

Міністерство освіти та науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Конєв Віталій Васильович

УДК 691.55:699.887 (043.3)


## ДИСЕРТАЦІЯ

ЕЛЕКТРОПРОВІДНА СИЛІКАТНА КОМПОЗИЦІЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ  
ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

05.23.05 Будівельні матеріали та вироби  
19 Архітектура та будівництво

Подається на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук

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



В.В. Конєв

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

Харків 2021

## АНОТАЦІЯ

*Конєв Віталій Васильович* Електропровідна силікатна композиція для захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертація присвячена розробці електропровідної силікатної композиції і удосконаленню екранного захисту від електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій і споруд, зокрема, високих пасажирських платформ, шляхопроводів, мостів, що експлуатуються на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом.

Виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт з дослідження факторів, що спричиняють пошкодження конструкцій цивільних будівель і споруд, та захисту від них. Встановлено, що пошкодження спричиняють механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні фактори. Характерними для залізниць є електричні впливи струмів витоку з рейок та електрокорозія від них. У роботах наукової школи проф. А.М.Плугіна доведено негативний вплив електричних полів, потенціалів і надлишкових зарядів на конструкції, доведено, що струми витоку по мірі руху залізничними коліями електрорухомого складу наводять на місцевість і конструкції пульсуючий однонаправлений електричний потенціал ПОЕП і спричиняють електрокорозію не тільки сталевих конструкцій і арматури залізобетону, а й електрокорозію бетону, що полягає у його інтенсивному електроміграційному вилуговуванні. Електрокорозійні процеси набагато прискорює обводненість конструкцій. Виконано натурні обстеження, в результаті яких уточнено найбільш уразливі для електрокорозії місця конструкцій – нижня частина опор високих пасажирських платформ, мостових опор, нижні грані та ребра прогонових будов. Встановлено, що активні водозабірні свердловини сприяють

розподілу електричних потенціалів на поверхні землі від позитивних  $+(0,6-0,7)$  В на конструкціях будівлі над свердловиною до негативних  $-0,4$  В на відстані 30–50 м від неї.

В результаті аналізу літературних даних встановлено, що у галузі експлуатації будівель та споруд вже існують системи моніторингу їх технічного стану. Проте вони не передбачають діагностування електрокорозійної небезпеки та електрокорозійного стану об'єктів та не мають працюючих підсистем автоматичної реалізації заходів із захисту від електрокорозії та відновлення втрачених експлуатаційних властивостей. Як ефективний засіб захисту від електрокорозії визначено електрохімічний захист заземленими екранами на рівні нульової відмітки, які дренують струми витоку та блукаючі струми. Екрани виконуються у вигляді металоін'єкційних обойм у разі відновлення несучої здатності конструкцій або із електропровідних композицій на основі в'язучих речовин у разі лише ремонту поверхні та захисту. Проте металоін'єкційні обойми та композиції на основі портландцементу за рахунок високого вмісту хімічних добавок є високовартісними.

Аналітичний огляд робіт, присвячених створенню електротехнічних композицій на основі мінеральних в'язучих, а також робіт з лужних в'язучих, дозволив припустити можливість створення електропровідної силікатної композиції на основі рідкого скла – силікату натрію для екранного захисту конструкцій, що не вимагають відновлення несучої здатності та ремонту поверхні. Проте механізм взаємодії силікату натрію з електропровідними наповнювачами, а також водостійкість таких композицій є недостатньо дослідженими. Припущено, що водостійкість композиції може бути забезпечена додаванням меленого доменного гранульованого основного шлаку, внаслідок взаємодії якого з силікатом натрію утворюватимуться кальцієві, лужні та лужноземельні цеолітоподібні алюмосилікати.

Виконано теоретичні дослідження, в результаті яких розвинуто уявлення про електрокорозію залізобетонних і бетонних конструкцій від ПОЕП. Розроблено детальну схему протікання струмів витоку через конструкції

високих пасажирських платформ із залізобетонними стояками. Уточнено, що носієм струму витоку  $\epsilon$ : у ґрунті – катіони  $Na^+$  та  $K^+$ , у бетоні – катіони  $Ca^{2+}$  та аніони  $OH^-$ , у сталевій арматурі – електрони  $e^-$ . Визначено, що у конструкціях внаслідок впливу ПООП утворюються зони, у яких відбуваються реакції корозійних процесів: 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення іонів  $OH^-$  і водню  $H_2$ ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення заліза і утворення  $Fe(OH)_3$ ; 4) зона вилуговування бетону – винесення із бетону катіонів  $Ca^{2+}$  та їх карбонізація на поверхні. Аналогічну схему розроблено і для платформ з бетонними опорами, у яких утворюються лише 1 і 4 зони.

Уточнено механізм наведення потенціалів на сталеву арматуру залізобетонних прогонових будов, під якими проходить контактна мережа постійного струму та розроблено схему протікання корозійних струмів від них. Визначено, що потенціал індукується за рахунок поляризації порового електроліту захисного шару бетону в електричному полі з розділенням зарядів: позитивного – поблизу арматури та на ній, негативного – на поверхні бетону. Внаслідок цього в бетоні захисного шару утворюється зона вилуговування, а на арматурі – анодна зона та відбуваються відповідні електрокорозійні процеси.

Встановлено, що експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення потенціалу течії. Ці заряди і потенціали можуть спричиняти нерівномірні деформації основ і фундаментів, тріщини і пошкодження в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них.

Виконано теоретичні дослідження з підвищення водостійкості силікатних композицій шляхом уведення меленого доменного гранульованого шлаку, зокрема, термодинамічні розрахунки і розрахунки електроповерхневих потенціалів. За негативними значеннями вільної енергії Гіббса реакцій зроблено висновок, що 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 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 його мінерали типу геленіту  $C_2AS$  відповідні стекла взаємодіють із лужними складовими, наприклад, фторидом натрію з утворенням гідроніфеліну  $NaS_2H_2$ , гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF_2$ . 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.

Досліджено також процес протікання електричного струму крізь силікатну композицію з графітовим наповнювачем. Встановлено, що в залежності від напрямку прикладеного електричного потенціалу поверхні частинок графіту розділяються на анодні й катодні ділянки. На анодних ділянках відбувається розчинення вуглецю з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону  $OH^-$ . Отже, довговічність штучного каменю буде обумовлена кількістю пропущеного частинками графіту електричного заряду (струму).

Виконані пошукові експериментальні дослідження з вибору наповнювачів для електропровідної силікатної композиції. Встановлено, що питомий електричний опір композицій із металевих наповнювачів і силікату натрію (рідкого скла) перевищує  $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , а із графітових наповнювачів і силікату натрію не перевищує декількох  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ , що обумовлене утворенням на поверхні металевих частинок гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на поверхнях розподілу та, відповідно, підвищують загальний опір, та відсутністю таких плівок на поверхні частинок графіту. Перколяція композиції за електропровідністю спостерігається за вмісту графіту 50–60 % за масою від вмісту силікату натрію. Проте, композиції з силікату натрію і графітових наповнювачів характеризуються недостатньою водостійкістю, не більше 0,2.

Виконано експериментальні дослідження залежностей електрофізичних, гідрофізичних, фізико-механічних властивостей електропровідної силікатної композиції від відносного вмісту графітового наповнювача, силікату натрію та інших показників складу. Встановлено, що для силікатних композицій з графітовим наповнювачем потрібні електрофізичні характеристики перебувають в антагонізмі з гідрофізичними та фізико-механічними властивостями. Отже, розробка їх рецептур має здійснюватись методами компромісної оптимізації. Мінімальні величини питомого електричного опору аж до  $1-0,3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  спостерігаються у разі відносного вмісту графітового наповнювача  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  в межах  $0,2-0,8$  та рідинно-твердого відношення – відносного вмісту силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  в межах  $0,4-0,6$ . Водостійкість композиції в найбільшому ступені визначається рідинно-твердим відношенням  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$ . Максимальні величини коефіцієнту водостійкості  $K_{\text{вн}}$ , що досягають  $0,8$ , спостерігаються за  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,3-0,4$ .  $K_{\text{вн}}$  композицій перевищує  $0,6$  за величин відносного вмісту графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  понад  $0,7$ . У композиції, що, як наповнювач містить тільки графітовий порошок, під час твердіння утворюються усадкові тріщини. Уведення меленого доменного гранульованого шлаку у кількості не менше  $0,1$  від кількості силікату натрію запобігає утворенню усадкових тріщин. Зволоження і водонасичення силікатної композиції обумовлює зниження її питомого електричного опору, який досягає мінімальних величин через  $1$  годину контакту покриття із неї з водою.

Для підтвердження припущень про вплив меленого доменного гранульованого шлаку на водостійкість силікатних композицій виконано фізико-хімічні дослідження. Аналіз ІЧ-спектрів і рентгенограм в цілому підтвердив уявлення про те, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, містить гель кремнійкислоти та фторид натрію; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію з добавкою доменного гранульованого шлаку, – гель кремнійкислоти, гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гідросилікати кальцію, але не містить фторид натрію. При цьому гідроалюмосилікатів

кальцію і натрію міститься менше, ніж у камені шлаку, отвердженому силікатом натрію (шлаколужного в'язучого). Хімічної взаємодії графіту з силікатом натрію та іншими компонентами композиції фізико-хімічними методами не виявлено. Отже, графіт залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

Скануюча електронна мікроскопія з рентгенівським мікроаналізом показала, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту, має структуру композиційного матеріалу з наповнювачем із рівномірно розподілених по поверхні частинок графіту  $C(29\text{--}33\%$  поверхні), і матрицею із продуктів взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію, по якій рівномірно розподілені такі елементи, як  $O(45\text{--}50\%)$ ,  $Si(8\text{--}11\%)$ ,  $F(4\text{--}5\%)$ ,  $Na(1,4\%)$ ,  $Al(1,2\text{--}2\%)$ ,  $Ca(0,9\text{--}1,9\%)$ , інші (менше  $1\%$  кожний). Підтверджено, що внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію утворюються нові продукти переважно гелеподібної будови та відсутність хімічної взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію з графітом, який залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

Для опор пасажирських платформ виконано експериментальні дослідження показників ефективності заземлених екранів із електропровідної силікатної композиції за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном  $x$ . Встановлено, що у разі сухого стану ґрунту сила струму, що стікає з рейок, крізь бетон і арматуру  $I_{аб}$  мінімальна як у моделі споруди без захисту, так і у моделях із захисними екранами. Після водонасичення ґрунту  $I_{аб}$  зростає на три порядки. Захист заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції забезпечує зниження  $I_{аб}$  крізь бетон і арматуру моделі за рахунок протікання частини струму  $I_{зе}$  крізь захисний екран. Захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку  $I_{аб}$  знижується, а  $I_{зе}$  зростає. У разі застосування заземленого екрану з відсотком площі контакту електроду заземлення з ним близько  $4\%$  сила струму крізь бетон і арматуру знижується на  $65\text{--}70\%$ .

Аналогічні дослідження, виконані для залізобетонних прогонових споруд, розташованих поблизу контактної мережі, показали, що застосування захисного екрану знижує величину наведеного електричним полем на арматуру потенціалу на 58 %. У разі застосування заземленого екрану потенціал майже не наводиться.

У складі впровадження результатів досліджень розроблено блок-схему моніторингово-керуючої системи технічного стану споруд, придатну для моніторингу електрокорозійного стану конструкцій і керування заходами з їх захисту. Розроблено критерій вибору конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту від електрокорозії опор високих пасажирських платформ.

Розроблено склад електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу та електропровідної силікатної композиції. Розроблено технологічний регламент і технологічну схему виробництва сумішей електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії. Удосконалено конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном.

Результати досліджень впроваджено у дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з.п. Комарівка регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». На частині опор улаштовано захист заземленими екранами із електропровідних композицій. Розраховано економічний ефект від впровадження результатів досліджень, який забезпечується за рахунок виконання ремонту поверхні і захисту на відміну від заміни конструкцій та/або за рахунок збільшення в подальшому міжремонтного періоду. За результатами досліджень розроблені нормативні документи. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі з підготовки магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проектування.

**Ключові слова:** струм витоку, електрокорозія, захист, електропровідне покриття, силікат натрію, графітовий наповнювач, силікатна композиція.



## ABSTRACT

Konev, Vitalii V. Electrically conductive silicate composition for protection against electrocorrosion of railway structures. – Manuscript copyright.

Dissertation for the Candidate Degree in Engineering Science (PhD in Sci. Eng.) in specialty 05.23.05 Building Materials and Products (19 Architecture and Building). – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021. The dissertation defense will take place at the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of electrically conductive silicate composition and improvement of screen protection against electrocorrosion of reinforced concrete and concrete structures, in particular, high passenger platforms, overpasses, bridges operated on sections of railways electrified by direct current.

The incisive analysis of the most important scientific papers devoted to the investigation of the factors that cause damage to the structures of civil constructions and facilities and also to the protection of the structures exposed to these factors has been done. It was established that the damage is caused by mechanical, physical, chemical, physical-&-chemical, electrochemical and biochemical factors. It should be noted that the railways are exposed to the electric effects of leakage currents induced by the rails and also to the electrocorrosion caused by them. The research papers of the academic school headed by Prof. A.M. Plugin prove the negative effect of electric fields, potentials and excess charges on the structure. It was also proved that leakage currents induce a pulsed unidirectional electric potential (PUEP) on the locality and the structures erected therein and cause the electrocorrosion not only of steel structures and concrete reinforcement but also of the concrete that results in its intensive electromigration dealcalization. Electrocorrosion processes substantially accelerate the inroad of water to the structures. The on-site inspection was carried out and the most corrosion-sensitive structure areas were specified, i.e. a lower part of the supports of raised passenger platforms, bridge piers and lower sides and edges of the gap support structures. It was established that active water intake wells contribute to the distribution of electric potentials on the earth surface varying in

the range of positive  $+(0.6 \text{ to } 0.7)$  V on facility structures above the well to negative  $-0.4\text{V}$  at a distance of 30 to 50 m from the construction.

The analysis of the literature data allowed us to establish that the field of the operation of the buildings and facilities already has their technical state monitoring systems. However, these fail to diagnose the electrocorrosion hazard and the electrocorrosion state of the facilities and have no operating subsystems for the automatic realization of the measures taken to prevent the electrocorrosion and revive lost service properties.

It was also established that an efficient approach to the electrocorrosion protection is considered to be the electrochemical protection with earthed shields at the level of zero mark that drain leakage currents and stray currents. The screens are made in the form of the metal injection sleeves to restore the carrying capacity of the structures or these are just electroconductive compositions that are based on binding substances and are used as the shields just for the surface repair and protection. However, metal injection sleeves and Portland cement-based compositions turn out to be rather expensive due to a high content of chemical additives.

The analytical review of the scientific papers devoted to the creation of electrotechnical compositions that are based on mineral binders and also of the scientific papers devoted to alkaline binders allowed us to assume that the electroconductive silicate composition based on the liquid glass, i.e. sodium silicate can be created for the shielding of the structures that require no restoration of the carrying capacity and/or the surface repair. Nevertheless, a mechanism of the interaction of sodium silicate with electroconductive fillers and the water resistance of such compositions require additional investigations. It was assumed that the water resistance of composition can be provided by the addition of the milled basic blast-furnace granulated slag whose interaction with sodium silicate results in the formation of calcium-, alkaline and alkali-earth zeolite-like aluminosilicates.

Theoretical investigations were carried out to develop the conceptions of the electrocorrosion of the concrete-reinforced and concrete structures exposed to PUEP. A detailed diagram of the flow of leakage currents through the structures of

the raised passenger platforms with reinforced concrete risers has been developed. It was specified that leakage current carriers are as follows;  $Na^+$  and  $K^+$  cations in the case of the ground,  $Ca^{2+}$  cations and  $OH^-$  anions in the case of concrete and  $e^-$  electrons in the case of steel reinforcement. It was established that the action of PUEP results in the formation of the zones in the structures that experience the reactions peculiar for corrosion processes. These are 1) the concrete neutralization zone, i.e. the carbonization with the formation of carbonates; 2) the cathode zone of the reinforcement, i.e. the electrochemical formation of  $OH^-$  ions and hydrogen  $H_2$ ; 3) the anode zone of the reinforcement, i.e. the anodic iron dissolution and the formation of  $Fe(OH)_3$ ; 4) the concrete dealkalization zone, i.e. the removal of  $Ca^{2+}$  cations from the concrete and their carbonization on the surface. The analogous diagram was also developed for the platforms with concrete supports where zones 1 and 4 are only formed.

An induction mechanism of the potentials on the steel reinforcement of the concrete reinforced run-through or gap structures under which the d. c. contact line is arranged was specified and the diagram for the passage of corrosion currents induced by this contact line was developed. It was established that the potential is induced due to the polarization of the porous electrolyte of the protective concrete layer in the electric field with the distribution of the charges: the positive charge was near the reinforcement and on it and the negative charge was on the concrete surface. As a consequence, the dealkalization zone is formed in the concrete of the protective layer and the anode zone is formed on the reinforcement and appropriate electrocorrosion processes take place.

It was established that operated water intake wells condition the distribution of electric charges and potentials in the territory due to the appearance of the flow potential. These charges and potentials may result in the inhomogeneous deformation of the skeletons and foundations, these cause cracks and damages in the structure of the facilities located above the wells and near them.

Theoretical investigations of an increase in the water resistance of silicate compositions through the addition of the milled granulated blast-furnace slag were

carried out, in particular thermodynamic computations and the computations of electro-surface potentials. Based on the negative values of the free energy of Gibbs reactions a conclusion was made that in the case of the curing of sodium silicates by silicon sodium fluoride the product of their interaction will be the ortho-silicic acid gel  $Si(OH)_4$  and sodium fluoride. Their particles have a negative surface charge and form only electrohomogeneous contacts between them and in the dry conditions these have high strength but are not water-proof due to a high concentration of the porous electrolyte  $NaF$ . In the case of the addition of the milled granulated last-furnace slag, its minerals of a helenite type  $C_2AS$  and appropriate glasses interact with alkaline components, for example with sodium fluoride with the formation of hydronepheline  $NaS_2H_2$ , calcium hydroaluminate  $C_3AH_6$  and calcium fluoride  $CaF_2$ . The  $C_3AH_6$  and  $CaF_2$  particles have positive surface charge and form electroheterogeneous contacts with  $Si(OH)_4$  gel particles that provide an increase in the water resistance of the artificial stone.

The process of the passage of electric current through the silicate composition with the graphite filler has also been studied. It was established that the surfaces of graphite particles are divided into anode and cathode regions depending on the vector of applied electrical potential. The carbon dissolution with the carbonate formation occurs in anode regions and the  $OH^-$  ion is formed in cathode regions under aerobic conditions. Hence, the survival time of the artificial stone will be conditioned by the amount of the electric charge (current) that graphite particles allowed through.

Exploratory experimental investigations relating to the choice of the fillers for the electroconductive silicate composition have been carried out. It was established that the specific electric resistance of the compositions consisting of metal fillers and sodium silicate (liquid glass) exceeds  $1000 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ , and that of the compositions consisting of graphite fillers and sodium silicate is within several  $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ . It is conditioned by the formation of hydroxide films on the surface of metal particles and these films create a high transition resistance on boundary surfaces or interfaces and increase as a consequence a total resistance and it is also conditioned by the

unavailability of such films on the surface of graphite particles. As for the electroconductivity, the composition percolation can be observed for the graphite content of 50 to 60 wt. % of the content of sodium silicate. However, the compositions consisting of sodium silicate and graphite fillers are characterized by insufficient water resistance, which is within 0.2.

Experimental investigations of the dependences of electrophysical, hydrophysical, and physical-&-mechanical properties of the electroconductive silicate composition on the relative content of the graphite filler, sodium silicate and other content components were carried out. It was established that electrophysical properties required for silicate compositions with graphite filler have been in antagonism with hydrophysical and physical-&-mechanical properties. Hence, their formulations should be developed using the methods of the tradeoff optimization. Minimum values of specific electric resistance that attain even 1 to 0,3 Ohm×m are observed when a relative content of the graphite filler  $G/(G+S)$  is within 0.2 to 0.8 and the liquid –to –solid ratio, i.e. of the relative content of the sodium silicate  $SS/(G+S)$  is within 0.4 to 0.6. The water resistance content of the composition is defined to a great extent by the liquid-to-solid ratio of  $(SS/(G+S))$ . Maximum values of the water resistance coefficient  $K_{ws}$  that attain 0.8 are observed for  $(SS/(G+S))= 0.3$  to 0.4. The coefficient  $K_{ws}$  of the compositions exceeds 0.6 when the values of the relative content of the graphite filler for the total amount of the fillers  $G/(G+S)$  exceed 0.7. Shrinkage cracks are formed during the hardening of the compositions when their filler includes only the graphite powder. The addition of the milled granulated blast-furnace slag in the amount of at least 0.1 of the amount of the sodium silicate prevents the formation of shrinkage cracks. The silicate composition wetting and the water saturation of it condition a decrease in its specific electric resistance that attains minimum values after one- hour-contact of the coating formed by it with water.

The physical and chemical research was done to confirm the assumptions that the added milled granulated blast-furnace slag has an effect on an increase in the water resistance of silicate compositions. The analysis of IR-spectra and X-ray pat-

terns confirmed on the whole the conception that sodium silicate cured by silicon sodium fluoride includes silicic acid gel and sodium fluoride; sodium silicate cured by silicon sodium fluoride with the addition of the granulated blast-furnace slag includes silicic acid gel, calcium and sodium hydroalumosilicates and calcium hydrosilicates, however it contains no sodium fluoride. Besides, calcium and sodium hydroalumosilicates are contained in a lower amount in comparison to the slag stone cured by sodium silicate (slag-&-alkaline binder). Chemical interactions of graphite with sodium silicate and other components of the composition were not established using physical and chemical methods. Hence, graphite remains to be in unbound condition and retains its electroconductive properties.

The scanning electron microscopy and the X-ray microanalysis showed that sodium silicate cured by silicon sodium fluoride with the addition of graphite has a structure of the composite material with the filler in which graphite particles  $C$  (29 to 33 % of the surface) were uniformly distributed on the surface and it also has the matrix consisting of the interaction products of sodium silicate and sodium silicon fluoride with the uniform distribution on it of such elements as  $O$  (45–50 %),  $Si$  (8–11 %),  $F$  (4–5 %),  $Na$  (1.4 %),  $Al$  (1.2–2 %),  $Ca$  (0.9–1.9 %), and other elements are present in the amount of less than 1 % of each. It was confirmed that the interaction of sodium silicate and sodium silicon fluoride results in the formation of new products, mainly with a gel-like structure and that the chemical interaction of sodium silicate and sodium silicon fluoride with graphite that remains unbound and continues to be electroconductive is not observed.

The experimental investigations of the efficiency factors of earthed shields made of the electroconductive silicate compositions were carried out for the supports of passenger platforms taking into account different percentage of the contact area of the grounding steel electrode and the shield  $x$ . It was established that in the case of the dry state of the ground the strength of the current that leaks from the rails through the concrete and reinforcement  $I_{rc}$  has a minimum value both for the model of unshielded facility and for the models with the shields. After the water saturation of the ground the value of  $I_{rc}$  is increased by three orders more. The

protection with the earthed shield made of the electroconductive silicate composition provides a decrease in  $I_{rc}$  passed through the concrete and reinforcement of the model due to the flow of the portion of the current  $I_{ps}$  through the protection shield. The protective properties of the shield depend on the percentage of the contact area of the grounding steel electrode and the shield; as this percentage is increased  $I_{rc}$  is decreased and  $I_{ps}$  is increased. In the case of the use of the earthed shield with the percentage of the contact area of the grounding electrode with it equal to about 4% the strength of the current flowing through the concrete and the reinforcement is decreased by 65 to 70%.

The analogous research done for reinforced concrete span constructions located near the contact network showed that the use of the protection shield results in a decreased value of the potential induced by the electric field on the reinforcement that drops by 58 %. In the case of the use of the earthed shield the potential is actually not induced.

As part of the implementation of research data, the flow diagram was developed for the monitoring and control system of the technical state of the facilities that is capable of the monitoring of the electrocorrosion condition of the structures and can control the measures taken for its protection. The criterion of the choice of the engineering and technological solution accepted for the repair and protection of the supports of the raised passenger platforms exposed to the action of electrocorrosion has been elaborated.

The obtained research data were adopted for additional investigations carried out during the capital repairs of the raised passenger platform at the railway station of Komarivka belonging to the regional branch "South Railway" of the JSC "Ukrainian railways". The part of the supports was protected by the earthed shields made of electroconductive compositions. The economic effect obtained due to the use of the research data was calculated and it was achieved due to the repair of the surface and its protection instead of the replacement of the structures and/or due to the extension of the life between overhauls in the future. Based on the research data the regulatory documents were worked out. The research data are used for the

teaching of the students that study to defend their Master's degree in the specialty of 192 The Construction and Civil Engineering as part of profession-oriented disciplines and diploma planning.

**Keywords:** leakage current, electrocorrosion, protection, electrically conductive coating, grounding, sodium silicate, graphite filler, silicate composition.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до наукометричних баз:*

1. Plugin A., Trykoz L., Herasymenko O., Pluhin A., Konev V. Independent diagnostic computer systems with the ability to restore operational characteristics of construction facilities. *Diagnostyka*, 2018, Vol.19, No2, p.13–23. DOI: 10.29354/diag/83009. (Scopus) *(Особистий внесок: розроблено блок-схему функціонування системи діагностування стану з автоматичним виправленням відхилень експлуатаційних показників від встановлених величин).*

2. Конев В.В. Вдосконалені алгоритми навчання нейромережевої системи ідентифікації безпечного стану нерухомих об'єктів систем критичного застосування. *Системи обробки інформації*. – 2016, №3(140). – С. 241–245.

3. Крот О.П., Ровенський О.І., Конев В.В. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 166. – С.78-86. *(Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та побудова залежностей).*

4. Конев В.В., Плугин А.А. Сравнительный анализ программного обеспечения поддержки принятия решений в жизненном цикле объектов недвижимости. *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтавський національний університет ім. Ю.Кондратюка. 2016. – Вип.1(37). – С.83–85. URL: <http://sunz.pntu.edu.ua/files/archive/37-2016/23-1-37-2016.pdf>. *(Особистий внесок: виконано збір інформації і аналіз програмного забезпечення з питань експлуатації будівель та споруд).*



5. Плугін А.А., Плугін О.А., Касьянов В.В., Плугін Д.А., Конєв В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. – Вип. 171. – С.53–61. DOI: 10.18664/1994-7852.171.2017.111411. (*Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів для екранів із силікатних композицій*).

6. Трикоз Л.В., Конєв В.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С., Передумови інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей будівельних об'єктів за допомогою автономних комп'ютерних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – Харків: УкрДУЗТ. 2017. – Вип.4. – С.36-43. DOI: 10.18664/iksz.v0i4.111791. (*Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного управління їх відхилень від встановлених величин*).

#### **Патенти на винаходи:**

7. Пат.113600 UA МПК(2016.01) С04В28/00 С04В41/65(2006.01) С04В/111/90(2006.01) С04В111/20(2006.01) С04В111/72(2006.01) Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; Плугін А.А, Костюк Т.О., Прошкін О.Ю., Плугін О.А., Бондаренко Д.О., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с. (*Особистий внесок – опрацьовано методику вимірювання електричного опору композиції і вимірювання електричного опору зразків*).

8. Пат.117194 UA МПК С04В28/26(2006.01) С04В41/65(2006.01) С04В/111/20(2006.01) С04В111/26(2006.01) С04В111/94(2006.01) Електропровідна шпаклювальна композиція / УкрДУЗТ; Плугін А.А., Плугін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В., Савчук Ю.Ю., Костюк Т.О., Бондаренко Д.О. – Заявл.24.03.2017. – Заявка № а2017 02778. – Опубл.25.06.2018. – Бюл.№12. – 3 с. (*Особистий внесок – виконано*

*експериментальні дослідження залежності електротехнічних властивостей композиції від її складу, розроблено склад композиції).*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

9. Kasyanov V., Konev V., Plugin D., Nesterenko S., Afanasiev A. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection. *MATEC Web of Conferences*, 116, 01012. (2017). 6 p. (*Особистий внесок – запропоновано показники ефективності екранів стосовно силікатних композицій, виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів*).

10. Конєв В.В., Плуґін О.А. Виявлення цивільних будівель та споруд Південної залізниці, які можуть зазнавати негативного впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 160 (Додаток). – С.84-85. (*Особистий внесок – виконано узагальнення даних про будівлі та споруди, аналіз умов їх експлуатації і виявлення руйнівних впливів на них*).

11. Конєв В.В., Плуґін О.А., Касьянов В.В., Никитинський А.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій. *6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.68–69. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf). (*Особистий внесок – виконано експериментальні дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій і аналіз експериментальних даних*).

12. Плуґін О.А., Плуґін Д.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Скорик О.О., Никитинський А.В. Фактори, що визначають ефективність захисту від електрокорозії заземленими екранами з електропровідних в'язучих композицій. *VIII Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 20–22

листопада 2019: Тези доповідей. Ч.2. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – С.188–190.  
 URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses\\_2019\\_part2.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2019_part2.pdf)  
*(Особистий внесок - виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів).*

13. Трикоз Л.В., Плугин А.А., Чалая Л.Э., Герасименко О.С., Конев В.В. Предпосылки интеллектуального управления изменениями эксплуатационных свойств строительных объектов с помощью автономных компьютерных систем. *б Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті».* Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.184–185. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf). *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

14. Трикоз Л.В., Конев В.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С. Розробка автономних комп'ютерних систем для інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей. *Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнародної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті».* Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип.4 (додаток). – С.48–49. *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

15. Конев В.В. Інформаційно-вимірювальна система контролю та безпеки в розподільних електричних мережах. *Друга міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі».* 10–12 квітня 2017р. НТУ «ХП», 2017. тези доповідей – С.74.

16. Конев В.В., Крот А.Ю. Использование метода Альтшуллера для разрешения технических противоречий. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Международной научно-технической конференции*. Могилев, 23-28 апреля 2017 г. – С.260–261. (*Особистий внесок: формулюванні суті технічних протиріч в галузі технічної експлуатації будівель і споруд*).

***Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:***

17. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Модернизация процессов очистки сточных вод и установленного оборудования на очистных сооружениях промывочно-пропарочных станций вагонных депо. *Вагонный парк*. – 2017, №3-4. – С.39–43. (*Особистий внесок: оцінка агресивного впливу стічних вод та інших факторів на споруди*).

18. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Повышение эффективности технологий приготовления топливных смесей. *Локомотив-Информ*. 2017, №3–4, С.21-25. (*Особистий внесок: аналіз агресивного впливу органічних середовищ на споруди*).

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬ ПОШКОДЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ, СПОСОБІВ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НИХ .....	32
1.1 Аналіз пошкоджень цивільних будівель та споруд залізниць та факторів, що їх спричиняють.....	32
1.1.1 Будівлі та споруди залізниць і умови їх експлуатації .....	32
1.1.2 Фактори, що спричиняють пошкодження.....	37
1.1.3 Електричні впливи (струмів витоків, надлишкових електричних зарядів) на конструкції цивільних будівель і споруд та їх електрокорозійні пошкодження .....	40
1.2 Діагностування пошкоджень та моніторинг технічного стану цивільних будівель і споруд залізниць.....	54
1.3 Захист конструкцій цивільних будівель і споруд залізниць від агресивних середовищ та електричних впливів .....	67
1.3.1 Способи захисту від електричних впливів .....	67
1.3.2 Електропровідні композиції на основі мінеральних в'язучих ..	72
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1 .....	74
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	77
2.1.Матеріали.....	77
2.2 Методи досліджень.....	79
2.2.1 Дослідження впливу електричних полів від контактного проводу на залізобетонні мостові конструкції.....	79
2.2.2 Визначення фізико-механічних, гідрофізичних, електрофізичних властивостей силікатних композицій .....	82
2.2.3 Дослідження ефективності заземлених екранів із силікатної композиції.....	87
2.2.4 Фізико-хімічні дослідження .....	90
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2 .....	91
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХИСТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ ЗАЗЕМЛЕНИМИ ЕКРАНАМИ ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ.....	92
3.1 Механізм електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій на електрифікованих постійним струмом ділянках.....	92
3.1.1 Залізобетонні та бетонні конструкції високих пасажирських платформ.....	92
3.1.2 Залізобетонні мостові прогонові будови.....	97
3.1.3 Конструкції будівлі над водозабірною свердловиною .....	102
3.2 Обґрунтування створення електропровідних водостійких силікатних композицій для заземлених екранів.....	107
3.2.1 Водостійкість силікатних композицій на основі силікату натрію.....	107

3.2.2 Електропровідність силікатних композицій з електропровідними наповнювачами .....	118
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3.....	125
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ ТА ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ І МЕХАНІЗМУ ДІЇ ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	127
4.1 Пошукові експериментальні дослідження з вибору в'язучої речовини і електропровідного наповнювача.....	127
4.2 Експериментальні дослідження з розробки і уточнення складів силікатної композиції з графітовим наповнювачем .....	138
4.2.1 Дослідження залежностей фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей силікатних композицій від вмісту графітового наповнювача .....	138
4.2.2 Фізико-хімічні дослідження електропровідної силікатної композиції з добавкою доменного гранульованого шлаку та графітовим наповнювачем .....	163
4.3 Дослідження ефективності заземлених екранів як заходу захисту від електрокорозії .....	179
4.3.1 Захисні екрани від наведення потенціалів електричним полем від контактного проводу.....	179
4.3.2 Заземлені екрани із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем.....	181
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4.....	190
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	194
5.1 Розробка системи моніторингу технічного, у т.ч. корозійного, стану цивільних будівель і споруд залізниць .....	194
5.2 Склад електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електричних впливів...	199
5.3 Технологія виробництва електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електричних впливів .....	203
5.4 Конструктивно-технологічне рішення екранного захисту пасажирських платформ від електричних впливів .....	206
5.5 Дослідно-промислове впровадження екранного захисту конструкцій пасажирських платформ від електричних впливів .....	209
5.6 Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень.....	214
5.7 Розробка рекомендацій за результатами досліджень .....	216
5.8 Використання результатів досліджень у навчальному процесі.....	216
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5.....	217
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	220
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	222
ДОДАТОК А Патенти на винаходи.....	246

ДОДАТОК Б Результати обстеження залізобетонних конструкцій будівлі вокзалу та пішохідного мосту ст. Харків-пасажирський .....	249
ДОДАТОК В Результати обстеження конструкцій шляхопроводів, на яких закріплено контактну мережу постійного струму.....	259
ДОДАТОК Г Результати обстеження конструкцій будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа .....	280
ДОДАТОК Д Система моніторингу стану ґрунтів основ споруд та будівель	286
ДОДАТОК Е Технологічний регламент виробництва суміші електропровідної композиції проникної дії для гідроізоляції і захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій з вказівками із застосування.....	300
ДОДАТОК Ж Акти виготовлення дослідних партій композиції, вибору дослідної ділянки та впровадження захисту конструкцій високих пасажирських платформ від електрокорозії заземленими екранами-покриттями із електропровідних композицій, рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витoku з рейкових колій та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах .....	312
ДОДАТОК К Кошторисні дані для визначення економічного ефекту від впровадження.....	320
ДОДАТОК Л Довідка про впровадження результатів дисертації.....	331
ДОДАТОК М Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	333

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Основною частиною інфраструктури залізниць України є будівельні об'єкти, серед яких цивільні будівлі та споруди, яких нараховується понад 26 тис. загальною площею понад 9,69 млн. м<sup>2</sup> та балансовою вартістю понад 6,1 млрд. грн. З них безпосередньо до інфраструктури відносяться службово-технічні будівлі та споруди господарств: пасажирського - вокзали, павільйони, конкорси, низькі, середні та високі пасажирські платформи, перони, дебаркадери; вантажного - вантажні склади (пакгаузи), криті та відкриті, високі та низькі вантажні платформи; інших (перевезень, колійного, сигналізації та зв'язку тощо) - стрілочні пости, пости ЕЦ, адміністративно-побутові будівлі тощо. Будівлі та споруди пасажирського господарства, стрілочні пости, пости ЕЦ є будівлями та спорудами станційно-вокзальних комплексів.

Майже всі цивільні будівлі та споруди залізниць України знаходяться на балансі та/або утриманні територіальних управлінь регіональних дирекцій філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд (філії БМЕС) АТ «Укрзалізниця».

Цивільні будівлі та споруди, зокрема, станційно-вокзальних комплексів залізниць, експлуатуються в особливо несприятливих умовах - одночасно зазнають важких динамічних навантажень від рухомого складу, атмосферних впливів, часто впливів агресивних середовищ, а на електрифікованих ділянках залізниць ще й дуже інтенсивних електричних впливів від джерел як постійного, так і змінного струму. Внаслідок всіх цих впливів вони зазнають інтенсивних пошкоджень.

Вважають, що електричні впливи спричиняють електрокорозію лише металевих конструкцій і арматури залізобетонних конструкцій від струмів витоку на ділянках, електрифікованих постійним струмом напругою 3 кВ.

Проте під впливом пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу та відповідного струму, що протікає під час проходження поїздів, бетон та розчин кам'яного мурування також піддаються електрокорозії, яка полягає



в електроміграційному вилуговуванні  $Ca(OH)_2$  та утворенні тріщин, інтенсивність яких залежить від сили струму

Електричними впливами на бетон та конструкції із нього є не тільки електричні потенціали та струми витоку, а й надлишкові електричні заряди у вигляді макрополяризації об'єктів, як створювані цими потенціалами (штучного походження), так і природного походження від нерівномірності електричного поля Землі на місцевості, від перенесення катіонів ґрунтів, порід, бетонів (більш рухомих, ніж аніони) ґрунтовими та підземними водами, тимчасовими та постійними водотоками.

Зазвичай для запобігання електрокорозії металевих або залізобетонних споруд, зокрема підземних, застосовують анодний або катодний електрохімічний захист, електродренування.

Раніше в УкрДУЗТ було запропоновано здійснювати захист підземних і заглиблених споруд, на які можуть натікати струми витоку з рейкових колій електрифікованих постійним струмом ділянок залізниць, заземленими електропровідними екранами з простим або діодним заземленням, який можна вважати різновидом електродренування. Такі екрани збирають струми витоку та відводять їх у ґрунт (дренують) через діодне або просте заземлення. Виконання таких екранів у вигляді металоін'єкційних обойм або сорочок дозволяє відновити або підвищити несучу здатність конструкцій, а також забезпечити їх повну водонепроникність. Проте металоін'єкційні сорочки та обойми є високовартісним і трудомістким конструктивно-технологічним рішенням.

За участі автора висунуто та розвинуто конструктивно-технологічне рішення захисного екрану-покриття із композицій проникної дії на основі портландцементу. Така композиції за рахунок комплексної хімічної добавки забезпечує кольматацію порового простору поверхневого шару бетону або розчину конструкції та підвищення його електричного опору. Одночасно за рахунок вмісту електропровідного наповнювача саме покриття має високу електропровідність та у разі його заземлення забезпечує дренування струмів витоку.

Проте композиції проникної дії на основі портландцементу за рахунок застосування бездобавочного портландцементу та значної кількості коштовних хімічних добавок є надто дорогими. Отже, розробка інших електропровідних силікатних композицій для улаштування заземлених екранів замість металоін'єкційних сорочок та обойм є актуальним практичним завданням.

Такі композиції можуть виготовлятися безцементними, наприклад, на основі натрієвого рідкого скла та меленого доменного гранульованого шлаку. Проте сумісність електропровідних наповнювачів з композиціями на основі рідкого скла, особливо з урахуванням їх не завжди високої водостійкості, залишається недослідженою.

Отже, дослідження впливу електропровідних наповнювачів на електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості композицій на основі натрієвого рідкого скла, є актуальним науковим завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконані на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками» (№ДР 0115U000279) [1], «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (№ДР 0115U000279) [2] госпдоговірної НДР, що виконувалась за планами НДР АТ «Укрзалізниця»: «Розроблення нормативного документа за темою «СТП «Інженерні споруди. Мости залізничні. Правила фарбування в процесі експлуатації» (Г/Т №60/5-2017) [3].

**Мета роботи** – розробка електропровідної силікатної композиції для екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

**Завдання досліджень:**

- критичний аналіз літературних джерел і результатів натурних досліджень з питань впливу електричного струму на цементний камінь, бетон, конструкції

та споруди, розташовані поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій, та захисту від нього;

- розвиток уявлень про електрокорозію бетону та конструкцій із нього;

- теоретичне обґрунтування створення електропровідних силікатних композицій для екранного захисту від електрокорозії конструкцій та споруд залізниць;

- експериментальні дослідження впливу складу на електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості силікатних композицій з електропровідними наповнювачами;

- фізико-хімічні та електронно-мікроскопічні дослідження фазового складу продуктів гідратації та структури силікатних композицій з електропровідними наповнювачами;

- експериментальні дослідження ефективності екранного захисту електропровідною силікатною композицією;

- розробка і патентування складу композиції, удосконалення і дослідне впровадження конструктивно-технологічних рішень ремонту та екранного захисту бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд залізниць від електрокорозії.

**Об'єкт дослідження** – електропровідні силікатні композиції для екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

**Предмет досліджень** – властивості електропровідних силікатних композицій для екранного захисту конструкцій і споруд залізниць, явища і процеси, що відбуваються під час твердіння та експлуатації композицій та забезпечують їх електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості.

**Наукова гіпотеза.** Для заземлених екранів для захисту від електрокорозії конструкцій, що не вимагають відновлення несучої здатності, доцільно застосовувати електропровідну силікатну композицію на основі силікату натрію та вуглеграфітового наповнювача. Водостійкість композиції на основі рідкого скла та вуглеграфітового наповнювача може бути забезпечена додаванням меленого доменного гранульованого основного шлаку, внаслідок

взаємодії якого з силікатом натрію утворюватимуться кальцієві лужні та лужноземельні цеолітоподібні алюмосилікати.

### **Методи досліджень.**

Фізико-механічні, гідрофізичні властивості композицій визначали стандартними методами на зразках-балочках. Адгезійні властивості композицій визначали на зразках-кубах і зразках-балочках із дрібнозернистого бетону та цементно-піщаного розчину за допомогою цифрового адгезіометра.

Електрофізичні властивості визначали на зразках-балочках із композиції або у покриттях із композиції на грані зразків-балочок із цементно-піщаного розчину за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC510, оснащених інтерфейсом з ПК. Безпосередньо вимірювали електричний опір, за величиною якого та геометричними розмірами покриття або зразка розраховували питомий електричний опір та питому електропровідність. Поляризацію композиції під час вимірювань на постійному струмі враховували через зміну полярності.

Вплив на залізобетонні конструкції електричного поля від контактного проводу та ефективність захисту від цього впливу, а також ефективність захисної дії від струмів витоку заземлених екранів із композицій досліджували за допомогою оригінальних лабораторних установок, що моделювали експлуатаційні умови.

Склад продуктів гідратації і характер їх взаємодії з електропровідним наповнювачем досліджували у складі рентгенофазового аналізу, аналізу інфрачервоних спектрів поглинання, світлової мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Встановлено вперше:

- у залізобетонних та бетонних конструкціях внаслідок впливу пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу ПОЕП утворюються зони, в яких відбуваються корозійні процеси: 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення

аніонів  $OH^-$  і водню  $H_2$ ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення  $Fe$  і утворення  $Fe(OH)_3$ ; 4) зона вилуговування бетону – винесення із бетону катіонів  $Ca^{2+}$  та їх карбонізація на поверхні;

- внаслідок накладання електричного потенціалу на силікатну композицію з графітовим наповнювачем  $C$  поверхні частинок  $C$  розділяються на анодні й катодні ділянки; на анодних ділянках відбувається розчинення  $C$  з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону  $OH^-$ .

Набули подальшого розвитку уявлення:

- про електрокорозію від ПООП: носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони  $Na^+$  та  $K^+$ , у бетоні – катіони  $Ca^{2+}$  та аніони  $OH^-$ , у сталевій арматурі – електрони  $e^-$ ;

- про твердіння і водостійкість силікатних композицій: продуктами взаємодії силікату натрію  $Na_2O \cdot nSiO_2$  та кремнійфториду натрію  $Na_2SiF_6$  є гель ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  і фторид натрію  $NaF$ , частинки яких мають негативний поверхневий заряд і утворюють між собою тільки електрогетерогенні контакти, які в сухих умовах за рахунок високої концентрації порового електроліту  $NaF$  мають високу міцність, але не є водостійкими; у разі додавання меленого доменного гранульованого шлаку його сполуки типу геленіту  $C_2AS$  взаємодіють з  $NaF$  з утворенням гідроніфеліну  $NaS_2H_2$ , гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF$ ; частинки  $C_3AH_6$  і  $CaF$  мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з  $Si(OH)_4$  електрогетерогенні контакти, які забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

**Достовірність отриманих результатів** забезпечена обранням апробованих незалежних методів експериментальних досліджень – стандартних фізико-механічних випробувань, гідрофізичних та електрометричних вимірювань, фізико-хімічних досліджень – рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової і скануючої електронної мікроскопії, натурних обстежень і експлуатаційних випробувань, їх достатньою статистичною забезпеченістю, а також узгодженістю результатів між собою та з результатами теоретичних досліджень.

**Обґрунтованість результатів досліджень** забезпечена застосуванням в теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей фізичної та колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, електрохімії.

**Практична значущість отриманих результатів** забезпечена розробкою та патентуванням композиції проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії на основі портландцементу та комплексної хімічної добавки з електропровідним наповнювачем [4] та електропровідної шпаклювальної композиції на основі рідкого скла та доменного гранульованого шлаку з електропровідним наповнювачем [5] (додаток А).

Практична значущість підтверджується економічним ефектом від впровадження результатів досліджень, обумовлених виконанням заходів із захисту від електрокорозії пошкоджених конструкцій, який склав 388,8 тис. грн., а також розробкою стандарту підприємства АТ «Укрзалізниця» СТП 06-018:2020 Інженерні споруди. Мости залізничні. Правила фарбування в процесі експлуатації [3].

Результати досліджень застосовані у навчальному процесі УкрДУЗТ під час підготовки бакалаврів і магістрів за освітніми програмами «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту» і «Промислове та цивільне будівництво» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у лекційних курсах, циклах лабораторних і практичних занять з дисциплін «Захист будівельних конструкцій від корозії» і «Відновлення експлуатаційних властивостей і захист будівель та споруд», у дипломному проектуванні.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Основні теоретичні та експериментальні результати отримані автором особисто, зокрема, самостійно виконано аналітичний огляд літератури з тематики досліджень, більшість натурних обстежень, фізико-механічних випробувань, електрометричних вимірювань та фізико-хімічних досліджень, обробка та отримання експериментальних залежностей, розрахунки.

Постановлення завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези та нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником, експлуатаційні дослідження та впровадження результатів досліджень – спільно із співавторами публікацій.

**Апробація результатів досліджень.** Результати дисертаційного дослідження доповідались на: 78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, 2016 [6], VI та VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 2017, 2019 [7–10]; Міжнародній науково-технічній конференції «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могилев, 2017 [11]; 30-й міжнародній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 2017 [12]; 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі», Харків, 2017 [13].

**Публікації.** Основні наукові результати дисертаційного дослідження опубліковані у 1 статті у журналі, що індексується наукометричною базою Scopus [14], 5 статтях у збірниках, що входять у перелік фахових видань МОН України [15–19], описах до 2 патентів на винаходи [4, 5], 8 доповідях і тезах доповідей конференцій [6–13], з яких 1 індексована наукометричною базою даних Scopus [9]. Результати досліджень додатково відображені у 2 інших періодичних виданнях [20, 21].

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 208 найменувань на 24 сторінках, містить 148 сторінок основного тексту, 79 рисунків, 29 таблиць, 10 додатків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬ ПОШКОДЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ, СПОСОБІВ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НИХ

#### 1.1 Аналіз пошкоджень цивільних будівель та споруд залізниць та факторів, що їх спричиняють

##### 1.1.1 Будівлі та споруди залізниць і умови їх експлуатації

До складу залізничної транспортної системи України входять підприємства, що здійснюють перевезення (пасажирів, вантажу, багажу, пошти), рухомий склад залізничного транспорту, залізнична інфраструктура, а також промислові, будівельні, торговельні, підприємства постачання, навчальні заклади. Основною частиною інфраструктури залізниць України є будівельні об'єкти [22]: земляне полотно; штучні споруди (мостові споруди, тунелі, галереї, водопропускні труби, лотки, тощо); залізнична колія; контактна мережа; цивільні будівлі та споруди. Цивільні будівлі та споруди залізниць, яких нараховується понад 26 тис. загальною площею понад 9,69 млн. м<sup>2</sup> та балансовою вартістю понад 6,1 млрд. грн., - це службово-технічні будівлі та споруди, що відносяться безпосередньо до інфраструктури, а також інженерні споруди та мережі, об'єкти цивільного захисту, житлові будівлі, об'єкти культурно-освітнього, оздоровчого, спортивного призначення. Службово-технічними є будівлі та споруди господарств: пасажирського - вокзали, павільйони, конкорси, низькі, середні та високі пасажирські платформи, перони, дебаркадери; вантажного - вантажні склади (пакгаузи), криті та відкриті, високі та низькі вантажні платформи; інших (перевезень, колійного, сигналізації та зв'язку тощо) - стрілочні пости, пости ЕЦ, адміністративно-побутові будівлі тощо [23, 24]. Будівлі та споруди пасажирського господарства, стрілочні пости, пости ЕЦ є будівлями та спорудами станційно-вокзальних комплексів [24].



