.А. Калінін

Д.А. Пługін

С.В. Мірошніченко

О.В. Палант

О.С. Борзяк

О.М. Савченко

О.А. Пługін

К.О.Марченко



Л.Ю.Мусієнко

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейково-шпальної решітки, грн.	Очікуваний мікрремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	30 000	7	4 285	1 165
Запропонована	78 000	25	3 120	
Об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м, в 2017-2018 роках				4 016
Дворічний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				4 678 640
Середній річний економічний ефект, грн.				2 339 320

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ

А.А. Плуґін

Головний бухгалтер ТОВ
«Сучасні технології інфраструктури»



Л.Ю.Мусієнко

Затверджую:

Директор
ТОВ «Електротрансбуд»

Міхель С.В.

« » лютого 2019 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Київ

від «19» лютого 2019 р.

м. Київ

Цей акт складено комісією у складі:

- від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługіна А.А.; професора кафедри БМКС Пługіна Д.А., аспірантів Палант О.В., Савченка О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спеціалізованої технології Калініна О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченка С.В., докторанта Борзак О.С., доцента кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługіна О.А.;
- від ТОВ «Електротрансбуд» – головний інженер Шумський І.А.;
- від КП «Київпастранс» – директор «Служби колії» Васьківський Л.А.

в тому, що у січні 2019 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «Електротрансбуд» у 2018 р. під час реконструкції трамвайних ліній м. Київ.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробках і включають укладання колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою. Згідно з цим рішенням у 2018 р. у м. Київ ТОВ «Електротрансбуд» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 650 м (Капітальний ремонт дорожньої мережі м.Києва: вул.Алма-Атинської від вул. Празької до вул. Літиської).

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність

положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1 331 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 0,65 км – 865,15 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витoku і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

	А.А. Плуґін		О.А. Калінін
	Д.А. Плуґін		С.В. Мірошніченко
	О.В. Палант		О.С. Борзяк
	О.М. Савченко		О.А. Плуґін
	І.А. Шумський		Л.А. Васьківський



3

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колій, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м, колії із заміною рейко-шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м, колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	32 000	7	4571	1331
Запропонована	81 000	25	3240	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Києві у 2018 році, м				650
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				865 150

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ



А.А. Плуґін

Головний інженер
ТОВ «Електротрансбуд»

І.А. Шумський

Продовження додатка Ж

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Проректор з наукової роботи
 Українського державного університету
 залізничного транспорту
 д.т.н., проф. Г.Л. Ватуля
 13 травня 2019 р.



ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 10
 засідання кафедри будівельних матеріалів, конструкцій
 та споруд Українського державного університету залізничного транспорту
 від 13 травня 2019 р.

ПРИСУТНІ – 20 люд.

СЛУХАЛИ:

Зав. кафедри проф. Пługіна А.А. про розподіл особистого внеску членів кафедри в загальний економічний ефект, одержаний у 2013–2018 рр. замовниками науково-дослідних робіт від використання матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, розроблених на кафедрі.


УХВАЛИЛИ:

Розподілити особистий внесок в одержаний загальний економічний ефект таким чином:

№	Виконавець, місто, період проведення робіт	П.І.Б.	Особистий внесок	
			%	грн.
1	ТОВ «ВСП Констракшн», Харків, 2013–2015 рр.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	120545,85
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	96436,68
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	80363,90
		Асп. Палант О.В.	25	200909,75
		Асп. Савченко О.М.	8	64291,12
	Всього по об'єкту		803639,00	
2	ТОВ «СК СТС», Харків, 2016 р.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	138862,35
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	111089,88
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	92574,90
		Асп. Палант О.В.	25	231437,25
		Асп. Савченко О.М.	8	74059,92
	Всього по об'єкту		925749,00	

3	ТОВ «Сучасні технології інфраструктури». Харків, 2017–2018 рр.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	701796,00
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	561436,80
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	467864,00
		Асп. Палант О.В.	25	1169660,00
		Асп. Савченко О.М.	8	374291,20
	Всього по об'єкту			4678640,00
4	ТОВ «Сігірейл Технолоджі», Дніпро, 2018 р.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	299075,70
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	239260,56
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	199383,80
		Асп. Палант О.В.	25	498459,50
		Асп. Савченко О.М.	8	159507,04
	Всього по об'єкту			1993838,00
5	ТОВ «Електротрансбуд», Київ, 2018 р.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	129772,50
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	103818,00
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	86515,00
		Асп. Палант О.В.	25	216287,50
		Асп. Савченко О.М.	8	69212,00
	Всього по об'єкту			865150,00
	Всього по об'єктам			9267016,00

Голова засідання
Зав. кафедри, д.т.н., проф.