Майже всі цивільні будівлі та споруди залізниць України знаходяться на балансі та/або утриманні територіальних управлінь регіональних дирекцій філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд» (філії БМЕС) АТ «Укрзалізниця» [23]. Кількість і структура будівель та споруд станційно-вокзальних комплексів, що знаходяться на балансі та утриманні територіальних управлінь дирекцій філії БМЕС АТ «Укрзалізниця» наведено на рис. 1.1, а їх характеристики в табл. 1.1.

Цивільні будівлі та споруди, зокрема, станційно-вокзальних комплексів залізниць, експлуатуються в особливо несприятливих умовах [23–28] – одночасно зазнають важких динамічних навантажень від рухомого складу, атмосферних впливів, часто впливів агресивних середовищ, а на електрифікованих ділянках залізниць ще й дуже інтенсивних електричних впливів [29–35] від джерел як постійного [29–33], так і змінного струму [34, 35]. Внаслідок всіх цих впливів вони зазнають інтенсивних пошкоджень [36].

Результати дослідження умов експлуатації та пошкоджень цивільних будівель та споруд залізниць викладено у [6].

а)



б)



в)



Рис. 1.1 Кількість і структура будівель та споруд станційно-вокзальних комплексів, що знаходяться на балансі філії БМЕС АТ «Укрзалізниця»

Таблиця 1.1

Результати аналізу показників зносу службово-технічних будівель та споруд, що є на балансі територіальних управлінь філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд (БМЕС) АТ «Укрзалізниця»

Господарства	Показник	Один. виміру	Величина показника						
			усього по філії	по дирекціям (регіональним філіям АТ «Укрзалізниця»)					
				Дніпровська (Придніпровська)	Київська (Південно-Західна)	Львівська (Львівська)	Львівська (Львівська)	Одеська (Одеська)	Харківська (Південна)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Всі	<b>Службово-технічних будівель та споруд:</b>								
	Кількість	шт.	26140	3427	5325	2535	6010	4485	4358
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	9692	1203	2128	1264	1823	1777	1497
	первісна вартість	тис. грн.	12081237	1081757	16984525	5109109	1543041	1393799	1255078
	залишкова вартість	"	6132356	879788	1388185	475052	1246315	1108159	1034857
	Знос	%	49,2	18,7	18,3	90,7	19,2	20,5	17,5
	амортизаційні відрахування	тис. грн.	361080	52997	73707	19142	92828	90080	32326
		%	2,99	4,90	4,34	0,37	6,02	6,46	2,58
Пасажирське	<b>Вокзалів, пасажирських будівель, павільйонів</b>								
	Кількість	шт.	2278	195	477	166	575	370	495
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	496	63	85	51	130	86	81
	первісна вартість	тис. грн.	4041267	261750	417156	2241349	446684	371036	303292
	залишкова вартість	"	1643616	214116	329678	170692	372161	297989	258980
	Знос	%	59,3	18,2	21,0	92,4	16,7	19,7	14,6
	амортизаційні відрахування	тис. грн.	85592	8641	19235	4567	20831	24870	7449
		%	2,12	3,30	4,61	0,20	4,66	6,70	2,46
	<b>Пасажирських платформ:</b>								
	Кількість	шт.	4719	587	1058	439	1011	732	892
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	2750	368	817	239	487	403	436
	первісна вартість	тис. грн.	1045768	104883	269835	294280	120691	116096	139984
	залишкова вартість	"	636777	88936	193565	57244	94301	91355	111376
	Знос	%	39,1	15,2	28,3	80,5	21,9	21,3	20,4
	амортизаційні відрахування	тис. грн.	35061	3465	13950	4127	6016	4913	2590
	%	3,35	3,30	5,17	1,40	4,98	4,23	1,85	

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Пасажирське	<b>Перонів:</b>									
	Кількість	шт.	625	90	87	74	87	127	160	
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	755	109	79	157	108	139	162	
	первісна вартість	тис. грн.	237200	22495	15679	101583	19469	31405	46568	
	залишкова вартість	"	131858	19115	13007	19870	16350	26409	37108	
	Знос	%	44,4	15,0	17,0	80,4	16,0	15,9	20,3	
	амортизаційні відрахування	тис. грн. %	6088 2,57	622 2,77	656 4,18	1515 1,49	807 4,14	1356 4,32	1132 2,43	
Вантажне	<b>Вантажних складів:</b>									
	Кількість	шт.	492	68	125	23	168	80	28	
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	181	18	41	17	51	36	18	
	первісна вартість	тис. грн.	214574	19847	59221	27426	69627	21685	16769	
	залишкова вартість	"	146396	13207	47707	6963	51363	14246	12909	
	Знос	%	31,8	33,5	19,4	74,6	26,2	34,3	23,0	
	амортизаційні відрахування	тис. грн. %	14161 6,60	2840 14,31	3377 5,70	292 1,06	5233 7,52	2022 9,32	398 2,37	
	<b>Вантажних плат-форм</b>									
	Кількість	шт.	1089	150	212	66	318	214	129	
	Площа	тис. м <sup>2</sup>	1103	119	231	61	392	190	110	
	первісна вартість	тис. грн.	315278	22453	39508	115729	91098	28828	17662	
	залишкова вартість	"	155419	17691	31364	3412	70562	19339	13052	
	Знос	%	50,7	21,2	20,6	97,1	22,5	32,9	26,1	
	амортизаційні відрахування	тис. грн. %	11342 3,60	825 3,67	2006 5,08	315 0,27	5566 6,11	1835 6,37	796 4,51	
	Перевезень, сигналізації та зв'язку	<b>Постів ЕЦ, будинків зв'язку, стрілочних постів:</b>								
		Кількість	шт.	2330	316	502	212	576	396	328
Площа		тис. м <sup>2</sup>	481	51	73	160	54	92	52	
первісна вартість		тис. грн.	952294	117710	133893	231517	114698	224043	130433	
залишкова вартість		"	647538	98360	116648	46463	86616	187083	112368	
Знос		%	32,0	16,4	12,9	79,9	24,5	16,5	13,9	
амортизаційні відрахування		тис. грн. %	34203 3,59	4459 3,79	5131 3,83	1562 0,67	7274 6,34	12898 5,76	2880 2,21	

### 1.1.2 Фактори, що спричиняють пошкодження

Результати дослідження факторів, що спричиняють пошкодження конструкцій цивільних будівель та споруд залізниць, викладені у [10, 16, 20, 21]. В основному ці фактори такі ж самі, як і для конструкцій інших промислових і цивільних будівель і споруд, досліджені В.В.Кіндом, В.М. Москвіним, В.С.Артамоновим, С.В. Шестоперовим, В.І.Бабушкіним, А.Ф.Полаком, С.М.Алексєєвим, В.Л. Чернявським, Р. Sandberg, J.Stark, С.Й.Солодким, С.М. Толмачовим [37–52] та іншими дослідниками. Особливу увагу ці автори приділяли корозійним процесам. Першим спробував створити на основі числених експериментальних даних і результатів обстежень струнку та корисну для практики класифікацію цих факторів, зокрема, за видами корозії бетону, В.М.Москвін зі співробітниками [38, 41]. Пізніше В.І. Бабушкін вперше застосував до процесів корозії методи хімічної термодинаміки [42], а А.Ф.Полак та В.Б.Ратінов – хімічної кінетики [43]. В.І. Бабушкін розробив більш широку класифікацію факторів, які спричиняють пошкодження конструкцій: механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні [42, 45], де звернув увагу на електричні впливи, які він відніс до електрхімічних факторів.

У п. 1.1.1 показано, що на будівлі та споруди транспорту, зокрема, станційних комплексів, впливають агресивні середовища – хімічно та біологічно активні газоподібні, рідкі та тверді. Майже кожен з наведених об'єктів є джерелом речовин, що надходять у атмосферне повітря, водойми, ґрунт, та є не тільки шкідливими, а й агресивними щодо будівель, споруд та інших об'єктів інфраструктури.

Більшість підприємств транспорту, що розташовані в межах населених пунктів, здебільшого скидають стічні води, що іноді містять шкідливі домішки в кількості, більшій за гранично допустиму концентрацію, та майже завжди містять агресивні речовини [20, 21].

Підготування залізничних цистерн для перевезення нафти та нафтопродуктів на промиво-пропарочних станціях вагонних депо входить до переліку

найбільш екологічно небезпечних технологічних процесів вагонного господарства [20]. Процес підготування цистерн є джерелом забруднених стічних вод, нафтовмісних відходів та викидів в атмосферу. Стічні води утворюються під час пропарювання й промивання цистерн від нафти, дизельного палива, мазуту, гасу, бензину, мастильних олив та інших нафтопродуктів, а також під час обмивання естакад і лотків. Такі стоки забруднені переважно нафтопродуктами і зваженими речовинами та можуть містити феноли, органічні кислоти, ацетон, тетраетилсвинець, ПАР тощо. Температура стоків зазвичай підвищена до 40–60°C.

У локомотивних депо на очисні споруди надходять стічні води, що утворюються в душових, від прання спецодягу в пральнях, після миття підлог і покриттів депо, зовнішнього обмивання вузлів та деталей рухомого складу, а також за рахунок безперервного продування котлів, від регенерації катіонових напірних фільтрів котелень депо, кислих та лужних стоків акумуляторних відділень [21]. Очищення стічних вод передбачає виконання таких технологічних процесів: попереднє очищення стоків; відокремлення нафтопродуктів; збирання нафтопродуктів з поверхні очисних споруд; скидання зібраних нафтопродуктів в накопичувальну цистерну за межами очисних споруд; видалення шламової пульпи; зневоднення шламу, видаленого з очисних споруд.

Очищення стічних вод від іонів важких металів, синтетичних поверхнево-активних речовин, мікроорганізмів та інших забруднень здійснюється електрокоагуляторами, які виробляють коагулянт, що забезпечує процес осадження зважених речовин і деструкції емульгованих нафтопродуктів. Механізм очищення побудований на адсорбції полівалентних катіонів. Формування коагулянта (гідроксиду заліза  $Fe(OH)_3$ ) відбувається ступінчасто: спочатку утворюється  $Fe^{2+}$  після цього – окислення до  $Fe^{3+}$ . Робота коагулятора забезпечується регулюванням параметрів струму, що подається з випрямляючого апарата.

Як бачимо, майже на кожному етапі формування і очищення стоків

виділяються агресивні речовини, а електрокоагулятори є ще й джерелами постійних струмів витоку

Під час приготування паливних сумішей (гомогенізації, видалення водних лінз, загустілих включень) та відновлення мастильно-охолоджувальних рідин використовують явище гідродинамічної кавітації, яке забезпечується кавітаційними апаратами. Гідродинамічна кавітація обумовлена сильним локальним зниженням тиску внаслідок високих швидкостей протікання рідини. У разі збільшення швидкості понад критичну та утворення області зниженого тиску з рідини виділяються бульбашки газу або пару, які набувають здатності до необмеженого збільшення. Повертаючись до області підвищеного тиску, кавітаційні бульбашки різко захоплюються, за рахунок чого виникають потужні короткочасні імпульси тиску (до десятків і навіть сотень тисяч атм). Швидкість схлопування порожнини за певних умов зростає до надзвукової, що призводить до виникнення ударної сферичної хвилі, значного локального підвищення температури та інтенсивного виділення енергії у мить захопування. Кавітація крім гомогенізації паливних сумішей здійснює руйнівний вплив на ємності кавітаційних апаратів.

Джерелом агресивних речовин є і тверді побутові відходи ТПВ, навіть, у разі їх пререробки [16]. Тільки за 2014 р. в Україні утворилось 343,5 млн. т твердих побутових відходів, які поховані на 4,5 тис. сміттєзвалищах і полігонах загальною площею понад 8 тис. га, 16 і 19 % з яких не відповідають нормам, а багато з них – перевантажені. Шкідливі та агресивні речовини можуть потрапляти у ґрунтові та підземні води та повітря. ТПВ є альтернативним видом палива, проте можуть викидати у повітря шкідливі та агресивні речовини, серед яких є хлормісткі діоксини. Основним способом знешкодження ТПВ є їх спалювання. В Харківському територіальному управлінні філії БМЕС АТ «Укрзалізниця» є сміттєспалювальний цех на ст. Люботин. Гази від сміттєспалювальних печей мають у своєму складі, ПАР, сажу, елемент-органічні речовини, що містять хлор, фтор, фосфор, сірку, які в процесі знешкодження газів на каталізаторі окислюються до  $HCl$ ,  $HF$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,

а також  $CO_2$  та  $H_2O$ . Кислоти взаємодіють з оксидами металів каталізатора і утворюють на його поверхні кислі солі – хлориди, фториди, фосфати, сульфати. Утворені солі є неактивними в реакції глибокого окислення елементорганічних речовин і їх необхідно зруйнувати за допомогою високих температур або відновного газу. В результаті знижується активність каталізатора, температура його запалювання, підвищується частота регенерації каталізатора і вкорочується період його роботи.

Сучасні системи очищення викидів – п'ятистадійні: 1) знешкодження, шляхом термічного вогневого розкладання та утилізації відходів; 2) очищення газів в камері допалювання за температури  $1100^\circ C$ , де відбувається окислення органічних речовин до вуглекислого газу і води, а тих, що містять хлор – до вуглекислого газу, хлористого водню і елементарного хлору; 3) очищення від суспензій у вихровому апараті; 4) знешкодження хлорвмісних речовин, що залишились, в каталітичному реакторі за температури  $550\text{--}6000^\circ C$ ; 5) галогеновмісткі ангідриди і кислоти, які можуть утворюватися в процесі спалювання, нейтралізуються лужним розчином, що впорскується в камеру допалювання і до, і після каталітичного реактора. Утворені кристали солей і пил уловлюються в рукавном фільтрі. Перед димовою трубою встановлюється вугільний фільтр, який уловлює сконденсовані аерозолі, ртуті та кобальт. Такий процес нейтралізації хлорвмісних відходів забезпечує повне їх розкладання.

### **1.1.3 Електричні впливи (струмів витоку, надлишкових електричних зарядів) на конструкції цивільних будівель і споруд та їх електрокорозійні пошкодження**

Виконано аналіз робіт І.А.Корнфельда, І.М.Єршова, В.А.Притули, А.В.Котельникова, І.В.Стрижевського, О.О.Старосельського, В.І.Подольського [53–60], які вважали, що на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом напругою 3 кВ (рис. 1.1), електричні впливи спричиняють електрокорозію лише металевих конструкцій і арматури залізобетонних конструкцій від струмів витоку, хоча проф. О.О.Старосельський і



відзначав певні зміни у продуктах гідратації цементу в приарматурній зоні [58, 59].

У роботах наукової школи проф. А.М.Плугіна, зокрема А.А.Плугіна, Л.В.Трикоз, Д.А.Плугіна, В.А.Лютого, О.С.Борзяк, О.А.Плугіна, О.А.Дудіна, О.А.Конєва, О.А.Забіяки, С.Г.Нестеренка, В.В.Касьянова, висновки з яких автором узагальнено у [6], доведено негативний вплив електричних полів, потенціалів і надлишкових зарядів на будівельні конструкції. Встановлено, що такого впливу зазнають будівлі та споруди, розташовані біля залізничних колій, електрифікованих постійним струмом, особливо поблизу водоймищ, постійних водотоків, на місцевостях з високим рівнем ґрунтових вод. Показано, що струми витoku з електрифікованих колій обумовлюють електрокорозію металевих конструкцій, арматури і бетону залізобетонних конструкцій, а також наведення електричних потенціалів і зарядів на конструкції (рис. 1.2–1.5).

Водотоки обумовлюють накопичення електричних зарядів за рахунок макроелектрокінетичних явищ на місцевості. Обводнені ґрунти можуть сприяти накопиченню електричних зарядів природного походження.

У [31–34] показано, що під впливом пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу ПООП та відповідного струму, що протікає під час проходження поїздів, бетон та розчин кам'яного мурування також піддаються електрокорозії, яка полягає в електроміграційному вилуговуванні вапна  $Ca(OH)_2$  [31, 33] та утворенні тріщин [61–64], інтенсивність яких залежить від сили струму [31, 33]. У [31, 33] запропонована та експериментально підтверджена шляхом випробування зразків бетону формула залежності кількості  $Ca(OH)_2$   $m$ , кг, винесеного із зразка (конструкції або одиниці її об'єму), від кількості електрики  $Q$ , що протекла крізь нього:

$$m = QM/F; \quad (1.1)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta I_i \cdot t_i, \quad (1.2)$$

де  $M$  – молекулярна маса  $Ca(OH)_2$ , 74 г/моль;  $F$  – число Фарадея,  $9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль;  $\Delta I$  – різниця між силою струму на початку та в кінці кожного циклу ПООП, А;  $t_i$  – тривалість циклу ПООП, с;  $n$  – кількість циклів ПООП.

У [33, 64–66] показано, що електричними впливами на бетон та конструкції із нього є не тільки електричні потенціали та струми витоку, а й надлишкові електричні заряди у вигляді макрополяризації об'єктів, як створювані цими потенціалами (штучного походження), так і природного походження від нерівномірності електричного поля Землі на місцевості, від перенесення катіонів ґрунтів, порід, бетонів (більш рухомих, між аніони) ґрунтовими та підземними водами, тимчасовими та постійними водотоками.

У [30, 33] розроблено схеми протікання струмів витоку з рейок електрифікованої постійним струмом залізничної колії через конструкції водопропускних труб, станційних будівель, високих пасажирських платформ, що добре узгоджуються з характером їх пошкоджень (рис. 1.2–1.4).

З рис. 1.3–1.5 видно, що блукаючі струми під час вологої погоди, коли поверхневі шари ґрунту сильно зволожені та їх електроопір менше, ніж у глибинних шарів, можуть розтікатися на значні відстані від колії і стікати в землю в місцях з меншим опором розтікання струму в ґрунті, ніж під рейковою колією. Якщо на шляху блукаючого струму розташована конструкція з струмопровідного матеріалу (металева, волога бетонна, залізобетонна, кам'яна або цегляна), він може протікати через конструкцію фундаменту в ґрунт або проходити через конструкцію в обладнання і через його заземлення або обнуління контуру в землю. Оскільки поверхня землі, покриття перону тощо, як правило, не герметичне, вода під час дощу або сніготанення, потрапляючи в верхній шар ґрунту, зволожує його і накопичується в ньому. Вона також сприяє утрудненню випаровування води з ґрунту, та, відповідно, зменшення його електричного опору. У період дощів матеріал стін намокає, при цьому електроопір стін різко знижується, і вони здатні проводити крізь себе або по своїй поверхні струми. Таким чином можуть утворюватися ланцюги «рейка - заземлювач електрообладнання» в будь-якому місці будинку.

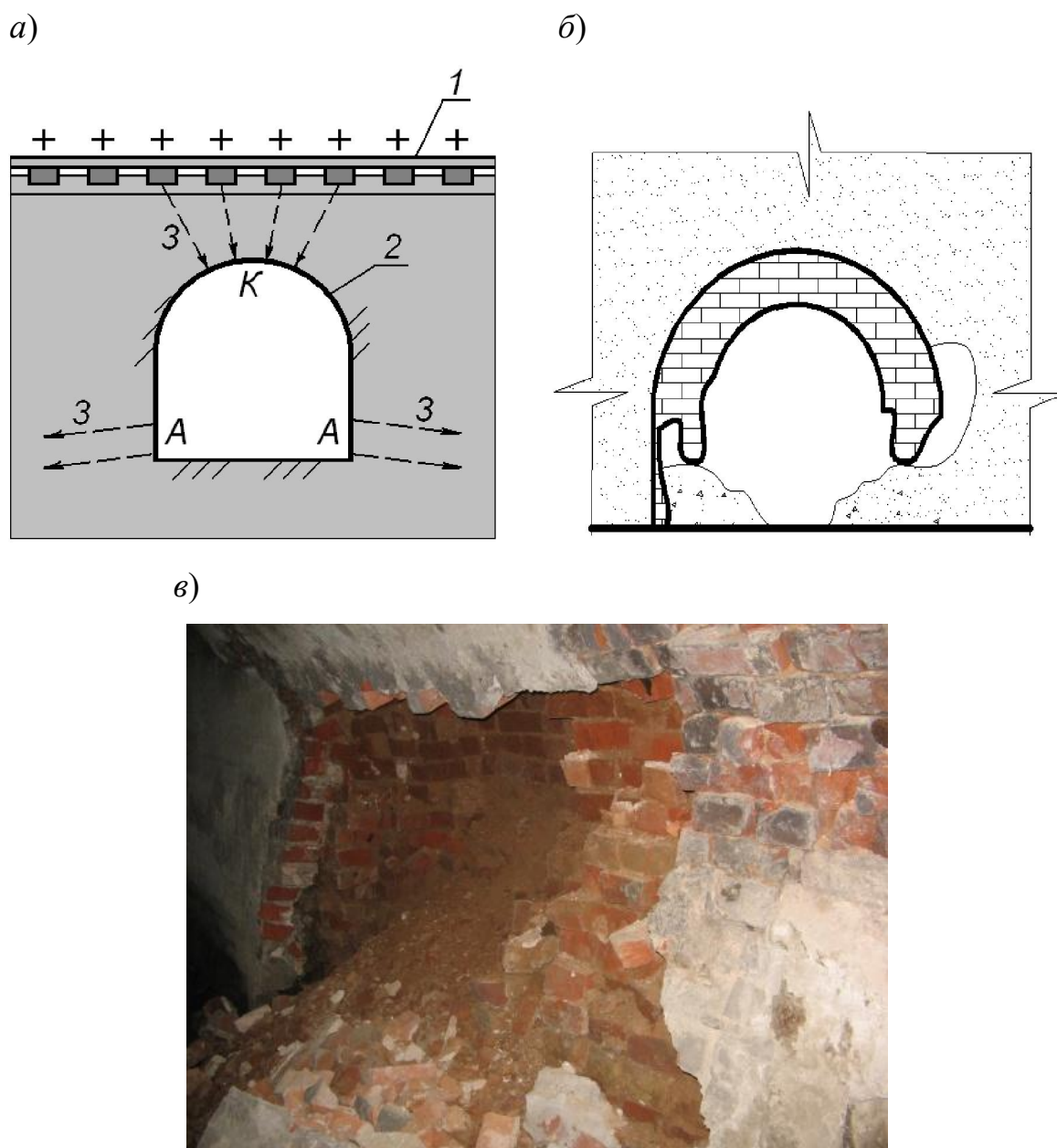
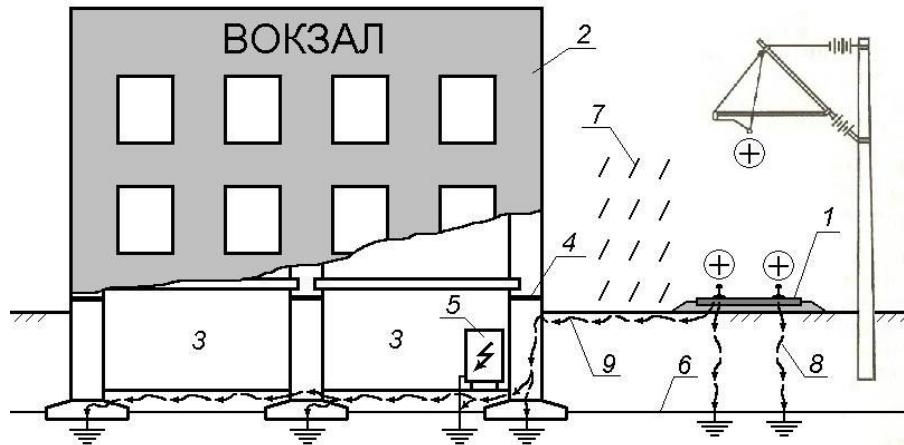


Рис. 1.2 Електрокорозійне пошкодження конструкції водопропускної труби в залізничному насипу: *a* – схема протікання струму витoku з рейок через незахищену конструкцію: *1* – рейкова колія; *2* – металоін'єкційна сорочка; *3* – струми витoku; *б, в* – пошкодження – вивали;

a)

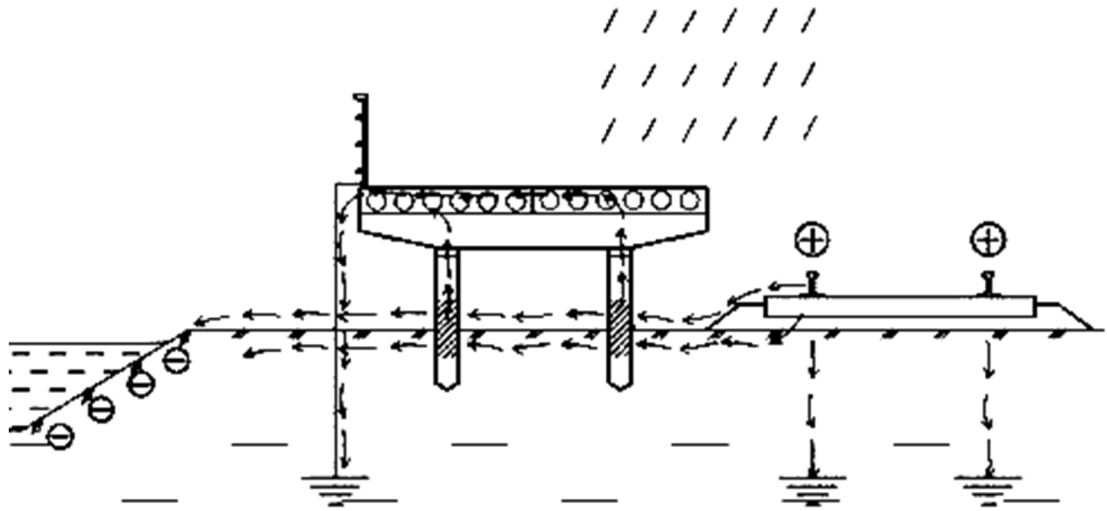


б)



Рис. 1.3 Електрокорозійне пошкодження конструкцій будівлі вокзалу: *a* – схема протікання струму через конструкції: 1– електрифікована колія; 2– будівля (на *б* – перон); 3 – сирий підвал; 4– горизонтальна гідроізоляція; 5 – заземлене електрообладнання; 6– рівень ґрунтових вод; 7– атмосферні опади; 8– блукаючий струм, що переважає в суху погоду; 9– блукаючий струм, що переважає у сиру погоду; б – пошкодження цоколю будівлі вокзалу від атмосферних впливів, прискорені впливом струмів витоку

a)



б)



в)

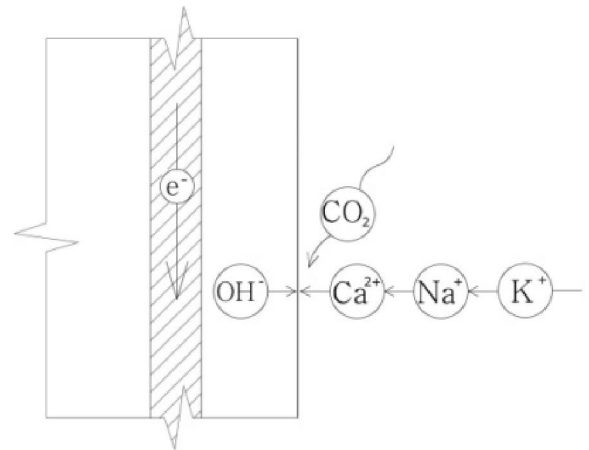
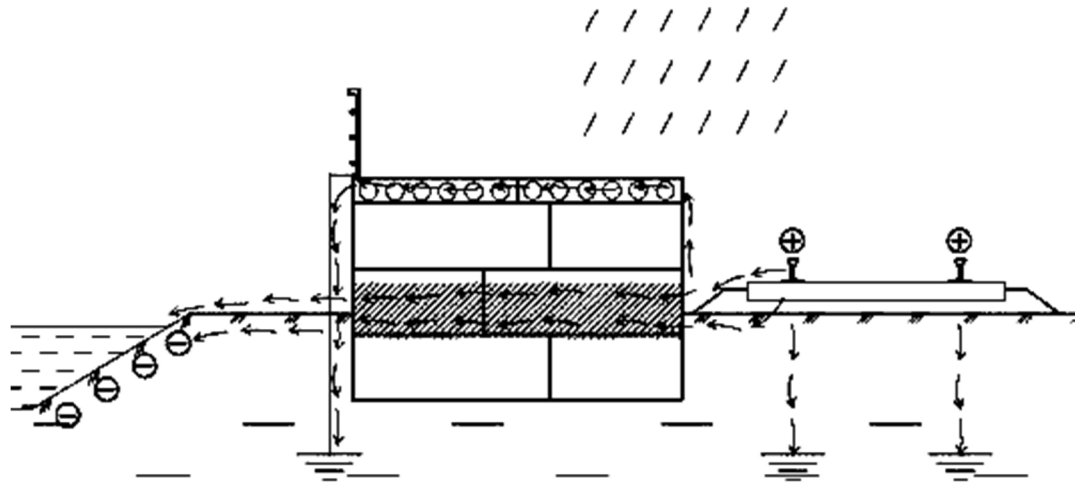


Рис. 1.4 Електрокорозія залізобетонних стояків високих пасажирських платформ: *a* – схема протікання струму витoku крізь конструкції платформи і заземлення металеві огорожі у дощову погоду; *б* – тріщини у стояках внаслідок електрокорозії арматури; *в* – схема переносу іонів (та електронів) – носіїв струму крізь обводнений ґрунт і бетон захисного шару до арматури

a)



б)



в)

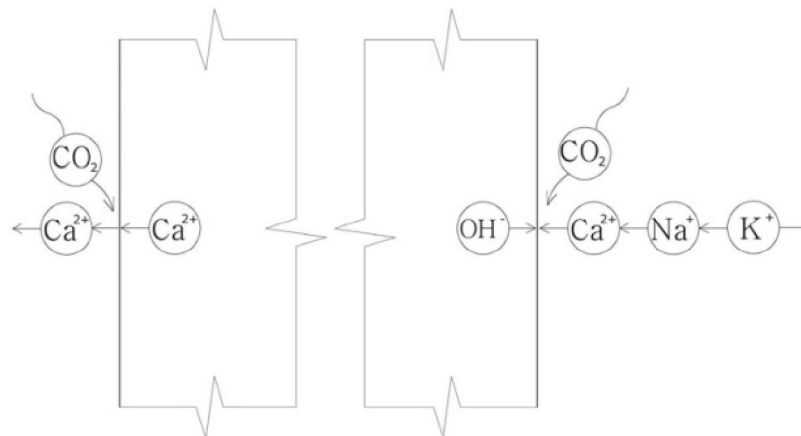


Рис. 1.5 Електрокорозія бетонних блоків опор високих пасажирських платформ:  
*a* – схема протікання струму витoku крізь конструкції платформи і заземлення металевої огорожі у дощову погоду; *б* – висоли на поверхні опори; *в* – тріщини та відколи у бетоні опори; *г* – схема переносу іонів (та електронів) – носіїв струму крізь обводнений ґрунт і бетон

Ще під час будівництва ліній у XIX ст. на залізницях створювалась розвинена інфраструктура водопостачання для заправлення паровозів. Водозабірні свердловини улаштовували поблизу від залізничних колій. Відзначено, що в конструкціях будівель, зведених над свердловинами та поряд з ними, пошкодження розвиваються швидше, ніж звичайно. Одним з найбільш агресивних чинників, який обумовлює електрокорозійне пошкодження конструкцій і споруд залізниць, є струми витоку [56, 67] та електричні потенціали, що ними наводяться [31, 33]. Однак вплив водозабірних свердловин на електричні потенціали на прилеглий території і електрокорозійні пошкодження будівель невідомий.

У [68–71] було встановлено, що електричні потенціали можуть впливати на міцність бетону [68], а в конструкціях з нього обумовлювати виникнення внутрішніх напружень [63, 69] і утворення тріщин [64, 70, 71]. У [72–74] відзначено вплив потенціалів на стійкість укосів, схилів, земляного полотна, а в [75] – основ будівель. У [33, 77, 78] встановлено закономірності поширення території і спорудами потенціалів від рейкових колій, у т.ч. їх конфігурації в плані, в [31, 73–76] – від поляризації ґрунтових масивів, у т.ч. від перенесення іонів, переважно катіонів, водотоками, фільтраційними, дифузійними, електроміграційними потоками, від вертикальної поляризації споруд і будівель [75, 76]. Проте вплив вертикально протяжних споруд – водозабірних свердловин на електричні потенціали на прилеглий до них території і електрокорозійні пошкодження конструкцій залишалося невивченим.

За даними [23] та іншої експлуатаційної документації проведено аналіз умов експлуатації цивільних будівель та споруд в межах Південної залізниці [6]. Встановлено, що цього впливу можуть зазнавати такі об'єкти:

- високі пасажирські платформи на станціях і зупиночних пунктах Безлюдівка, Васищево, Левківка, Зміїв, Геніївка, Шебелинка, Липовий Гай, Карачівка, Науковий, Зелений Гай, Водяне, Коротич, Пісочин тощо;

- пости ЕЦ на станціях Індустріальна, Харків-Балашовський, Нова Баварія, Золочів, Мерефа, Безпалівка, Лихачове, Панютине, Зміїв, Занки, Шебелинка, Балаклія, Циганська, Ізюм, Кислівка, Кагамлицька тощо;
- вокзали і пасажирські будівлі на станціях Занки, Ізюм, Мерефа, Бірки, Шу-рине, Лихачове, Біляївка, Краснопавлівка, Герсеванівський, Рогань, Слатино, Дергачі, Козача Лопань, Золочів, Кислівка, будівлі вокзального комплексу ст. Харків-Пасажирський тощо;
- інші залізничні будівлі та споруди різного призначення, як то будівля водо-забірної свердловини на ст. Основа, будинок зв'язку ст. Харків-Сортувальний, будівля прийомоздавців ст. Харків-Балашовський, пакгауз ст. Мерефа, ДСП ст. Балаклія, вантажні платформи ст. Шебелинка, Лихачове, Панютине тощо;
- автодорожні шляхопроводи над електрифікованими коліями.

Під час проходження електрорухомого складу постійного суму потенціал на рейках може досягати +50 В і більше і поширюватися по місцевості в залежності від типу і вологості ґрунтів на десятки метрів. Встановлено, що величина потенціалу на конструкції будівлі або споруди залежить прямопропорційно від величини потенціалу на рейках:

$$U_k = aU_p, \quad (1.3)$$

де тангенс кута нахилу залежності  $a$  визначається відстанню від колії, матеріалом і вологістю конструкції, типом і вологістю ґрунтів. Максимальні величини потенціалу на поверхні цоколя будівлі відзначалися на рівні +2 В.

Автором виконано натурне обстеження залізобетонних конструкцій будівлі 2-3-поверхового крила вокзалу Харків-пасажирський. Результати обстеження наведені у додатку Б. Аналіз результатів обстеження показав, що особливістю будівлі є сполучення її балкону із залізобетонною консольною плитною конструкцією з окремими підсилюючими ребрами-консолями, з пішохідним мостом. Під прогоновими будовами пішохідного мосту проходить контактна мережа постійного струму 3 кВ. Безпосередньо під прогоновими будовами улаштовані ізольовані вставки несучого тросу контактної



мережі, на які напруга не подається. Через декілька десятків років експлуатації залізобетонні конструкції прогонових будов мосту, балкону та сталевих косоурів сходин зазнали корозійних пошкоджень у вигляді руйнування захисного шару бетону і корозії арматури на нижній грані і ребрах плити балкону (рис. Б.4–Б.7). Причинами пошкоджень є: наведення на поверхню плит електричних потенціалів від струмів витоку з контактної мережі постійного струму, яка проходить безпосередньо під прогоновими спорудами пішохідного мосту, сполученого з балконом; недостатня щільність і водонепроникність бетону та втрата водонепроникності асфальтобетонним покриттям балкону і гідроізоляції під ним. Про електрокорозійний вплив свідчать патьоки вилуговування (рис. Б.3, б, Б.4, а), найбільш інтенсивні безпосередньо над несучими тросами (рис. Б.3, б). Пошкодження є небезпечними, оскільки послаблюють стиснуту зону консольно защемлених плит. Для усунення та подальшого запобігання розвитку пошкоджень рекомендовано розробити заходи з ремонту і захисту, які повинні передбачати розробку складів ремонтної штукатурки, а також схем і пристроїв захисту конструкцій балкону від наведення електричних потенціалів.

За участю автора на Південній залізниці проведено натурні дослідження конструкцій шляхопроводів, на яких закріплено контактну мережу постійного струму. Результати досліджень наведені у додатку В. Пошкодження виявлені у 6 із 14 обстежених шляхопроводів (табл. В.1). Шляхопроводи, під якими проходять електрифіковані залізничні колії, класифіковані за характером впливу на їх конструкції силових навантажень та електричних струмів, потенціалів і зарядів від контактної мережі:

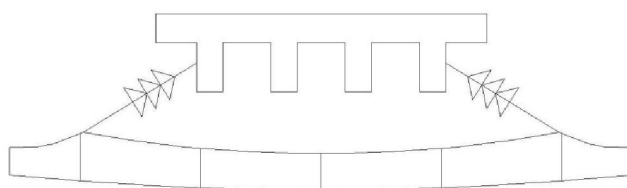
1) контактна мережа закріплена до прогонових споруд таким чином, що несучі троси діють на них горизонтальними та вертикальними силами (рис. 1.6, а); шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції: виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів); виток з

контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження; індукційне наведення з контактного проводу.

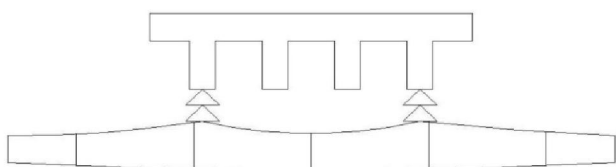
2) контактна мережа закріплена до прогонових споруд на вертикальних підвісках таким чином, що на них діють лише вертикальні сили (рис. 1.6, б); шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції: виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів); виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження; індукційне наведення з контактного проводу;

3) контактна мережа не закріплена за прогонові споруди на шляхопроводах незначної ширини. Шлях потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції – лише індукційний.

а)



б)



в)

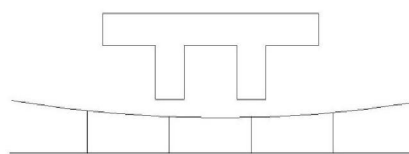


Рис. 1.6 Вплив контактної мережі на прогонову споруду мосту: а – горизонтальний та вертикальний механічний та електричний; б – вертикальний механічний та електричний; в – без механічного впливу

Порівняння отриманих результатів обстежень з [9, 10, 17, 18] дозволило встановити, що найбільш інтенсивним руйнівним фактором на конструкції шляхопроводів є струм витоків, що протікає у разі наведення на них позитивних електричних потенціалів. Шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції шляхопроводів в залежності від виду закріплення контактної мережі:

1) у разі розташування контактної мережі зверху прогонової споруди: виток з рейок безпосередньо через баласт або безбаластне мостове полотно у разі несправності, забрудненості, зволоженні скріплень, підрейкових основ, баласту; виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження; індукційне наведення з контактного проводу;

2) у разі розташування контактної мережі під прогоною спорудою: виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів); виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження; індукційне наведення з контактного проводу.

Виток з рейки відбувається лише на ділянках позитивного або знакоперемінного потенціалу. Виток з контактного проводу та індукційне наведення є менш інтенсивними руйнівними факторами, проте відбуваються на всій протяжності електрифікованих ділянок. Другим фактором, що забезпечує руйнівну дію електричного струму, є зволоження конструкції, наприклад, обводненість баластового корита або пошкодженого асфальтобетонного покриття. Додатковими руйнівними факторами є агресивні речовини, що потрапляють на конструкції з рухомого складу (сіль, мінеральні добрива тощо).

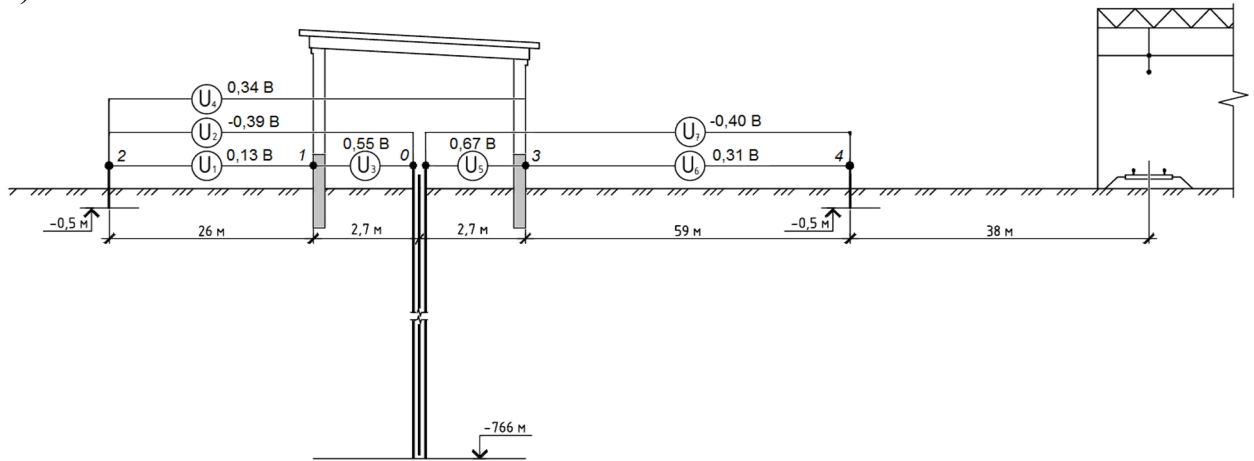
Всі ці руйнівні фактори спричиняють такі пошкодження: корозійні пошкодження і руйнування зварних з'єднань між балками прогонових споруд (найбільш небезпечне приховане пошкодження); корозійне пошкодження і руйнування арматури і бетону прогонових споруд, відшарування захисного шару; корозійне пошкодження і руйнування опорних частин і підферментних

площадок опор; корозійне пошкодження і руйнування арматури, бетону і розчину кладки нижньої частини опор і стояків опор.

Таким чином, проведено систематизацію руйнівних дій і пошкоджень конструкцій шляхопроводів, на яких закріплено контактну мережу, розроблено класифікацію типів розташування і конструкцій закріплення контактної мережі на шляхопроводах, в залежності від якої визначено шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на їх конструкції. Встановлено три основних способи потрапляння з контактної мережі електричних струмів, потенціалів і зарядів на конструкції прогонових будов шляхопроводів, викладені далі за ступенем впливу: 1) виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів); 2) виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження; 3) індукційне наведення з контактного проводу.

За участю автора проведено дослідження з інструментальними вимірюваннями електричних потенціалів будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа Південної залізниці, яка зазнала пошкоджень у вигляді тріщин. Результати досліджень наведено у додатку Г, а деякі з них були опубліковані у [79]. Характер тріщин свідчить про вигин будівлі за рахунок нерівномірного осідання основи. Проведено вимірювання електричних потенціалів на конструкціях будівлі та навколо них. Узагальнені результати вимірювання наведені на рис. 1.7. В результаті аналізу результатів вимірювань виявлено вплив водозабірної свердловини на розподіл електричного потенціалу навколо себе – поблизу значення потенціалів позитивні  $+(0,55-0,67)$ , по мірі віддалення змінюються на негативні величиною на відстані декілька десятків метрів  $-(0,39-0,4)$  В.

а)



б)



Рис. 1.7 Розподіл електричних потенціалів навколо будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа: а – схема будівлі та місцевості навколо неї; б – розподіл потенціалу по місцевості (за координату  $x = 0$  прийнято вісь свердловини)

## **1.2 Діагностування пошкоджень та моніторинг технічного стану цивільних будівель і споруд залізниць**

Виходячи з викладеного у р.1.1, актуальними стають завдання діагностування електрокорозійної небезпеки та пошкоджуваності, моніторингу електрокорозійного та загального технічного стану, прийняття та реалізації рішень із захисту від електрокорозії та відновлення експлуатаційних властивостей – ремонту будівель та споруд залізниць [8, 12, 13].

Будівлі та споруди залізниць зводяться на ґрунтових основах і складаються з будівельних конструкцій, виготовлених з будівельних матеріалів. Зводиться також значна кількість земляних споруд – насипів, виїмок, дамб тощо. На момент введення будівельного об'єкта в експлуатацію і протягом експлуатації показники експлуатаційних властивостей (якостей) його основ, фундаментів, конструкцій повинні відповідати певним вимогам, які забезпечують безпечну експлуатацію, надійність і довговічність об'єкта [80, 81].

В процесі експлуатації внаслідок впливу експлуатаційних навантажень і агресивних чинників різної природи експлуатаційні властивості конструкцій, будівель і споруд змінюються (погіршуються) [26, 27, 79, 82], тому за будівлями і спорудами здійснюють нагляд під час весняних, осінніх і позапланових оглядів, а також обстежень. Під час нагляду визначають зміни експлуатаційних властивостей, порівнюють їх з нормованими величинами і за результатами порівняння призначають і проводять технічне обслуговування, поточні та капітальні ремонти з відновлення втрачених експлуатаційних властивостей і захисту від агресивних, у т.ч. електричних впливів. Управління цими заходами є складним процесом порівнянь поточних і нормованих показників експлуатаційних властивостей, генерування варіантів їх відновлення і захисту, їх порівняння і вибору оптимального варіанту за якимось критерієм. Реалізація обраного варіанту також може ієрархічно включати процедури генерування і вибору варіантів конструктивно-технологічних рішень, матеріалів тощо.

Процедури нагляду і визначення заходів з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту досить трудомісткі, можуть зазнавати помилок внаслідок людського фактору, вимагають високої кваліфікації працівників. Усунути ці недоліки дозволяє розробка і впровадження комп'ютерних систем, що включають комп'ютер з програмним забезпеченням, систему датчиків контролю факторів електрокорозійної небезпеки, експлуатаційних властивостей основ, фундаментів, конструкцій, керованих комп'ютером, на який передаються показники, виконавчі механізми відновлення експлуатаційних властивостей. Проте більшість існуючих систем є поєднанням моніторингу їх стану з суб'єктивним вибором оператором засобів ремонту та захисту та їх реалізацією із застосуванням традиційних будівельних технологій.

Досить досконалою, насиченою незалежними методами контролю є система моніторингу споруд елеваторного комплексу [83], призначена для безперервного автоматизованого контролю стану фундаментів і силосів комплексу. Одночасно контролюються: рівень ґрунтових вод; осідання фундаментів; цілісність фундаментів; крен силосів. Система включає чотири незалежних автоматизованих підсистем моніторингу (рис. 1.8): гідрологічного; геодезичного; деформацій; нахилу. Система складається з пристроїв і засобів (рис. 1.8): моніторингу та збору інформації (датчиків); обміну інформацією (кабелі, протоколи узгодження); обробки та фіксації інформації (пристрої реєстрації, сервери). Дані від датчиків підсистем надходять на сервер збору даних, де відбувається обробка, зберігання і візуалізація даних. За допомогою спеціального програмного забезпечення (СПЗ) віддалений користувач може отримувати оперативну інформацію про стан контрольованих об'єктів та сповіщення про перевищення контрольованих параметрів.

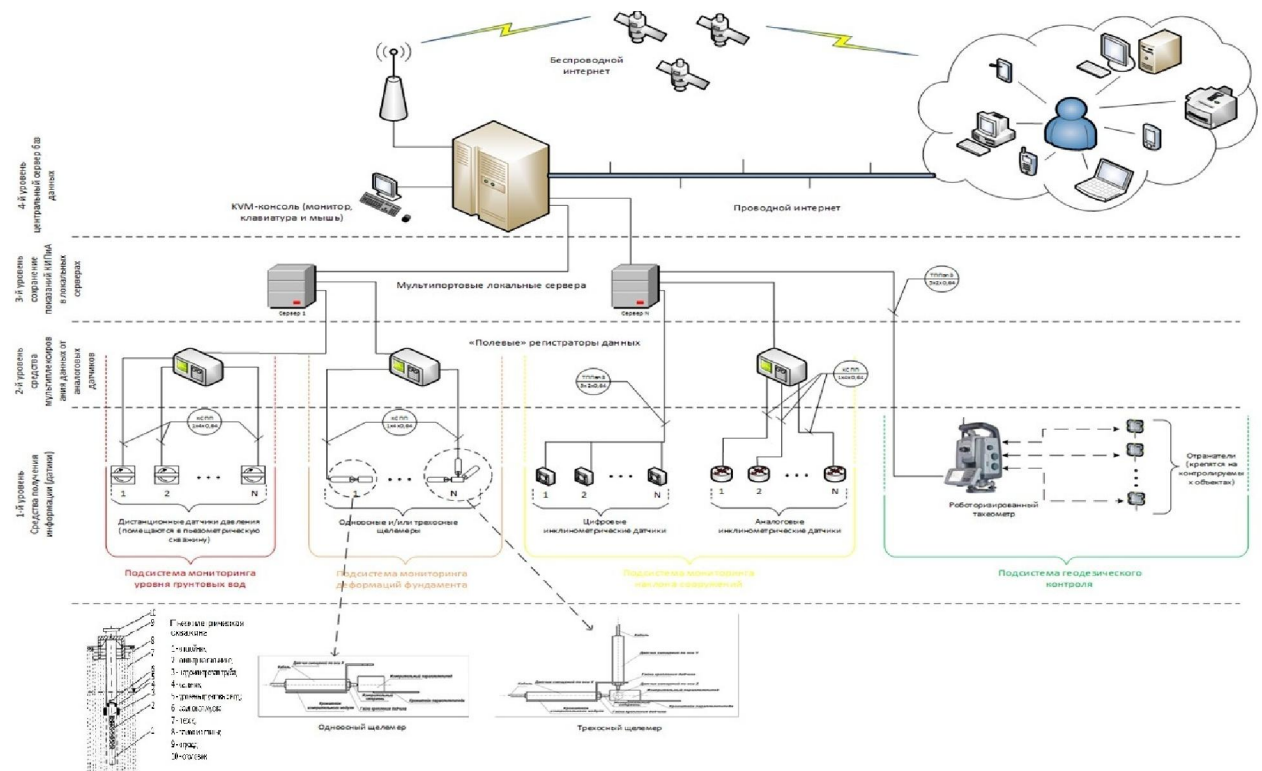


Рис. 1.8 Схема системи моніторингу споруд елеваторного комплексу

Підсистема гідрологічного моніторингу ґрунтових вод дозволяє збирати, обробляти, зберігати і візуалізувати дані, а також інформувати віддаленого користувача про перевищення гранично-допустимих рівнів ґрунтових вод. Основні частини підсистеми: п'єзометричні свердловини; дистанційні датчики тиску; реєстратори даних; засоби передавання даних; засоби електроживлення. Свердловини влаштовують в певних місцях на контрольованій території і обладнують обсадною трубою, заглибленою в ґрунт нижче рівня ґрунтових вод. В забої свердловини монтують фільтр очищення води, над гирлом – захисний оголовок. В свердловину на 2 м нижче мінімального рівня ґрунтових вод занурюють дистанційний датчик тиску, який вимірює тиск (рівень) ґрунтових вод в свердловині. Дані від датчиків передаються на реєстратор даних, розташований в центрі контрольованої території.

Підсистема геодезичного контролю призначена для моніторингу просторового зміщення будівель і споруд. Основні складові частини підсистеми: роботизований тахеометр; відбивальні призми; засоби передачі даних; засоби електроживлення. Роботизований тахеометр – пристрій, який об'єднує в собі



теодоліт і світлодальний мір, що дозволяє автоматично періодично зчитувати дані про зміщення контрольованих об'єктів. Тахеометр встановлюється на спеціальний фундамент-платформу віддалено від об'єктів моніторингу і за заданим режимом в певні проміжки часу проводить контроль переміщення відбивальних призм, встановлених безпосередньо на контрольованому об'єкті в зоні його видимості. По дві відбивальних призми встановлюють на кожен фундамент і по одній на силос.

Підсистема моніторингу деформації призначена для контролю відносних переміщень суміжних конструкцій в деформаційному шві в автоматичному режимі і дозволяє збирати, обробляти, зберігати та візуалізувати дані від датчиків-щілиномірів, а також інформувати віддаленого користувача про перевищення гранично-допустимих величин розкриття швів. Основні частини підсистеми: датчики-щілиноміри; реєстратори даних; засоби передачі даних; засоби електроживлення. В залежності від кількості контрольованих параметрів застосовують датчики - дистанційний одновісний або дистанційний тривісний, що контролює зміщення за трьома взаємно перпендикулярними осями – двом горизонтальним (перпендикулярно і паралельно) і вертикальною.

Підсистема моніторингу крену споруд дозволяє збирати, обробляти, зберігати та візуалізувати дані від датчиків-нахиломірів та інформувати віддаленого користувача про перевищення гранично-допустимих рівнів крену контрольованих об'єктів. Основні частини підсистеми: одновісні та/або двовісні датчики нахилу; засоби передачі даних; засоби електроживлення. Нахиломіри встановлюють безпосередньо на фундаменти і силоси для довготривалого автоматичного контролю зміни кута нахилу їх вертикальних поверхонь.

Серверне та мережеве обладнання призначене для збору, обробки, зберігання та візуалізації даних, отриманих від підсистем моніторингу. Основні частини: сервер збору і зберігання даних; засоби передачі даних від дистанційних датчиків; засоби передачі даних від віддалених реєстраторів;

засоби мережевої комунікації і віддалених користувачів; системи електроживлення. Зв'язок з віддаленими користувачами забезпечується підключенням до Інтернет через GPRS/3G шлюз з функцією міжмережного екрану (брандмауера).

СПЗ, що забезпечує автоматизовану роботу системи моніторингу – комплекс SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління і збір даних), програмний пакет для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт контролю. Такі системи встановлюють на інженерні та операторські робочі станції. Для забезпечення зв'язку з об'єктом і обладнанням система управління SCADA використовує спеціалізовані драйвери введення/виведення або OPC/DDE сервери. Програмування SCADA може здійснюватися на C++, Visual Basic тощо. Основні функції і завдання ПЗ: обмін даними між рівнями системи; обробка даних в режимі реального часу; реалізація SCADA HMI – людино-машинного інтерфейсу з відображенням інформації на ПК або операторських панелях; ведення бази даних; контроль аварійної сигналізації з повідомленнями про тривоги; створення звітів про виміри контрольованих величин; передача даних на верхні рівні системи. В процесі пуско-налагодження додаються всі дистанційні датчики, вказуються формули перерахунку даних, створюється операторський інтерфейс для візуалізації даних і налаштовується система оповіщення віддалених користувачів. Залежно від обраної SCADA, віддалений користувач має доступ до даних в режимі реального часу, або через Web-інтерфейс, або через клієнтське СПЗ. Серверне обладнання і ПЗ: серверна шафа; сервер збору даних; KVM консоль; мережевий комутатор; блок безперервного живлення; патч-панель; GPRS/3G шлюз; ОС Windows Server; СПЗ SCADA.

Ця система не виконує контролю таких важливих факторів, як вологість ґрунтів основ і/або земляного полотна, наявність електричних потенціалів на спорудах і поверхні землі. В [84–87] показано, що перезволоження ґрунту є найбільш важливим фактором, що визначає стійкість укосів земляного

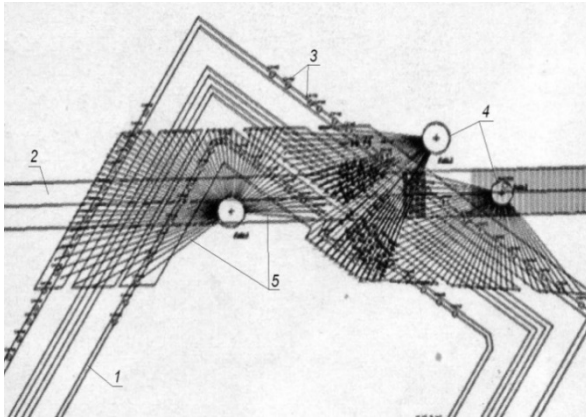
полотна і зсувонебезпечних схилів. У [30, 63, 64, 72, 73, 78] показано, що в поєднанні з підвищеною вологістю наявність таких потенціалів може викликати інтенсивну електрокорозію металоконструкцій, арматури і навіть бетону та розчину [30, 88], утворення тріщин в конструкціях [63, 64], деформації ґрунтових укосів і схилів [72, 73]. Крім того, вона є системою моніторингу стану і не призначена для вироблення рішень по відновленню втрачених експлуатаційних властивостей і реалізації таких рішень.

Найбільш досконалим сполученням моніторингу стану об'єкту з управлінням змінами цього стану видається компенсаційне нагнітання (soilfrac), яке застосовується в Європі з 1980-90-х рр. для запобігання осідань будівель під час проходки під ними підземних виробок і навіть для підйому будівель, що з різних причин вже осіли [89, 90]. Лідерами з проведення таких робіт є компанії Keller Grandbau GmH (ФРН), Soletanche Bachy (Франція).

Компенсаційне нагнітання полягає у поєднанні контролю за осіданням будівлі з ін'єктуванням цементної суспензії через систему горизонтальних манжетних труб під нею (рис. 1.9). Манжетні труби заздалегідь уводять у свердловини, пробурені із технологічних шахт віялоподібно під всією частиною будівлі або територією, що осідає (рис. 1.9, а). Нагнітання проводять під тиском до 10 МПа, який забезпечує розрив шарів ґрунту і підняття донної поверхні та будівлі. Управління компенсаційним нагнітанням автоматизують, контролюючи осідання за допомогою роботизованих тахеометрів та встановлених на будівлі реперів – відбиваючих призм (рис. 1.9, б). Інформація з тахеометрів потрапляє до системи управління на базі ПК, яка аналізує цю інформацію і виробляє на основі цього аналізу управляючі сигнали для обладнання, що проводить нагнітання (рис. 1.9, в). Таким способом у 2003 р. французька компанія Soletanche Bachy успішно виконала компенсаційне нагнітання під будівлю Олексіївського військового училища у м. Москва під час проходки під нею Лефортівського автодорожнього тунелю довжиною 3246 м, усунувши небезпеку осідань і утворення тріщин [90].

На поєднанні моніторингу стану об'єкта із заходами з його покращення ґрунтується «технологія STP™» [91–94]. Вона передбачає виправлення осідань будівельних об'єктів, обумовлених деформацією їх основ (рис. 1.10).

а)



б)



в)

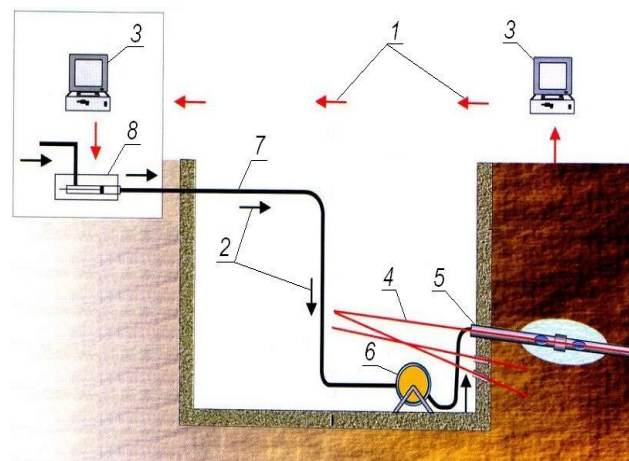


Рис. 1.9 Схема компенсаційного нагнітання: *а* - суміщений план нагнітання під час проходки під будівлею тунелю: 1- існуюча будівля; 2- траса тунелю; 3- репери на стінах будівлі; 4- технологічні шахти; 5- горизонтальні свердловини; *б* - контроль осідання будівлі за допомогою автоматичного теодоліта і реперів; *в* - управління нагнітанням: 1- напрямок руху інформації; 2- напрямок руху цементної суспензії; 3- ПК системи управління; 4 - осі свердловин; 5- манжетна труба; 6 - барабан для намотування розчинопроводу; 7- гнучкий розчинопровід; 8- нагнітальний насос

Особливістю цих рішень є застосування замість відомих рішень (висконапірної ін'єкції за допомогою потужного насосного обладнання [93, 94] тощо) композицій на основі поліуретанового полімеру SPT<sup>TM</sup> Resin, які під час твердіння розширюються у 3–30 раз та/або створюють тиск до 10 МПа. Послідовність реалізації цих конструктивно-технологічних рішень така: встановлюється геодезичний контроль за положенням конструкції; в залежності від величини її осідання і властивостей ґрунту приймається рішення щодо необхідного тиску  $a$ , отже, рецептури розширювальної композиції і глибини її нагнітання; у ґрунт основи занурюються ін'єктори, через які нагнітається композиція; після затвердіння композиції та підняття конструкції здійснюється геодезичний контроль її положення і приймається рішення щодо наступного етапу нагнітання; операції повторюються до досягнення проектного положення конструкції. Таким методом успішно здійснено ремонт водопропускної труби на 1216 км ділянки Колосівка-Одеса Одеської залізниці, у якій осідання зазнавала її середня частина.

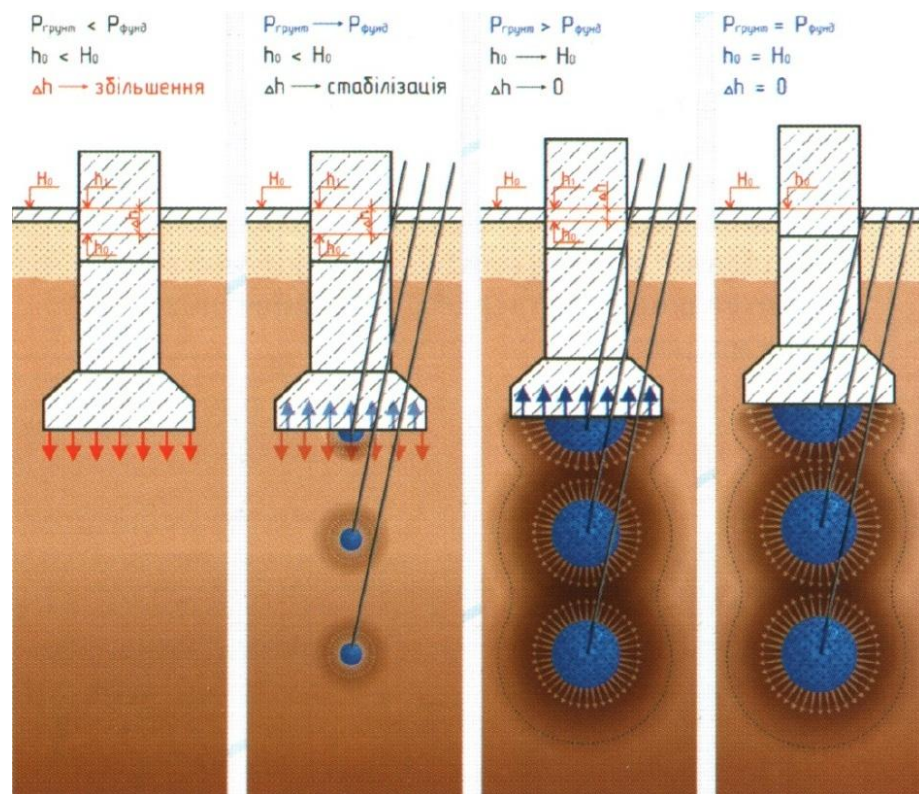


Рис. 1.10 Виправлення осідання фундаменту керованим нагнітанням під його підшову розширної поліуретанової композиції

Проте у цих системах моніторинг реалізовано лише для контролю якості робіт і не передбачає функціонування протягом експлуатації об'єкта.

У [95] було запропоновано оригінальний датчик для контролю вологості ґрунтів основ та залізничного земляного полотна, який може бути застосований у системах моніторингу, що включають контроль вологості ґрунтів основ і/або земляного полотна та наявність електричних потенціалів на спорудах і поверхні землі.

У [30] запропонована схема контролю вимірювання електричних потенціалів на конструкціях будівель і споруд як визначення різниці потенціалів між точкою вимірювання і віддаленою точкою землі (рис. 1.11), обґрунтовані небезпечні величини, що викликають розвиток ушкоджень.

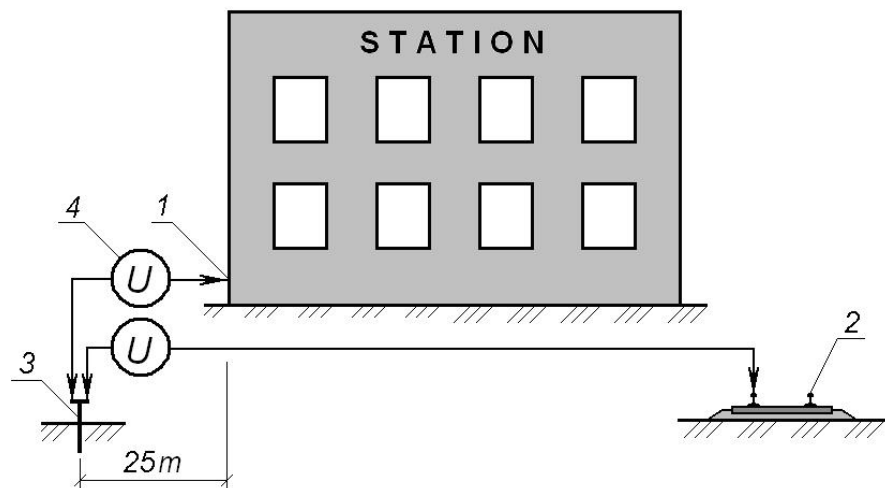


Рис. 1.11 Схема вимірювання електричних потенціалів на конструкції будівлі та поверхні землі: 1 – встановлений на цоколі будівлі спеціальний електрод (розглянутий у розд. 2); 2 – електрифікована рейкова колія; 3 – сталевий електрод заземлення; 4 – цифровий мультиметр (вольтметр).

Проведено також аналіз характеристик приладів – вимірювачів напруженості електричного поля, які виробляються промислово [6]. Встановлено, що такі прилади, зокрема, Nakko FG-450, Warmbier 7100.EFM51, ИЭСР-7, ЭСПИ-301А(В), ИПЭП-1, призначені для виявлення електричних полів, небезпечних для людей, з напруженістю понад 20 кВ/м за ГОСТ 12.1.045-84. Це перевищує напруженість природного поля у поверхні землі 130 В/м майже у

170 разів, тому більшість із вказаних приладів мають досить високу нижню границю вимірювання. Оскільки небезпечними внаслідок тривалого впливу на будівельні конструкції можуть бути значно менші величини напруженості, які перевищують напруженість природного поля лише у декілька разів, для зазначених досліджень придатними є прилади з нижньою границею вимірювання, що не перевищує 130 В/м, наприклад, Warmbier 7100.EFM51.

Виконано аналіз методів, алгоритмів і спеціалізованого програмного забезпечення щодо прийняття рішень на стадіях життєвого циклу будівель та споруд [17]. Оцінка ефективності функціонування об'єкта має здійснюватись протягом усього його життєвого циклу. Зміни в цьому циклі протягом його стадій визначаються та/або супроводжуються прийняттям різних конструкторських, організаційних, управлінських, технологічних рішень. Рішення приймаються уповноваженими фахівцями (проектувальниками, будівельниками, технологами, наглядачами тощо) на підставі інформації про нормовані та поточні властивості об'єкта. Збір та аналіз такої інформації і саме прийняття цих рішень досить трудомісткі. Тому для вирішення зазначених завдань доцільно використовувати методи і засоби автоматизації та інтелектуалізації прийняття рішень. Впровадження та практична реалізація таких засобів можливі лише з використанням комп'ютерної техніки і СПЗ.

Аналіз [96, 97] та проведені дослідження показали, що життєвий цикл об'єкта від моменту техніко-економічного обґрунтування до моменту фізичного або морального старіння можна розділити стадії, наведені у табл.1.2. Вибір СПЗ для розглянутих задач життєвого циклу об'єктів повинен відповідати вимогам до цих стадій. Наприклад, для управління процесом технічної експлуатації застосовуються СПЗ CAFM/CIFM (Computer Aided Facility Management / Computer Integrated Facility Management – системи автоматизації процесів фасиліти менеджменту) [97]. Ієрархічна структура СПЗ повинна забезпечувати крос-функціональність обміну даними. Інформаційне управління процесами має відповідати алгоритму саморегуляції зі зворотним

зв'язком. СПЗ повинно дозволяти вибирати найбільш йому сприятливий (вигідний) режим здійснення процесів технічної експлуатації.

Таблиця 1.2

## Життєвий цикл будівельного об'єкта (будівлі, споруди)

Стадії життєвого циклу				Тривалість стадій
Проектування				Декілька місяців (в залежності від складності будівельного об'єкта)
Будівництво				Декілька місяців або років (в залежності від складності будівельного об'єкта)
Експлуатація	Технічна експлуатація			Декілька десятиліть
	Нагляд (огляди та обстеження)	Технічне і санітарне обслуговування	Поточні ремонти	
Капітальний ремонт (або реконструкція). Капітальному ремонту (для складних об'єктів і робіт) і реконструкція (обов'язково) також передують проектування.				Декілька місяців або років (в залежності від складності будівельного об'єкта)
Експлуатація	Технічна експлуатація			Декілька десятиліть
	Нагляд (огляди та обстеження)	Технічне і санітарне обслуговування	Поточні ремонти	
...				...
Реконструкція або ліквідація (знесення або демонтаж)				

Аналіз [98–105] показав, що існує СПЗ, яке допомагають приймати управлінські рішення. Найбільш опрацьовано і ширше вони застосовуються для проектування (табл.1.3), оскільки цей етап особливо складний і містить: аналіз умов для втілення початкового задуму, розробка концепції проекту, оцінка його життєздатності, вибір і узгодження місць розміщення об'єкта, екологічне обґрунтування, експертизи, розробка ТЕО, отримання дозволу на будівництво, створення тимчасової будівельної інфраструктури, створення або оновлення об'єкта, введення його в експлуатацію. В найменшій мірі опрацьовано СПЗ для будівництва і, особливо, технічної експлуатації, яка включає нагляд, технічне обслуговування, поточні ремонти.

Крім цього, на всіх етапах життєвого циклу об'єктів нерухомості, які розглядаються, застосовується офісне СПЗ загального користування: текстові редактори MSWord, електронні таблиці MSExcel, СУБД MSAccess і т.д. Як видно з цієї таблиці, вказане СПЗ представляє собою швидше за експертні системи, причому розрізнені і слабо пов'язані між собою.



Таблиця 1.3

## Етапи проектування будівельних об'єктів і СПЗ для них

Етапи проектування будівель і споруд	Кінцевий результат	Спеціалізоване програмне забезпечення
1	2	3
Архітектурне проектування та конструювання	Проектна документація (креслення 2, 3D- моделі, специфікації 3, пояснювальні записки ескізних і робочих проєктів, техніко-економічних обґрунтувань, проєктів, робочої і виконавчої документації).	Системи автоматизованого проектування САПР (Computer-aided Design CAD): Autodesk AutoCAD (США); ArchiCAD (Graphisoft, Угорщина); Allplan (Nemetschek Allplan Systems GmbH, Німеччина); ASKON COMPAS-3D (Росія). Програми тривимірного моделювання: Autodesk 3d MAX; ScetchUp
Розрахунки несучої здатності при конструюванні	Результати розрахунків (розміри перетинів конструкцій, марки і класи матеріалів по міцності, вид і кількість арматури і т.п.)	Системи автоматизованих інженерних розрахунків (Computer-Aided Engineering CAE): універсальна – ANSYS (США); будівельних конструкцій і споруд – Ліра, Ліра-САПР (Україна); SCAD (Україна); основ і фундаментів – Geo-Slope (Канада), PLAXIS (Росія)
Прогнозування довговічності та її забезпечення	Результати прогнозування (час досягнення непрацездатного стану) і заходи щодо забезпечення нормованого терміну служби (показники щільності, непроникності, морозостійкості, корозійної стійкості, вимоги до захисних шарів і покриттям, електрохімічного захисту і т.п.)	«Відсутня ланка» у взаємодії CAD – SAE
Проектування організації будівництва та технологічне проектування	Проекти організації будівництва (будівельні генеральні плани, календарні графіки і плани) Проекти виконання робіт, технологічні карти і процеси	Будженплан, календарні графіки, технологічні карти: універсальні САПР – AutoCAD, Allplan спеціалізовані програми: «Гектор: Календарний план будівництва об'єктів» (Росія); «Адепт: Управління будівництвом» (Росія). Розрахунок складу бетону: автономні програми: Concrete Quality (Іспанія - США); ВЕТОН (Польща); КСУБС (ПДАБА-НУВГП); Concrete Design (ХНУБА); ПСБ-УкрДУЗТ; online-сервіси: RUKAMEN.RU; «Он-лайн розрахунок і проектування технологічних карт» (ТОВ «Категіс», Росія)
Кошторисні розрахунки	Кошторисна документація (локальні, об'єктні, зведені кошториси, калькуляції)	«Будівельні технології – Кошторис» (Україна); АВК (Україна); «Гектор: Кошторисник-будівельник» (Росія)

Будівлі і споруди залізниць є об'єктами, до яких пред'являються підвищені вимоги до безпеки та які вимагають високої точності результатів їх моніторингу та ідентифікації стану [15]. Їх особливості – тривалі терміни експлуатації, складні конструктивні рішення, великі габарити. Це вимагає забезпечувати можливість обробки великих обсягів багатопараметричної інформації, що надходить з датчиків фізичних величин. Безпечна експлуатація таких об'єктів передбачає, з одного боку, наявність об'єктивної достовірної інформації про їх критичний стан, а з іншого – наявність системи підтримки прийняття рішень. Відповідно, система моніторингу повинна забезпечувати не тільки процеси збору, обробки, зберігання та аналізу інформації про характеристики складних об'єктів, а й процеси підготовки і прийняття управлінських рішень. Під час розробки систем моніторингу намагаються забезпечувати автоматизацію робіт зі збору та аналізу інформації, розвиток методів і засобів неруйнівного контролю, цифрової обробки і передачі інформації по каналах зв'язку тощо [106, 107].

Проте під час розробки систем моніторингу моделюванню стану об'єктів та фізичних процесів за результатами комплексного аналізу інформації приділяється недостатньо уваги. Ефективним рішенням з усунення цього недоліку може бути використання методів нейромережевої ідентифікації шляхом створення і дослідження математичних та інформаційно-структурних моделей, а також алгоритмів ідентифікації їх критичних станів. Системи моніторингу та ідентифікації безпечного стану будівельних об'єктів на основі нейромережевого підходу повинні мати властивості адаптивності, паралелізм обчислень, можливості навчання [108–112]. Однак ряд алгоритмів, що використовуються в найбільш відомих нейронних мережах, вимагають введення евристичних процедур для адаптації до конкретних завдань. Тому необхідно вдосконалювати алгоритми навчання нейронних мереж, що входять в цілому в нейромережеву структуру моніторингу та ідентифікації безпечного стану будівельних об'єктів.

## **1.3 Захист конструкцій цивільних будівель та споруд залізниць від агресивних середовищ та електричних впливів**

### **1.3.1 Способи захисту від електричних впливів**

У [45, 53, 57, 113] тощо передбачені такі групи способів захисту залізобетонних конструкцій від блукаючих струмів: 1) обмеження струмів витоку на джерелах їх виникнення, у т.ч. заходи щодо підвищення величини перехідних опорів «рейка – земля»; 2) пасивний захист, застосовний для залізобетонних конструкцій, – нанесення на конструкції захисних покриттів, застосування бетону з підвищеним електричним опором; 3) активний електрохімічний захист, зокрема, електрохімічні способи, що підтримують пасивний стан арматури в бетоні подаванням на неї постійного потенціалу. Основні способи 3-ї групи: катодний, протекторний, електродренажний захист тощо. У випадках, коли пасивний захист є недостатньо ефективним, його поєднують з активним.

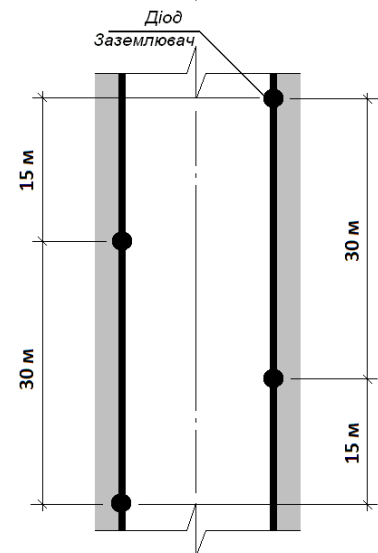
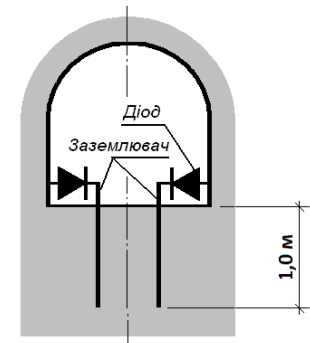
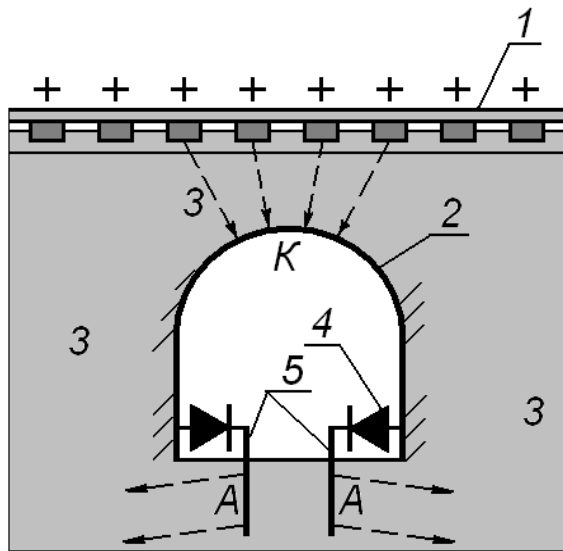
Принцип дії способів активного захисту полягає у видаленні анодної зони за межі споруди. Катодний і протекторний захист здійснюють це наведенням на споруду негативного потенціалу, роблячи споруду більш електронегативною, ніж «жертвний електрод». Електродренажний захист забезпечує вільне переміщення електронів від рейок до споруди без утворення катодних і анодних зон.

Електричний дренаж застосовується на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць. Він забезпечує відведення блукаючих струмів з конструкції до їх джерела, запобігаючи стіканню струму з поверхні споруди в землю. Дренування здійснюється прямим металевим з'єднанням споруди за допомогою провідника з рейками біля зворотного фідера або з негативною шиною тягової підстанції та шунтує паралельний шлях струму зі споруди до зворотного фідера через землю, внаслідок чого струми зі споруди повертаються в зворотний фідер не через землю, а провідником дренажа. Це виключає утворення анодних зони на металевих або арматурі залізобетонних

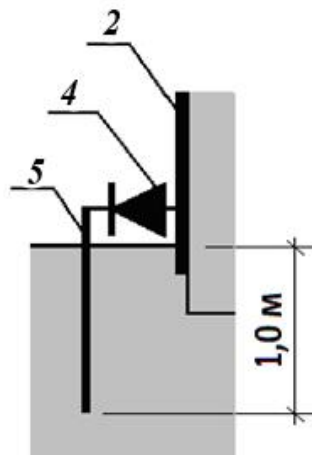
споруд та електрокорозійне руйнування в них. У разі такого дренажного захисту блукаючі струми із землі, потенціал в якій більший, ніж на споруді, за-тікають на нього. Це є катодною поляризацією, яка забезпечує захист і від ґрунтової корозії також. Різновиди електричних дренажів: прямий, поляризований, реверсивний і посилений [57]. Проте заходи із улаштування активного захисту є ресурсоемними і високовартісними та їх призначення має бути економічно обґрунтованим.

У [33, 65, 114] запропоновано здійснювати захист підземних і заглиблених споруд, на які можуть натікати струми витоку з рейкових колій електрифікованих постійним струмом ділянок залізниць, заземленими електропровідними екранами з простим або діодним заземленням, який можна вважати різновидом електродренування. Так, у [33, 114] це рішення було впроваджено для ремонту та захисту від електрокорозії конструкцій водопропускних труб, для відновлення несучої здатності яких застосовано металоін'єкційну сорочку (рис. 1.2, 1.12). Металева обшивка сорочки захищає бетон і розчин від карбонізації та вилуговування, цементний камінь бетону – обшивку зсередини від електрохімічної корозії. Однак в умовах впливу струмів витоку металева обшивка сорочки піддається електрокорозії, що протікає в анодних зонах (рис. 1.2). Її заземлення через діод дозволяє захистити як саму обшивку від електрокорозії за рахунок перенесення анодних зон на заземлення, так і бетон і розчин конструкцій труби від протікання струму (рис. 1.12, а). У [33, 115] аналогічний захист запропоновано для ремонту і захисту конструкцій пасажирських платформ (рис. 1.4, 1.13). Фактично сорочка стає захисним екраном, який збирає струми витоку та відводить їх у ґрунт (дренує) через діодне або просте заземлення. Внаслідок цього анодна зона переноситься з нижньої частини конструкції на електроди заземлення, які зазнають електрокорозії замість неї. Виконання таких екранів у вигляді металоін'єкційних обойм або сорочок дозволяє відновити або підвищити несучу здатність конструкцій, а також забезпечити їх повну водонепроникність.

a)



б)



в)



Рис. 1.12 Ремонт і захист конструкції водопропускної труби в залізничному насипу: *а* – схема протікання струму витoku з рейок через захищену діодним заземленням конструкцію, відремонтовану металоін'єкційною сорочкою; *б, в* – схема (*б*) та вигляд (*в*) діодного заземлення: *1* – рейкова колія; *2* – металоін'єкційна сорочка; *3* – струми витoku; *4* – вентиль (діод) захисного улаштування; *5* – стержень заземлення; *К* – катодна зона; *А* – анодна зона (корозійно небезпечна)

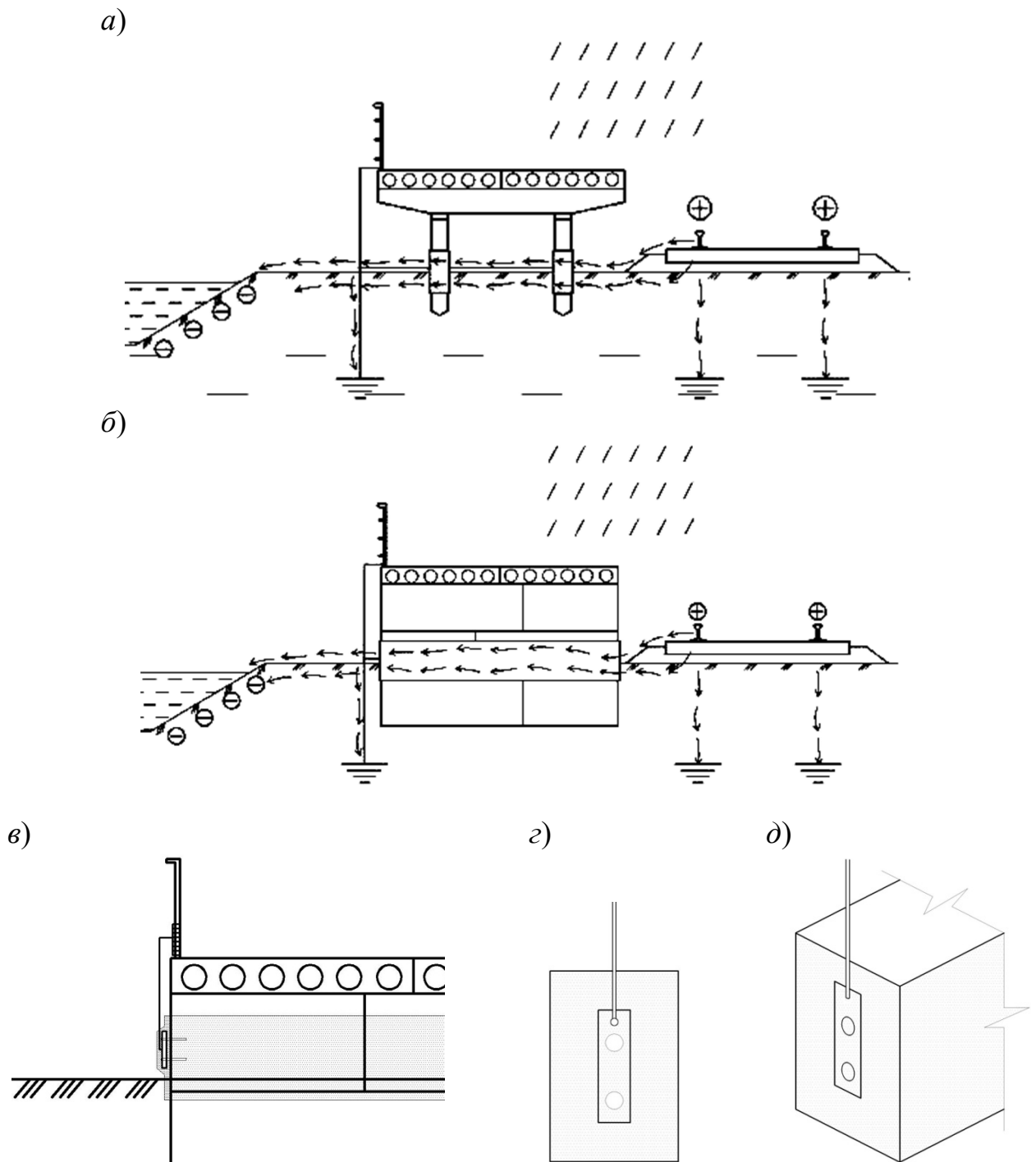


Рис. 1.13 Схема протікання струму витoku з рейок через захищені заземленими екранами конструкції високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків і ригелів (а) та бетонних блоків (б). Деталь сполучення провідника заземлення з екраном: в – загальний вигляд; г – різьбове кріплення провідника заземлення до пластини; д – кріплення провідника заземлення до пластини зварюванням.

Проте металоін'єкційні сорочки та обойми є дорогим і трудомістким конструктивно-технологічним рішенням, яке доцільно застосовувати за необхідності відновлення несучої спроможності споруди з істотними пошкодженнями. З метою здешевлення ремонту та захисту споруд у [77, 78] для захисту споруд від струмів витоку запропоновано застосовувати покриття-екрани із карбамідного полімерцементного розчину з підвищеним електричним опором, які перешкоджатимуть протіканню струмів крізь тіло конструкції або знижуватимуть їх силу.

У [9, 18, 116] за участю автора висунуто та розвинуто більш ефективне конструктивно-технологічне рішення захисного екрану-покриття із композицій проникної дії на основі портландцементу. Ці композиції за рахунок комплексної хімічної добавки забезпечують кольматацію порового простору поверхневого шару бетону або розчину конструкції та підвищення його електричного опору, як у [117]. Одночасно за рахунок вмісту електропровідного наповнювача саме покриття має високу електропровідність та у разі його заземлення забезпечує дренажування струмів витоку як заземлені металоін'єкційні сорочки за [33, 114, 115].

У [9, 18] за участю автора досліджено ефективність застосування заземлених екранів - покриттів із композицій з графітовим наповнювачем на основі портландцементу як засобу захисту споруд від електрокорозії струмами витоку. Була розроблена оригінальна методика, що полягає у порівнянні сили струму крізь арматуру і бетон моделей споруди без захисту та із захистом заземленим екраном – покриттям. Встановлено, що у порівнянні з моделлю без захисту величина струму, що протікає через неї у моделі з заземленим екраном-покриттям із композиції на основі портландцементу менше на 49–66 %. Отже, експериментально підтверджена ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку. Встановлено, що захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним - зі збільшенням цього відсотку сила струму крізь бетон і арматуру знижується, а крізь

захисний екран зростає. За результатами цього дослідження розроблено деталь сполучення заземлення з екраном із композиції на основі портландцементу стосовно пасажирських платформ [116] (рис. 1.13, в–д).

Проте композиції проникної дії на основі портландцементу за рахунок застосування бездобавочного портландцементу ПЦ І-500Н (СЕМ І-42,5Н) і значної кількості дорогих хімічних добавок є надто витратним. Отже, розробка інших електропровідних силікатних композицій для улаштування заземлених екранів та дослідження їх ефективності є актуальним завданням.

### **1.3.2 Електропровідні композиції на основі мінеральних в'язучих**

Електропровідні бетони відомі з 1960-х рр. [118]. Їх виготовляють на основі портландцементу [118–123], лужних в'язучих [124–126], а електропровідність забезпечують введенням електропровідних наповнювачів – вуглеграфітових [119, 124], металовмісних [120]. З електропровідних наповнювачів більш доступними й дешевими є вуглеграфітові. Вуглеграфітовими наповнювачами можуть бути мелені: графіт (збагачений натуральний або штучний), кокс (кам'яновугільний, пековий, нафтовий), антрацит, відходи або побічні продукти термічної або механічної переробки вуглеводневої сировини.

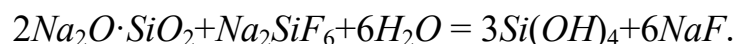
Експериментальні та теоретичні дослідження впливу мікродисперсних частинок наповнювачів на фізико-механічні властивості композицій на основі мінеральних в'язучих – міцність, усадку, зносостійкість тощо проводились у багатьох роботах [51, 52, 127–131]. Проте вплив вуглеграфітових наповнювачів на електротехнічні властивості досліджуваних композицій в основному залишався поза увагою авторів. Так, С.М. Толмачовим та О.А. Беліченко детально досліджено вплив вуглеграфітових нанопорошків на структуру і властивості цементних бетонів [132–134]. На основі закономірностей колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки ними обґрунтовано та отримано істотне підвищення міцності. Проте вплив нанодисперсних частинок вуглецю на електротехнічні властивості бетону також залишився поза увагою авторів.

В теперішній час на основі портландцементу створюють гідроізоляційні композиції проникної дії, продукти гідратації яких кольматують поровий



простір бетону та ущільнюють його поверхневий шар [135, 136]. Ці продукти гідратації утворюються внаслідок взаємодії алюмінатних фаз портландцементного клінкеру з добавками карбонатів, нітратів, сульфатів, хлоридів кальцію і натрію з утворенням солей Фриделя тощо [137–139]. Застосування таких гідроізоляційних композицій як основи для електропровідних композицій забезпечить підвищення електричного опору самої конструкції, що захищається, та зниження струмів крізь неї. Проте, як відзначено у п. 1.3.1, композиції проникної дії на основі портландцементу за рахунок застосування бездобавочного портландцементу і значної кількості високовартісних хімічних добавок є надто дорогим.

Отже, перспективними для улаштування заземлених екранів можуть стати спеціальні силікатні композиції на основі рідкого скла та мінеральних наповнювачів, які частіше застосовуються як корозійностійкі кислототривкі [140, 141]. Зазвичай застосовують кислототривкі наповнювачі – діабазові, андезитові тощо, та обов'язково вводять отверджувач – кремнійфторид натрію. Силікати натрію рідкого скла  $nNa_2O \cdot mSiO_2$  взаємодіють з кремнійфторидом натрію  $Na_2SiF_6$  з утворенням гелю кремнійкислоти  $H_4SiO_4$  або  $Si(OH)_4$ , який за рахунок коагуляції забезпечує в'язучі властивості [142]:



Проте такі композиції мають недостатню водостійкість і у [144, 145] для її підвищення запропоновано замість частини або усього кремнійфториду натрію вводити мелений основний доменний гранульований шлак. За аналогією зі шлаколужними в'язучими [146–149] взаємодія його силікатних і алюмінатних мінералів і скла з силікатом натрію обумовлює утворення певної кількості цеолітоподібних кальцієвих, лужних і лужноземельних алюмосилікатів, які й забезпечують підвищення водостійкості [142].

Проте питання взаємодії вуглеграфітових наповнювачів з вказаними гідроізоляційними композиціями та впливу на їх властивості є невивченими.

На електропровідність бетонів і композицій впливають склад (співвідношення компонентів) [121], структура [122, 123, 125, 150], особливо мікро-

структура [123, 125, 126], технологічні впливи під час виготовлення [122, 151, 152], поточна вологість [153, 154]. Управління електропровідністю під час виготовлення композитів зазвичай здійснюють емпіричним шляхом, досліджуючи експериментально її залежність від рецептурно-технологічних факторів. У [150] обґрунтовано, а у [155] уточнено розрахункову методику управління електропровідним призначенням складу композиції.

Електропровідні бетони застосовують переважно для нагрівальних елементів [118, 119, 124], для захисту від іонізуючих випромінювань [120], для заземлюючих елементів [118]. Їх застосування для електропровідних заземлених екранів як заходу захисту від електрокорозії раніше було невідоме. Крім того, невідомі роботи з аналізу механізму електропровідності графітовмісних композицій на основі портландцементу та силікатних в'язучих.

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. В результаті аналізу паспортних даних про цивільні службово-технічні будівлі та споруди залізниць України встановлено, що їх нараховується близько 35343 одиниць, вони експлуатуються в особливо несприятливих умовах і одночасно зазнають важких динамічних навантажень від рухомого складу, атмосферних впливів, часто впливів агресивних середовищ, а на електрифікованих ділянках залізниць ще й дуже інтенсивних електричних впливів від джерел як постійного, так і змінного струму. Внаслідок всіх цих впливів вони зазнають інтенсивних пошкоджень.

2. В результаті порівняння літературних даних з паспортними даними про службово-технічні будівлі та споруди залізниць України встановлено, що як і для всіх інших промислових та цивільних будівель та споруд, їх пошкодження спричиняють механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні фактори. Характерними для галузі є: на ділянках, електрифікованих постійним струмом – електричний вплив струмів витоку з рейок; для споруд, що контактують зі стічними водами локомотивного господарства – розчинені у них неорганічні та органічні речовини.

3. В результаті аналітичного огляду літературних даних встановлено, що струми витоку по мірі руху залізничними коліями електрорухомого складу наводять на оточуючі конструкції пульсуючий однонаправлений електричний потенціал ПООП і спричиняють електрокорозію не тільки сталевих конструкцій і арматури залізобетонних конструкцій, а й електрокорозію бетону, що полягає у його інтенсивному електроміграційному вилуговуванні. Електрокорозійні процеси набагато прискорює обводненість конструкцій.

4. Аналіз результатів натурних обстежень службово-технічних будівель та споруд залізниць дозволив уточнити найбільш уразливі для електрокорозії місця їх конструкцій. Зокрема, для пішохідних мостів і шляхопроводів вперше звернено увагу на те, що пошкодження у вигляді вилуговування і руйнування бетону зосереджені переважно на нижніх гранях та ребрах прогонових будов та у нижній частині опор.

5. Аналіз результатів натурних обстежень та інструментальних вимірювань дозволив встановити, що активні водозабірні свердловини сприяють розподілу електричних потенціалів на поверхні землі від позитивних  $+(0,6-0,7)$ В на конструкціях будівлі над свердловиною до негативних  $-0,4$  В на відстані 30–50 мм від неї. В стінах будівлі над дослідженою свердловиною виявлені тріщини, що свідчать про її вигин за рахунок нерівномірного осідання основи.

6. В результаті аналізу літературних даних встановлено, що у галузі експлуатації будівель та споруд створені системи моніторингу їх технічного стану. Проте ці системи не передбачають діагностування електрокорозійної небезпеки та електрокорозійного стану об'єктів та не мають працюючих підсистем автоматичної реалізації заходів із захисту від електрокорозії та відновлення втрачених експлуатаційних властивостей.

7. В результаті аналізу літературних даних встановлено, що найбільш ефективними засобами захисту конструкцій від електрокорозії є способи активного електрохімічного захисту, з яких найбільш привабливими для конструкцій та споруд залізниць є заземлені екрани на рівні нульової відмітки, що

дренують струми витоку та блукаючі струми. Екрани виконуються у вигляді металоін'єкційних сорочок та обойм у разі необхідності відновлення несучої здатності конструкцій або із електропровідних композицій на основі в'язучих речовин у разі необхідності лише захисту. Проте композиції на основі портландцементу за рахунок уведення в них великої кількості хімічних добавок є досить дорогими, а механізм взаємодії неорганічних в'язучих речовин з електропровідними наповнювачами є недостатньо дослідженим.

8. За результатами аналітичного огляду літературних даних сформульовано робочу гіпотезу: для заземлених екранів для захисту від електрокорозії конструкцій, що не вимагають відновлення несучої здатності та непроникності, доцільно застосовувати електропровідну силікатну композицію на основі рідкого скла – силікату натрію та вуглеграфітового наповнювача. Водостійкість композиції на основі рідкого скла та вуглеграфітового наповнювача може бути забезпечена додаванням меленого доменного гранульованого основного шлаку, внаслідок взаємодії якого з силікатом натрію утворюватимуться кальцієві, лужні та лужноземельні цеолітоподібні алюмосилікати.

Сформульовано також завдання досліджень, наведені у вступі.

## РОЗДІЛ 2

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 2.1 Матеріали

Застосовані для експериментальних досліджень, у т.ч. пошукових, матеріали наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріали, застосовані в експериментальних дослідженнях електропровідних композицій

Призначення	Найменування	Позначення
В'яжучі речовини	Силакт натрію (рідке скло натрієве) ГОСТ 13078 з силікатним модулем 2,7-2,8	СН
	Портландцемент ПЦ І-500Н, ПЦ ІІ-Б/Ш-400ДСТУ Б В. 2.7-46	ПЦ
Отверджувачі рідкого скла	Кремнійфтористий натрій	КФН
	Кремнійфтористоводнева кислота	КФК
	Хлорид кальцію, насичений розчин	ХК
	Алюмінат натрію $Na_2O \times Al_2O_3$	АН
	Алюмінат кальцію $CaO \times 2Al_2O_3$	АК
Добавка-суперпластифікатор	Суперпластифікатор сульфонафталін-формальдегідний СП-1 (С-3)	СП
Хімічні добавки-електроліти для портландцементу	Нітрат натрію ГОСТ 19906 $NaNO_3$	НН
	Сульфат натрію ГОСТ 21458 $Na_2SO_4$	СН
	Карбонат натрію ГОСТ 5100 $Na_2CO_3$	КН
	Нітрат кальцію ГОСТ 4142 $Ca(NO_3)_2$	НК
	Хлорид кальцію ГОСТ 450 $CaCl_2$	ХК
	Гідроксид кальцію ДСТУ Б В.2.7-90 $Ca(OH)_2$	ГК
	Інгібітор корозії сталі	ІК
	Перетворювач іржі	ПІ
Наповнювачі, що забезпечують фізико-механічні властивості	Шлак доменний гранульований мелений основний	Ш
	Кислототривкий наповнювач (діабазовий порошок та інші)	КН
Наповнювачі, що забезпечують електрофізичні властивості	Графіт змащувальний ГС-1 ГОСТ 8295, ГОСТ 17022	ГС
	Графіт ливарний ГЛ-1 ГОСТ 5279, ГОСТ 17022	ГЛ
	Алюмінієва пудра ПАП-1	А

Властивості порошка графітового – наповнювача, що забезпечує електрофізичні властивості композиції, наведені у табл. 2.2, кристалічна структура графіту, що забезпечує його електропровідність, – на рис. 2.1.