А.А. Пługін

Секретар кафедри



Н.М. Партала

УЗГОДЖЕНО:

Головний Інженер ТОВ
НВП «Академія»

Вінтер А.В.

«6» травня 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор УкрДУЗТ
з наукової роботи

д.т.н., проф.

Г.Л.Ватуля

«6» травня 2020 р.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ
виробництва гіпсового в'язучого
підвищеної водостійкості

РОЗРОБЛЕНО:

Зав. кафедри залізничної колії
і транспортних споруд УкрДУЗТд.т.н., проф.  А.А. Плуґін«6» травня 2020 р.Аспірант кафедри будівельних
матеріалів, конструкцій та споруд
УкрДУЗТ А.С. Сфіменко«6» травня 2020 р.

Харків 2020

УЗГОДЖЕНО:

ЗАТВЕРДЖУЮ:



Вінтер А.В.

« 6 » травня 2020 р.Проректор УкрДУЗТ
з наукової роботи

д.т.н., проф.



Г.Л.Ватуля

« 6 » травня 2020 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

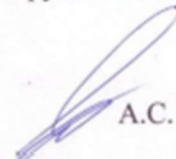
із застосування гіпсового в'язучого
підвищеної водостійкості

РОЗРОБЛЕНО:

Зав. кафедри залізничної колії
і транспортних споруд УкрДУЗТ

д.т.н., проф.  А.А. Плугін« 6 » травня 2020 р.

Аспірант кафедри будівельних
матеріалів, конструкцій та споруд
УкрДУЗТ

 А.С. Єфіменко« 6 » травня 2020 р.

Харків 2020

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Головний Інженер
ТОВ НВП «Академія»

Вінтер А.В.
2021 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідної роботи
від «4» січня 2021 р.

м. Харків

Ми, комісія у складі:

від ТОВ НВП «Академія» – Головний Інженер Вінтер А.В.
від Українського державного університету залізничного транспорту:
зав. кафедри ЗКТС Плугін А.А., аспірант кафедри БМКС Єфіменко А.С.
склали цей акт в тому, що провели перевірку результатів впровадження
гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, що відповідає заяві на видачу
патенту на винахід № а202008431 і заявам на видачу патенту на корисну
модель №№ u202008433 і u202008436.

Комісією встановлено, що УкрДУЗТ розроблено, а ТОВ НВП
«Академія» узгоджено «Технологічний регламент виробництва гіпсового
в'язучого підвищеної водостійкості» і «Рекомендації із застосування
гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості».

ТОВ НВП «Академія» передбачене застосування сухих сумішей на
основі гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості для штукатурки,
шпаклівки, монтажного клею, вирівнювання підлог у складі проектно-
кошторисної документації:

- Реконструкція приміщення в торговому центрі під магазин продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: Закарпатська область, м. Ужгород, вул. 8 Березня, будинок 48, приміщення 2;
- Реконструкція нежитлового приміщення під магазин продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: вул. Січових стрільців, буд. 4, приміщення 14, м. Хмельницький, Хмельницька область;
- Реконструкція магазину продовольчих та непродовольчих товарів за адресою: Донецька область, м. Краматорськ, вул. Паркова, 91.

Гіпсове в'язуче підвищеної водостійкості та сухі суміші на його основі передбачене виготовити на виробничій базі будівельної організації.

Економічний ефект від застосування гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та сухих сумішей на його основі забезпечений їх виготовленням на виробничій базі будівельної організації замість придбання у торговельній мережі.

Розрахунковий економічний ефект складає 1796 грн. на 1 т сухої суміші.
Розрахунок додається.

Вінтер А.В.