Таблиця 2.2

## Основні властивості порошку графіту змащувального ГС-1

Найменування	Од. вимір.	Показник
Технічні умови	–	ГОСТ 17022
Зольність	%	0,5
Масова частина води	«	Не нормується
Масова частина міді	«	0,5
Масова частина летучих речовин	«	0,5
Масова частина фото-реагентів	«	0,5
Гранулометричний склад – залишок на ситі:		
02	«	1
016	«	Не нормується
0071	«	10
Водневий показник рН		6,0–8,2

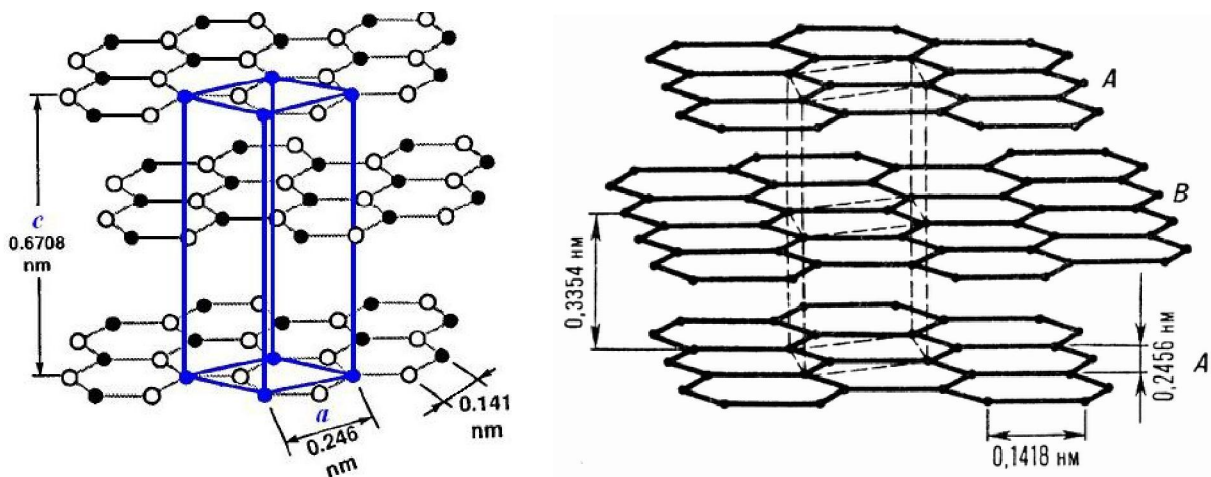


Рис. 2.1 Кристалічна структура графіту: *a* – модель кристалічної решітки  $\alpha$ -графіту; *b* – схема взаємного розташування шарів гексагональних груп

Як видно із рис. 2.1, графіт має шарувату кристалічну будову і складається безперервними рядами гексагональних груп атомів вуглецю, які утворюють паралельні плоскі сітки. Кожен шар має товщину в один атом і є однією макромолекулою, яка простягається крізь увесь кристал. Кристал в

залежності від взаємного розташування шарів може мати гексагональну або ромбоедричну будову. В обох випадках відстань між шарами однакова. В одній і тій самій графітовій частинці зазвичай присутні обидві структури. Більш поширеною є гексагональна структура, якої зазвичай понад 80%. Штучні графіти, отримувані за температур понад 200°C, складаються майже повністю із гексагональних кристалів.

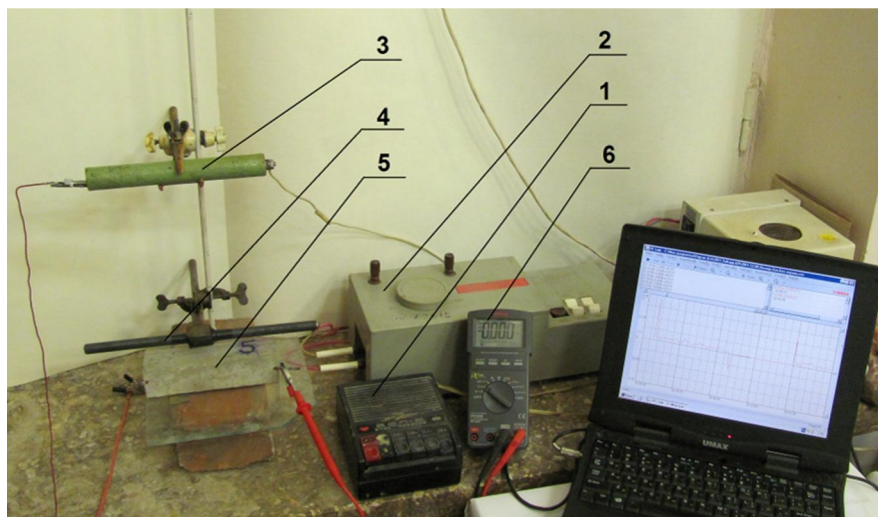
## **2.2 Методи досліджень**

### **2.2.1 Дослідження впливу електричних полів від контактного про- воду на залізобетонні мостові конструкції.**

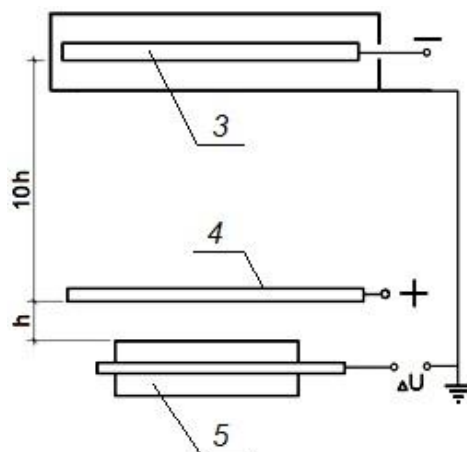
Удосконалено оригінальну методику дослідження впливу електричного поля від контактного провoda на залізобетонні конструкції, зокрема, прогонові споруди, під якими він проходить (рис. 1.6), а також дослідження ефективності захисту від цього впливу захисним екраном, запропонованим у [67]. Дослідження виконані за допомогою оригінальної лабораторної установки, що моделювала умови, в яких експлуатуються залізобетонні прогонові будови шляхопроводів, під якими проходить контактна мережа (пп. 1.1.4, 1.1.5). Установка (рис. 2.2) включає: блок живлення 1; високовольтний перетворювач Разряд 2, що забезпечує на виході постійну напругу 5 або 25 кВ; негативний 3 і позитивний 4 електроди – сталеві стержні діаметром 14 мм, довжиною 200 мм, закріплені на діелектричному штативі; цифровий мультиметр Sanwa PC500 6, підключений до ПЕОМ з програмним забезпеченням PCLink. В установці рис. 2.2 елементи моделюють: 3 (негативний електрод) – рейку, 4 (позитивний електрод) – контактний провід, 5 (зразок-балочка з арматурним дротом) – залізобетонну прогонову будову.

Прогонову будову моделювали зразком-балочкою 160×40×40 мм із розташованим в ній по подовжній вісі арматурним дротом діаметром 5 мм, із цементно-піщаної складової бетону складу 1:3, В/Ц = 0,5. Арматурний дрiт фіксували у формі перед формуванням зразків, зразки ущільнювали на стандартній лабораторній віброплощадці протягом 1 хвил.

a)



б)



в)

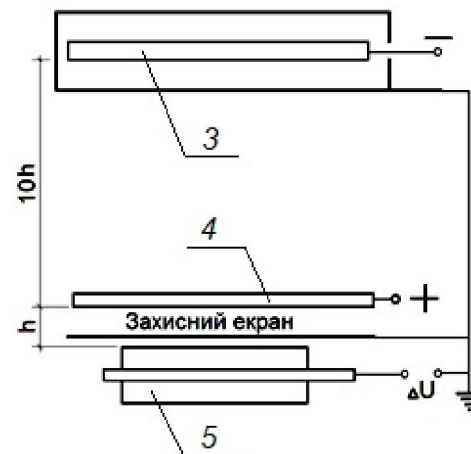


Рис. 2.2 Установка для вимірювання потенціалів, наведених на арматуру залізобетонної конструкції зовнішнім пульсуючим електричним полем: *а* – загальний вигляд: 1 – блок живлення, 12 В; 2 – високовольтний перетворювач «Разряд», 5, 25 кВ; 3 – екранований негативний електрод; 4 – позитивний електрод; 5 – досліджуваний зразок; 6 – цифровий мультиметр Sanwa PC500 підключений до ЕОМ з програмним забезпеченням PCLink; *б* – схема вимірювання потенціалу на арматурному стержні неекранованого зразка із захисним екраном на негативному полюсі; *в* – схема вимірювання потенціалу на арматурному стержні екранованого зразка із захисним екраном на негативному полюсі



Електроди підключали до високовольтного перетворювача за схемою, наведеною на рис. 2.2. Для зниження впливу негативного полюса на потенціал в арматурі зразка негативний електрод екранували сталевим екраном у вигляді трубки, з'єднаної з контуром заземлення. Відповідно зі співвідношенням відстаней між прогоною будовою, контактним проводом і рейковою колією встановлено відстань від поверхні зразка до позитивного електрода (контактного проводу) – 20 мм, до негативного (рейки) – 200 мм.

На електроди періодично подавали різницю потенціалів величиною 5 кВ. Тривалість витримки зразка під впливом електричного поля і без нього становила 40–30 секунд і залежала від часу, за який наведений у арматурному стержні потенціал стабілізувався.

Під час дослідження ефективності захисту конструкцій шляхопроводів від електрокорозії під впливом електричного поля від контактного проводу захисний екран із сталевого листа товщини 0,8 мм встановлювали на відстані 3 мм від поверхні досліджуваних зразків. Екран підключали до контуру заземлення.

Показання наведеного потенціалу на арматурному стержні зразка реєструвалися вимірювальним приладом Sanwa PC-500 і автоматично подавалися через кожні 0,5 секунди на ПЕОМ. Зареєстровані показання додатково оброблялися за допомогою програми MS Excel і за ними будували графічні залежності зміни наведеного потенціалу  $U$  в часі  $t$ .

Зниження величини потенціалу відносно зразка без захисного екрану у відсотках  $\Delta U$  визначали таким чином:

$$\Delta U = 100 \cdot (U_{\text{бе}} - U_{\text{зе}}) / U_{\text{бе}}, \quad (2.1)$$

де  $U_{\text{бе}}$ ,  $U_{\text{зе}}$  – максимальна величина наведеного потенціалу на арматурі зразка без екрану та із захисним екраном, відповідно.

## 2.2.2 Визначення фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей силікатних композицій

Із зазначених матеріалів готували суміші зі співвідношеннями компонентів в межах РС/(Ш+Н) – від 0,75 до 2 (показник, що відповідає за легкоукладальність суміші та міцність затверділої композиції), РС/Ш – від 0,4 до 1 (показник, що відповідає за міцність) тощо.

Для визначення середньої густини  $\rho$ , водопоглинання  $W_m$ , міцності на згин і стиск  $f$ , водостійкості (коефіцієнта розм'якшення)  $K_B$  із суміші виготовляли зразки-балочки розміром 40×10×10 мм та/або 160×40×40 мм, які випробували після встановленого терміну природного твердіння стандартними (традиційними) методами.

Коефіцієнт розм'якшення (водостійкості)  $K_B$  визначали як відношення міцності зразка на стиск у водонасиченому до постійної маси стані  $f_B$  до міцності на стиск у повітряно-сухому стані  $f$ :

$$K_B = f_B/f. \quad (2.2)$$

Для визначення товщини та адгезії покриття до бетону (зчеплення з поверхнею бетону), електрофізичних характеристик досліджувану композицію наносили на поверхню зразків балочок розміром 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3.

Товщину покриття вимірювали на зламах зразків-балочок за допомогою відлікового мікроскопу МПБ-2 (рис. 2.3).

Зчеплення (адгезію) покриття з поверхнею бетону визначали випробуванням на відрив на покриттях, нанесених на грань зразка куба з розміром ребра 100 мм із бетону класу В7,5 або довгу грань зразка-призми розміром 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3. На покриття епоксидним клеєм наклеювали 3 штампа (рис. 2.4, а). Після

затвердіння клею штампи відривали за допомогою адгезіометра Оникс-АП (рис. 2.4, б). Прилад за допомогою вбудованого програмного забезпечення самостійно обробляє результати трьох випробувань і відображає на екрані величину міцності зчеплення покриття з основою.

У разі когезійного відриву по бетону або розчину (рис. 2.4 в) вважали, визначена величина є міцністю бетону або розчину на розтяг, а міцність зчеплення композиції з бетоном або розчином є більшою за величиною.

а)



б)



в)

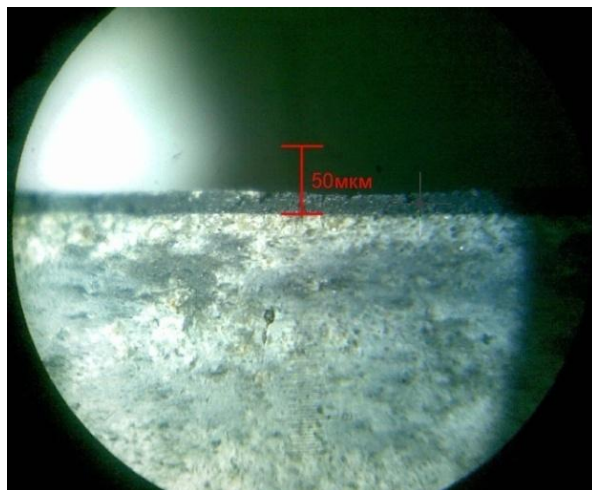


Рис.2.3 Вимірювання товщини покриттів: а – зразок-балочка з покриттям та надрізами; б – вимірювання товщини покриття відліковим мікроскопом МПБ-2; в – розріз покриття,  $\times 24$

а)



б)



в)



Рис. 2.4 Вимірювання адгезії до бетону: а – штампи, наклеєні на зразок бетону; а – вимірювання адгезії адгезіометром Оникс-АП; б – зразок бетону, приготовлений для визначення адгезії; в – когезійний відрив по бетону

Електрофізичні характеристики покриття із досліджуваної композиції – питомий електричний опір  $\rho$ , Ом $\times$ м та питому електропровідність  $\sigma$ , См/м 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:

$$\rho = Ubh/IL = R \times S/L = [\text{Ом} \times \text{м}^2 / \text{м} = \text{Ом} \times \text{м}]; \quad (2.3)$$

$$\sigma = 1/\rho = [1/(\text{Ом}\times\text{м}) = \text{См/м}], \quad (2.4)$$

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. 2.3).

Напругу  $U$  та силу струму  $I$  вимірювали за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC500/510 (рис. 2.6), які дозволяють вимірювати силу струму, напругу, електричний опір та ємність і передавати їх значення на ПК, який здійснює їх запис у реальному часі.

Технічні характеристики мультиметра Sanwa PC500/510:

- 1) Діапазон вимірювань за функціями: напруга (постійна та перемінна) – 50 мВ – 1000 В; сила струму (постійного та перемінного) – 500 мкА – 10 А; опір – 50 Ом – 50 МОм; ємність – 50 нФ – 9999 мкФ; частота – 5 Гц – 125 кГц;
- 2) Роздільна здатність: 0,01 мВ, 0,01 Ом, 0,01 нФ; 0,1 мкА;
- 3) Робочі частоти – 40–20000 Гц;
- 4) Базова погрішність вимірювання –  $\pm 0,06$  %;
- 5) Зв'язок с ПК за допомогою з'єднувального кабелю Sanwa KB-USB2;
- 6) Ліцензійне програмне забезпечення – PC LinkPlus;
- 7) Умови вимірювань: 0–35°C за вологості 0–80 %; 35–50°C за вологості 0–70 %.

Після відпрацювання методики вимірювань визначення електричного опору  $R$  зразка покриття здійснювали прямим вимірюванням мультиметрами Sanwa PC500 між електродами 3 (рис. 2.5).

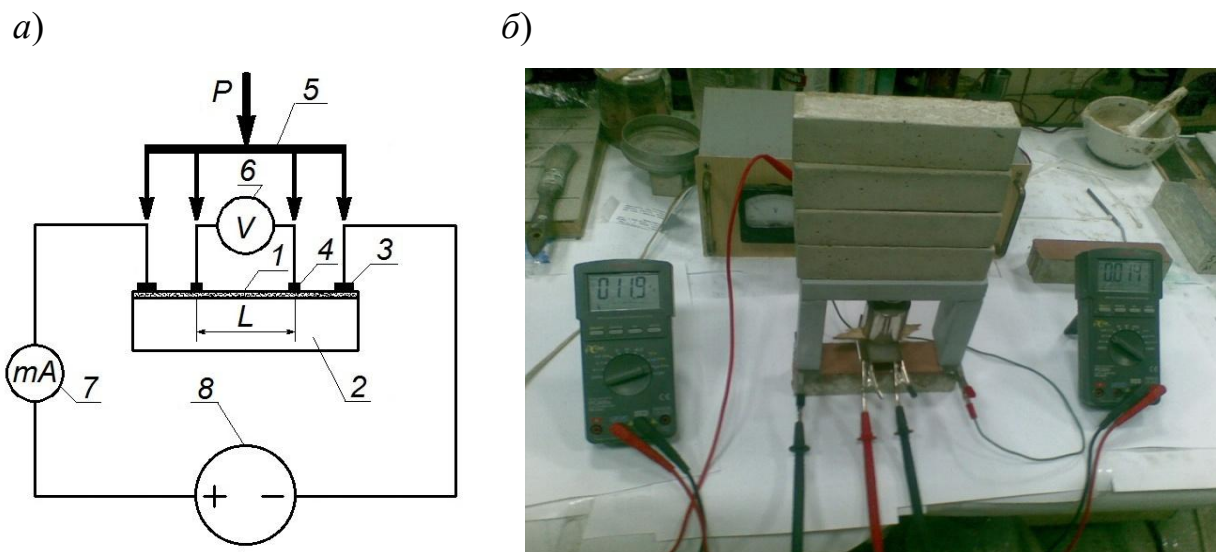


Рис. 2.5 Схема (а) і вигляд (б) установки для вимірювання електричного опору електропровідних покриттів: 1 – досліджуване покриття; 2 – зразок-балочка із цементно-піщаного розчину; 3, 4 – накладні електроди (пластини із неіржавіючої сталі, що накладаються на покриття через прокладки із синтетичного нетканого 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



Рис. 2.6 Мультиметр цифровий Sanwa PC500/510

### 2.2.3 Дослідження ефективності заземлених екранів із силікатної композиції

Розроблено оригінальну методику експериментального дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідних силікатних композицій для захисту споруд від електрокорозії струмами витоку, яка полягає у порівнянні величини електричного струму, що протікає крізь арматуру і бетон моделі споруди без захисного екрану  $I_{a60}$  і моделі споруди із захисним екраном  $I_{a61}$ . За показник ефективності екрану приймали величину зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі із захистом  $I_{a61}$  у порівнянні з моделлю без захисту  $I_{a60}$ :

$$\Delta I = (I_{a61} - I_{a60}) / I_{a60} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Моделі споруди розробили на основі аналізу протікання через конструкції пасажирських платформ струмів витоку з рейкової колії на ділянках з позитивним потенціалом на рейках без захисту (рис. 1.4, 1.5) та із заземленими екранами - покриттями (рис. 1.13). Як видно із рисунків, у дощову погоду струми витоку протікають крізь бетон, арматуру і заземлення платформи без захисту, а з екраном - крізь екран і заземлення, оминаючи бетон і арматуру (або мінімізуючись у них).

Дослідження здійснюється за допомогою спеціальної експериментальної установки (рис. 2.7). Установка складається із моделі споруди – призми із важкого бетону з міцністю на стиск 20 МПа 1, у яку забетонований стержень із арматурної сталі з випуском уверх 2, встановленої у модель зволоженого ґрунту – дуже дрібний пісок 4, засипаний у металеву ємність 3. Бетон моделі відповідає бетону споруди між її гранями (рис. 2.7, а) або бетону захисного шару між заземленою арматурою і гранню споруди (рис. 2.7, б). Цю модель - призму встановлювали у модель зволоженого ґрунту – дуже дрібний пісок 4, засипаний у металеву ємність 3.

Струм, який натікає на споруду від джерел постійного струму, наприклад, електрифікованої рейкової колії, створюється (моделюється) прикладанням різниці потенціалів 40 В між ємністю 3 та арматурним стержнем 2 у

призмі  $I$ , а його сила визначається за допомогою підключених у ланцюг амперметрів (цифрових мультиметрів Sanwa PC510, рис. 2.6) 8 і 9.

Відсоток площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном - покриттям  $x$ , який змінювали під час дослідження, визначали як відношення площі контакту сталевого електроду з екраном покриттям  $S_{e3}$  до площі всього екрану – покриття  $S_{en}$ :

$$x = S_{e3}/S_{en} \times 100 \%. \quad (2.6)$$

Вимірювання починали за сухого стану ґрунту, потім його водонасичували та продовжували вимірювання протягом 240 годин з періодичністю спочатку 1 годину, потім 6, 12 і 24 години. Результати представляли у вигляді графіків залежності сили струму крізь бетон і арматуру  $I_{a6}$ , сили струму крізь захисний екран  $I_{ze}$  та величини зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі із захистом порівняно з моделлю без захисту  $\Delta I$  від часу  $t$ .



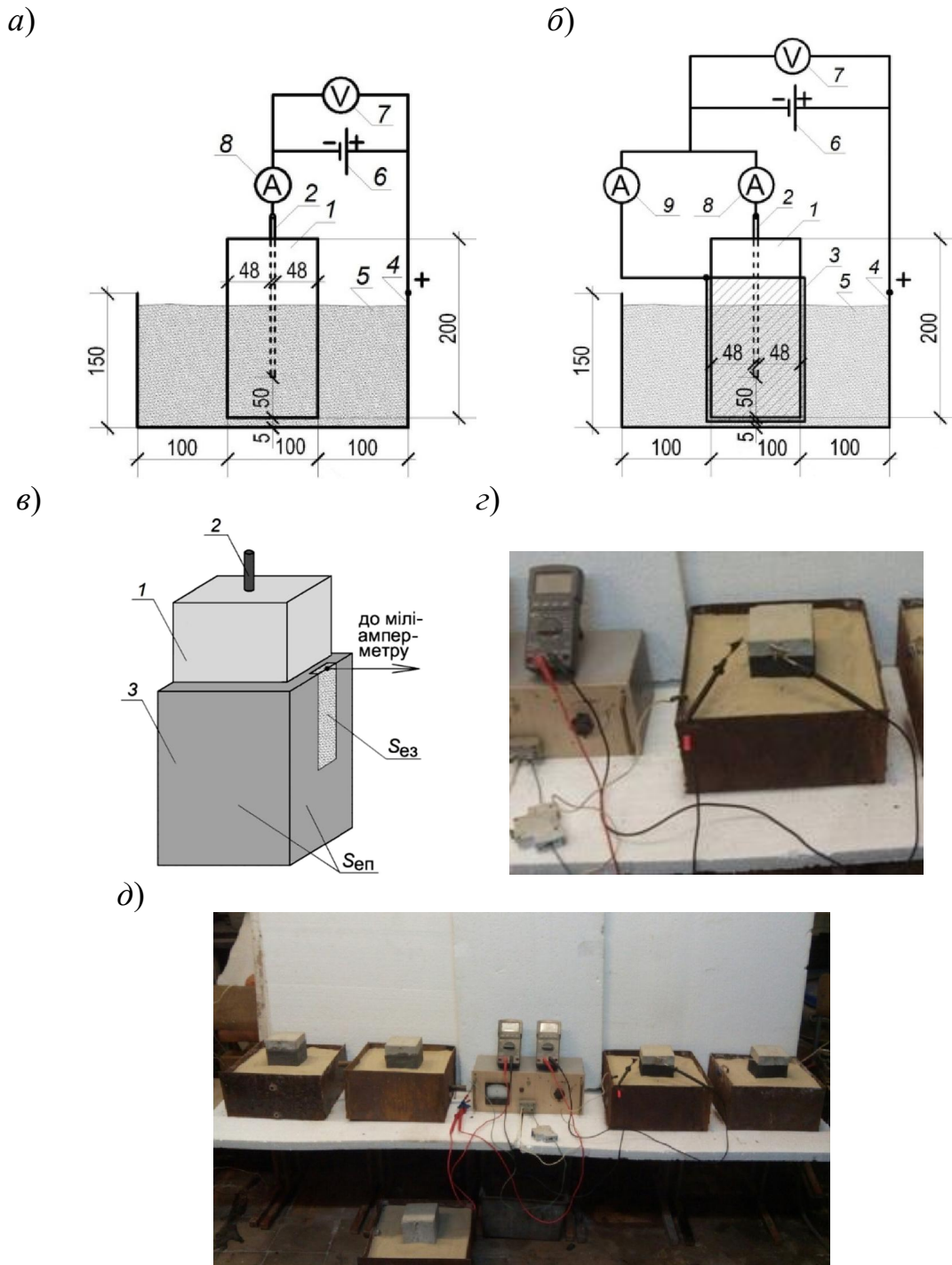


Рис. 2.7. Установки для експериментального дослідження ефективності екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії: а, б, в - схема установки з контрольним зразком (моделлю споруди) без екрану (а) і з досліджуваним зразком (моделлю споруди) з екраном із електропровідної композиції (б, в); г - вигляд експериментальних установок; 1 - бетон моделі; 2 - арматурний стержень моделі; 3 - захисний екран (покриття); 4 - металева ємність; 5 - зволожений пісок; б - джерело струму; 7 - вольтметр; 8 - міліамперметр для вимірювання сили струму, що протікає крізь бетон і арматуру  $I_{аб}$ ; 9 - міліамперметр для вимірювання сили струму, що протікає крізь захисний екран і ґрунт  $I_{зе}$

#### 2.2.4 Фізико-хімічні дослідження

Склад продуктів гідратації і характер їх взаємодії з графітовим наповн-вачем досліджували у складі рентгенофазового аналізу, аналізу інфрачерво-них спектрів поглинання, світової мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом.

Рентгенограми отримували за допомогою рентгенівських дифракто-метрів ДРОН 1,5 і ДРОН-3. Дифрактометр ДРОН-3 оснащали рентгенівсь-кою трубкою 1,6БСВ27-Fe із залізним катодом. Запис рентгенограм здійснювали за режимом: інтервал кутів  $2\theta - 7-80^\circ$ ; напруга на катоді – 30кВ, сила струму – 20 мА. Зразок та лічильник рентгенівських імпульсів обертаються автоматично в горизонтальній площині навколо загальної вер-тикальної осі гоніометра із співвідношенням швидкостей  $V_{ліч} = 2V_{зр}$ . Лічиль-ник вимірює інтенсивність дифракційної картини послідовно під різними ку-тами відбивання.

Інфрачервоні спектри поглинання отримували за допомогою спектро-метра Spеcоrд 75IR та ІЧ-Фур'є-спектрометра BrukerAlpha та його програм-ного забезпечення OPUS для ПК зі зразків-таблеток у діапазоні довжини ін-фрачервоних хвиль 400-4000  $\text{см}^{-1}$ . Для отримання зразка пробу композиції подрібнювали, перетирали у ступці, змішували з бромідом калію *KBr* і пре-сували у прес-формі під тиском 8–8,5 МПа.

Світлову мікроскопію застосовували для дослідження мікроструктури композицій. Дослідження проводили за допомогою бінокулярного мікроско-па МБС-2 у відбитому світлі на поверхнях композицій або їх відколах зі збільшенням до  $\times 87$ , яке дозволяє розрізняти структурні елементи розміром  $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-8}$  м. Мікрознімки отримували зйомкою крізь окуляр мікроскопу цифровою камерою з роздільною здатністю 8 мегапікселей.

Електронно-мікроскопічні дослідження морфології та електронно-зондовий мікроаналіз локального елементного складу затверділої композиції

виконували на її відколах за допомогою скануючого електронного мікроскопу JEOL JSM-6390LV з енергодисперсійним спектрометром AZtechEnergy X-max<sup>n</sup> 50 (Японія). Зйомку проводили за прискорюючої напруги 15 кВ. На рентгенівських картах елементів більш світлі області відповідають більшому вмісту елемента, більш темні – переважно його меншому вмісту (темні області можуть відповідати тіні від шорсткості відколу, яка заважає виходу сигналу).

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Обрано матеріали для проведення досліджень електропровідних композицій для захисних екранів та визначені їх основні характеристики.

2. Обрано та розроблено методи досліджень електропровідних композицій та захисних екранів із них. Зокрема, розроблено методику експериментального дослідження ефективності екранів із електропровідних силікатних композицій для захисту споруд від електрокорозії, що полягає у порівнянні величини електричного струму, який протікає крізь арматуру і бетон  $I_{аб}$  моделі споруди без захисного екрану і моделі споруди із захисним екраном.

3. Обрано та виготовлено прилади та обладнання для проведення досліджень.

**РОЗДІЛ 3**  
**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХИСТУ**  
**ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ**  
**ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ ЗАЗЕМЛЕНИМИ ЕКРАНАМИ**  
**ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ**

**3.1 Механізм електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій на електрифікованих постійним струмом ділянках**

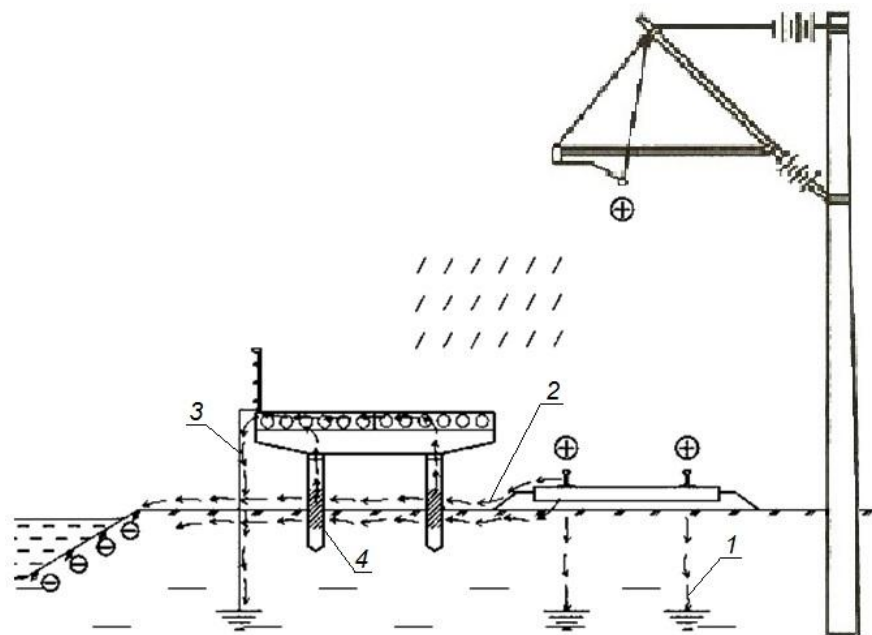
**3.1.1 Залізобетонні та бетонні конструкції високих пасажирських платформ**

У [114] запропоновані схеми протікання струмів витоку з рейок через бетонні та залізобетонні конструкції високих пасажирських платформ за рахунок перенесення іонів (та електронів) – носіїв струму крізь обводнений ґрунт, бетон, арматуру (рис. 1.4, 1.5). Проте на схемах, наведених на рис. 1.4, в і 1.5, з, не показано, яким чином, через які електрохімічні чи обмінні реакції здійснюється перехід струму через границі розподілу ґрунт – бетон і бетон – арматура. Отже, ці схеми не повністю пояснюють механізм електрокорозії арматури і бетону конструкцій високих пасажирських платформ струмами витоку.

Зазначені схеми протікання струму удосконалені з урахуванням можливих електрохімічних та обмінних реакцій, які можуть відбуватись під час переходу струму через границі розподілу ґрунт – бетон і бетон – арматура. Удосконалені схеми наведені на рис. 3.1, 3.2.

У залізобетонних та бетонних конструкціях струм витоку у місцях з позитивним пульсуючим однонаправленим потенціалом на рейках стікає з них через скріплення, шпали та баласт у зволожений ґрунт, з нього натікає на також зволожену конструкцію, проходить нею, стікає з неї у ґрунт і розтікається ним (рис. 3.1, а, 3.2, а). Носієм струму в електроліті ґрунту є найбільш рухливі іони мінералів ґрунтів – катіони натрію  $Na^+$  і калію  $K^+$ , які переміщуються від рейок до конструкції (рис. 3.1, в, 3.2, з).

a)



б)



в)

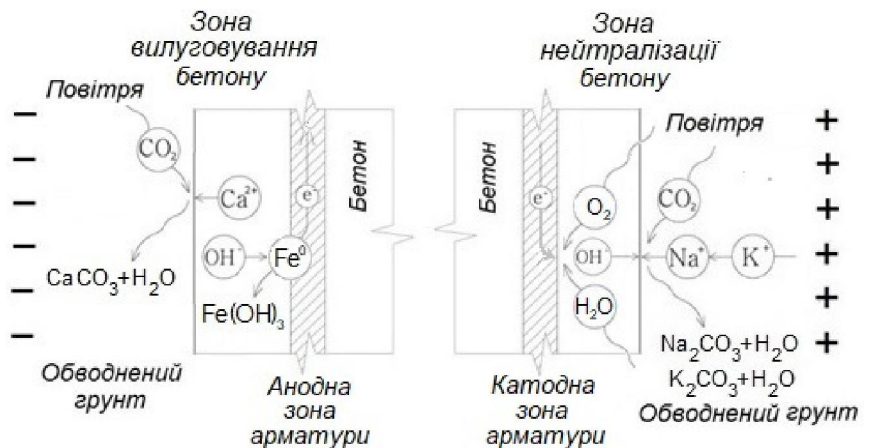
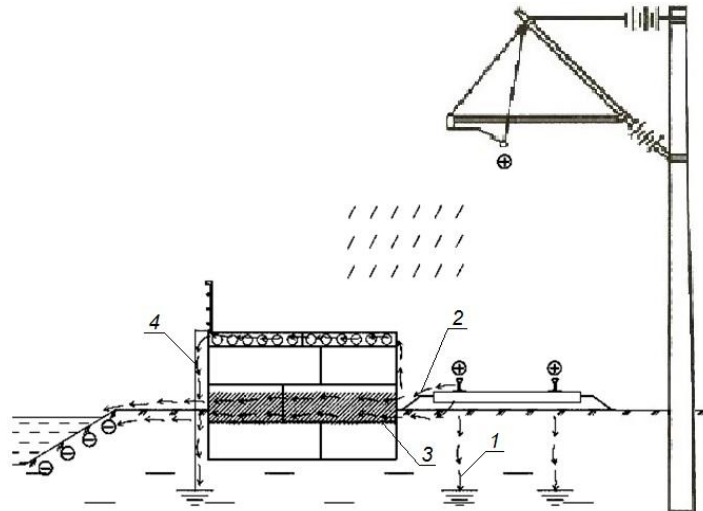


Рис. 3.1 Електрокорозія залізобетонних стояків високих пасажирських платформ: *a* – схема протікання струмів витоку через конструкції платформи; *б* – електрокорозійні пошкодження стояка в анодній зоні арматури; *в* – схема протікання струму крізь захисний шар бетону та його електрокорозійного вилугування; *1* - струм витоку, що переважає в суху погоду; *2* - струм витоку, що переважає у вологу погоду; *3* - струм витоку, що відводиться через заземлення; *4* - зона конструкції стояків, арматура і бетон якої уражується електрокорозією

а)



б)



в)



г)

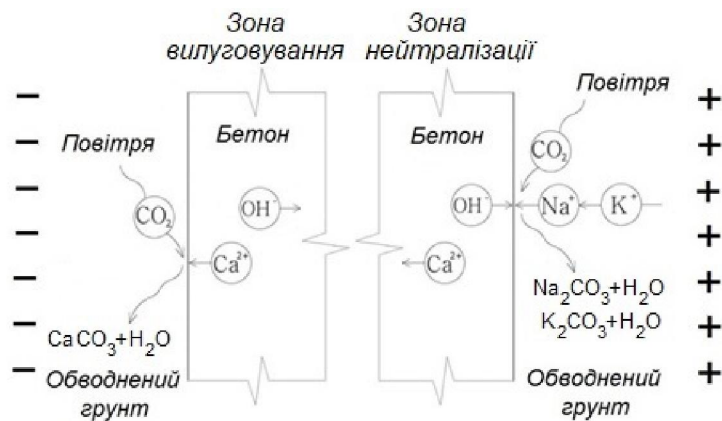


Рис. 3.2 Електрокорозія бетонних опор високих пасажирських платформ: а – схема протікання струмів витoku через конструкції платформи; б, в – електрокорозійні пошкодження опори в зоні вилуговування (б) і в зоні нейтралізації (в); г - схема протікання струму крізь бетон та його електрокорозійного вилуговування; 1 - струм витoku, що переважає в суху погоду; 2 - струм витoku, що переважає у вологу погоду; 3 - струм витoku, що відводиться через заземлення; 4 - зона конструкції стояків, арматура і бетон якої уражується електрокорозією

У бетоні носіями струму є катіони кальцію  $Ca^{2+}$  та гідроксильні аніони  $OH^-$  (рис. 3.1, в, 3.2, з), які є складовими найбільш розчинного мінералу цементного каменю – портландиту  $Ca(OH)_2$ , а у сталевій арматурі – електрони  $e^-$  (рис. 3.1. в).

Виходячи з цього і за умов проникності ґрунту і бетону для води і газів у кількості, достатній для хімічних реакцій, наявності у ґрунті та бетоні вільної води  $H_2O$  а у повітрі – кисню  $O_2$  та вуглекислого газу  $CO_2$  у залізобетонній конструкції утвориться 4 зони, де протікатимуть електрохімічні та обмінні реакції (рис. 3.1, в). В залежності від цих реакцій назвемо їх:

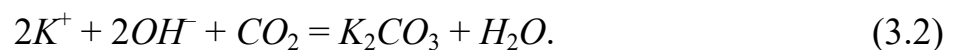
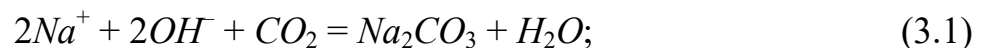
- 1) зона нейтралізації бетону;
- 2) катодна зона арматури;
- 3) анодна зона арматури;
- 4) зона вилуговування бетону.

В бетонній конструкції утвориться лише 2 зони (рис. 3.2, в):

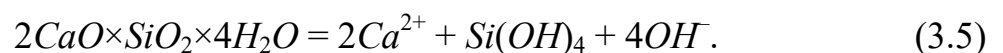
- 1) зона нейтралізації бетону;
- 4) зона вилуговування бетону.

В цих зонах протікатимуть реакції, розглянуті нижче.

- 1) У зоні нейтралізації бетону відбуваються обмінні реакції:



Отже, в цій зоні відбувається нейтралізація  $OH^-$ , зниження  $pH$  порового електроліту бетону і подальше розкладання портландиту  $Ca(OH)_2$  та гідросилікатів кальцію  $nCaO \times SiO_2 \times mH_2O$  цементного каменю з утворенням нових порцій іонів  $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$  та аморфного кремнезему  $SiO_{2ам}$  (в умовах дефіциту води) або кремнекислоти  $Si(OH)_4$ :



Утворені нові порції іонів  $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$  продовжують здійснювати перенесення електричного струму. Утворені замість портландиту  $Ca(OH)_2$  та

гідросилікатів кальцію  $nCaO \times SiO_2 \times mH_2O$  аморфний кремнезем  $SiO_{2ам}$  та кремнійкислота  $Si(OH)_4$  не мають в'язучих властивостей, що призводить до зниження міцності й морозостійкості бетону, його пошкодженню та руйнуванню, наведеному на рис. 3.2, в.

2) В катодній зоні арматури, у яку перетікають електрони від анодних зон, відбуваються електрохімічні реакції:



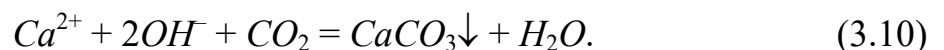
Утворені нові порції аніонів  $OH^-$  продовжують здійснювати перенесення електричного струму поровим електролітом бетону. Корозії арматури в катодній зоні не відбувається, навпаки, в цій зоні забезпечується її захист катодною поляризацією.

3) В анодній зоні арматури, з якої перетікають електрони до катодних зон, послідовно відбуваються електрохімічна та обмінна реакції, відповідно:



Саме в анодній зоні відбувається інтенсивна електрокорозія сталеві арматури, продуктом якої є  $Fe(OH)_3$  – іржа, яка, маючи набагато більший, ніж вихідне металеве залізо, об'єм, обумовлює виникнення в приарматурній зоні бетону значних внутрішніх напружень, які спричиняють утворення тріщин та відшарування захисного шару (рис. 3.1, б).

4) В зоні вилуговування бетону відбувається винесення на його поверхню катіонів кальцію  $Ca^{2+}$  та обмінна реакція карбонізації:



В цій зоні на поверхні бетону спостерігаються інтенсивні висоли (рис. 3.2, б), які й свідчать про інтенсивне вилуговування. Вилуговування, як і у зоні нейтралізації бетону, призводить до зниження  $pH$ , втрати захисних властивостей відносно арматури, Утворені нові порції іонів  $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$  продовжують здійснювати перенесення електричного струму. Утворені замість портландиту  $Ca(OH)_2$  та гідросилікатів кальцію  $nCaO \times SiO_2 \times mH_2O$  аморфний кремнезем



$SiO_{2ам}$  та кремнійкислота  $Si(OH)_4$  не мають в'язучих властивостей, що призводить до зниження міцності й морозостійкості бетону, його пошкодженню та руйнуванню, наведеному на рис. 3.2, в.

Таким чином, розвинуто уявлення про електрокорозію залізобетонних і бетонних конструкцій від пульсуючого однаправленого електричного потенціалу ПОЕП, що виникає під час проходження рухомого складу електрифікованими постійним струмом залізничними коліями. Зокрема, уточнено, що носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони  $Na^+$  та  $K^+$ , у бетоні – катіони  $Ca^{2+}$ , та аніони  $OH^-$ , у сталевій арматурі – електрони  $e^-$ . Вперше визначено, що у залізобетонних та бетонних конструкціях внаслідок впливу ПОЕП і протікання струму витоку утворюються зони, у яких протікають відповідні реакції: 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення іонів  $OH^-$  і водню  $H_2$ ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення заліза і утворення  $Fe(OH)_3$ ; 4) зона вилуговування бетону – винесення із бетону катіонів  $Ca^{2+}$  та їх карбонізація на поверхні.

### 3.1.2 Залізобетонні мостові прогонові будови

У [63] показано, що на арматуру залізобетонних прогонових будов, під якими проходить провід контактної мережі постійного струму 3 кВ, наводиться позитивний електричний потенціал величиною до +1 В. Основною причиною такого наведення автори [63, 155] вважають індукційні явища. Згідно з [63, 155] навколо високовольтних проводів ліній електропередач та контактної мережі залізниць постійного струму за рахунок коронних розрядів на їх поверхнях відбувається іонізація повітря з утворенням аероіонів. Концентрація аероіонів визначає об'ємний електричний заряд повітря і статичні електричні поля та відповідні силові лінії (рис. 3.3).

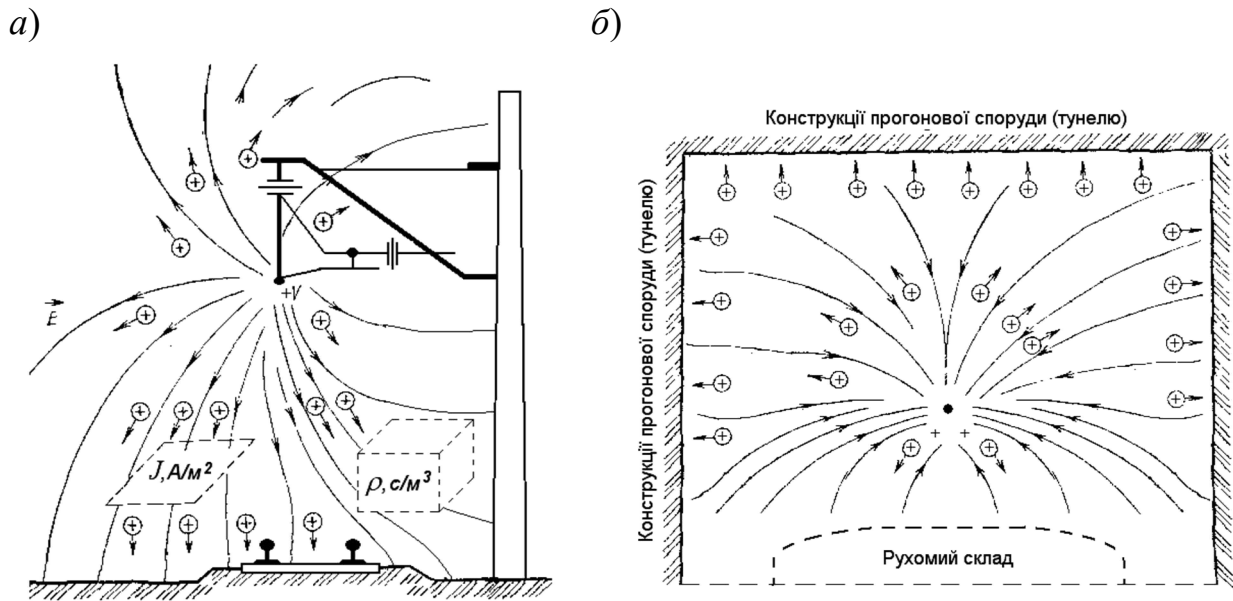


Рис. 3.3. Схема утворення електростатичного поля навколо провідників контактної мережі: *a* – на перегонах на консольних залізобетонних опорах; *б* – під прогоновими будовами шляхопроводів та обробкою тунелів

Вплив на конструкції характеризується: густиною струму потоку іонів  $J$ ; густиною об'ємного заряду іонів  $\rho$ ; напруженістю електричного поля від проводу  $E_{\text{пров}}$  і об'ємного заряду іонів  $E_{\text{іон}}$ . Під час опадів іонізація істотно збільшується, оскільки краплі збільшують нерівності на дроті, здатні викликати коронні розряди. Про електропровідність повітря між контактним проводом і розташованою поруч конструкцією свідчать вимірювані американськими дослідниками струми величиною  $0,003 \div 0,004$  мА (за величини напруженості електричного поля 40 кВ/м). Аероіони (катиони і аніони) знаходяться у просторі між контактним проводом і заземленою конструкцією і забезпечують протікання в колі контактний провід – конструкція – земля електричного струму певної величини, який може спричиняє електрокорозійний вплив. Між контактним проводом і конструкцією буде також протікати й активний електричний струм поверхнею забруднених ізоляторів і підвіски проводу, особливо у вологу погоду. На арматурі незаземленої конструкції у цьому випадку буде утворюватись анодна ділянка, на якій буде відбуватись анодне

розчинення сталі – електрокорозія. На заземленій конструкції такий струм буде стікати в землю, що виключить таку електрокорозію.

За [63] все це в сукупності спричиняє електрокорозійний вплив на арматуру залізобетонних і сталеві конструкції металевих прогонових будов, що викликає необхідність розробки і застосування на додаток до звичайного заземлення захисту від електростатичного потенціалу. Для зменшення впливу електростатичного поля та захисту від електрокорозії у [63] пропонується застосовувати сталеві заземлені екрани, розташовані між контактним проводом (несучим тросом) і прогоною будовою. Всі розташовані на відстані менше 5 м від частин контактної мережі, що знаходяться під напругою, металеві споруди (мости, шляхопроводи, опори), під якими проходить контактна мережа, деталі її кріплення до залізобетонних опор, залізобетонних і неметалевих штучних споруд, а також металеві конструкції, що окремо стоять (гідроколонки, світлофори, елементи мостів і шляхопроводів тощо), повинні бути заземлені або обладнані пристроями захисного відключення у випадку потрапляння на них високої напруги. Заземленню підлягають також усі розташовані у зоні впливу контактної мережі змінного струму металеві споруди, на яких можуть виникати небезпечні напруги.

Вважаємо, що у роботах [63, 155] оцінка впливу на електрокорозійні процеси струмів, що протікають крізь іонізоване повітря, перебільшена. Не вдалось у [63], на наш погляд, переконливо пояснити механізм руйнування бетону безпосередньо над контактним проводом, зокрема, з урахуванням можливих електрохімічних та обмінних реакцій, які можуть відбуватись під час переходу струму через границі розподілу арматура – бетон тощо.

Припущено, що основний механізм наведення потенціалів на арматуру – це поляризація порового електроліту захисного шару бетону, а в електричних колах електрокорозійних процесів беруть участь плівки конденсатної вологи на поверхнях прогонових будов і мостових опор. За аналогією з п. 3.1.1 розроблено схему протікання струму через прогонову будову від потенціалу, індукованого на арматурі, з урахуванням електрохімічних та обмінних

реакцій, які можуть відбуватись під час переходу струму через границі розподілу арматура – бетон і бетон – плівка конденсатної вологи. Відповідні схеми наведені на рис. 3.4.

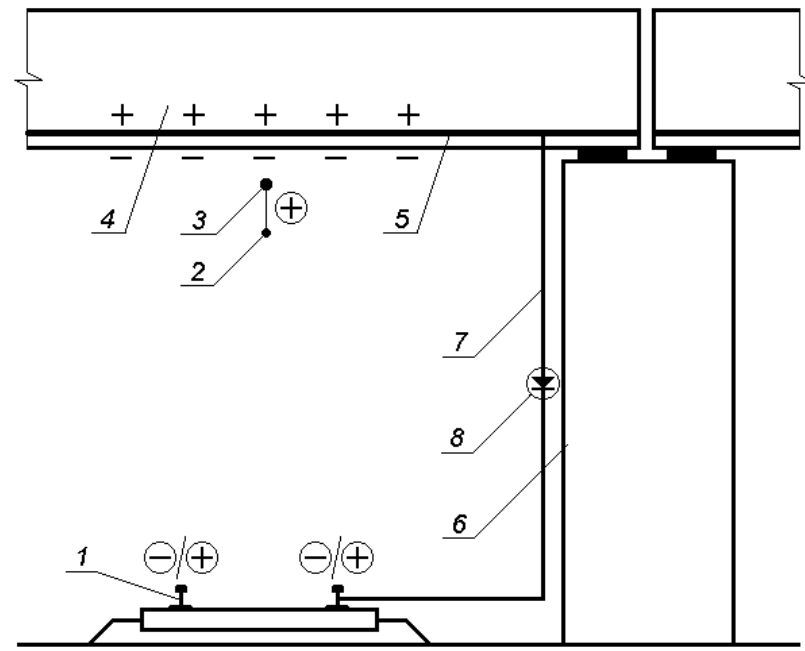
Від електричного поля, створюваного контактною підвіскою (рис. 3.4, *a*) відбувається поляризація захисного шару з розділенням зарядів: позитивного – поблизу арматури та на ній, негативного – на поверхні бетону (рис. 3.4, *б*). Внаслідок цього в бетоні захисного шару утворюється зона вилугування, а на арматурі – анодна зона. Із захисного шару бетону вилугуюються катіони  $Ca^{2+}$ , які, виходячи на поверхню, взаємодіють з вуглекислим газом повітря з утворенням кальциту (карбонізація).

У разі наявності на рейці негативного потенціалу (за відсутності на ділянці електрорухомого складу або поблизу відсмоктуючої лінії) на анодній зоні арматури відбуваються електрохімічні реакції (3.8) і (3.9) з утворенням  $Fe(OH)_3$  – іржі, яка створює внутрішній тиск на бетон і призводить до утворення тріщин та відшарування захисного шару.

Про адекватність цієї моделі корозійних процесів свідчить характер пошкоджень прогонових будов. На рис. Б.3, б, В.14, б видно тільки продукти вилугування на поверхні прогонової будови над контактним проводом, а на рис. Б.4, В.2, В.5, В.8, В.13 та, особливо, на 1.6, *a* – як продукти вилугування, так і ознаки корозії арматури з утворенням тріщин і відшаруванням захисного шару.

Таким чином, уточнено механізм наведення потенціалів на сталеву арматуру залізобетонних прогонових будов, під якою проходить контактна мережа постійного струму та розроблено схему протікання корозійних струмів від них. Визначено, що потенціал індукується за рахунок поляризації порового електроліту захисного шару бетону в електричному полі з розділенням зарядів: позитивного – поблизу арматури та на ній, негативного – на поверхні бетону. Внаслідок цього в бетоні захисного шару утворюється зона вилугування, а на арматурі – анодна зона та відбуваються визначені у п.3.1.1 електрокорозійні процеси.

а)



б)

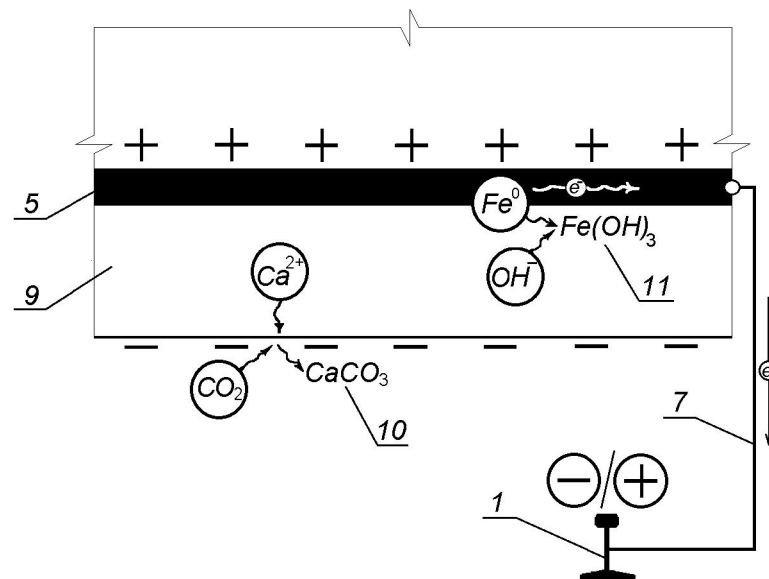


Рис. 3.4 Електрокорозійні процеси у залізобетонній прогоновій будові шляхопроводу, під якою проходить контактна мережа 3 кВ: а – схема виникнення електричних потенціалів; б – схема протікання струму та корозійних процесів: 1 – рейка з потенціалом, який може бути негативним або знакозмінним; 2 – контактний провід; 3 – несучий трос контактної підвіски; 4 – прогонова будова; 5 – сталева арматура з наведеним позитивним потенціалом (анодна зона); 6 – мостова опора; 7 – заземлення прогонової будови; 8 – захисний пристрій (вентиль); 9 – бетон захисного шару (зона вилугування); 10 – продукти вилугування бетону (висоли); 11 – продукти корозії арматури (іржа)

### 3.1.3 Конструкції будівлі над водозабірною свердловиною

У п.1.1.5 встановлено характеристики розподілу електричних потенціалів на поверхні землі на місцевості навколо водозабірної свердловини, розташованої поряд з електрифікованими постійним струмом залізничними коліями (рис.1.7). Із рис. 1.7,*a* видно, що поблизу свердловини значення потенціалів позитивні  $+(0,55-0,67)$ , по мірі віддалення змінюються на негативні величиною на відстані декілька десятків метрів  $-(0,39-0,4)$  В. Градієнт зміни потенціалу по поверхні землі  $dU/dl$  складає у напрямку від залізничних колій (лівому на рис. 1.7)  $-0,036$  В/м, до залізничних колій (правому)  $-0,018$  В/м.

Очевидно, що виникнення цих потенціалів у [79] пояснюється тим, що під час забору води із водонасиченого ґрунта, що оточує свердловину, виникає макропотенціал течії. Під його дією з ґрунту вимиваються протиіони подвійних електричних шарів ПЕШ його частинок – катіони, головним чином  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , які далі виносяться відкачуваною водою. У [79] також надається схема, наведена на рис. 3.5, яка пояснює винесення із конструкцій будівлі катіонів кальцію  $Ca^{2+}$  під впливом відзначеної різниці потенціалів, але яка не ілюструє незрозумілу причину градієнту потенціалу на поверхні землі навколо свердловини.

Проте відомо [157], що потенціал течії обумовлений перенесенням не протиіонів ПЕШ, а коіонів. За нашою думкою, дійсно, розподіл електричних зарядів і градієнти потенціалу на поверхні землі обумовлені впливом потенціалу течії, який виникає вздовж водоносного шару ґрунту (рис. 3.6 [157]).

Враховуючи те, що у дослідженій свердловині глибиною 766 м водозабір здійснюється із підкрейдяного водоносного горизонту (рис. 3.7), породи якого мястять кальцит, що має позитивний поверхневий заряд, до водозабірної свердловини потоком води переносяться катіони кальцію, які для кальциту є коіонами (рис. 3.8). Це обумовлює виникнення близ свердловини зони з позитивним надлишковим зарядом і позитивного потенціалу на її обсадній трубі.

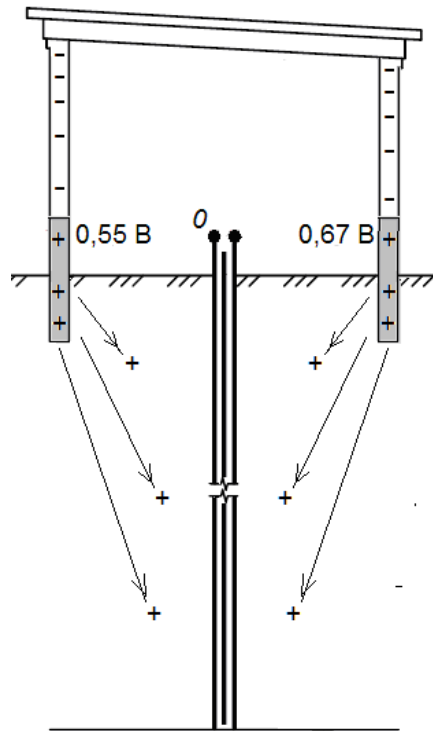


Рис. 3.5 Схема винесення катіонів  $Ca^{2+}$  з фундаментів і стін будівлі згідно з [79]

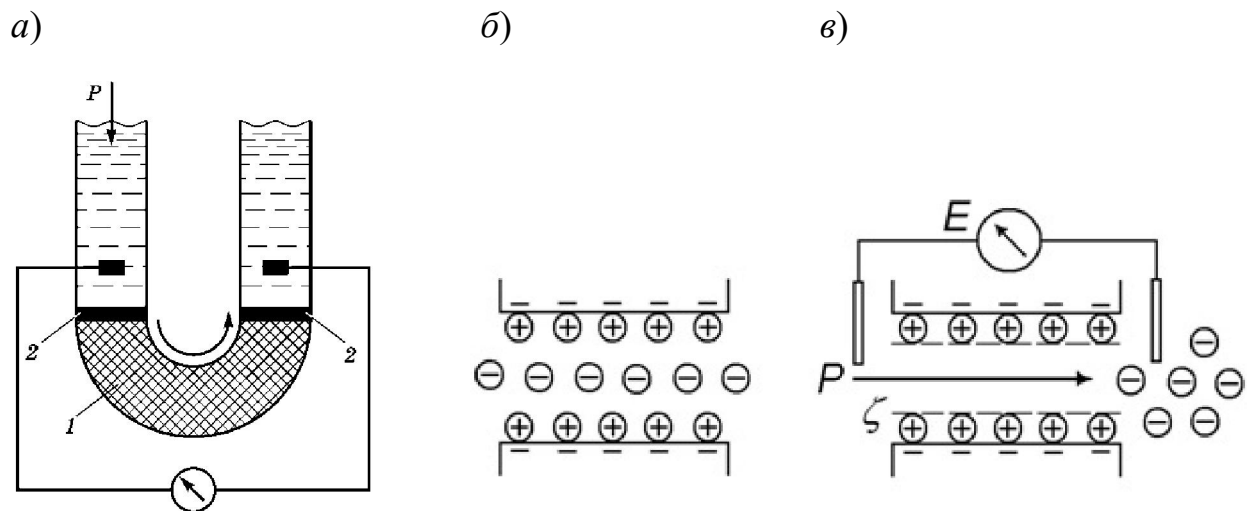


Рис. 3.6 Виникнення у дисперсній системі, крізь яку під тиском  $P$  фільтрує вода, різниці потенціалу (градієнту потенціалу) течії  $E$ : *a* - схема визначення потенціалу течії за Ф.Рейссом [157]; *б* - схема пори між частинками дисперсної фази з негативними потенціалвизначальними іонами та коіонами (аніонами) та позитивними протиіонами (катіонами) у спокої; *в* - схема виникнення різниці потенціалу за рахунок перенесення коіонів; *1* - дисперсний матеріал, *2* - мембрана

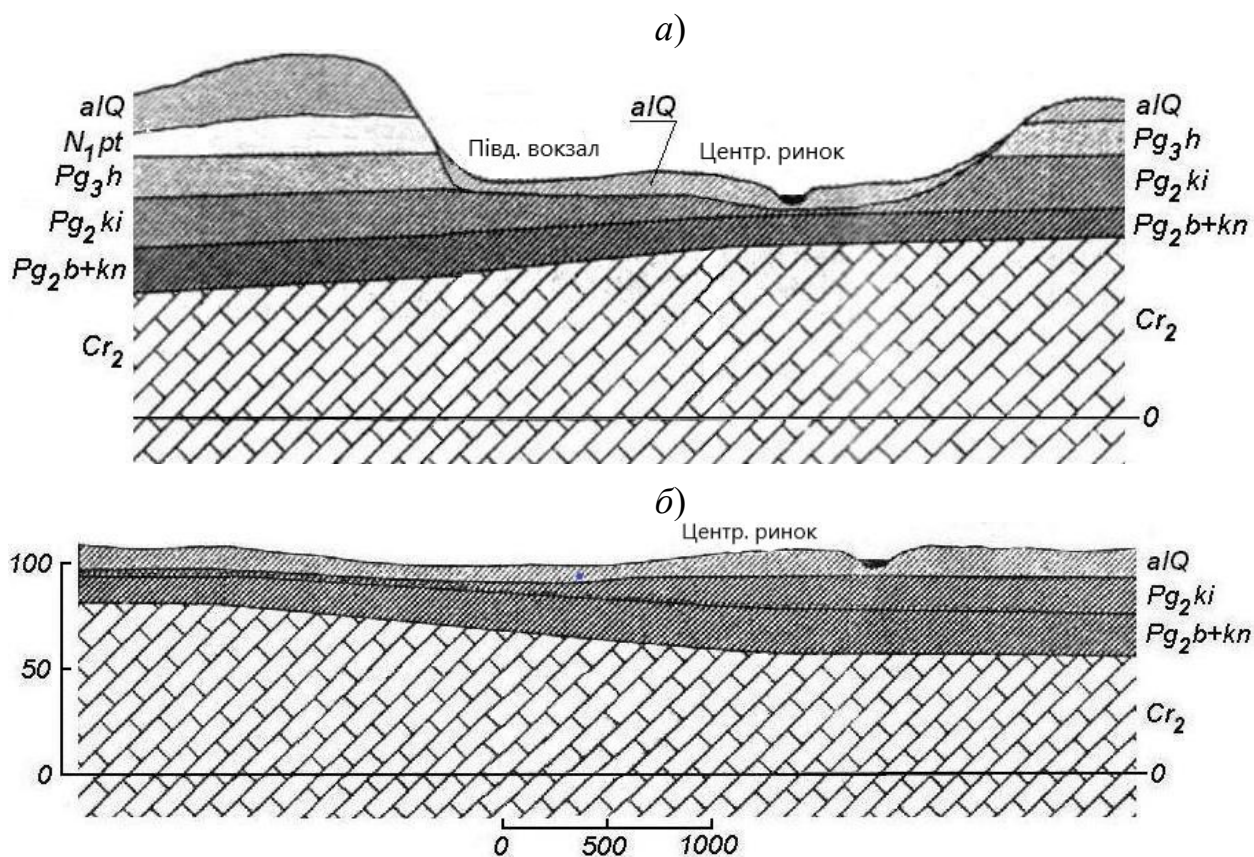
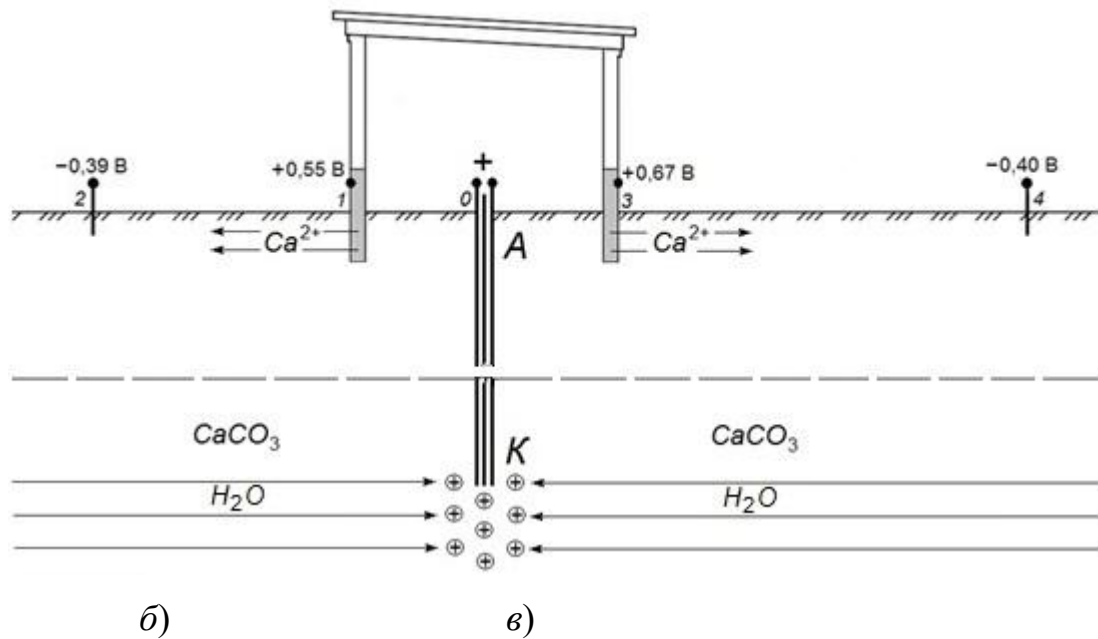


Рис. 3.7 Схема геологічних розрізів м. Харкова: *aIQ* – четвертичні алювіальні відкладення потужністю 10–15 м; *Pg<sub>3h</sub>* – палеогенові піски харківської світи, 20–25 м; *Pg<sub>2ki</sub>* – палеогенові глини київської світи, 16–25 м; *Pg<sub>2b+kn</sub>* – палеогенові піски бучакської та канівської світ; *Cr<sub>2</sub>* – крейдяно-мергельна товща крейдяної системи, 527–633 м

Земля має природний електричний заряд, який у її поверхні є надлишковим негативним, і характеризується напруженістю електричного поля у її поверхні в межах від  $-1000$  до  $+200$  В/м, в середньому  $-130$  В/м. Позитивний потенціал з обсадної труби передається на фундаменти будівлі, а далі по місцевості по мірі віддалення зменшується і стає негативним до фонових негативних значень, характерних для поверхні землі. Незначні вимірювані величини потенціалів обумовлені виникненням протиполя за рахунок поляризації ґрунту, що має високу діелектричну проникність.



a)



б)

в)

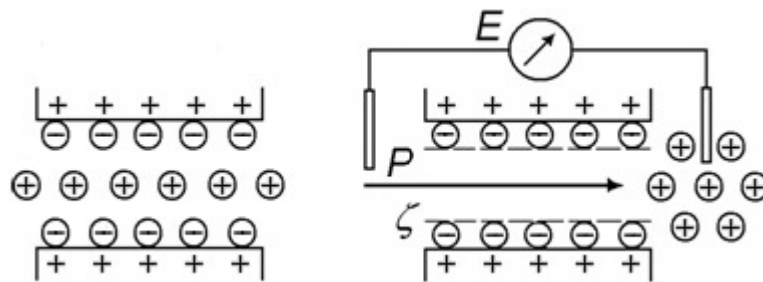


Рис. 3.8 Виникнення у системі «крейджаний водоносний горизонт – водозабірна свердловина», крізь яку під тиском  $P$  фільтрує вода, градієнту (різниці) потенціалу течії  $E$ :  $a$  – схема виникнення потенціалів та вилуговування із фундаменту катіонів  $Ca^{2+}$ ;  $б$  – схема пори між частинками кальциту з позитивними потенціалвизначальними іонами та коіонами (катіонами  $Ca^{2+}$ ) та негативними протиіонами (аніонами) у спокої;  $в$  – схема виникнення різниці потенціалів за рахунок перенесення коіонів

Впливає на розподіл потенціалів і потенціал, створюваний струмами витoku з рейок електрифікованих постійним струмом колій. Оскільки він позитивний, градієнт зміни потенціалу по поверхні землі  $dU/dl$  у напрямку до залізничних колій (правому)  $0,018$  В/м вдвічі менший, ніж градієнт у напрямку від залізничних колій (лівому)  $0,036$  В/м (рис. 1.7).

Ґрунт навколо свердловини набуває надлишкового позитивного електричного заряду, який обумовлює його розрідження за рахунок відштовхуючих електростатичних сил між його частинками. Це сприяє нерівномірним деформаціям ґрунту, нерівномірним осіданням будівлі з утворенням тріщин у її стінах (рис.Г.1).

Під впливом градієнту потенціалів на поверхні землі із фундаментів будівлі відбувається вилуговування катіонів  $Ca^{2+}$ . Крім того, для сталеві обсадної труби створюються корозійні умови, оскільки в її нижній частині утворюється катодна зона, а у верхній - корозійно небезпечна анодна зона (рис. 3.5, а), і за умов підвищеної вологості ґрунту верхня частина труби може зазнати корозійних пошкоджень.

Очевидно припустити, що у разі водозабору із глинисто-кремнеземистих ґрунтів внаслідок потенціалу течіє буде наводитись негативний потенціал. Оскільки природний потенціал поверхні землі негативний, слід очікувати, що описані вище явища не відбуватимуться. Проте анодна зона на трубі утвориться в її нижній частині, яка і буде корозійно небезпечною.

В будь якому випадку заходом захисту від описаних руйнівних процесів є ретельний захист ґрунту навколо верхньої частини свердловини від зволоження і водонасичення у вигляді зведення над нею будівлі, підтриманні її вимощення і поверхневого водовідводу навколо неї у справному стані. Доцільно також застосування неелектропровідної обсадної труби - пластикової.

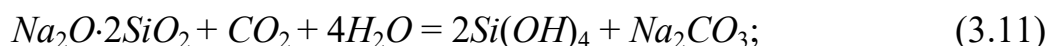
Таким чином встановлено, що експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення потенціалу течії. Ці заряди і потенціали можуть спричинити нерівномірні деформації основ і фундаментів, тріщини і пошкодження в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них. Заходами захисту від руйнівного впливу електрокінетичних явищ є захист ґрунту навколо верхньої частини свердловини від зволоження – зведення над нею будівлі, підтриманні її вимощення і поверхневого водовідводу у справному стані, а також застосування пластикових обсадних труб.

## 3.2 Обґрунтування створення електропровідних водостійких силікатних композицій для заземлених екранів

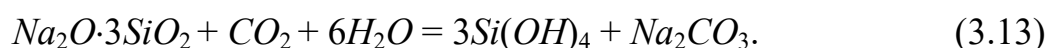
### 3.2.1 Водостійкість силікатних композицій на основі силікату натрію

Для силікатних композицій зазвичай застосовують технічний силікат натрію (натрієве рідке скло) з силікатним модулем  $M_c = 2,8$  ( $M_{SiO_2}/M_{Na_2O}$ ). Виходячи з цього наведені у [142, 143] (п.1.3.2) формули реакції, що забезпечує його твердіння, мають більш теоретичне, ніж практичне значення.

До силікату натрію з  $M_c = 2,8$  близькими за стехіометрією є дисилікат і трисилікат натрію. Силікати натрію здатні твердіти за рахунок їх карбонізації вуглекислим газом повітря. Можливі реакції взаємодії та їх вільна енергія Гіббса  $\Delta G$ , визначена виходячи із вільних енергій Гіббса утворення із елементів сполук, які беруть участь у цій реакції (табл.3.1), такі:



$$\begin{aligned} \Delta G &= -2\Delta G_{Si(OH)_4} - \Delta G_{Na_2CO} + \Delta G_{Na_2O \cdot 2SiO_2} + \Delta G_{CO_2} + 4\Delta G_{H_2O} = \quad (3.12) \\ &= 2 \cdot (-318,6) + (-250,4) - (-550,57) - (-94,26) - 4 \cdot (-56,687) = \\ &= -16,022 \text{ ккал/моль}; \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta G &= -3\Delta G_{Si(OH)_4} - \Delta G_{Na_2CO} + \Delta G_{Na_2O \cdot 3SiO_2} + \Delta G_{CO_2} + 6\Delta G_{H_2O} = \quad (3.14) \\ &= 3 \cdot (-318,6) + (-250,4) - (-775,76) - (-94,26) - 6 \cdot (-56,687) = \\ &= 3,942 \text{ ккал/моль}. \end{aligned}$$

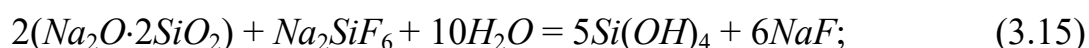
Отже, за негативним значенням  $\Delta G$  реакції видно, що реакція за участю дисилікату натрію ймовірна. Можна очікувати, що ймовірна вона і для силікату натрію з  $M_c = 2,8$ , проте повільно.

Відомо, що для прискорення твердіння силікату натрію його отверджують кремнійфторидом натрію [142, 143]. Можливі реакції взаємодії та їх вільна енергія Гіббса  $\Delta G$  такі:

Таблиця 3.1

Вільна енергія Гіббса  $\Delta G$  утворення сполук із елементів [159]

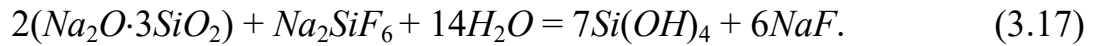
Сполука			$\Delta G$ ,
Група	Назва, позначення	Формула	ккал/моль
Оксиди	Вода	$H_2O$	-56,687
	Вуглекислий газ	$CO_2$	-94,26
Гідроксиди	Портландит	$Ca(OH)_2$	-214,39
	Ортокремнієва кислота	$Si(OH)_4$	-318,6
Карбонати	Карбонат натрію	$Na_2CO_3$	-250,4
Фториди	Фторид натрію	$NaF$	-129,59
	Фторид кальцію	$CaF_2$	-265,94
Кремнійфториди	Кремнійфторид натрію	$Na_2SiF_6$	-610,4
	Кремнійфторид кальцію	$CaSiF_6$	-659,6
Силікати натрію	Дісилікат натрію $NS_2$	$Na_2O \cdot 2SiO_2$	-550,57
	Трислікат натрію $NS_3$	$Na_2O \cdot 3SiO_2$	-775,76
Гідросилікати кальцію	Гіроліт $C_2S_3H_{2,5}$	$2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot 2,5H_2O$	-1085,65
	Ксонотліт $C_6S_6H$	$6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$	-2259,4
Алюмосилікати	Геленіт $C_2AS$	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$	-909,6
Гідроалюмінати кальцію	$C_2AH_8$	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$	-1151,54
	$C_3AH_6$	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	-1198,4
Лужні гідро-алюмосилікати	Гідронейфелін $NAS_2H_2$	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	-1066
	Анальцим $NAS_4H_2$	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$	-1476,8



$$\Delta G = -5\Delta G_{Si(OH)_4} - 6\Delta G_{NaF} + 2\Delta G_{Na_2O \cdot 2SiO_2} + \Delta G_{Na_2SiF_6} + 10\Delta G_{H_2O} = \quad (3.16)$$

$$= 5 \cdot (-318,6) + 6 \cdot (-129,59) - 2 \cdot (-550,57) - (-610,4) - 10 \cdot (-56,687) =$$

$$= -92,13 \text{ ккал/моль};$$



$$\begin{aligned} \Delta G &= -7\Delta G_{\text{Si}(\text{OH})_4} - 6\Delta G_{\text{NaF}} + 2\Delta G_{\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2} + \Delta G_{\text{Na}_2\text{SiF}_6} + 14\Delta G_{\text{H}_2\text{O}} = \quad (3.18) \\ &= 7\cdot(-318,6) + 6\cdot(-129,59) - 2\cdot(-550,57) - (-610,4) - 14\cdot(-56,387) = \\ &= -506,782 \text{ ккал/моль}. \end{aligned}$$

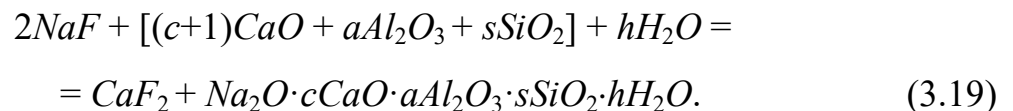
Результати розрахунків за (3.11)–(3.18) узагальнені у табл. 3.2. Як бачимо, реакції (3.15) і (3.17) ймовірні та проткають інтенсивніше, ніж (3.11), (3.13).

Таблиця 3.2

Вільна енергія Гіббса  $\Delta G$  реакцій взаємодії силікатів натрію з отверджувачами з утворенням отрокремнієвої кислоти  $\text{Si}(\text{OH})_4$

Силікат натрію	$M_c$	Отверджувач			
		$\text{CO}_2$		$\text{Na}_2\text{SiF}_6$	
		$\Delta G$ , кКал/моль	реакція	$\Delta G$ , кКал/моль	реакція
$\text{NaO}\cdot 2\text{SiO}_2$	2	-16,022	(3.11)	-92,13	(3.15)
$\text{NaO}\cdot 3\text{SiO}_2$	3	3,942	(3.13)	-506,782	(3.17)

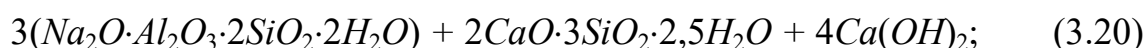
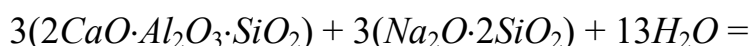
Оскільки навіть отверджений кремнійфтридом натрію силікат натрію не є водостійким, у [144, 145] для підвищення водостійкості запропоновано додавати до нього мелений основний доменний гранульований шлак, у [143] – термооброблений мергель. Підвищення водостійкості згідно з [144, 145] забезпечується утворенням цеолітоподібних алюмосилікатів натрію та кальцію за запропонованою загальною формулою:



Цеолітоподібними алюмосилікатами є, наприклад, лужні – анальцим  $\text{NAS}_4\text{H}_2$ , гідроніфелін  $\text{NAS}_2\text{H}_2$  тощо. Згідно зі [160] шлаки складаються із меліліту, властоніту  $\text{CS}$ , ранкініту  $\text{C}_3\text{S}_2$ , можуть містити ларніт  $\text{C}_2\text{S}$ , анортит  $\text{CAS}_2$ , алюмомагнезіальну шпінель  $\text{AM}$ , фостерит  $\text{M}_2\text{S}$ . Меліліт є твердим розчином окерманіту  $\text{C}_2\text{MS}_2$  та геленіту  $\text{C}_2\text{AS}$ .

Перевірено можливість утворення цеолітоподібних алюмосилікатів на прикладі гідронефеліну та анальциму із геленіту, що міститься в усіх шлаках, та силікатів натрію, кремнійфториду натрію, а також продукту взаємодії силікатів натрію з кремнійфторидом натрію – фториду натрію. Можливі реакції утворення сполук та їх вільна енергія Гіббса  $\Delta G$  такі:

1) гідронефеліну та гіроліту із геленіту та дісилікату натрію –



$$\Delta G = 3\Delta G_{NAS2H2} + 2\Delta G_{C2S3H2,5} + 4\Delta G_{Ca(OH)_2} -$$

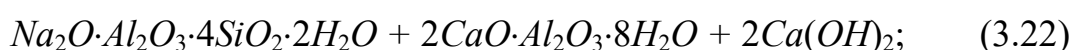
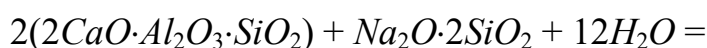
$$- 3\Delta G_{C2AS} - 3\Delta G_{NS2} - 13\Delta G_{H2O} = \quad (3.21)$$

$$= 3 \cdot (-1066) + (-1085,65) + 4 \cdot (-214,39) -$$

$$- 3 \cdot (-909,6) - 3 \cdot (-550,57) - 13 \cdot (-56,687) = -23,769 \text{ ккал/моль,}$$

або  $-7,923$  ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу  $C_2AS$ ;

2) анальциму та гідроалюмінату кальцію  $C_2AH_8$  із геленіту та дісилікату натрію –

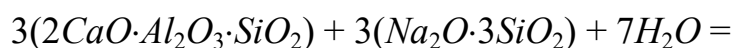


$$\Delta G = \Delta G_{NAS4H2} + \Delta G_{C2AH8} + 2\Delta G_{Ca(OH)_2} - 2\Delta G_{C2AS} - \Delta G_{NS2} - 12\Delta G_{H2O} = \quad (3.23)$$

$$= -1476,8 + (-1151,54) + 2 \cdot (-214,39) - 2 \cdot (-909,6) - (-550,57) - 12 \cdot (-56,687) =$$

$$= -7,106 \text{ ккал/моль, або } -3,553 \text{ ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу } C_2AS;$$

3) гідронефеліну та ксонотліту із геленіту та дісилікату натрію –



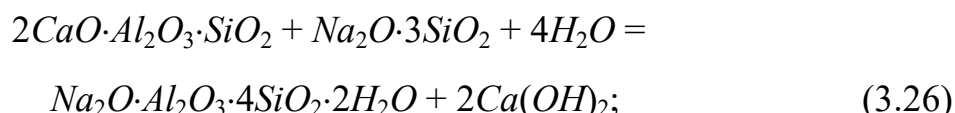
$$\Delta G = 3\Delta G_{NAS2H2} + \Delta G_{C6S6H} - 3\Delta G_{C2AS} - 3\Delta G_{NS2} - 3\Delta G_{H2O} = \quad (3.25)$$

$$= 3 \cdot (-1066) + (-2259,4) - 3 \cdot (-909,6) - 3 \cdot (-550,57) - 7 \cdot (-56,687) =$$

$$= -680,081 \text{ ккал/моль,}$$

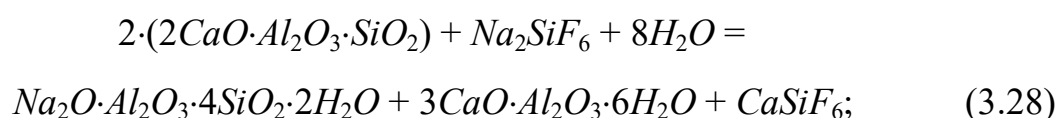
або  $-226,694$  ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу  $C_2AS$ ;

4) анальциму та гідроксиду кальцію із геленіту та трисилікату натрію –



$$\Delta G = \Delta G_{NAS4H2} + 2\Delta G_{Ca(OH)2} - \Delta G_{C2AS} - \Delta G_{NS2} - 4\Delta G_{H2O} = \quad (3.27) \\ = -1476,8 + 2(-214,39) - (-909,6) - (-775,76) - 4 \cdot (-56,687) = \\ = 6,528 \text{ ккал/моль};$$

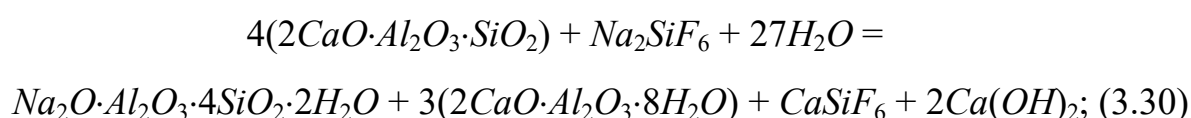
5) гідронфеліну, гдроалюмінату кальцію  $C_3AH_8$  та кремнійфториду кальцію із геленіту та кремнійфториду натрію –



$$\Delta G = 3\Delta G_{NAS2H2} + \Delta G_{C3AH6} + \Delta G_{CaSiF6} - \Delta G_{C2AS} - \Delta G_{Na2SiF6} - 8\Delta G_{H2O} = \quad (3.29) \\ = -1066 + (-1198,4) + (-659,6) - 2 \cdot (-909,6) - (-608,4) - 7 \cdot (-56,687) = \\ = -99,591 \text{ ккал/моль},$$

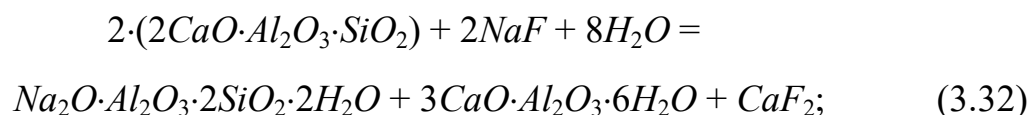
або – 49,796 ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу  $C_2AS$ ;

6) анальциму та гідроалюмінату кальцію  $C_2AH_8$  із геленіту та кремнійфтриду натрію –



$$\Delta G = \Delta G_{NAS4H2} + 3\Delta G_{C2AH8} + \Delta G_{CaSiF6} + 2\Delta G_{Ca(OH)2} - \\ - 4\Delta G_{C2AS} - \Delta G_{NS2} - 27\Delta G_{H2O} = \quad (3.31) \\ = -1476,8 + 3(-1151,54) + (-659,6) + (-214,4) - \\ - 4 \cdot (-909,6) - (-608,4) - 27 \cdot (-56,687) = -28,071 \text{ ккал/моль}, \\ \text{або } -7,018 \text{ ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу } C_2AS;$$

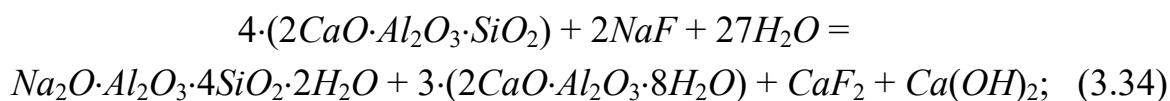
7) гідронфеліну, гдроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  та фториду кальцію із геленіту та фториду натрію –



$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta G_{NAS_2H_2} + \Delta G_{C_3AH_6} + \Delta G_{CaF_2} - 2\Delta G_{C_2AS} - \Delta G_{NaF} - 8\Delta G_{H_2O} = (3.33) \\ &= -1066 + (-1198,4) + (-265,94) - 2 \cdot (-909,6) - (-129,59) - 8 \cdot (-56,687) = \\ &= -128,054 \text{ ккал/моль,} \end{aligned}$$

або  $-64,027$  ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу  $C_2AS$ .

8) анальциму, гдроалюмінату кальцію  $C_2AH_8$  та фториду кальцію із геленіту та фториду натрію –



$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta G_{NAS_4H_2} + 3\Delta G_{C_2AH_8} + \Delta G_{CaF_2} - \Delta G_{Ca(OH)_2} - \\ &\quad - 4\Delta G_{C_2AS} - 2\Delta G_{NaF} - 27\Delta G_{H_2O} = (3.35) \\ &= -1476,8 + 3 \cdot (-1151,54) + (-265,94) + (-214,39) - \\ &\quad - 4 \cdot (-909,6) - 2 \cdot (-129,59) - 27 \cdot (-56,687) = 16,379 \text{ ккал/моль,} \\ &\quad \text{або } 4,065 \text{ ккал/моль в перерахунку на 1 молекулу } C_2AS. \end{aligned}$$

Результати розрахунків за (3.19)–(3.30) узагальнені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Вільна енергія Гіббса  $\Delta G$  реакцій взаємодії геленіту (у перерахунку на 1 молекулу  $C_2AS$ ) з лужними компонентами з утворенням анальциму  $NAS_4H_2$  а гідронфеліну  $NAS_4H_2$

Лужний компонент	Основний продукт реакції							
	гідронфелін $NAS_2H_2$				анальцим $NAS_4H_2$			
	№	$\Delta G$ , ккал моль	додаткові продукти	реакція	№	$\Delta G$ , ккал моль	додаткові продукти	реакція
$NaO \cdot 2SiO_2$	1	-7,923	$C_2S_3H_{2,5}$ $Ca(OH)_2$	(3.20)	2	-3,533	$C_2AH_8$ $Ca(OH)_2$	(3.22)
$NaO \cdot 3SiO_2$	3	-226,694	$C_6S_6H$	(3.24)	4	6,528	$Ca(OH)_2$	(3.26)
$Na_2SiF_6$	5	-49,796	$C_3AH_6$ $CaSiF_6$	(3.28)	6	-7,018	$C_2AH_8$ ; $CaSiF_6$ $Ca(OH)_2$	(3.30)
$NaF$	7	-64,027	$C_3AH_6$ $CaF_2$	(3.32)	8	4,065	$C_2AH_8$ ; $CaF_2$ $Ca(OH)_2$	(3.34)



Аналіз табл. 3.2 і 3.3 показує, що із силікатів натрію та кремнійфториду натрію без шлаку імовірно утворення ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  та фториду натрію  $NaF$ . У разі більшого силікатного модуля  $M_c = 3$  імовірність реакції та, отже, і швидкість реакції, набагато більші ( $\Delta G = -506,782$  ккал/моль), ніж у разі  $M_c = 2$  ( $\Delta G = -92,13$  ккал/моль). Взаємодія силікатів натрію з вуглекислим газом повітря з утворенням ортокремнієвої кислоти та карбонату натрію менш імовірна.

У разі уведення доменного гранульованого шлаку імовірним є утворення цеолітоподібного лужного алюмосилікату типу гідроніфеліну  $NAS_2H_2$  внаслідок взаємодії геленіту з лужними компонентами. Утворення анальциму  $NAS_4H_2$  є менш імовірним. Більш активно протікає реакція геленіту з трисилікатом натрію з утворенням гідроніфеліну  $NAS_2H_2$  і гідросилікату кальцію типу ксонотліту  $C_6S_6H$  ( $\Delta G = -226,694$  ккал/моль).

Імовірною є взаємодія геленіту зі фторидом натрію  $NaF$  з утворенням гідроніфеліну  $NAS_2H_2$ , гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF_2$  ( $\Delta G = -64,027$  ккал/моль). Оскільки розчинність  $CaF_2$  0,015 г/л набагато менша, ніж  $NaF$  41,3 г/л, його утворення внаслідок цієї реакції замість  $NaF$  сприятиме підвищенню водостійкості штучного каменю.

Таким чином, у разі отвердження силікату натрію кремнійфторидом натрію утворюється гель ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  та розчинний фторид натрію  $NaF$ . У разі уведення доменного гранульованого шлаку за рахунок взаємодії геленіту зі фторидом натрію  $NaF$  додатково утворюються гідроніфелін  $NAS_2H_2$ , гідроалюмінат кальцію  $C_3AH_6$  і фторид кальцію – флюорит  $CaF_2$ .

Дослідимо їх електроповерхневі властивості шляхом розрахунку абсолютних  $\psi^0$  і рівноважних  $\psi_p^0$  електроповерхневих потенціалів [157]:

$$\psi_{XYZ}^0 = -\frac{x\psi_X^0 + y\psi_Y^0 + z\psi_Z^0}{x+y+z}; \quad (3.36)$$

$$\psi_p^0_{XYZ} = \psi_{XYZ}^0 - 0,059pH, \quad (3.37)$$

де  $\psi_{XYZ}^0$ ,  $\psi_p^0_{XYZ}$  – відповідно, абсолютний та рівноважний електроповерхневі потенціали сполуки  $X_xY_yZ_z$ , В;  $\psi^0_X$ ,  $\psi^0_Y$ ,  $\psi^0_Z$  – абсолютні електроповерхневі потенціали простих речовин, з яких складається сполука  $X_xY_yZ_z$ ;  $pH$  – водневий показник розчину, у якому існує сполука  $X_xY_yZ_z$ . Для середовища порового електроліту гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  водневий показник прийемо рівним  $pH = 7$ .

Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Абсолютні електроповерхневі потенціали  $\psi^0$  простих речовин, з яких складаються продукти взаємодії силікату натрію, кремнефтриду натрію та геленіту згідно з [157]

Елемент	<i>Ca</i>	<i>Na</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>F</i>
$\psi^0$ , В	-4,2	-4,04	-2,99	-1,23	-1,2	+1,44	+4,89

Абсолютні та рівноважні електроповерхневі потенціали  $Si(OH)_4$ ,  $NaF$ ,  $NaSi_2H_2$  ( $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ),  $C_3AH_6$  ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ) та  $CaF_2$  дорівнюватимуть:

$$\psi_{Si(OH)_4}^0 = -\frac{\psi_{Si}^0 + 4\psi_O^0 + 4\psi_H^0}{1+4+4} = -\frac{-1,23 + 4 \cdot 1,44 + 4 \cdot (-1,2)}{1+4+4} = 0,03 \text{ В}; \quad (3.38)$$

$$\psi_p^0_{Si(OH)_4} = \psi_{Si(OH)_4}^0 - 0,059pH = 0,03 - 0,059 \cdot 7 = -0,383, \quad (3.39)$$

$$\psi_{NaF}^0 = -\frac{\psi_{Na}^0 + 2\psi_F^0}{1+1} = -\frac{-4,04 + 4,89}{1+1} = -0,425 \text{ В}; \quad (3.40)$$

$$\psi_p^0_{CaF_2} = \psi_{NaF}^0 - 0,059pH = -0,425 - 0,059 \cdot 7 = -0,838. \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} \psi_{NAS_2H_2}^0 &= -\frac{2\psi_{Na}^0 + 2\psi_{Al}^0 + 2\psi_{Si}^0 + 4\psi_H^0 + 10\psi_O^0}{2+2+2+4+10} = \\ &= -\frac{2 \cdot (-4,04) + 2 \cdot (-2,99) + 2 \cdot (-1,23) + 4 \cdot (-1,2) + 10 \cdot 1,44}{2+2+2+4+10} = 0,346 \text{ В}; \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$\psi_p^0_{NAS_2H_2} = \psi_{NAS_2H_2}^0 - 0,059pH = 0,346 - 0,059 \cdot 7 = -0,067 \text{ В}; \quad (3.43)$$

$$\begin{aligned}\Psi_{C_3AH_6}^0 &= -\frac{3\Psi_{Ca}^0 + 2\Psi_{Al}^0 + 12\Psi_H^0 + 12\Psi_O^0}{3+2+12+12} = \\ &= -\frac{3 \cdot (-4,2) + 2 \cdot (-2,99) + 12 \cdot (-1,2) + 12 \cdot 1,44}{3+2+12+12} = 0,541 \text{ В};\end{aligned}\quad (3.44)$$

$$\Psi_p^0_{NAS_2H_2} = \Psi^0_{NAS_2H_2} - 0,059pH = 0,541 - 0,059 \cdot 7 = 0,128, \quad (3.45)$$

$$\Psi_{CaF_2}^0 = -\frac{\Psi_{Ca}^0 + 2\Psi_F^0}{1+2} = -\frac{-4,2 + 2 \cdot 4,89}{1+2} = 1,86 \text{ В}; \quad (3.46)$$

$$\Psi_p^0_{CaF_2} = \Psi^0_{CaF_2} - 0,059pH = 1,86 - 0,059 \cdot 7 = 1,447. \quad (3.46)$$

Результати розрахунків за (3.38)–(3.47) узагальнені у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Електроповерхневі потенціали продуктів взаємодії силікату натрію, кремнійфтриду натрію та геленіту

Сполука		Електроповерхневий потенціал, В	
Назва, позначення	Формула	абсолютний $\Psi^0$	рівноважний $\Psi_p^0$
Отрокремнієва кислота	$Si(OH)_4$	0,03	-0,383
Фторид натрію	$NaF$	-0,425	-0,838
Гідроніфелін $NAS_2H_2$	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	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

Із табл. 3.5 видно, що частинки ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  і гідроніфеліну  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  характеризуються негативним рівноважним електроповерхневим потенціалом, а гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF_2$  – позитивним. Це дозволяє зробити висновок, що підвищення водостійкості штучного каменю силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, за рахунок додавання меленого доменного гранульованого шлаку, забезпечується не за рахунок утворення цеолітоподібних

гідроалюмосилікатів згідно з [144, 145], а за рахунок утворення гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF_2$  та електрогетерогенних контактів між їх частинками та гелем ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$ .

Виходячи з викладеного виконано аналіз структури штучного каменю. Її основною складовою є частинки гелю ортокремнієвої кислоти. Згідно зі [161] це округлі частинки розміром від 2–3 до 15 нм, іноді до 60 нм (рис. 3.9, *a*). Кубічний гідроалюмінат кальцію  $C_3AH_6$  зазвичай представлений кристалами, округлими або октаедричними зернами розміром від 50 нм [162] до 500 нм [163] (рис. 3.9, *б*). Кристали флюорита  $CaF_2$  мають кубічну, октаедричну, кубооктаедричну форму, а їх розміри у системних умовах зростання, очевидно, порівняні з розмірами частинок гелю ортокремнієвої кислоти та кубічного гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$ . Виходячи з цього, мікроструктура штучного каменю має вигляд, наведений на рис. 3.10.

Із рис. 3.10, *a* видно, що штучний камінь, утворений переважно гелем ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  та фтороидом натрію  $NaF$ , містить тільки електрогетерогенні контакти між частинками з однойменними поверхневими зарядами, міцність яких визначається тільки міжмолекулярними взаємодіями. За рахунок високої розчинності  $NaF$  та, відповідно, високої концентрації порового електроліту у сухому стані міцність цих контактів і штучного каменю в цілому можуть бути високими. Проте у разі водонасичення каменю відбувається зниження концентрації електроліту та різке зниження міцності контактів, що обумовлює низьку водостійкість штучного каменю.