А.А. Плугін

А.С. Єфіменко

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»
(УКРПАТЕНТ)**

вул. Глазунова, буд. 1, м. Київ, 01601, тел.: (044) 494-05-05, факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org, сайт: www.ukrpatent.org, код згідно з ЄДРПОУ 31032378

**Розписка про одержання електронної заявки на винахід
Вх. № 195505 Дата та час одержання 29.12.2020 11:08:41**

Номер заявки	a202008431 (в подальшому обов'язково посилається на цей номер)
Заявник	Український державний університет залізничного транспорту
Назва винаходу	ГПСОВЕ В'ЯЖУЧЕ ПІДВИЩЕНОЇ ВОДОСТІЙКОСТІ
Адреса для листування	Український державний університет залізничного транспорту, науково-дослідна частина; площа Фейербаха, 7, кім. 1-318, м. Харків, 61050

Представлені матеріали
Заява на видачу патенту на винахід
Опис винаходу (сторінок - 5)
Формула винаходу (сторінок - 1)
Креслення (сторінок - 3)
Реферат (сторінок - 1)
Документ, що підтверджує пільги зі сплати зборів/мита (сторінок - 1)

Примітка: Одержано системою подання електронних заявок
Заявки, які подані до Установи в неробочий час, будуть опрацьовуватися експертами наступного робочого дня.

Якщо реєстрація заявки відбувається у неробочий час (робочий час: понеділок - четвер - з 8.30 по 18.00, п'ятниця - 8.30 по 17.00), у вихідний або святковий день, датою одержання заявки буде дата наступного робочого дня.

Подана електронна заявка вважається оригіналом. Надсилання паперової копії заявки не вимагається!

Консультації з технічних питань роботи системи подання електронних заявок: (044) 494-05-57.

Сектор реєстрації документів за заявками на об'єкти промислової власності: (044) 494-05-95, (044) 494-05-94.

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від застосування гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та сухих сумішей на його

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений виготовленням водостійкого гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та сухих штукатурних та інших сумішей на його основі, зазначених у п. 5.3, в умовах виробничої бази будівельної організації замість їх постачання із торгівельної мережі.

Ціна готової сухої штукатурної суміші у мішках по 30 кг – 150–200 грн. за мішок, отже, 5000–6667 грн./т, в середньому – 5834 грн./т.

Ціна компонентів водостійкого гіпсового в'язучого:

- гіпс-півгідрат – 2200 грн./т або 2,20 грн./кг;
- шлак доменний гранульований – 110 грн./т або 0,11 грн./кг;
- мікрокремнезем – 7 грн./кг;
- пластифікуюча добавка порошкоподібна – 25 грн./кг.

Склад водостійкого гіпсового в'язучого, в середньому, на 1 т:

- гіпс-півгідрат – 645 кг;
- шлак доменний гранульований – 310 кг;
- мікрокремнезем – 30 кг;
- пластифікуюча добавка порошкоподібна – 15 кг.

Вартість матеріалів на 1 т водостійкого гіпсового в'язучого:

- гіпс-півгідрат – $645 \times 2,20 = 1419$ грн.;
- шлак доменний гранульований – $310 \times 0,11 = 34,10$ грн.;
- мікрокремнезем – $30 \times 7 = 210$ грн.;
- пластифікуюча добавка порошкоподібна – $15 \times 25 = 375$ грн.;
- усього вартість матеріалів – 2038 грн.

Інші витрати на виготовлення 1 т водостійкого гіпсового в'язучого, орієнтовно:

- енерговитрати – 500 грн.;
- заробітна плата – 1000 грн.;
- загальновиробничі витрати – 500 грн.

Собівартість власного виробництва водостійкого гіпсового в'язучого:

$2038 + 500 + 1000 + 500 = 4038$ грн.

Оскільки найбільш коштовним із компонентів, витрата яких значна, є в'язуче, та якщо припустити, що собівартість виробництва 1 т сухої штукатурної суміші не перевищить собівартість виробництва 1 т водостійкого гіпсового в'язучого, економічний ефект із розрахунку на 1 т сухої штукатурної суміші складе не менше ніж $5834 - 4038 = 1796$ грн./т.

Розрахунок виконав
аспірант кафедри БМКС УкрДУЗТ

А.С.Єфіменко

Розрахунок перевірів
Бухгалтер ТОВ НВП «Академія»

Шиян М.І.