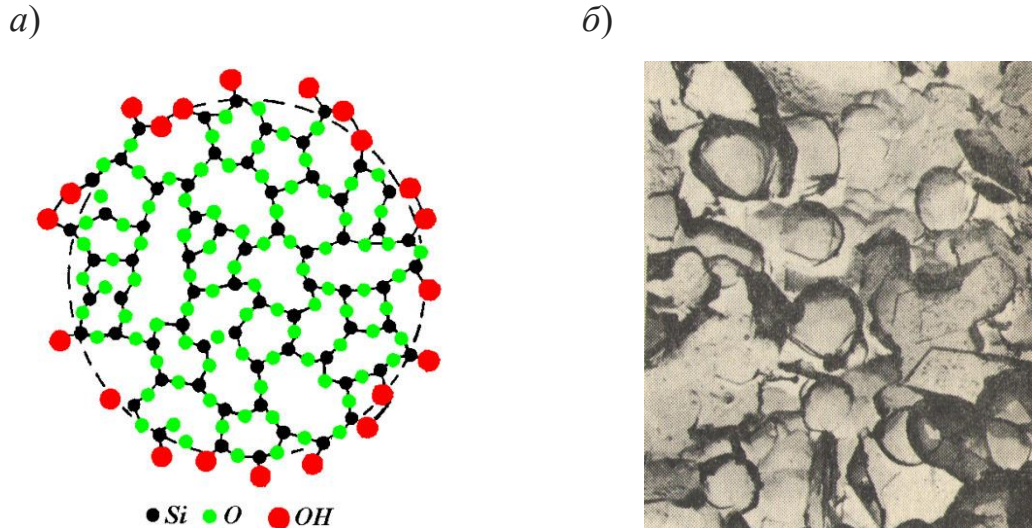


Рис. 3.9 Частинки продуктів взаємодії силікатів натрію, кремнійфториду натрію і геленіту шлаку: *a* – схема частинки гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$ ; *b* – електронно-мікроскопічний знімок гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$ , вугільна репліка, просвітлювальний електронний мікроскоп,  $\times 15000$  [163]

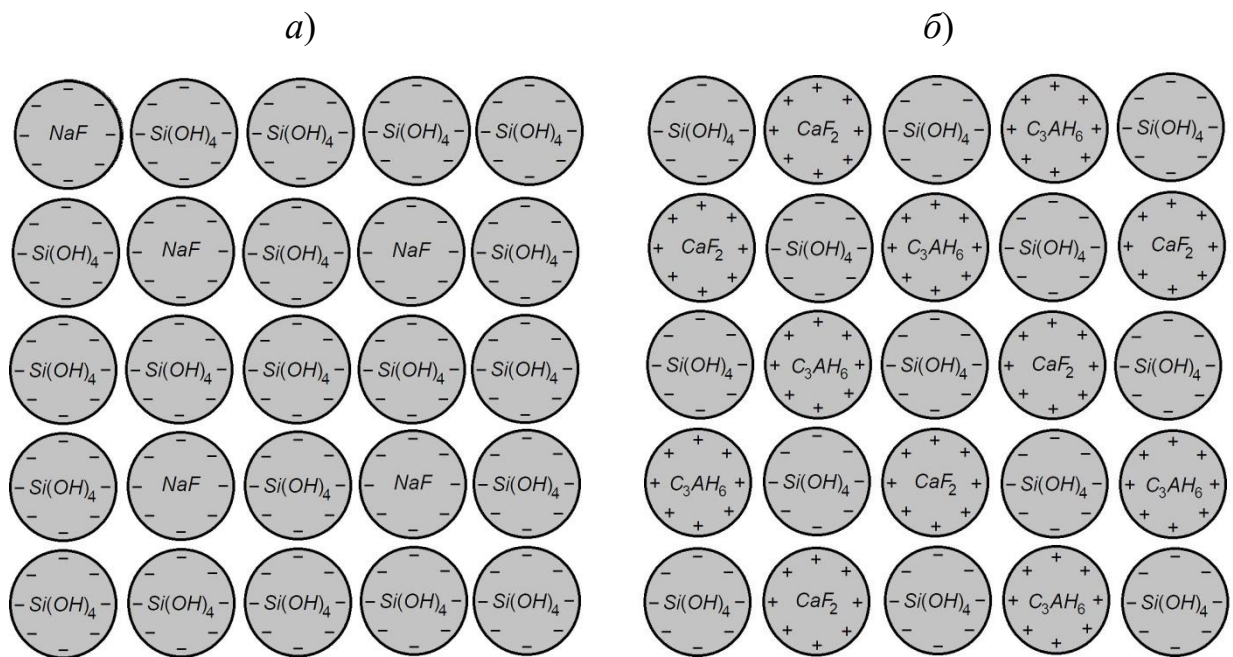


Рис. 3.10 Схема структури штучного каменю, отриманого внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію: *a* – без добавок; *b* – з добавкою доменного гранульованого шлаку. Всі частинки умовно показані однакового розміру

На відміну від цього штучний камінь, утворений частинками гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  з негативним поверхневим зарядом, і частинками гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF$  з позитивним поверхневим зарядом, містить значну кількість електрогетерогенних контактів (рис. 3.9, б), міцність яких обумовлена не тільки слабкими міжмолекулярними взаємодіями, а й інтенсивними електрогетерогенними іон-іонними притягуючими взаємодіями, що й обумовлює навіть за не більшої міцності набагато більшу водостійкість штучного каменю.

Таким чином в результаті термодинамічних розрахунків і розрахунків електроповерхневих потенціалів сполук встановлено, що у разі отвердження силікату натрію кремнійфторидом натрію продуктами їх взаємодії є гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  і фторид натрію  $NaF$ . Їх частинки мають негативний поверхневий заряд і утворюють між собою тільки електрогомогенні 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 його мінерали типу геленіту  $C_2AS$  взаємодіють із фторидом натрію з утворенням гідронефеліну  $NAS_2H_2$ , гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF$ . Частинки останніх двох мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з частинками гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  електрогетерогенні контакти, що забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

### **3.2.2 Електропровідність силікатних композицій з електропровідними наповнювачами**

У [150, 155] розроблено схему формування електричних провідності та опору композиційних матеріалів з електропровідним наповнювачами (рис. 3.11), на основі якої розроблено розрахункову методику управління їх електропровідністю шляхом призначенням складу.

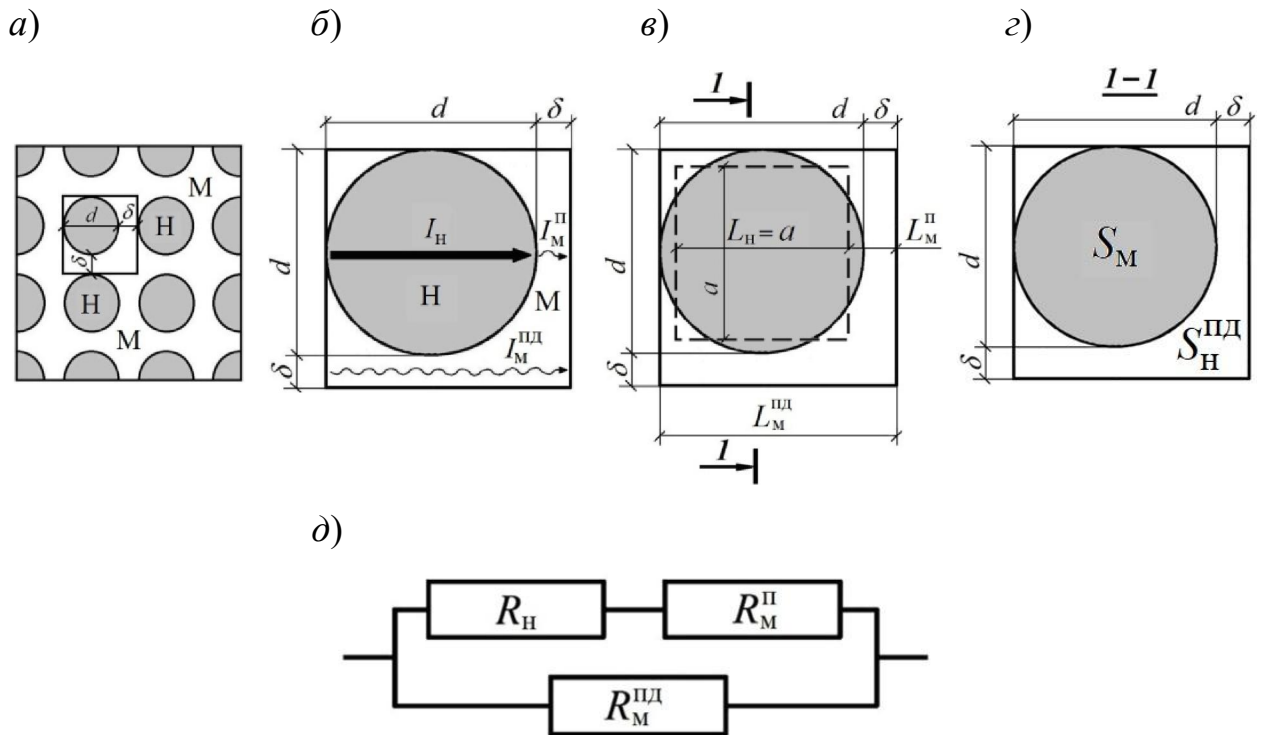


Рис. 3.11 Схема формування електричного опору композиційного матеріалу з елетропровідним наповнювачем: *a* – схема структури матеріалу; *б* – схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу та протікання струму крізь неї; *в* – еквівалентна схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу та протікання електричного струму крізь неї; *г* – еквівалентна схема електричного опору елементарної комірки композиційного матеріалу; Н – напвнювач; М – матриця

Питома електропровідність композиційного матеріалу дорівнює:

$$\frac{1}{\rho_k} = \frac{1}{d + \delta} \left( \frac{1}{R_H + R_M^{\text{II}}} + \frac{1}{R_M^{\text{I}}} \right), \frac{C_M}{M}, \quad (3.47)$$

де  $d$  – середній розмір частинки електропровідного наповнювача, м;  $\delta$  – товщина прошарку матриці між частинками електропровідного наповнювача, м:

$$\delta = d \left[ \sqrt[3]{\Pi_H (\eta - 1) + 1} - 1 \right], \text{ м}; \quad (3.48)$$

$\Pi_H$  – пустотність електропровідного наповнювача;  $\eta$  – коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею:

$$\eta = \frac{\frac{\Pi}{\text{Ц}} \cdot \frac{1}{\rho_{\Pi}} + \frac{1}{\rho_{\text{Ц}}} + \frac{\text{В}}{\text{Ц}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{В}}}}{\frac{\text{Н}}{\text{Ц}} \cdot \frac{\rho_{\text{Н}}^{\text{с}}}{\rho_{\text{Н}}}}; \quad (3.49)$$

$\Pi$ ,  $\text{Ц}$ ,  $\text{Н}$  – витрата піску, цементу і наповнювача на  $1 \text{ м}^3$  композиції;  $\text{В}/\text{Ц}$  – водоцементне відношення;  $\rho_{\Pi}$ ,  $\rho_{\text{Ц}}$ ,  $\rho_{\text{В}}$  – густина піску, цементу і води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{Н}}^{\text{с}}$  – середня густина наповнювача;  $R_{\text{Н}}$  – електричний опір частинки наповнювача, Ом;  $R_{\text{М}}^{\Pi}$ ,  $R_{\text{М}}^{\Pi\Pi}$  – електричний опір прошарків цементної матриці, відповідно, поперечного і повздовжнього напрямку електричного струму, Ом:

$$R_{\text{Н}} = \frac{\rho_{\text{Н}}}{0,806d}; \quad R_{\text{М}}^{\Pi} = \frac{\rho_{\text{М}}(0,194d + \delta)}{0,649d^2}; \quad R_{\text{М}}^{\Pi\Pi} = \frac{\rho_{\text{М}}(d + \delta)}{0,351d^2 + 2d\delta + \delta^2}, \text{Ом}, \quad (3.50)$$

Алгоритм оцінки питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір електропровідного наповнювача та силікатної матриці та склад матеріалу в дослідницьких або технологічних цілях має такий вид:

- 1) за даними про склад і фізичні властивості компонентів композиційного матеріалу за формулою (3.49) або аналогічними визначають коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею  $\eta$ ;
- 2) за (3.48) визначають товщину шару матриці між частинками наповнювача  $\delta$ ;
- 3) за даними про питомий електричний опір наповнювача  $\rho_{\text{Н}}$  і матриці  $\rho_{\text{М}}$  і середніми величинами розміра частинок наповнювача  $d$  і товщини шарів матриці між ними  $\delta$  за формулами (3.50) і (3.47) 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 штучного каменю і наповнювача), потім для наступного, використовуючи отриману величину питомого електричного опору за цим п. як



величину питомого електричного опору матриці наступного більш крупного рівня (мезорівня із заповнювачем – піском) тощо, (макрорівня із заповнювачем – щебенем).

Визначена за цим алгоритмом та (3.47)–(3.50) для композицій на основі силікату натрію (СН) та портландцементу (ПЦ), для величин  $P_{\Pi} = 0,65$ ,  $d = 1 \times 10^{-4}$  м,  $\rho_{\text{н}} = 0,8 \times 10^{-5}$  Ом $\times$ м,  $\rho_{\text{м}} = 5$  Ом $\times$ м (СН) і 50 Ом $\times$ м (ПЦ) залежність питомого електричного опору  $\rho_{\text{к}}$  від основної структурної характеристики матричного композиту – коефіцієнта розсунення частинок наповнювача матрицею  $\eta$  в діапазоні значень від 1 до 3 наведений на рис. 3.12.

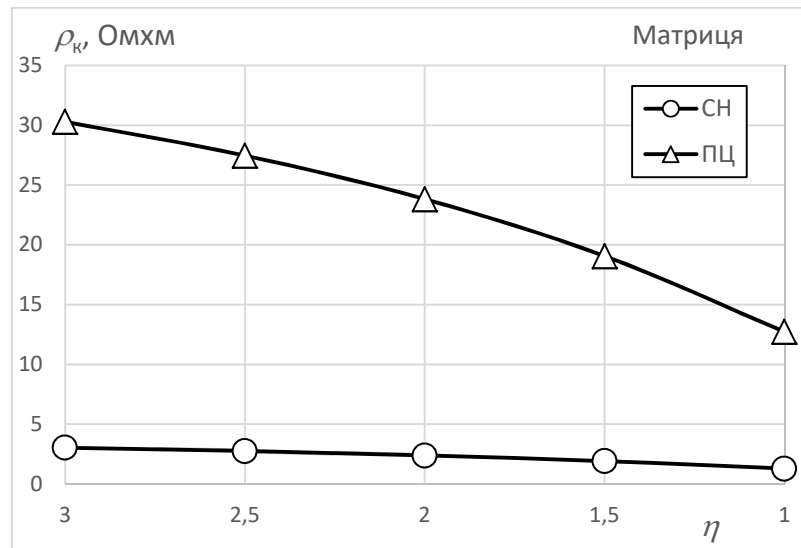


Рис. 3.12 Розрахункова залежність питомого електричного опору штучного каменю (композиту) на основі силікату натрію (СН) і портландцементу (ПЦ)  $\rho_{\text{к}}$  від коефіцієнту розсунення частнок графітового наповнювача  $\eta$  матрицею за питомого електричного опору матриці  $\rho_{\text{м}} = 5$  (СН) і 50 (ПЦ) Ом $\times$ м

Як видно із рис. 3.12, питомий електричний опір композиції з електропровідним наповнювачем з урахуванням розбивки осі абсцис у зворотньому порядку, залежить від коефіцієнту розсунення частинок наповнювача цементною матрицею майже прямо пропорційно. Отже, запропоновані рівняння дійсно дозволяють прогнозувати питомий електричний опір композиції за

величинами питомого електричного опору наповнювача та матриці та її склад (витрати компонентів).

Проте у [150, 155] не виконано аналіз процесів, що відбуваються на границях розподілу між електропровідним наповнювачами та силікатною матрицею.

Композицію на основі силікатного в'язучого (силікату натрію, портландцементу) з графітовим наповнювачем можливо представити матричним композитом з матрицею у вигляді розчинної складової та наповнювачем – частинками графіту (рис. 3.11, *a*). Графіт є однією з поліморфних модифікацій вуглецю, провідником 1 роду з електронною провідністю. Штучний камінь силікатних в'язучих є водно-дисперсною системою, в якій дисперсною фазою є частинки продуктів гідратації, а дисперсійним середовищем – поровий електроліт, що є насиченим розчином для силікату натрію - солей натрію (в залежності від отверджувача), для портландцементу -  $Ca(OH)_2$ . Електропровідність порового електроліту набагато більша, ніж частинок продуктів гідратації (і кварцового заповнювача у розчині), тому саме він забезпечує електропровідність штучного каменю і є провідником другого роду з іонною провідністю, яка забезпечується катіонами  $Na^+$  або  $Ca^{2+}$  та аніонами солі або  $OH$ . Таким чином, на контакті частинок графіту зі штучним каменем, зокрема, поровим електролітом, мають проходити електродні процеси (рис. 3.13).

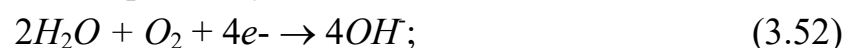
В залежності від напрямку прикладеного електричного потенціалу поверхні частинок графіту розділяються на анодні й катодні дялки (рис. 3.13), на яких у лужному середовищі можуть протікати реакції [158]:

- анодна:

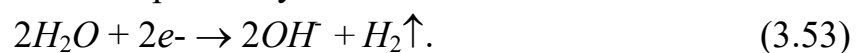


- катодна:

- в аеробних умовах –



- в анаеробних умовах –



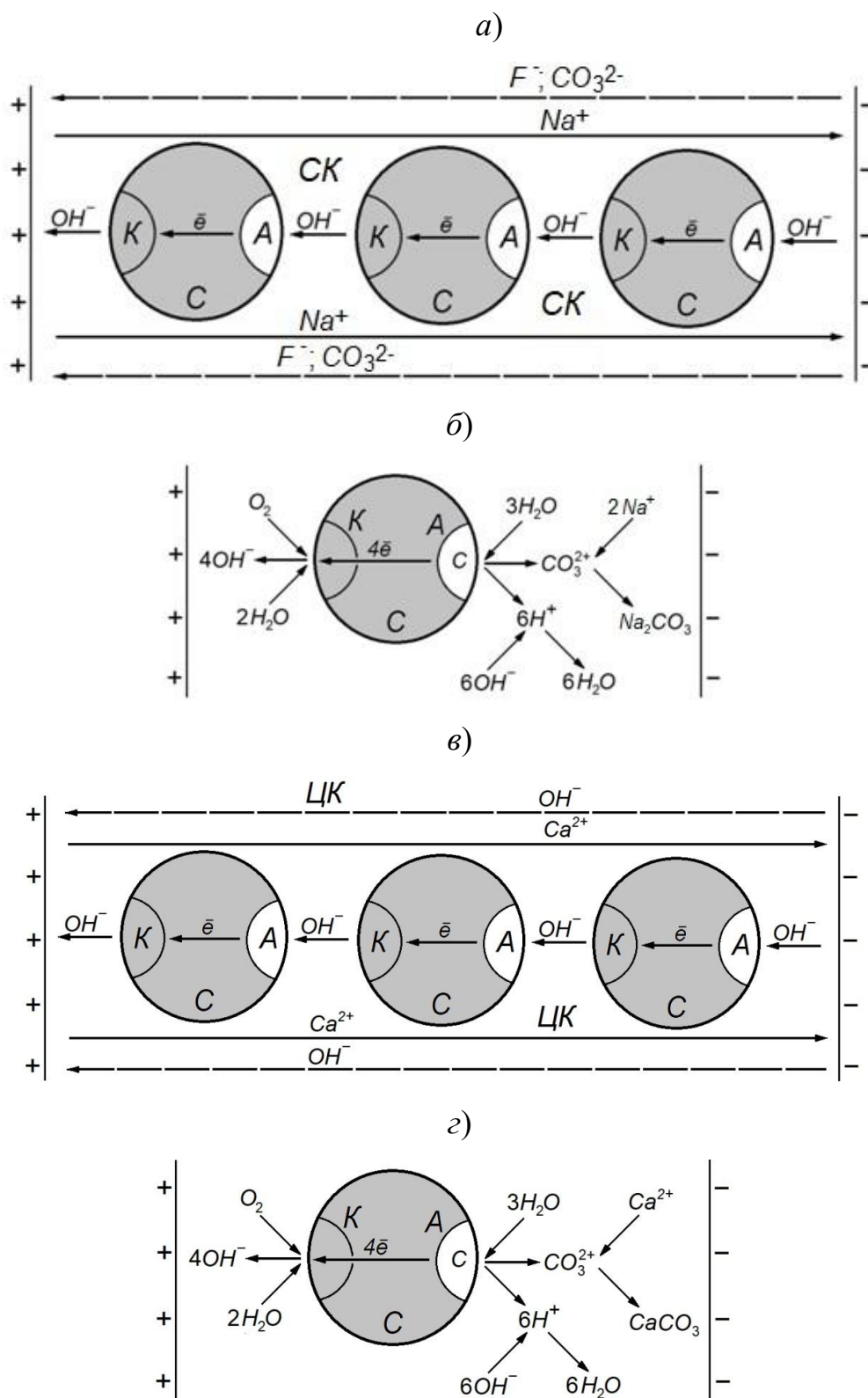


Рис. 3.13 Електропровідність силікатного штучного каменю з графітовим наповнювачем на основі силікату натрію (а, б) і портландцементу (в, г): а, в – схема протікання електричного струму: С – графітовий наповнювач (вуглець), ЦК – цементний камінь (поровий електроліт), А – анодні, К – катодні ділянки поверхні графіту; б, г – електрохімічні реакції на границі розподілу графіт – поровий електроліт штучного каменю в аеробних умовах

Оскільки силікатний штучний камінь є проникним для повітря, катодна реакція буде проходити в аеробних умовах (рис. 3.13, б). Продукти анодної реакції в середовищі силікатного штучного каменю зв'язуються іонами  $Ca^{2+}$  і  $OH^-$  в кальцит (або гідрокарбоалюмінат кальцію) та воду, відповідно:



Продукти катодної реакції: іон  $OH^-$  зв'язується з іоном  $H^+$  згідно реакції (3.55), газоподібний водень  $H_2$  виділяється в повітря. Як бачимо, на анодних ділянках поверхні частинок відбувається розчинення графіту, отже, довговічність штучного каменю буде обумовлена кількістю пропущеного частинками графіту електричного заряду (струму).

У [31] показано, що під впливом пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу ПОЕП і відповідного струму, що протікає під час проходження поїздів, бетон і розчин кам'яної кладки також піддаються електрокорозії, яка полягає в електроміграційному вигуговуванні вапна  $Ca(OH)_2$  і утворенні тріщин, інтенсивність яких залежить від сили струму. У [31] запропонована та експериментально підтверджена шляхом випробування зразків бетону формула залежності кількості  $Ca(OH)_2$   $m$ , кг, винесеного із зразка (конструкції або одиниці її обсягу), від кількості електрики  $Q$ , яке протекло крізь неї:

$$m = QM/F; \quad (3.56)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta I_i \cdot t_i, \quad (3.57)$$

де  $M$  – молекулярна маса  $Ca(OH)_2$ , 74 г/моль;  $F$  – число Фарадея,  $9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль;  $\Delta I$  – різниця між силою струму на початку та у кінці кожного циклу ПОЕП, А;  $t_i$  – тривалість циклу ПОЕП, с;  $n$  – кількість циклів ПОЕП.

Рівняння (3.56), (3.57) можуть бути використані для оцінки довговічності штучного коменю із електропровідної композиції за електропровідністю.

### ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

1. Розвинуто уявлення про електрокорозію залізобетонних і бетонних конструкцій від постійного однаправленого електричного потенціалу ПООП, що виникає під час проходження рухомого складу електрифікованими постійним струмом залізничними коліями. Зокрема, уточнено, що носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони  $Na^+$  та  $K^+$ , у бетоні – катіони  $Ca^{2+}$ , та аніони  $OH^-$ , у сталевій арматурі – електрони  $e^-$ . Вперше визначено, що у залізобетонних та бетонних конструкціях внаслідок впливу ПООП і протікання струму витоку утворюються зони, у яких протікають відповідні реакції корозійних процесів: 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення іонів  $OH^-$  і водню  $H_2$ ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення заліза і утворення  $Fe(OH)_3$ ; 4) зона вилуговування бетону – винесення із бетону катіонів  $Ca^{2+}$  та їх карбонізація на поверхні.

2. Уточнено механізм наведення потенціалів на сталеву арматуру залізобетонних прогонових будов, під якою проходить контактна мережа постійного струму та розроблено схему протікання корозійних струмів від них. Визначено, що потенціал індукується за рахунок поляризації порового електrolіту захисного шару бетону в електричному полі з розділенням зарядів: позитивного – поблизу арматури та на ній, негативного – на поверхні бетону. Внаслідок цього в бетоні захисного шару утворюється зона вилуговування, а на арматурі – анодна зона згідно з п.1 та відбуваються визначені у п.1 електрокорозійні процеси.

3. Встановлено, що експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення потенціалу течії. Ці заряди і потенціали можуть спричинити нерівномірні деформації основ і фундаментів, тріщини і пошкодження в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них. Заходами захисту від руйнівного впливу електрокінетичних явищ є захист ґрунту

навколо верхньої частини свердловини від зволоження – зведення над нею будівлі, підтриманні її вимощення і поверхневого водовідволу у справному стані, а тако ж застосування пластикових обсадних труб.

4. В результаті термодинамічних розрахунків і розрахунків електроповерхневих потенціалів сполук встановлено, що у разі отвердження силікату натрію кремнійфторидом натрію продуктами їх взаємодії є гель ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  і фторид натрію  $NaF$ . Їх частинки мають негативний поверхневий заряд 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 його мінерали типу геленіту  $C_2AS$  взаємодіють із фторидом натрію з утворенням гідронефеліну  $NAS_2H_2$ , гідроалюмінату кальцію  $C_3AH_6$  і фториду кальцію  $CaF$ . Частинки останніх двох мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з частинками гелю ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  електрогетерогенні контакти, що забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

5. Встановлено, що у силікатній композиції з графітовим наповнювачем в залежності від напрямку прикладеного електричного потенціалу поверхні частинок графіту розділяються на анодні й катодні ділянки. На анодних ділянках відбувається розчинення вуглецю з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону  $OH$ . Отже, довговічність штучного каменю буде обумовлена кількістю пропущеного частинками графіту електричного заряду (струму).

**РОЗДІЛ 4**  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ**  
**ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ**  
**ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ ТА ФОРМУВАННЯ**  
**ВЛАСТИВОСТЕЙ І МЕХАНІЗМУ ДІЇ ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**4.1 Пошукові експериментальні дослідження з вибору електро-  
 провідного наповнювача**

На модельних системах виконані пошукові експериментальні дослідження з вибору електропровідного наповнювача для електропровідної композиції. Як матрицю модельної системи застосовано силікат натрію з силікатним модулем  $M_c = 2,7$ , як електропровідний наповнювач - пудру алюмінієву марки ПАП-1 ГОСТ 5494-95, порошки заліза  $Fe$ , міді  $Cu$ , цинку  $Zn$ , графітовий порошок марки ГС-1. Досліджено залежності електрофізичних характеристик модельних систем від виду та вмісту електропровідного наповнювача. Склади модельних систем наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Склади композицій з матрицею із силікату натрію  $M_c = 2,7$   
 та електропровідними наповнювачами

Електропровідний наповнювач	Вміст наповнювача, % від маси силікату натрію	Вміст наповнювача, %, який забезпечив найкращу технологічність	Мінімальний питомий електричний опір покриття, $\rho$ , Ом $\times$ м, на 6 добу твердіння
Алюміній $Al$ (ПАП-1)	5 (3–100)	5	3000
Залізо $Fe$	75	75	3120
Мідь $Cu$	75; 100	75	1400
Цинк $Zn$	50; 75; 100; 125	100	2200
Графіт $C$ (ГС-1)	10–70	50–60	1,72

Склади композицій модельних систем після дозування і ретельного перемішування наносили шаром товщиною близько 1 мм: склади з металевими

наповнювачами – на одну довгу грань зразка-балочки 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину (рис. 4.1, *a–z*), склади з графітовим наповнювачем – на діелектричну пластину розміром 160×40 мм (рис. 4.1, *д–e*). Після нанесення покриття витримували у повітряно-сухих умовах до повного затвердіння. Після затвердіння покриттів за допомогою цифрового мультиметра та накладних сталевих електродів (рис. 4.1, *ж*) вимірювали їх електричний опір  $R$ , кОм та розраховували питомий електричний опір  $\rho$ , Ом×м:

$$\rho = 1000Rbh/L = 1000R \times 0,04 \times 0,002 / 0,02 = 4R,$$

де 1000 – коефіцієнт перерахунку кОм в Ом;  $b$  – ширина покриття, 0,04 м;  $h$  – товщина покриття, 0,002 м;  $L$  – відстані між центрами накладених електродів, 0,02 м.

Дослідження проводили протягом тижня. Результати дослідження наведені у табл.4.2, на рис. 4.2, 4.3, а в узагальненому вигляді – у табл. 4.1 і на рис. 4.4. Як видно із наведених таблиць та рисунків, склади з металевими наповнювачами мають набагато більший електричний опір, ніж з графітовим наповнювачем. Під час твердіння електричний опір композицій з металевими електропровідними наповнювачами як підвищується (алюмінію, заліза), так і знижується (цинку, графіту). Підвищення електричного опору може бути обумовлене утворенням на поверхні металевих частинок щільних гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на поверхнях розподілу та, відповідно, підвищують загальний опір. Мінімальним електричним опором та, відповідно, максимальною електропровідністю, характеризується композиція із графіту і силікату натрію. Менший електричний опір графіту може бути пояснений можливістю матриці утримувати певну кількість води і забезпечувати іонну провідність, а також відсутністю на поверхні часток графіту будь-яких плівок, що створюють перехідний опір на границях розподілу фаз.



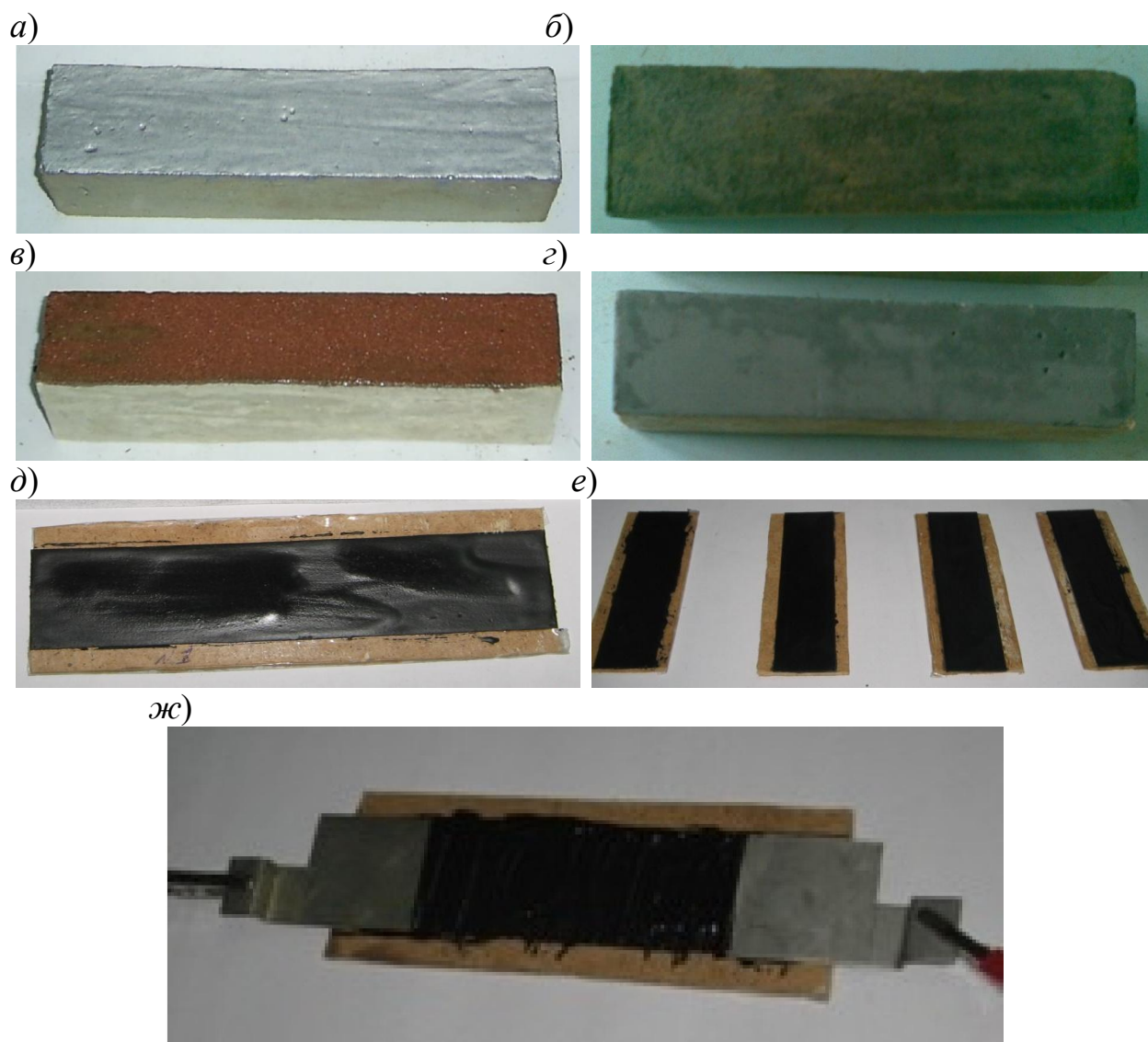


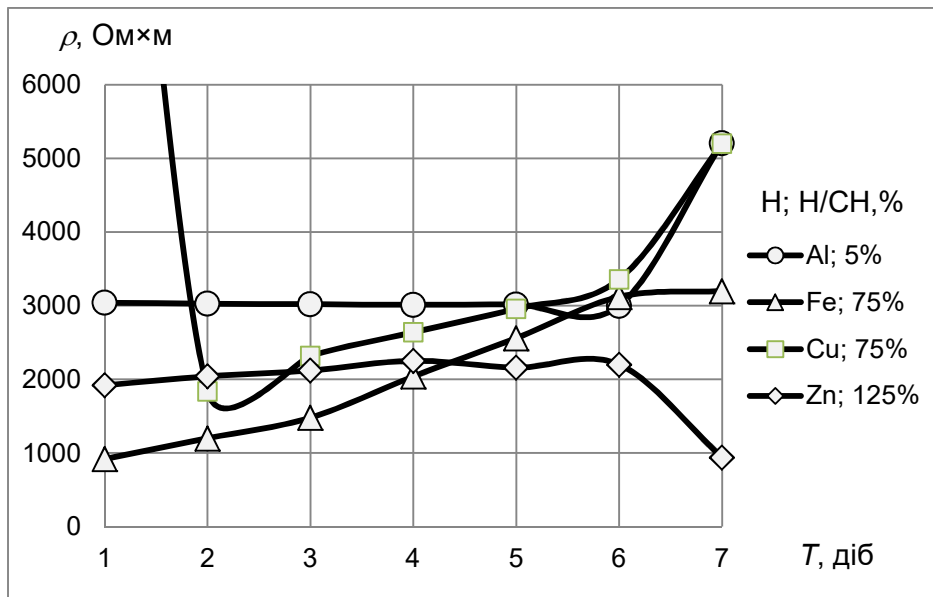
Рис. 4.1 Пошукові експерииментальні дослідження з вибору електропровідного наповнювача. Моделі покрить: *a–г* – на бетонних балочках з алюмінієвим (*a*), залізним (*б*), мідним (*в*), цинковим (*г*) наповнювачами; *д–е* – на діелектричних пластинах з графітовим наповнювачем; *ж* – накладання вимірювальних електродів на покриття для вимірювання електричного опору

Таблиця 4.2

Залежність електричного опору та питомого електричного опору композицій від виду та вмісту електропровідного наповнювача

Показник	Електро- провідний напов- нювач	Вміст напов- нювача, % за масою від вмісту силікату натрію	Термін твердіння, діб							
			1	2	3	4	5	6	7	
Елек- тричний опір зраз- ка $R$ , кОм	Алюміній	5	760	757	755	753	754	750	1301	
	Залізо	75	230	300	370	510	640	780	800	
	Мідь	75	3400	460	580	660	740	840	1300	
		100	4820	3600	2410	1220	870	350	900	
	Цинк	50	11300	10700	10200	9100	7900	6300	6700	
		75	6100	5500	500	4300	3400	3100	3700	
		100	1200	1230	1250	1100	1030	800	1300	
		125	480	510	530	563	540	550	235	
	Графіт	10	202	208	375	370	284	280,7		
		20	137	123	173	121,1	102,3	64,9		
		30	84	63	42,23	32	21,06	18,03		
		40	4,8	4,23	3,47	2,9	2,55	2,37		
		50	1,65	1,38	1,3	1,38	1,09	1,11		
		60	0,81	0,8	0,78	0,62	0,58	0,59		
		70	0,61	0,52	0,51	0,46	0,35	0,43		
	Питомий елек- тричний опір зраз- ка $\rho$ , Ом×м	Алюміній	5	3040	3028	3020	3012	3016	3000	5204
		Залізо	75	920	1200	1480	2040	2560	3120	3200
		Мідь	75	13600	1840	2320	2640	2960	3360	5200
100			19280	14400	9640	4880	3480	1400	3600	
Цинк		50	45200	42800	40800	36400	31600	25200	26800	
		75	24400	22000	2000	17200	13600	12400	14800	
		100	4800	4920	5000	4400	4120	3200	5200	
		125	1920	2040	2120	2252	2160	2200	940	
Графіт		10	808	832	1500	1480	1136	1122,8		
		20	548	492	692	484,4	409,2	259,6		
		30	336	252	168,92	128	84,24	72,12		
		40	19,2	16,92	13,88	11,6	10,2	9,48		
		50	6,6	5,52	5,2	5,52	4,36	4,44		
		60	3,24	3,2	3,12	2,48	2,32	2,36		
		70	2,44	2,08	2,04	1,84	1,4	1,72		

а)



б)

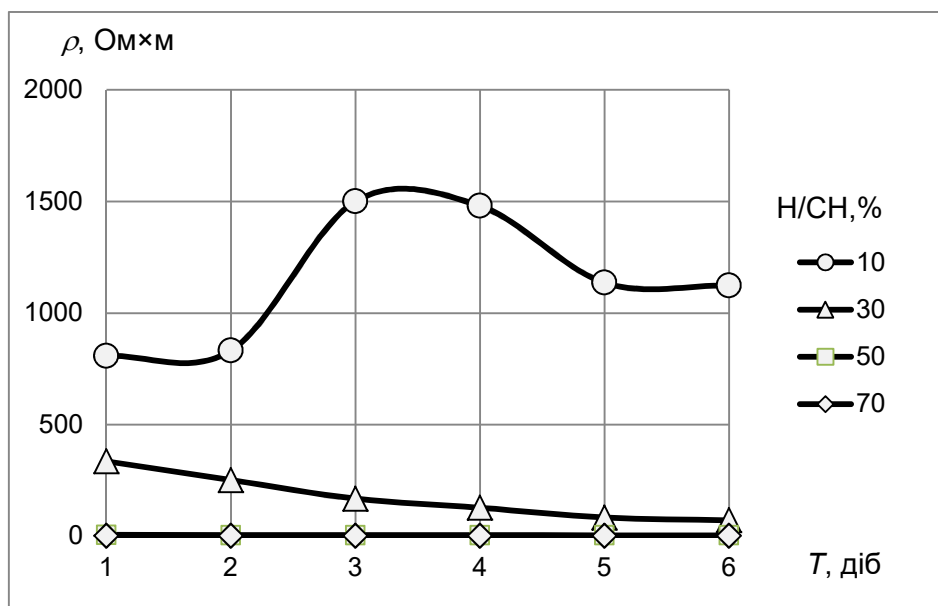


Рис. 4.2 Кінетика зміни (залежність від часу  $T$ ) питомого електричного опору  $\rho$  зразку композиції з наповнювачем порошку: а – алюмінію  $Al$ , заліза  $Fe$ , міді  $Cu$ , цинку  $Zn$ ; б – вуглецю  $C$

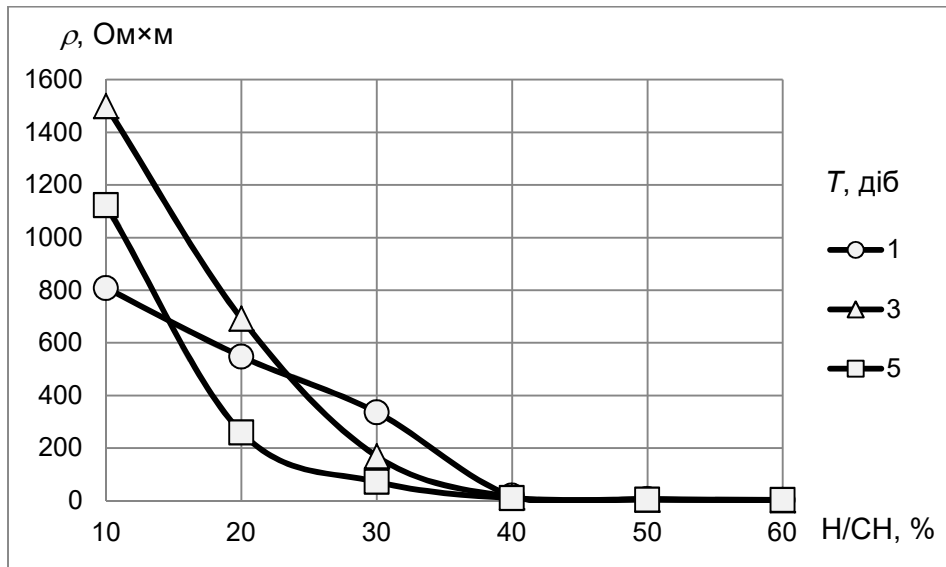


Рис. 4.3 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  зразку композиції від вмісту наповнювача графіту  $C H/CH$

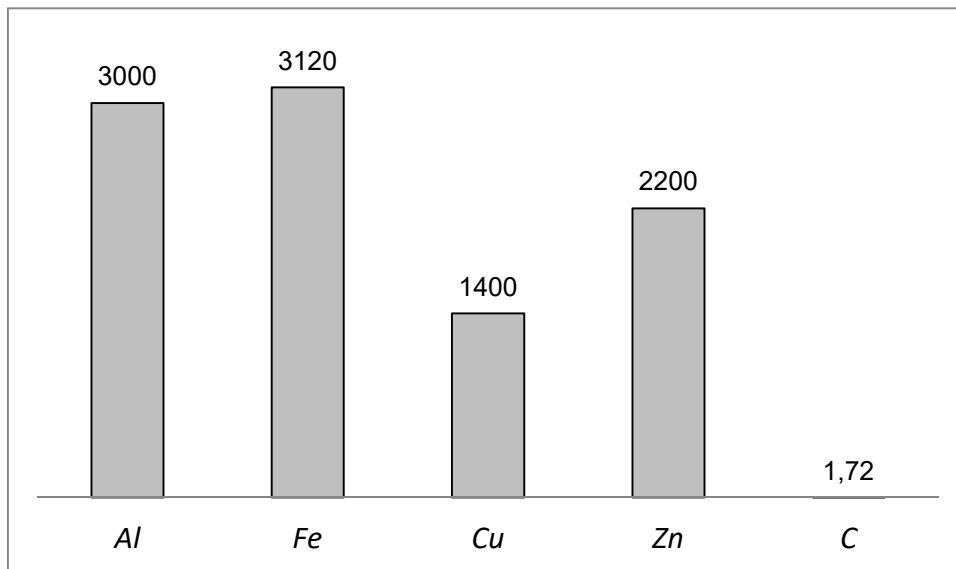


Рис. 4.4 Залежність мінімальних величин питомого електричного опору  $\rho$  композицій через 5 діб тведіння від виду електропровідного наповнювача

Композиції із графітового наповнювача і силікту натрію з вмістом графіту до 40 % високорухливі, з 60–70 % графіту – технологічні та легкоукладальні. Із рис. 4.3 видно, що електричний опір зі збільшенням вмісту графітового наповнювача знижується і досягає мінімальних величин за вмістом 50–60 %, що свідчить про те, що за такого вмісту наповнювача спостерігається явище перколяції.

За допомогою бінокулярного мікроскопа МБС-2 зі збільшенням  $\times 87,5$  виконано оптико-мікроскопічні дослідження поверхні композицій з матрицею із силікату натрію та електропровідними наповнювачами (табл. 4.3, рис. 4.5). Результати дослідження наведені у табл. 4.3 та на рис. 4.5.

Таблиця 4.3

Склади композицій та результати їх оптико-мікроскопічних досліджень

Електропровідний наповнювач:	Вміст наповнювача, % від маси силікату натрію	Розміри частинок, визначені за мікрознімками, мкм
Алюміній <i>Al</i>	5	10–20
Мідь <i>Cu</i>	100	10–80
Цинк <i>Zn</i>	125	10–60
Графіт <i>C</i> (ГС-1)	50	5–10

Як видно із рис. 4.5, б–г, у композиції металеві наповнювачі, особливо *Cu*, намагаються коагулювати в агрегати, внаслідок чого прошарки матриці між ними мають порівнянну з розмірами цих агрегатів товщину.

На відміну від металевих наповнювачів частинки графіту рівномірно розподіляються матрицею, внаслідок чого структура композиції з графітовим наповнювачем більш однорідна, а товщина прошарків матриці між частинками графіту менша порівняно з композиціями з металевими наповнювачами. Очевидно, така структура сприяє набагато меншому електричному опору та більшій електропровідності композицій з графітовим наповнювачем порівняно з композиціями з металевими наповнювачами.

Виконано седиментаційний аналіз графітового наповнювача марки ГС-1 густиною  $\rho_1 = 2090 \text{ кг/м}^3$  у зневодненому гасі в'язкістю  $\eta = 0,0018 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , густиною  $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$ . Седиментацію здійснювали за допомогою торсійних вагів, чашку яких розташовували на глибині  $H = 14$  см. Стала Стокса для аналізу:

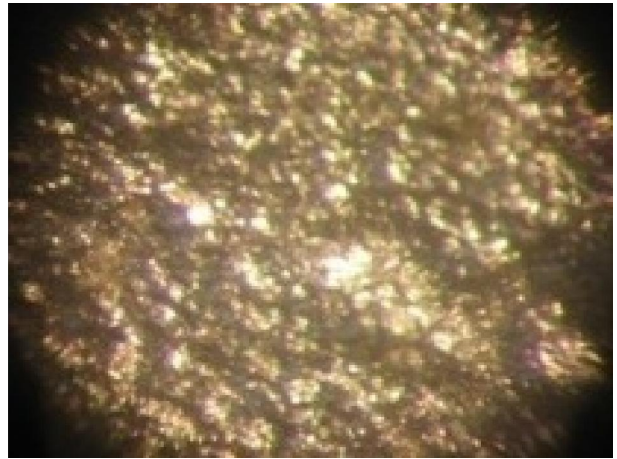
$$C = \sqrt{\frac{9\eta}{2(\rho_1 - \rho_2)g}} = \sqrt{\frac{9 \times 0,0018}{2 \times (2090 - 800) \times 9,81}} = 0,8 \times 10^{-3}. \quad (4.1)$$

Результати седиментаційного аналізу наведено у табл. 4.4 і на рис. 4.6.

a)



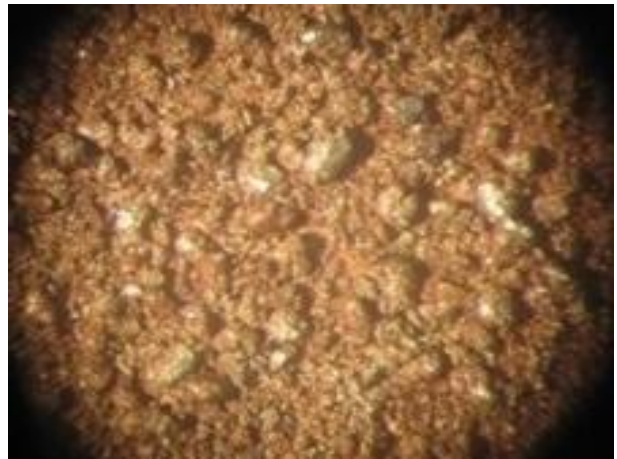
б)



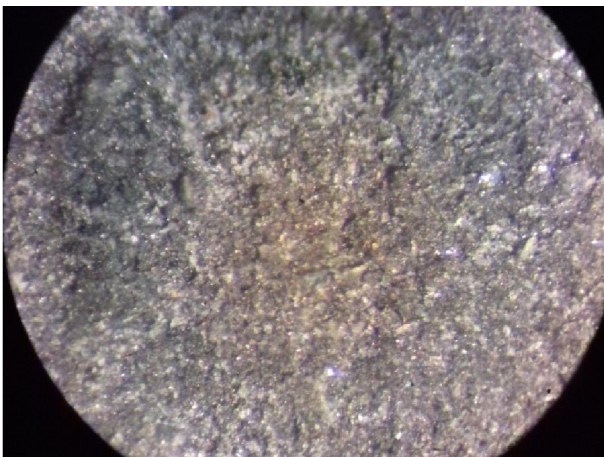
в)



г)



д)



е)



Рис. 4.5 Мікроскопічні дослідження композицій з електропровідними наповнювачами: *a* – бінокулярний мікроскоп МБС-2; *б–д* – знімки поверхні відкола композицій з наповнювачем 5 % алюмінію *Al* (*б*), 100 % міді *Cu* (*в*), 125 % цинку *Zn* (*г*), 50 % графіту *C* (*д*),  $\times 87,5$ ; *е* – імерсійний препарат графіту,  $\times 87,5$

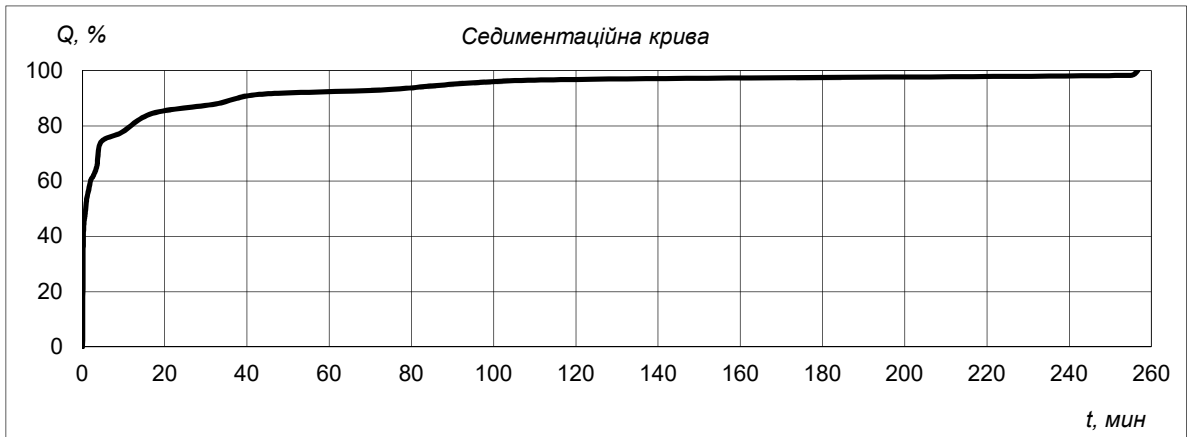
Таблиця 4.4

## Результати седиментаційного аналізу графіту марки ГС-1

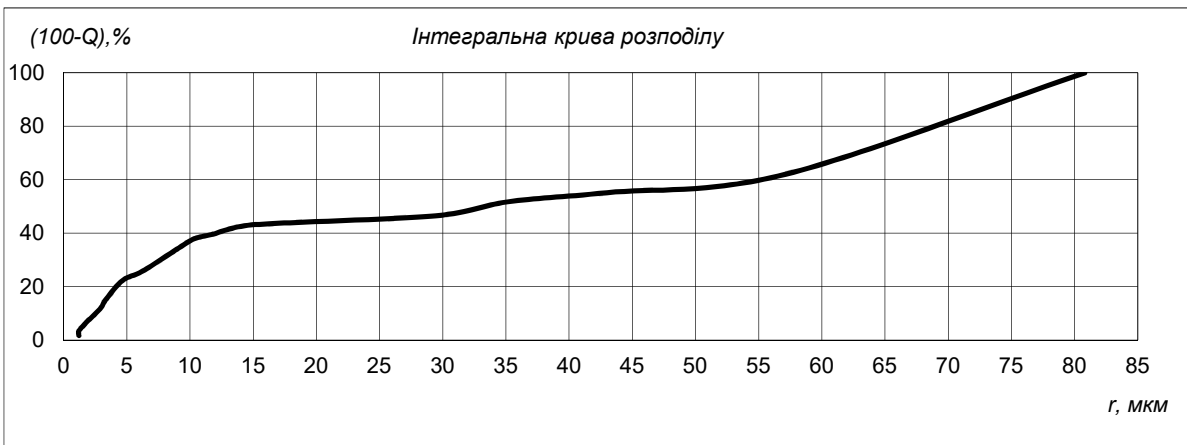
Час $t$				Вага чашки ваг з частин- ками, мг	Вага частинок на чашці ваг			Швидкість седиментації $V=H/t$ , м/с	Радіус частинок $r=C \times V^{0,5}$		$r_{\text{ср}}$ , МКМ	$(100-Q)$ , %	$\Delta r$ , МКМ	$\Delta Q$ , %	$\frac{dQ}{dr}$
хв, с	с	хв	$p$ , мг		$Q$ , %	$\Delta Q$ , %	м		МКМ						
0	0	0	0,00	193	0	0									
0	10	10	0,17	215	22	37,9	37,9	0,01400	0,000095	94,7	80,8	100	27,7	37,9	1,37
0	20	20	0,33	219	26	44,8	6,9	0,00700	0,000067	66,9	57,1	62,07	19,6	6,9	0,35
0	40	40	0,67	221	28	48,3	3,4	0,00350	0,000047	47,3	43,0	55,17	8,7	3,4	0,40
1	0	60	1,00	224	31	53,4	5,2	0,00233	0,000039	38,6	35,1	51,72	7,1	5,2	0,73
1	30	90	1,50	226	33	56,9	3,4	0,00156	0,000032	31,6	29,4	46,55	4,2	3,4	0,82
2	0	120	2,00	228	35	60,3	3,4	0,00117	0,000027	27,3	14,9	43,1	24,9	3,4	0,14
2	40	160	2,67	229	36	62,1	1,7	0,00088	0,000024	23,7	11,8	39,66	23,7	1,7	0,07
3	30	210	3,50	231	38	65,5	3,4	0,00067	0,000021	20,7	10,3	37,93	20,7	3,4	0,17
4	30	270	4,50	236	43	74,1	8,6	0,00052	0,000018	18,2	9,1	34,48	18,2	8,6	0,47
9	30	570	9,50	238	45	77,6	3,4	0,00025	0,000013	12,5	6,3	25,86	12,5	3,4	0,28
17	0	1020	17,00	242	49	84,5	6,9	0,00014	0,000009	9,4	4,7	22,41	9,4	6,9	0,74
32	30	1950	32,50	244	51	87,9	3,4	0,00007	0,000007	6,8	3,4	15,52	6,8	3,4	0,51
43	0	2580	43,00	246	53	91,4	3,4	0,00005	0,000006	5,9	2,9	12,07	5,9	3,4	0,59
74	30	4470	74,50	247	54	93,1	1,7	0,00003	0,000004	4,5	2,2	8,621	4,5	1,7	0,39
90	0	6600	110,00	249	56	96,6	3,4	0,00002	0,000004	3,7	1,8	6,897	3,7	3,4	0,94
255	0	15300	255,00	250	57	98,3	1,7	0,00001	0,000002	2,4	1,2	3,448	2,4	1,7	0,71
256	40	15400	256,67	251	58	100	1,7	0,00001	0,000002	2,4	1,2	1,724	2,4	1,7	0,71
							100								100

Із рис. 4.6, *в* видно, що графітовий порошок є поліфракційним з середніми розмірами фракцій 2, 5, 10, 30, 80 мкм. Із рис. 4.6, *б* видно, що сумарний вміст фракцій з розмірами частинок до 10 мкм досягає 40 % за масою, від 10 до 50 мкм – близько 20 %, понад 50 мкм – до 40 %. Незважаючи на значний за масою вміст частинок розміром понад 50 мкм, їх кількість у порівнянні з дрібнішими несуттєва (рис. 4.5, *е*), тому їх внесок у структуру також є несуттєвим. Отже, середнім розміром (радіусом) переважаючої фракції графіту є 30 мкм.

а)



б)



в)

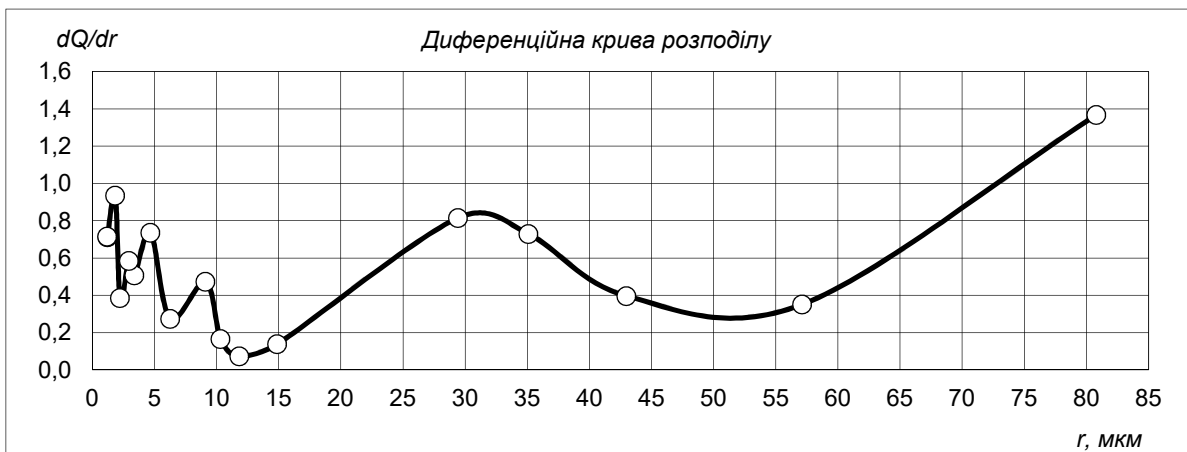


Рис. 4.6 Результати седиментаційного аналізу графіту марки ГС-1: а – седиментаційна крива; б – інтегральна крива розподілу; в – диференційна крива розподілу



Більш докладно визначено фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиції з графітовим наповнювачем з вмістом графіту  $H/CH = 133 \%$ .

Отримані властивості композиції:

- питомий електричний опір  $\rho - 0,5 \text{ Ом}\times\text{м}$ ;
- міцність на стиск у сухому стані  $f - 12,4 \text{ МПа}$ ,
- міцність на стиск у водонасиченому стані  $f_v - 2,5 \text{ МПа}$ ;
- міцність зчеплення з цементно-піщаним розчином у сухому стані –  $2,1 \text{ МПа}$  (із трьох значень:  $3,1$  і  $1,8 \text{ МПа}$  з когезійним руйнуванням по цементно-піщаному розчину і  $1,4 \text{ МПа}$  з адгезійним руйнуванням);
- водостійкість (коефіцієнт розм'якшення) –  $0,2$ .

Отже, запропоновані електропровідні композиції з матрицею із силікату натрію та графітовим наповнювачем характеризуються водостійкістю (коефіцієнтом розм'якшення) не більше  $0,2$ , що є недостатньо для захисних покриттів, що мають експлуатуватись в атмосферних умовах.

Оскільки для конструкцій, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості, зокрема, фундаментів, мають застосовуватись тільки матеріали з водостійкістю не нижчою  $0,8$ , незважаючи на мінімальний найменший електричний опір ( $4-5 \text{ Ом}\times\text{м}$  та менше до  $0,5 \text{ Ом}\times\text{м}$ ), композиції на основі силікату натрію та графітових наповнювачів для заземлених захисних екранів вимагають спеціальних заходів з підвищення їх водостійкості

Таким чином, встановлено, що питомий електричний опір композицій із металевих наповнювачів і силікату натрію перевищує  $1000 \text{ Ом}\times\text{м}$ , а із графітових наповнювачів і силікату натрію не перевищує декількох  $\text{Ом}\times\text{м}$ , тобто менший на три порядки. Це обумовлене утворенням на поверхні металевих частинок гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на поверхнях розподілу та, відповідно, підвищують загальний опір, та відсутністю таких плівок на поверхні частинок графіту.

Встановлено також, що перколяція композиції за електричним опором та електропровідністю спостерігається за вмісту графіту  $50-60 \%$  від вмісту силікату натрію за масою.

Проте композиції з силікату натрію і графітових наповнювачів характеризуються недостатньою водостійкістю (не більше 0,2), що є недостатньо для захисних покриттів, що вимагає розробки їх рецептур, які забезпечать підвищення водостійкості.

Виходячи з викладеного для подальших досліджень і розробки електропровідної композиції обрано матрицю із силікату натрію, а наповнювач – графітовий порошок.

## **4.2 Експериментальні дослідження з розробки і уточнення складів силікатних композицій з графітовим наповнювачем**

### **4.2.1 Дослідження залежностей фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей силікатних композицій від вмісту графітового наповнювача**

У п. 3.2.1 в результаті теоретичних досліджень показано, що водостійкість композицій на основі силікату натрію може бути підвищена додаванням меленого доменного гранульованого шлаку. Дослідимо вплив цього шлаку на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій.

Результати експериментальних досліджень наведені у табл. 4.5–4.7 і на рис. 4.7–4.23. Табл. 4.5 – зведена, що містить узагальнені результати всіх серій експериментів. На рис. 4.7–4.10 наведені графіки залежностей питомого електричного опору, міцності на стиск у повітряно-сухому і водонасиченому стані, коефіцієнту водостійкості (розм'якшення), водопоглинання за масою від характеристик складу і структури – відношень  $СН/(Г+Ш)$  і  $Г/(Г+Ш)$ .

Табл. 4.6 містить результати досліджень електропровідних силікатних композицій, що не містять кремнійфторид натрію. На рис. 4.11–4.12 наведені графіки залежностей питомого електричного опору та міцності на стиск у повітряно-сухому стані від характеристик складу і структури – відношень  $СН/(Г+Ш)$  і  $СН/Ш$ .

Таблиця 4.5

Зведена таблиця результатів дослідження залежності електрофізичних, фізико-механічних, гідрофізичних властивостей композиції на основі силікату натрію від її складу

№ складу	Вид наповнювача	Склад, мас. част.			Структурні характеристики складу				Інші компоненти	Консистенція	Технологічність/однорідність	Тужавлення/твердіння		Товщина покриття, мм	R, Ом	ρ, Ом×м	Rст, МПа	Kвс	Меліня	Усадкові тріщини
		Н	Ш	СН	КФН СН, КФК СН	СН Н+Ш	СН Ш	Н Н+Ш				по-криття, год:хв	балочки							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
А.с. 216496 SU	КН	до конс.			0,14	0,07–0,1	–	1	АН/СН=10-15%; В/СН=10-15%						180000	600	128	>0,6		–
Пат. 2055036 RU	КН				0,075–0,1	0,3–0,5	–	1	АК/СН=10-15%									>0,6		–
Пат. 30165A UA	КН	до конс.			0,1–0,2	0,25	–	0,33-1	–						210000	700	398	0,8-1		–
0.1	Г	до конс.			0,12 КФК	0	–		СП/СН=9%; В до конс.									<<<0,6		–
0.2	А	до конс.			0,12 КФК	0	–		СП/СН=9%									<<<0,6		–
1.1	Г	1	0	0,67	0	0,67	∞	1	ХК/СН=1%	«Мокрого піску»	–/–	Тужавл. негайне, при подальшому перемішув. руйнується і не твердіє		2	5512	14,7	0,55	<<<0,6	+	+
1.2	Г	1	1	1	0,2	0,50	1	0,5	СП/СН=9%	«Фарби»	+++	0:40	Чер.18год затверд. поверх. плівка, в глибині рідкий	1	235	0,31	88	0,66	–	–
1.3	Г	1	1	1,5	0	0,75	1,5	0,5	–	«Сметано-подібна»	+/-	1:30	«	1	611	2,04	124	<<<0,6	–	–
1.4	Г	1	1	2	0,2	1,00	2	0,5	СП/СН=9%	«Густої шпаклівки»	+/-	1:30	Чер.18 год затверд. поверх. плівка, в глибині в'язкий	2–3	13400	44,67	150	0,47	–	–
2.1	Г	0,75	1	1	0	0,57	1	0,43	–	«	+/-	1:30	Затверділа поверхнева плівка, в глибині в'язкий	1–1,5	2280	3,80	130	<<<0,6	–	–
2.2	Г	0,5	1	1	0	0,67	1	0,33	–	«Зручної шпаклівки»	+++	1:30	«	1,5	10611	21,22	129	<<<0,6	–	–
2.3	Г	0,25	1	1	0	0,8	1	0,20	–	«Рідкої шпаклівки»	-/+	1:30	«	0,5–0,75	2500	2,08	88	<<<0,6	–	–

Кінецьтабл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2.4	-	0	1	1	0	1	1	0	-	«Густої фарби»	-/+		Затверділа поверхнева плівка, в глибині в'язкий	1	4500	6,00	123	<<0,6	-	-
3.1	Г	0,875	1	0,75	0	0,4	0,75	0,47	-	Нетехнологічна	-/+	0:15	«	2-3	702	2,34	87	<<0,6	-	-
3.2	Г	0,5	1	0,75	0	0,5	0,75	0,33	-	«Нетехнологічної шпаклівки»	-/+	0:17	«	2-3	5250	17,5	108	<<0,6	-	-
3.3	-	0	1	0,75	0	0,75	0,75	0	-	«Рідкої шпаклівки»	+/-	0:35	«	2-3	1500	5,00	108	<<0,6	-	-
3.4	Г	1,5	1	1	0	0,4	1	0,6	-	«Нетехнологічної штукатурки»	+/-	0:12	«	2-3	273	0,91	110	<<0,6	-	-
3.5	Г	2,75	1	1,5	0	0,4	1,49	0,73	-	«Мокрого неоднорідного ґрунту»	-/-	0:15	«	2-3	185	0,62	96	<<0,6	-	-
3.6	Г	2	1	1,5	0	0,5	1,49	0,67	-	«Зручної шпаклівки»	+++	0:25	«	2-3	94,7	0,32	128	<<0,6	-	-
3.7	Г	4	1	2	0	0,4	2	0,8	-	«Мокрого ґрунту з грудками»	-/-	0:20	«	2-3	786	2,62	134	<<0,6	-	-
3.8	Г	3	1	2	0	0,5	2	0,75	-	«Густої шпаклівки»	+/-	0:35	«	2-3	212	0,71	116	<<0,6	-	-
3.9	Г	1,67	1	2	0,2	0,75	2	0,63	СП/СН=9%	«Зручної шпаклівки»	+++	0:20	«	2-3	362	1,21	161	0,6	-	-
4.0	Г	1	0	1	0,2	1	∞	1	«	«	+++	0:10	«	1-2	37000	74,0	26,9	0,78	-	+
4.1	Г	1	0,1	1	0,2	0,91	10	0,91	«	«	+++	0:08	«	1,5-2,5	7370	19,65	28,0	0,59	-	-
4.2	Г	1	0,2	1	0,2	0,83	5	0,83	«	«Густої шпаклівки»	+/+	0:07	«	2-3	10100	33,67	24,8	0,68	-	-
4.3	Г	1	0,3	1	0,2	0,77	3,33	0,77	«	«	+/+	0:06	«	2-3	28000	93,33	28,9	0,65	-	-

Н – наповнювач; КН – кислототривкий наповнювач (діабазовий порошок тощо); Г – графітовий наповнювач; А – алюмінієва пудра; СН – силікат натрію; КФН – кремнійфтористий натрій; КФК – кремнійфтористоводнева кислота; Ш – шлак доменний гранульований мелений; СП – суперпластифікатор СП-1 (С-3); ХК – хлористий кальцій; АН – алюмінат натрію  $Na_2O \times Al_2O_3$ ; АК – алюмінат кальцію  $CaO \times 2Al_2O_3$ ; В – вода

Табл. 4.7 містить результати досліджень електропровідних силікатних композицій, що містять кремнійфторид натрію. На рис. 4.13–4.23 наведені графіки залежностей питомого електричного опору, міцності на стиск у повітряно-сухому і водонасиченому стані, коефіцієнту водостійкості (розм'якшення), водопоглинання за масою від характеристик складу і структури – відношень  $СН/(Г+Ш)$ ,  $СН/Ш$ ,  $Ш/СН$  і  $Г/(Г+Ш)$ .

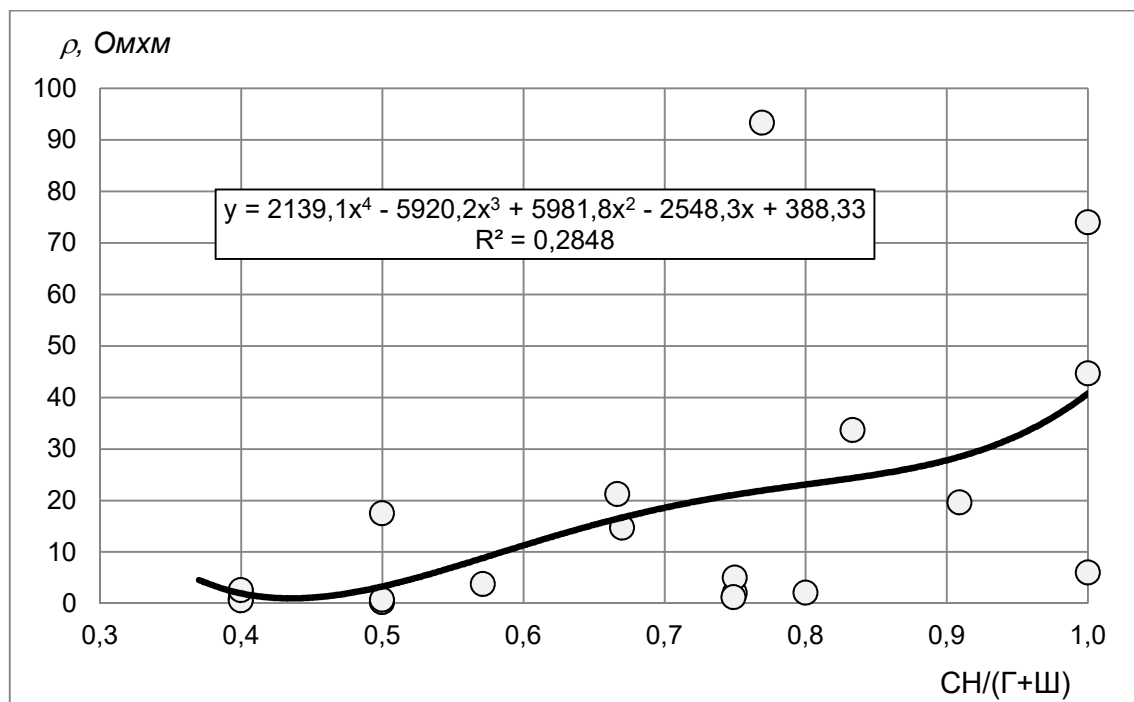
Аналіз результатів дослідження, наведених у табл. 4.5–4.7 і на рис. 4.7–4.23, показав наступне.

Уведення в силікатні композиції на основі силікату натрію (рідкого скла) графітового наповнювача обумовлює зниження їх питомого електричного опору у повітряно-сухому стані до величин менше  $1-0,3 \text{ Ом}\times\text{м}$  (рис. 4.9, а). Мінімальні величини питомого електричного опору спостерігаються за відносним вмістом графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $Г/(Г+Ш)$   $0,2-0,8$ . Зменшення або збільшення вмісту графітового наповнювача обумовлює зростання питомого електричного опору, отже, його вміст  $0,2-0,8$  є оптимальним.

На питомий електричний опір силікатних композицій впливає рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $СН/(Г+Ш)$  (рис. 4.7, а). Залежність має екстремальний характер – мінімальні величини питомого електричного опору порядку  $0,5 \text{ Ом}\times\text{м}$  спостерігаються за відносним вмістом силікату натрію  $СН/(Г+Ш)$   $0,4-0,5$ . Зменшення або збільшення вмісту силікату натрію обумовлює зростання питомого електричного опору, отже, його вміст  $0,4-0,5$  є оптимальним.

Водостійкість силікатних композицій в найбільшому ступені визначається рідинно-твердим відношенням – відносним вмістом силікату натрію  $СН/(Г+Ш)$  (рис. 4.8, б). Максимальні величини коефіцієнту водостійкості (розм'якшення), що досягають  $0,8$ , спостерігаються за відносним вмістом силікату натрію  $СН/(Г+Ш)$   $0,3-0,4$ . Збільшення  $СН/(Г+Ш)$  обумовлює зниження водостійкості, проте аж до величини  $СН/(Г+Ш)=1$  коефіцієнт водостійкості залишається більшим  $0,6$ , отже, водостійкість залишається задовільною.

a)



б)

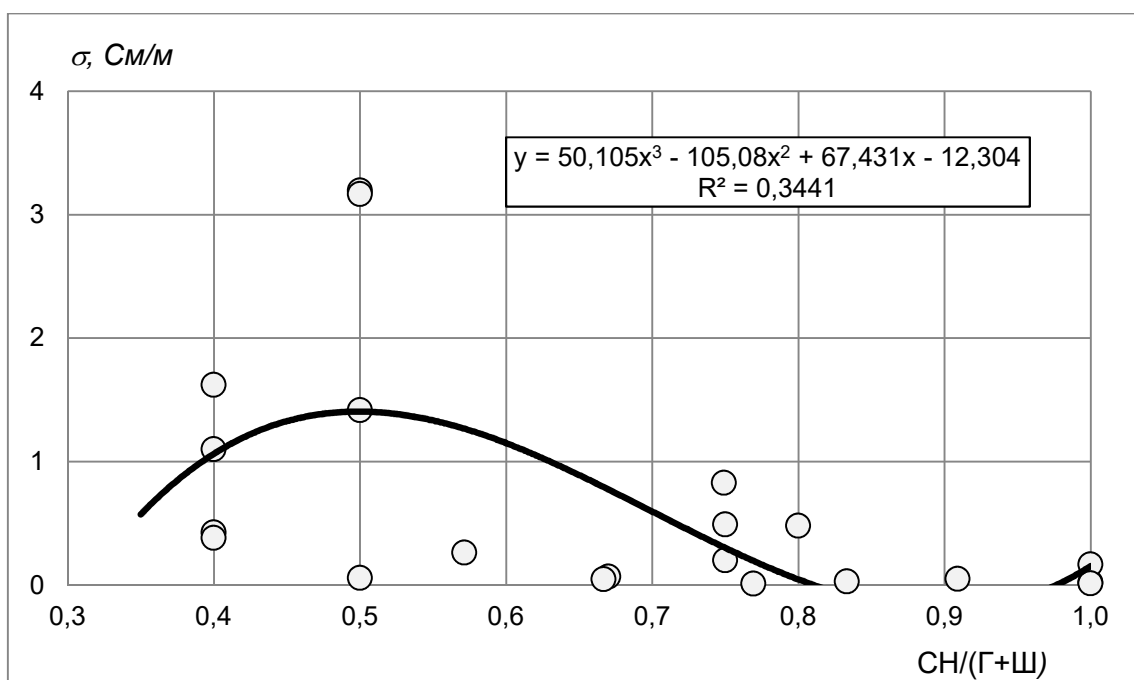
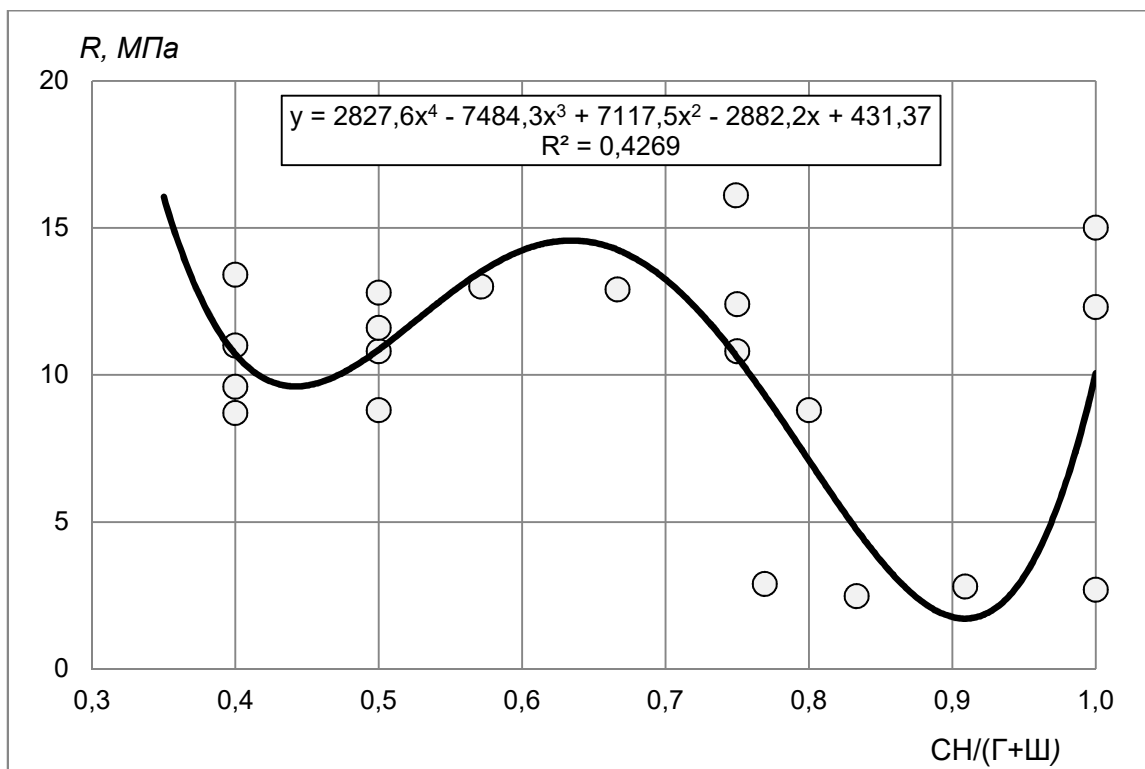


Рис. 4.7 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  (а) та питомої електропровідності  $\sigma$  (б) електропровідної композиції від показника вмісту силікату натрію  $CH/(\Gamma+Ш)$

а)



б)

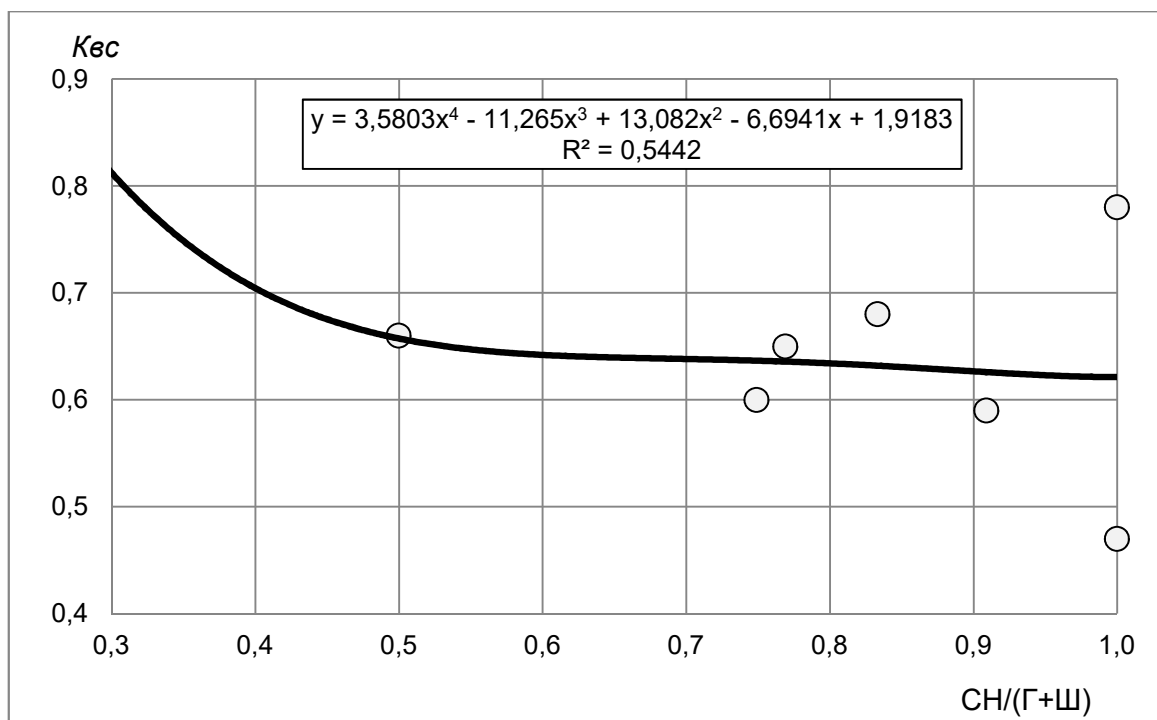
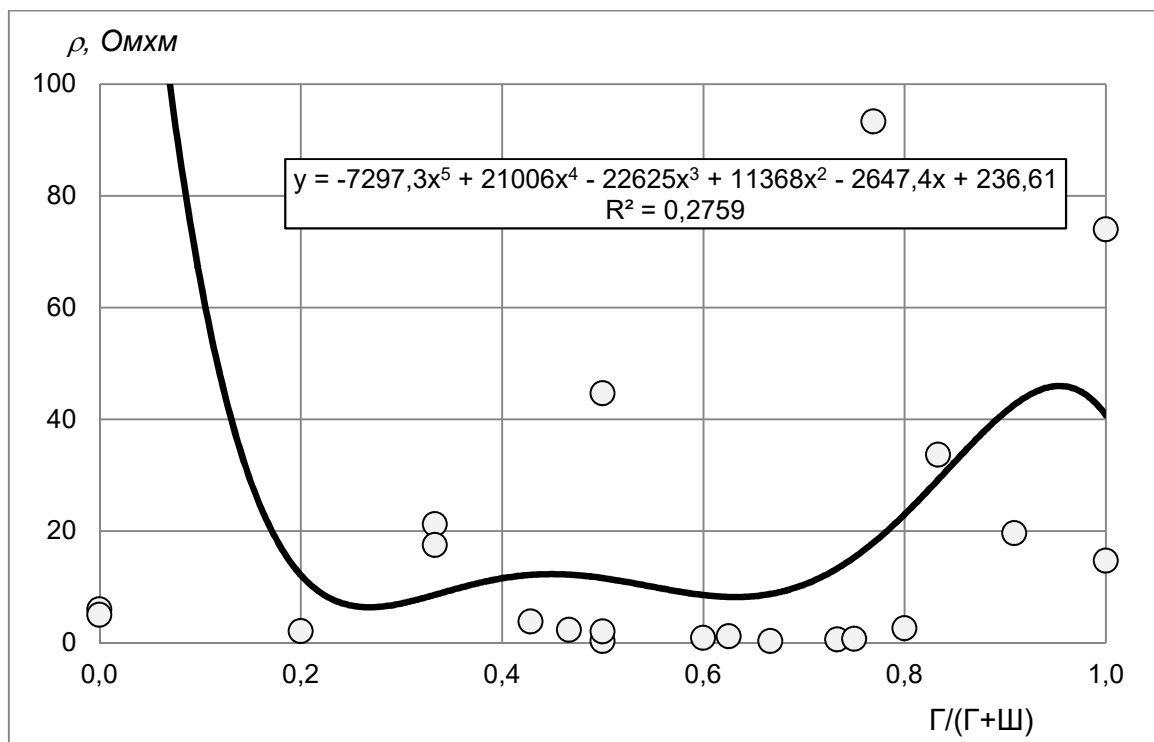


Рис. 4.8 Залежність міцності на стиск  $R$  (а) і коефіцієнту водостійкості  $K_{вн}$  (розм'якшення, б) електропровідної композиції від показника вмісту силікату натрію, графітового наповнювача і шлаку  $CH/(Г+Ш)$

a)



б)

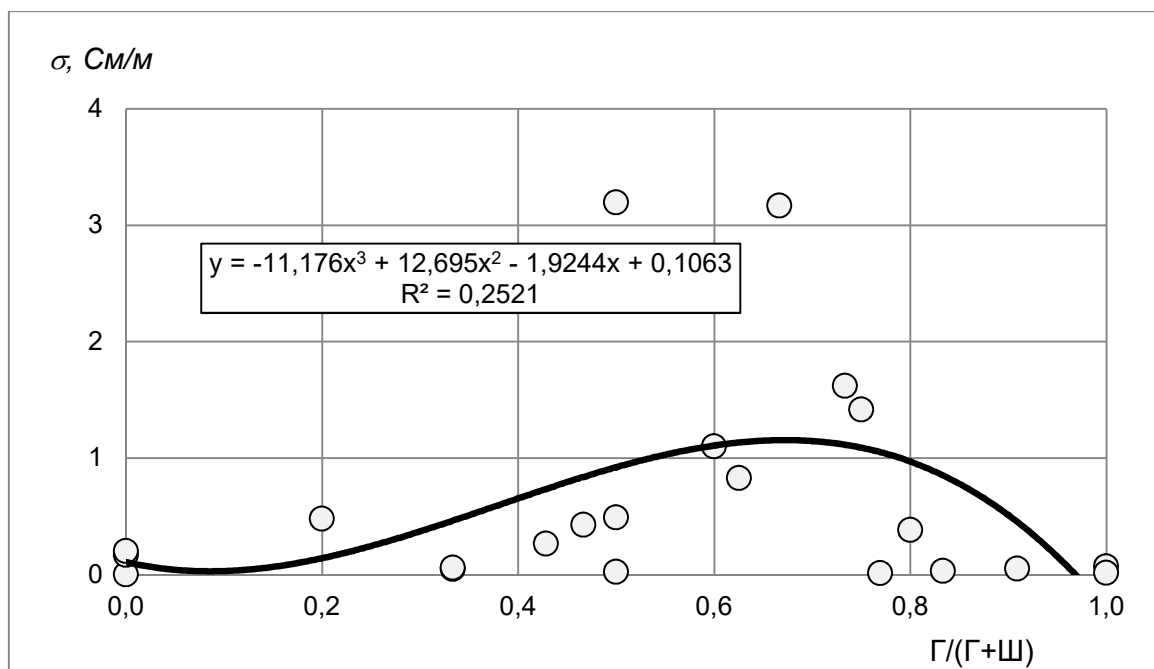
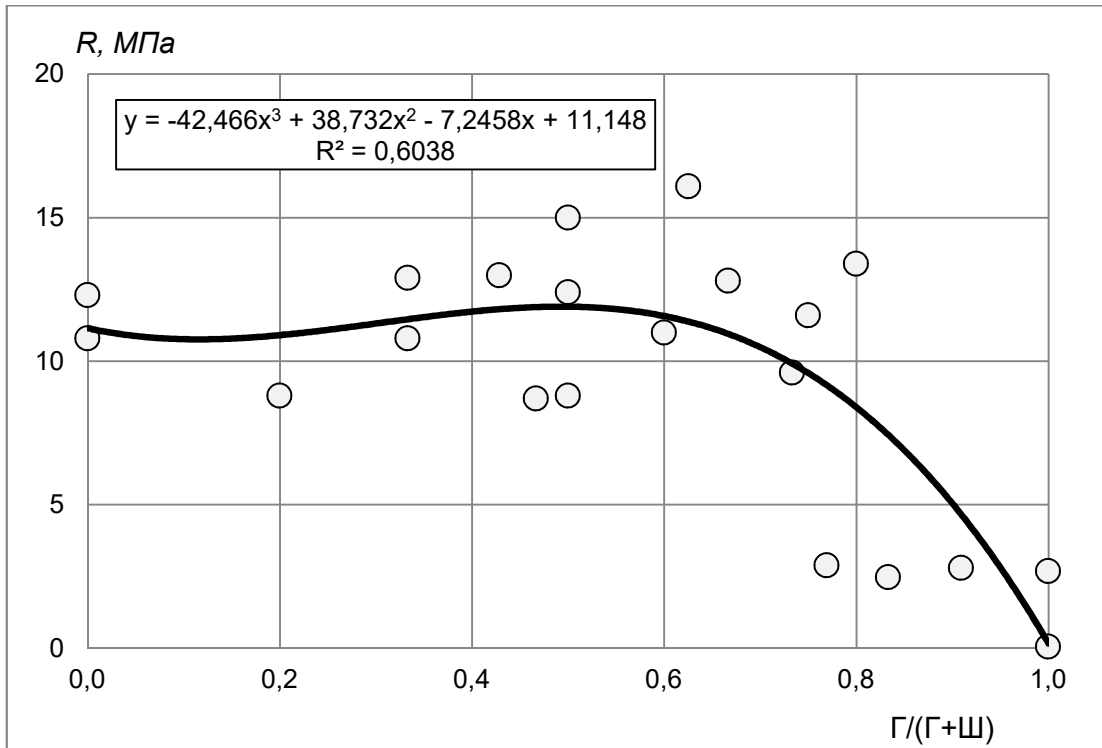


Рис. 4.9 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  (а) та питомої електропровідності  $\sigma$  (б) електропровідної композиції від показника вмісту графітового наповнювача і шлаку  $\Gamma/(\Gamma+Ш)$



а)



б)

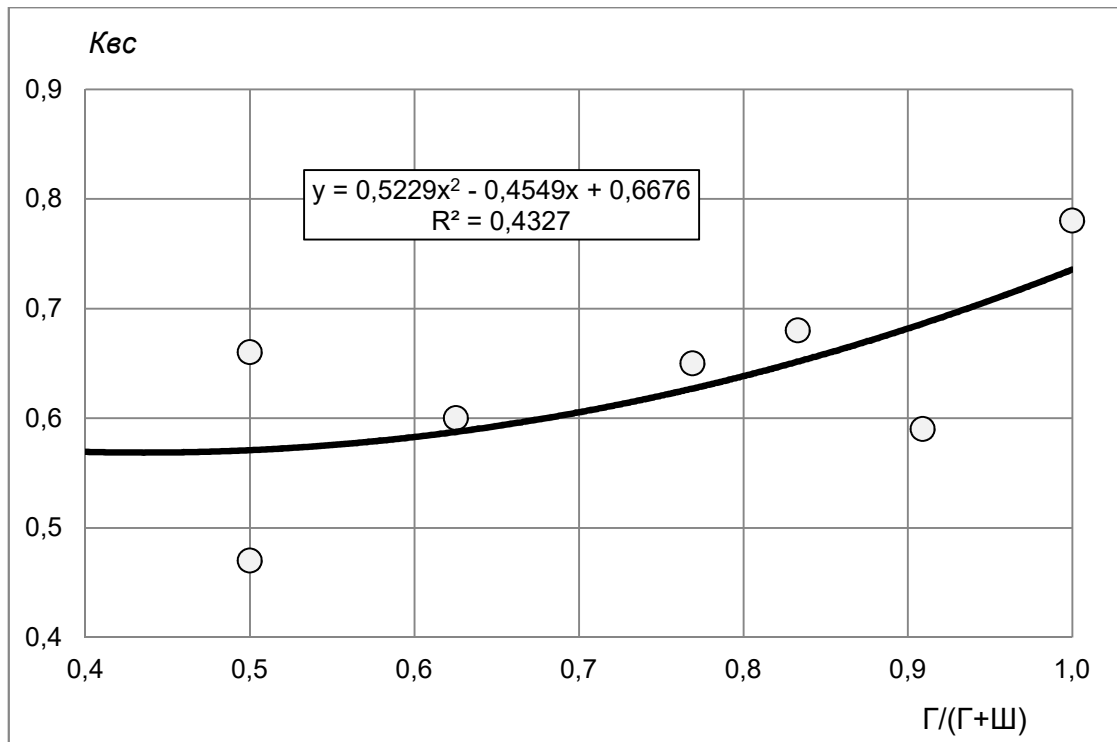


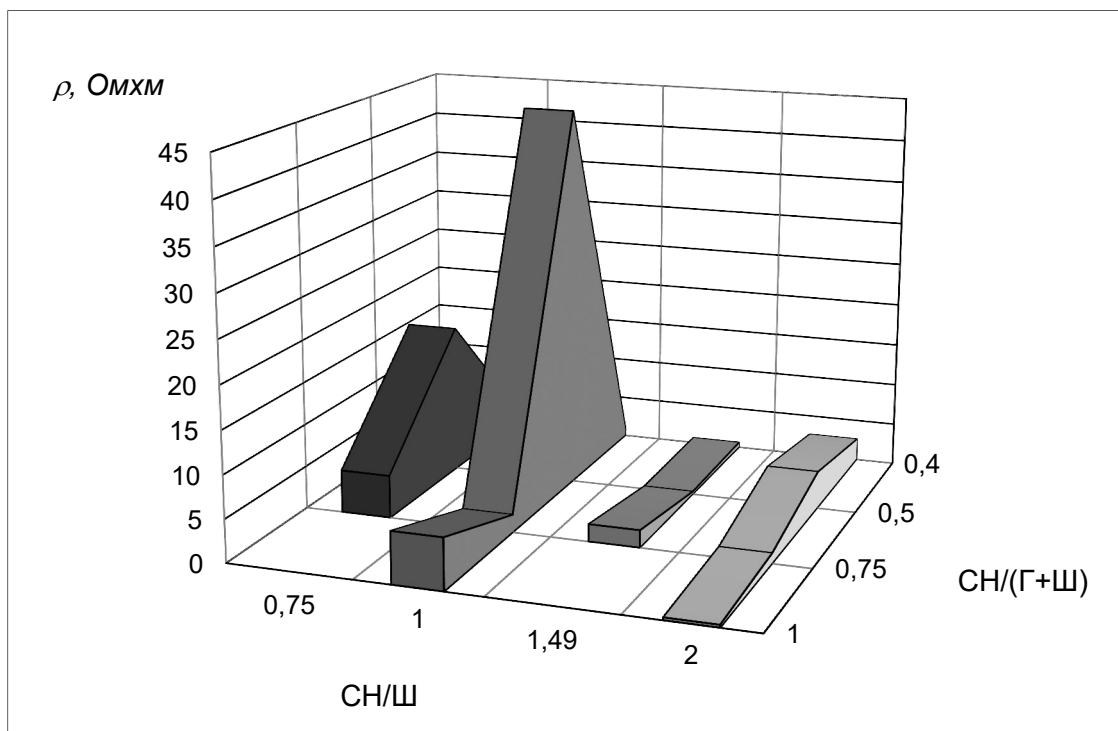
Рис. 4.10 Залежність міцності на стиск  $R$  (а) і коефіцієнту водостійкості  $K_{вн}$  (розм'якшення, б) електропровідної композиції від показника вмісту графітового наповнювача і шлаку  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$

Таблиця 4.6

Результати дослідження залежності електрофізичних, фізико-механічних, гідрофізичних властивостей композиції на основі силікату натрію, що не містить кремнійфториду натрію, від її складу

СН/Ш	СН/(Ш+Г)						
	0,4	0,5	0,57	0,67	0,75	0,8	1
0,75	Склад 3.1 Ш=10; СН=7,5; Г=8,75	Склад 3.2 Ш=10; СН=7,5; Г=5			Склад 3.3 Ш=10; СН=7,5; Г=0		
1	Склад 3.4 Ш=10; СН=10; Г=15	Склад 1.4 Ш=10; СН=20; Г=10	Склад 2.1 Ш=10; СН=10; Г=7,5	Склад 2.2 Ш=10; СН=10; Г=5		Склад 2.3 Ш=10; СН=10; Г=2,5	Склад 2.4 Ш=10; СН=10; Г=0
1,49	Склад 3.5 Ш=10; СН=15; Г=27,5	Склад 3.6 Ш=10; СН=15; Г=20			Склад 1.3 Ш=10; СН=15; Г=10		
2	Склад 3.7 Ш=10; СН=20; Г=40	Склад 3.8 Ш=10; СН=20; Г=30			Склад 3.9 Ш=10; СН=20; Г=16,7		Склад 1.2 Ш=10; СН=10; Г=10
Питомий електричний опір $\rho$ , Ом $\times$ м							
0,75	14,63	109,37			31,25		
1	5,68	279,16	47,5	221,06		52,08	93,75
1,49	3,85	1,97			12,73		
2	16,37	4,41			7,54		4,89
Міцність на стиск $R$ , МПа							
0,75	8,7	10,8			10,8		
1	11	15	13,6	12,9		8,8	12,3
1,49	9,6	12,8			12,4		
2	13,4	11,6			16,1		8,8
Коефіцієнт водостійкості $K_{вс}$							
0,75	$\ll 0,6$	$\ll 0,6$			$\ll 0,6$		
1	$\ll 0,6$	0,47	$\ll 0,6$	$\ll 0,6$		$\ll 0,6$	$\ll 0,6$
1,49	$\ll 0,6$	$\ll 0,6$			$\ll 0,6$		
2	$\ll 0,6$	$\ll 0,6$			0,6		0,66

a)



б)

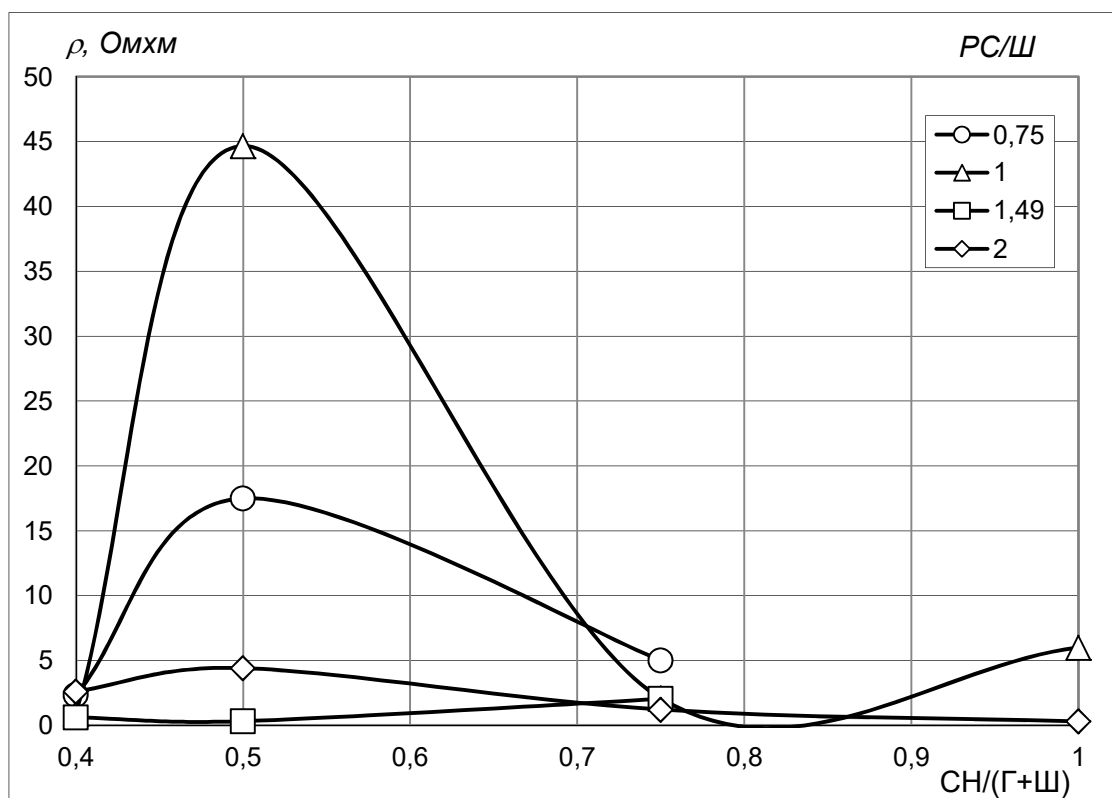
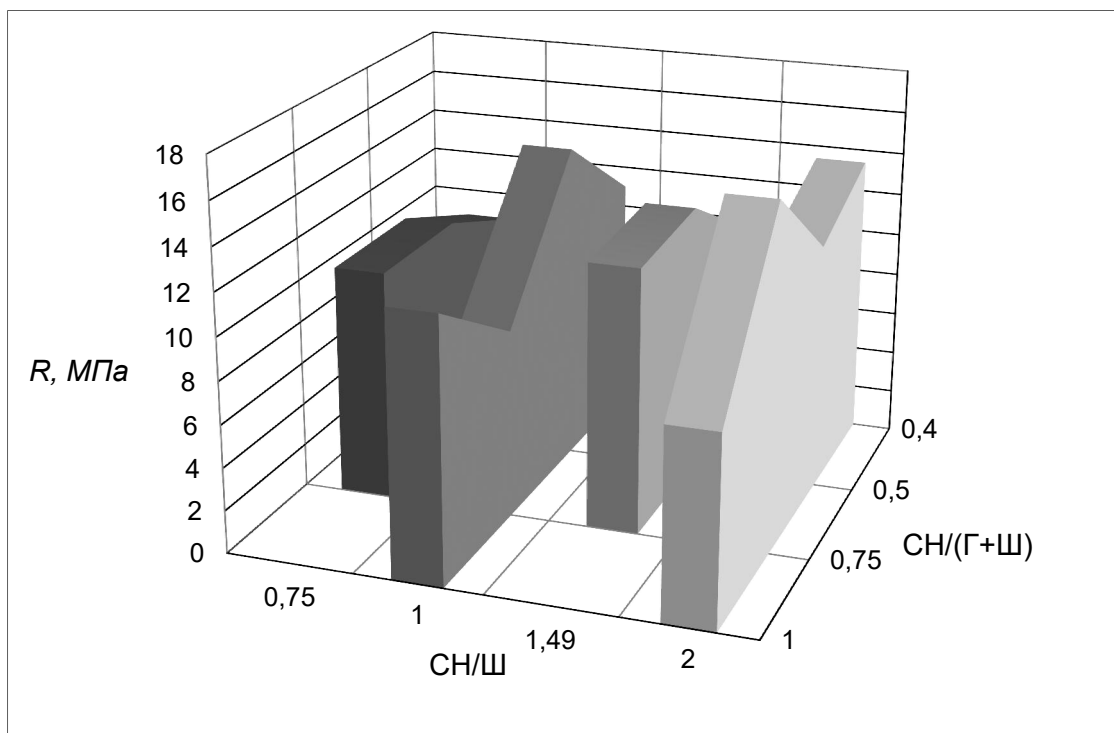


Рис. 4.11 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  електропровідної силікатної композиції, що не містить фториду натрію, від показників вмісту силікату натрію  $CH/Ш$  і  $CH/(Г+Ш)$

а)



б)

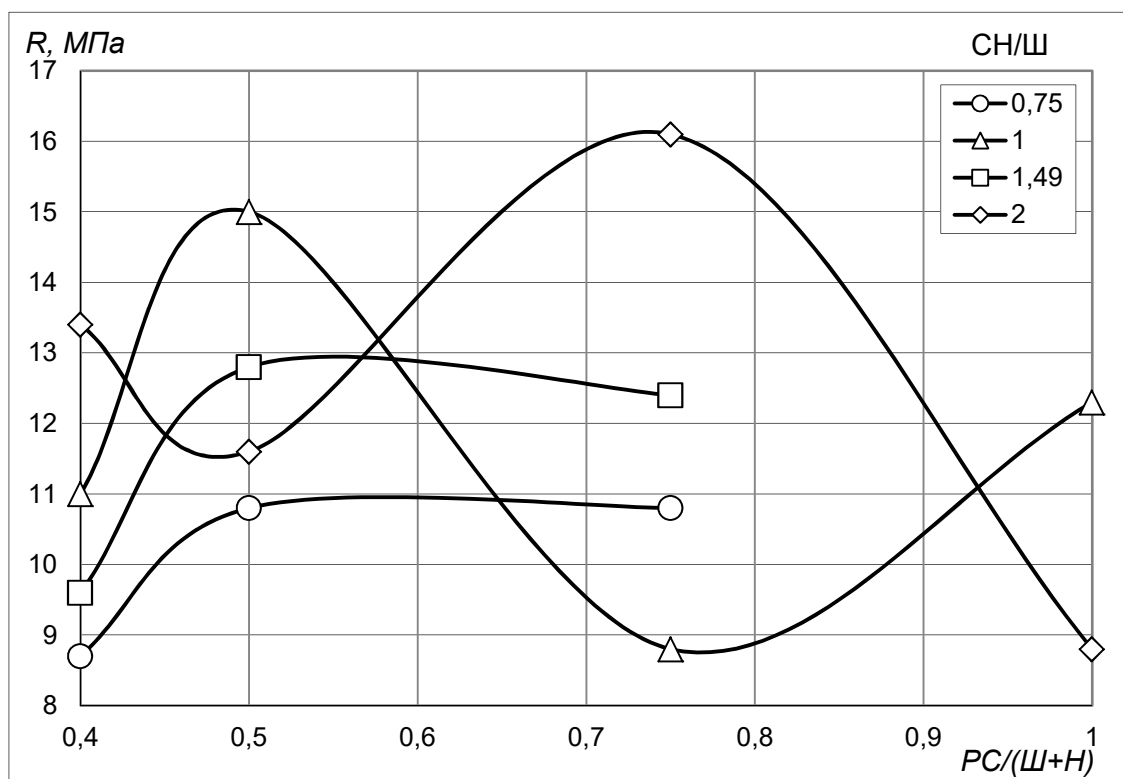


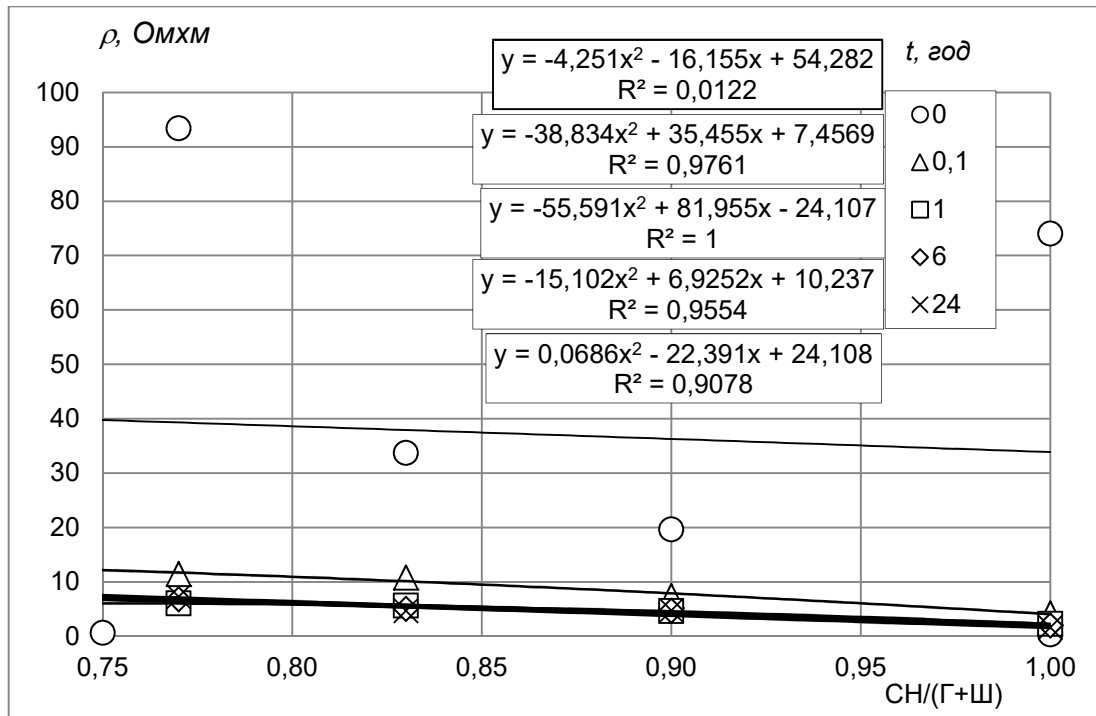
Рис. 4.12 Залежність міцності на стиск  $R$  електропровідної силікатної композиції, що не містить кремнійфториду натрію, від показників вмісту силікату натрію, шлаку і графітового наповнювача  $CH/Ш$  і  $CH/(Г+Ш)$



Кінець табл. 4.7

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
4.0	0,2	0	∞	1	1	«зруч- ної шпа- клівки»	1,280	1,610	20,5	19,9	35,2	26,9	19,2	19,9	0,55	0,78	37000	2100	1130	980	810	0,03	0,04	0,00150	74,000	4,200	2,260	1,960	1,620
							1,558	1,943	19,8		23,2		20,8		0,90														
							1,506	1,874	19,6		19,2		20,0		1,04														
							1,598	1,986	19,5		30,0		19,6		0,65														
4.1	0,2	0,1	10	0,91	1	«	1,676	2,055	18,4	18,4	26,0	28,0	15,6	16,0	0,60	0,59	7370	2770	1730	1750	1770	0,03	0,04	0,00200	19,653	7,387	4,613	4,667	4,720
							1,489	1,818	18,1		32,0		17,2		0,54														
							1,494	1,843	18,9		32,4		14,4		0,44														
							1,498	1,834	18,3		21,6		16,8		0,78														
4.2	0,2	0,2	5	0,83	1	«густої шпа- клівки»	1,792	2,204	18,7	18,7	34,8	24,8	13,6	15,9	0,39	0,68	10100	3240	1690	1510	1400	0,03	0,04	0,00250	33,667	10,80 0	5,633	5,033	4,667
							1,659	2,040	18,7		23,6		17,6		0,75														
							1,697	2,104	19,3		20,8		15,6		0,75														
							1,700	2,079	18,2		20,0		16,8		0,84														
4.3	0,2	0,3	3,33	0,77	0,77	«	2,040	2,460	17,1	17,5	34,8	28,9	26,0	18,8	0,75	0,65	28000	3440	1810	2050	2180	0,03	0,04	0,00250	93,333	11,46 7	6,033	6,833	7,267
							1,799	2,192	17,9		27,2		16,0		0,59														
							1,884	2,306	18,3		29,6		17,2		0,58														
							1,778	2,133	16,6		24,0		16,0		0,67														

a)



б)

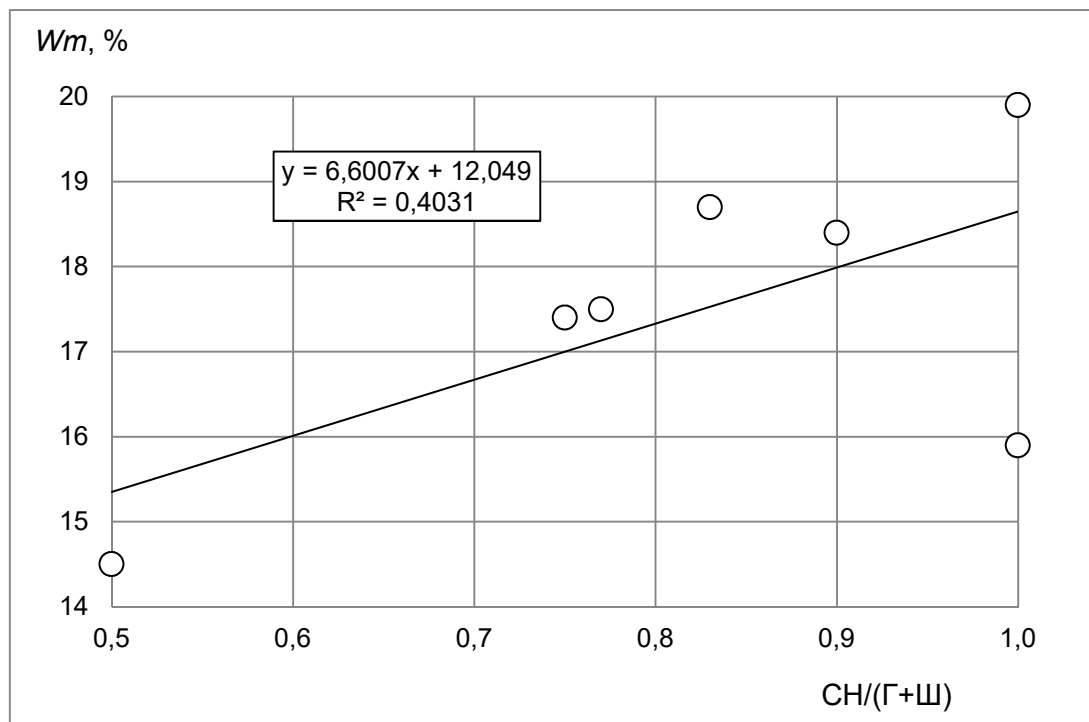
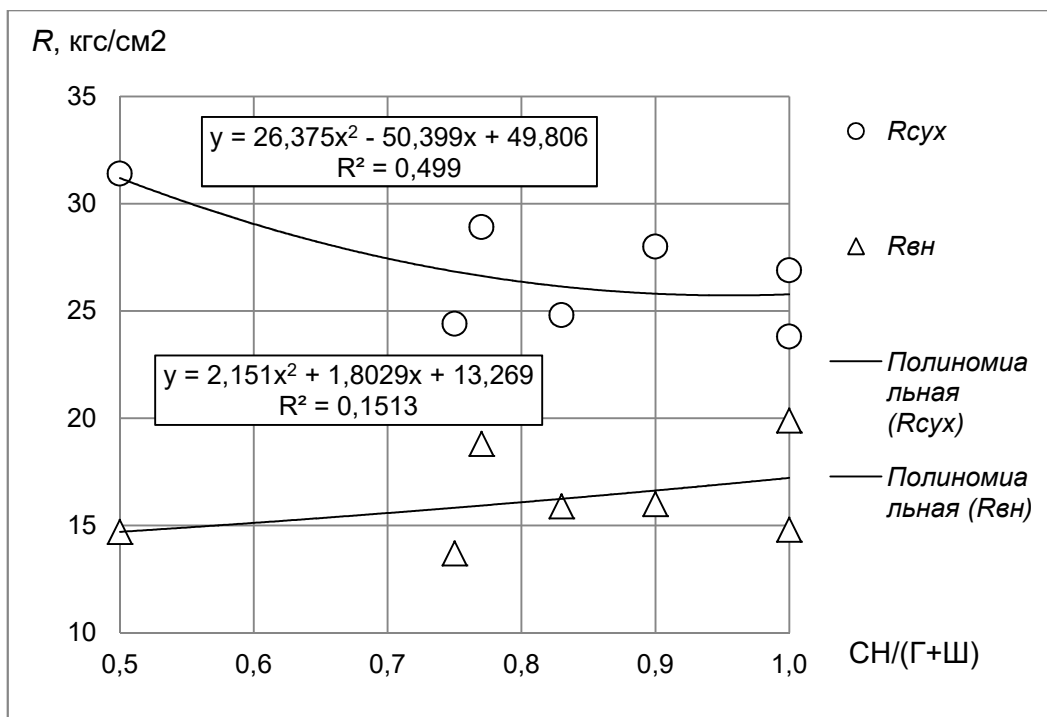


Рис. 4.13 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  (а) та водопоглинання за масою  $W_m$  (б) електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту силікату натрію  $\text{CH}/(\Gamma+\text{Ш})$

а)



б)

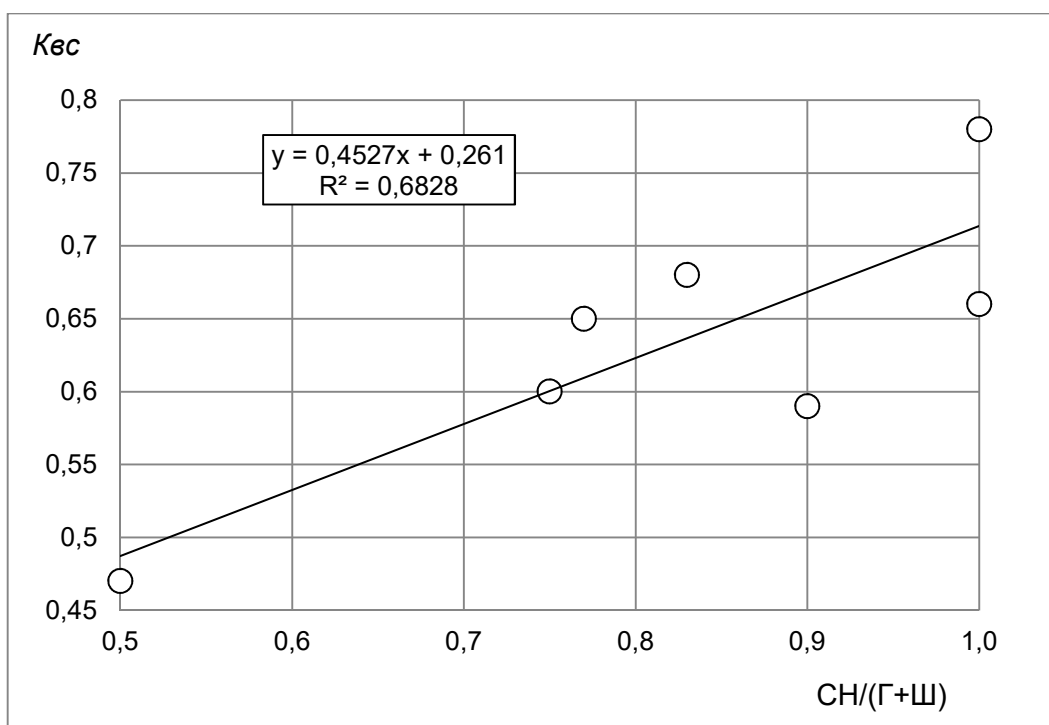
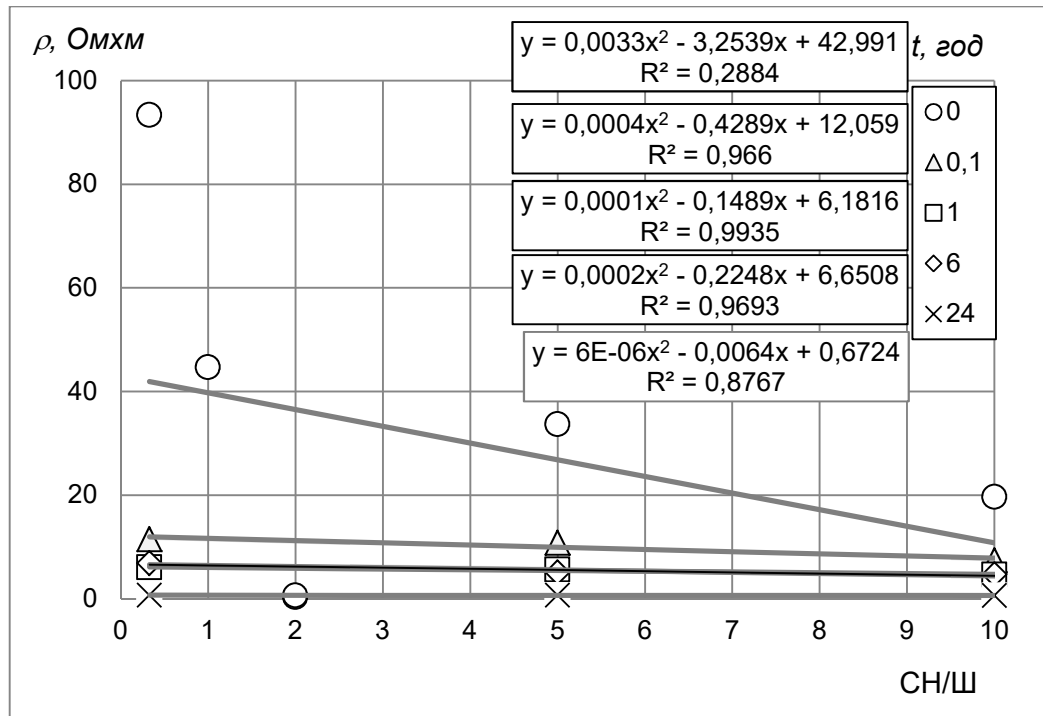


Рис. 4.14 Залежність міцності на стиск у сухому  $R_{сух}$  і водонасиченому  $R_{вн}$  стані (а) та коефіцієнту водостійкості (розм'якшення)  $K_{вн}$  (б) електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту силікату натрію  $SN/(Г+Ш)$



а)



б)

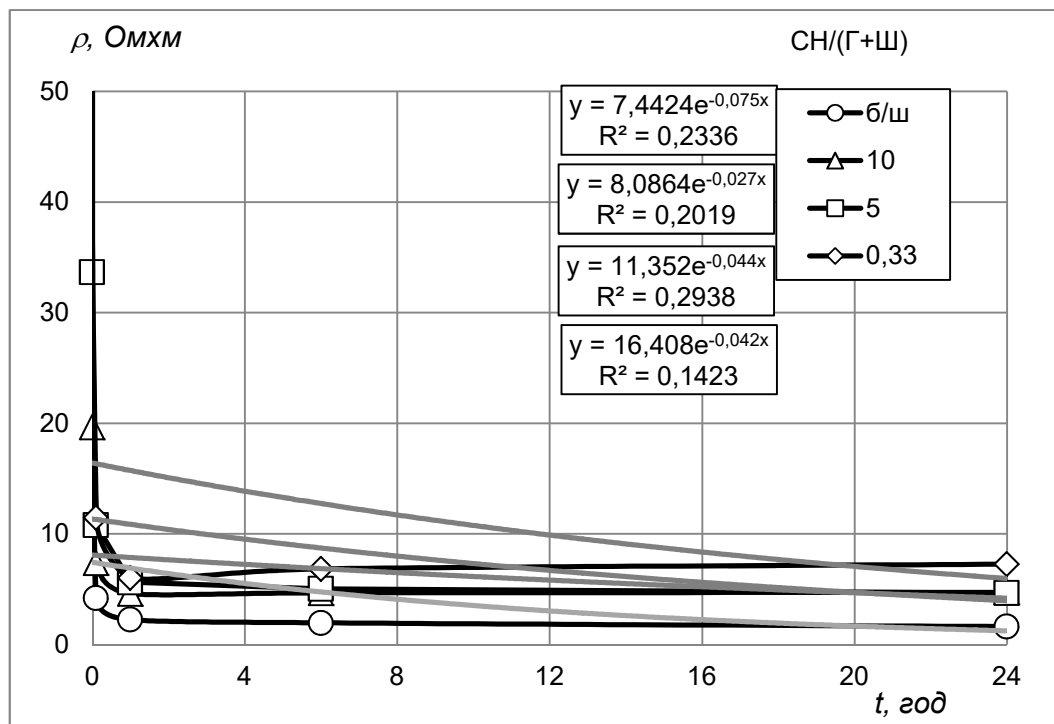


Рис. 4.15 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту силікату натрію та шлаку CH/Ш (а) та від тривалості водонасичення  $t$  (б)

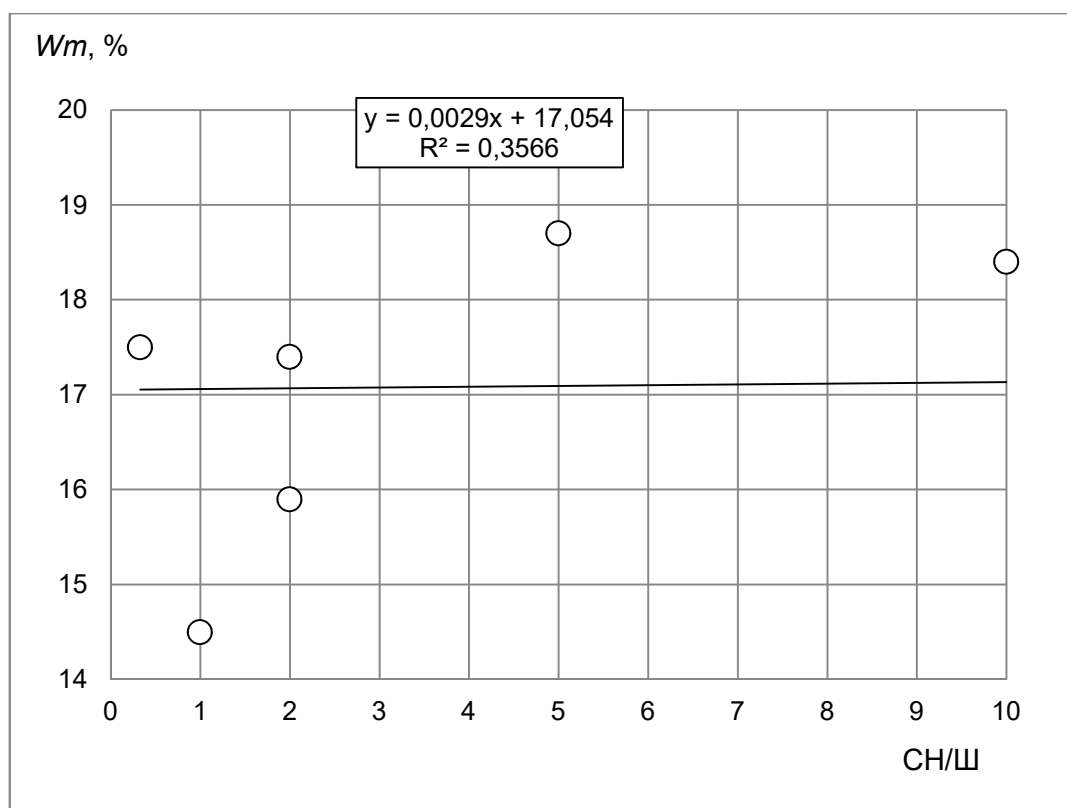
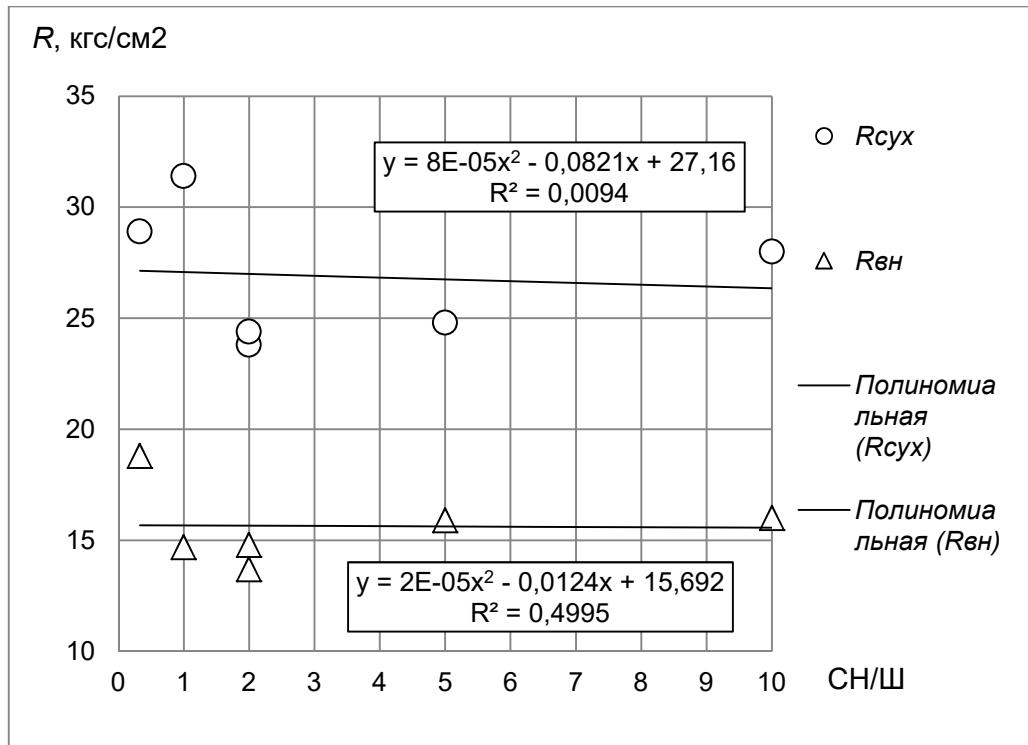


Рис. 4.16 Залежність водопоглинання за масою  $W_m$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту силікату натрію та шлаку СН/Ш

а)



б)

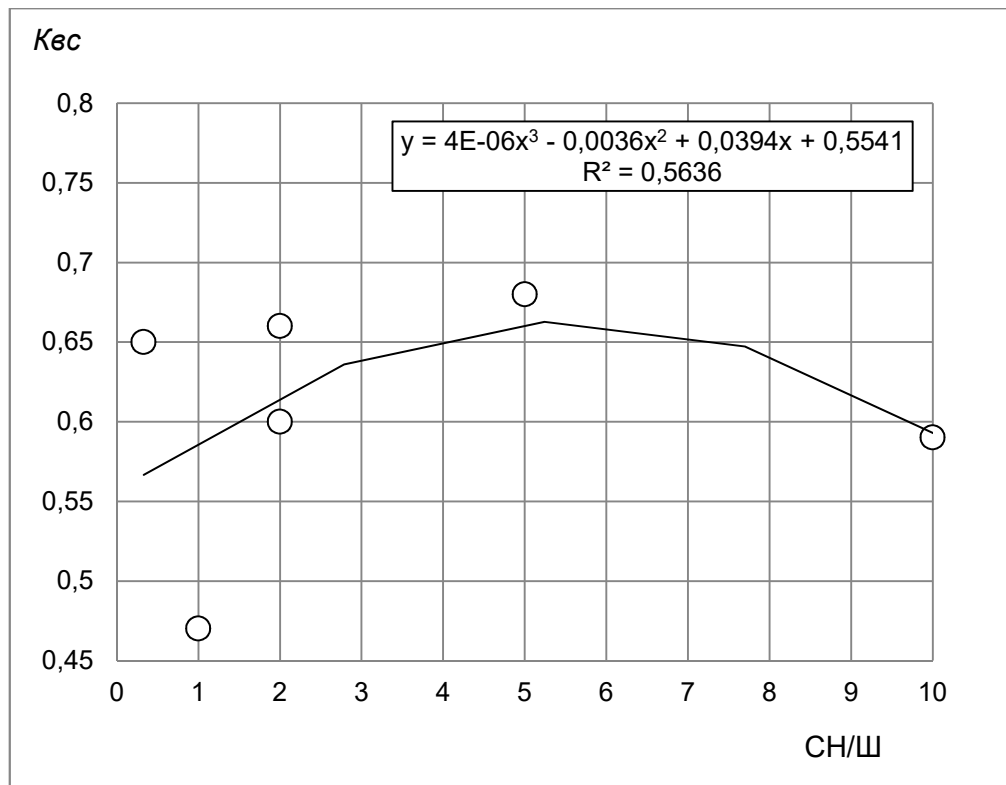
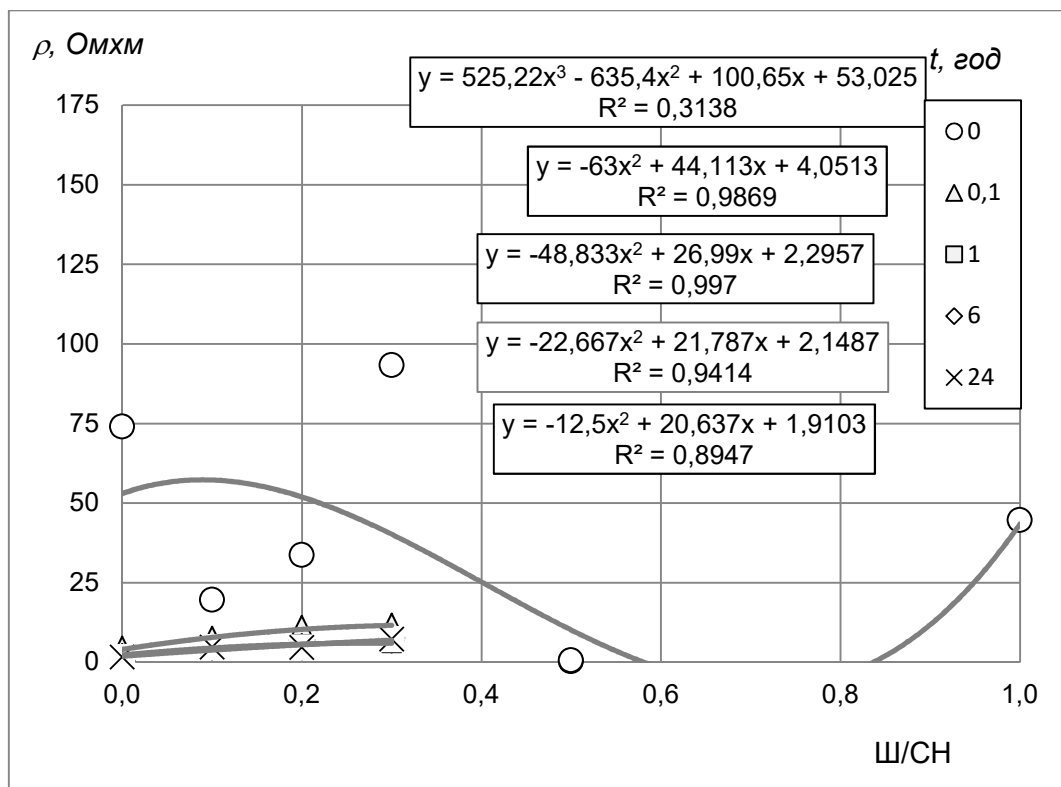


Рис. 4.17 Залежність міцності на стиск у сухому  $R_{\text{сух}}$  і водонасиченому  $R_{\text{вн}}$  стані (а) та коефіцієнту водостійкості (розм'якшення)  $K_{\text{вн}}$  (б) електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту силікату натрію та шлаку СН/Ш

a)



б)

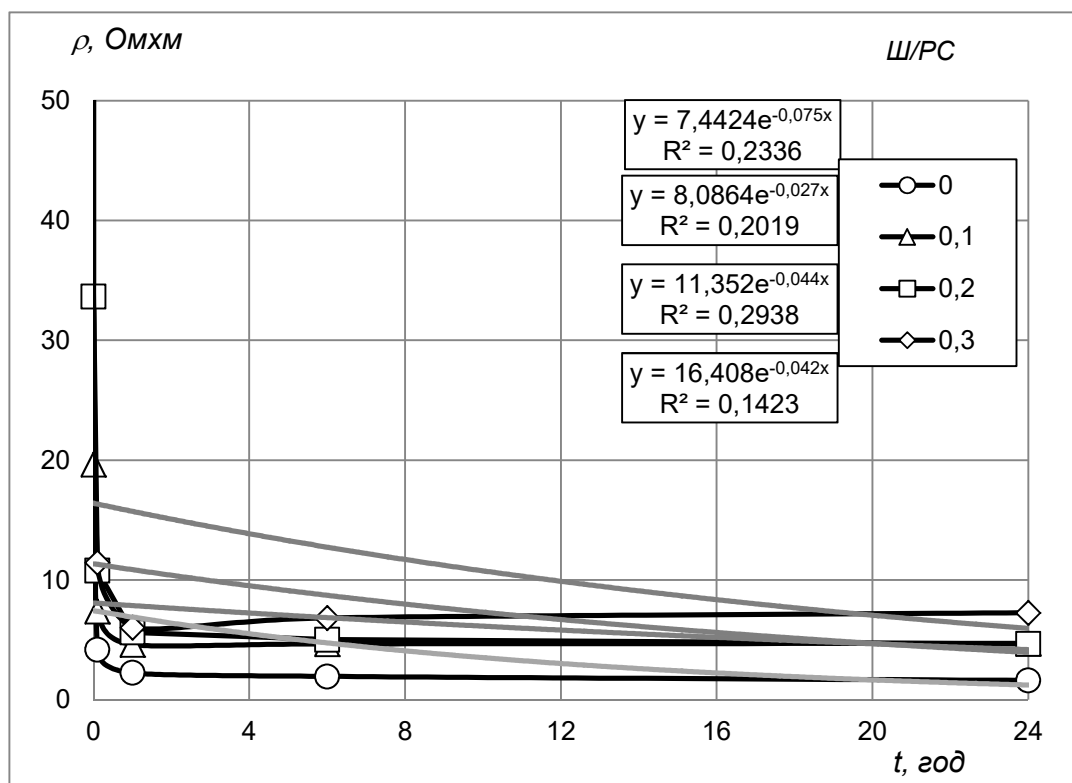


Рис. 4.18 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту шлаку та силікату натрію  $\text{Ш/СН}$  (a) та від тривалості водонасичення  $t$  (б)

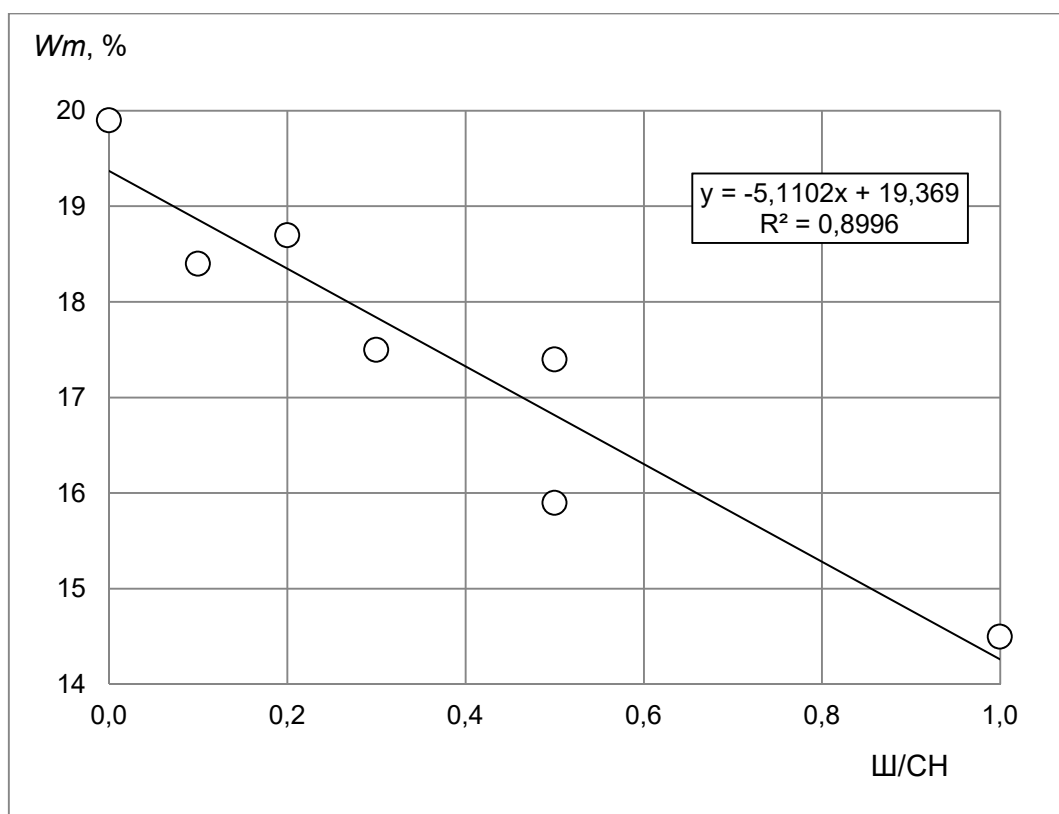
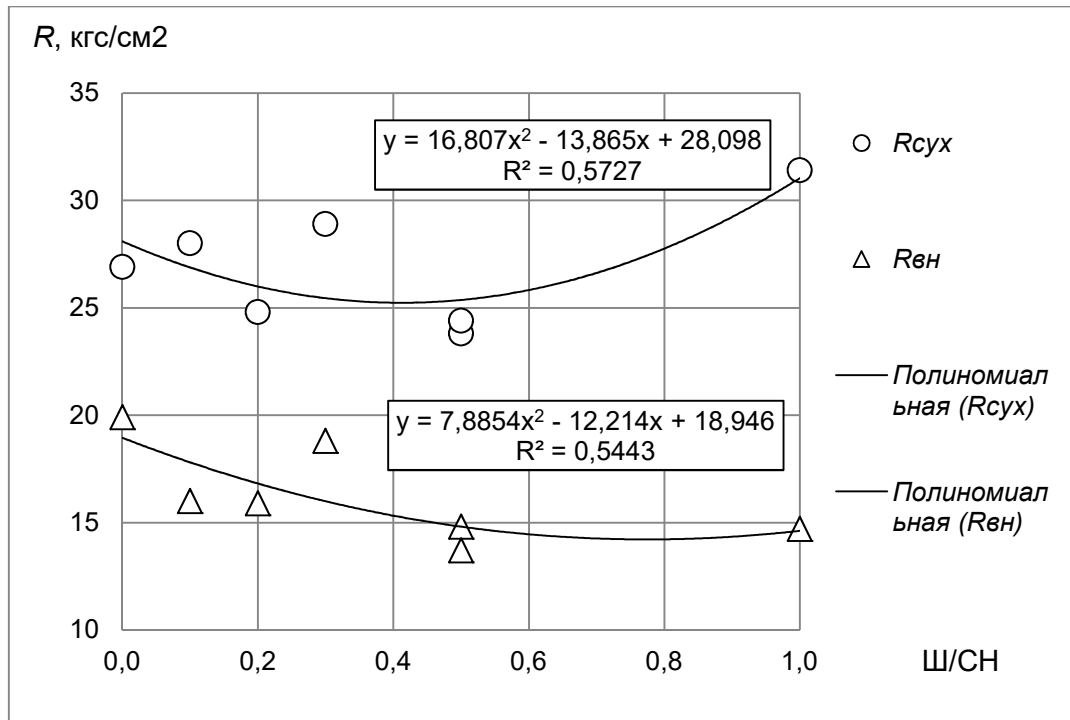


Рис. 4.19 Залежність водопоглинання за масою  $W_m$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту шлаку та силікату натрію  $\text{Ш/СН}$

а)



б)

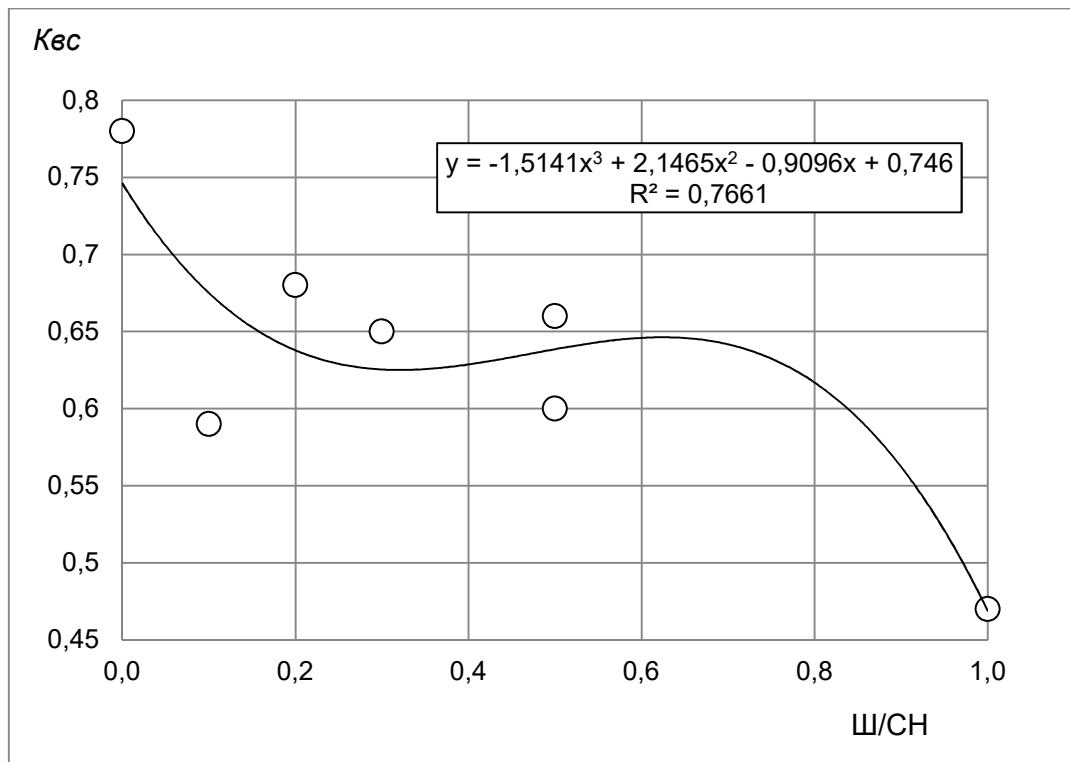
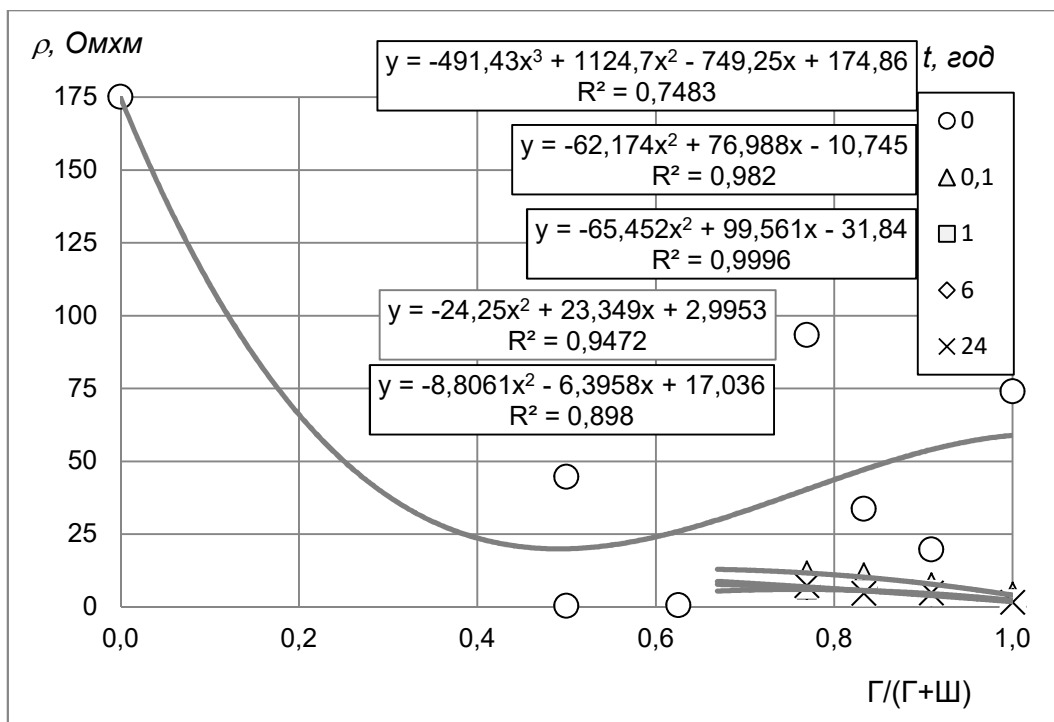


Рис. 4.20 Залежність міцності на стиск у сухому  $R_{\text{сух}}$  і водонасиченому  $R_{\text{вн}}$  стані (а) та коефіцієнту водостійкості (розм'якшення)  $K_{\text{вн}}$  (б) електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту шлаку та силікату натрію СН/Ш

а)



б)

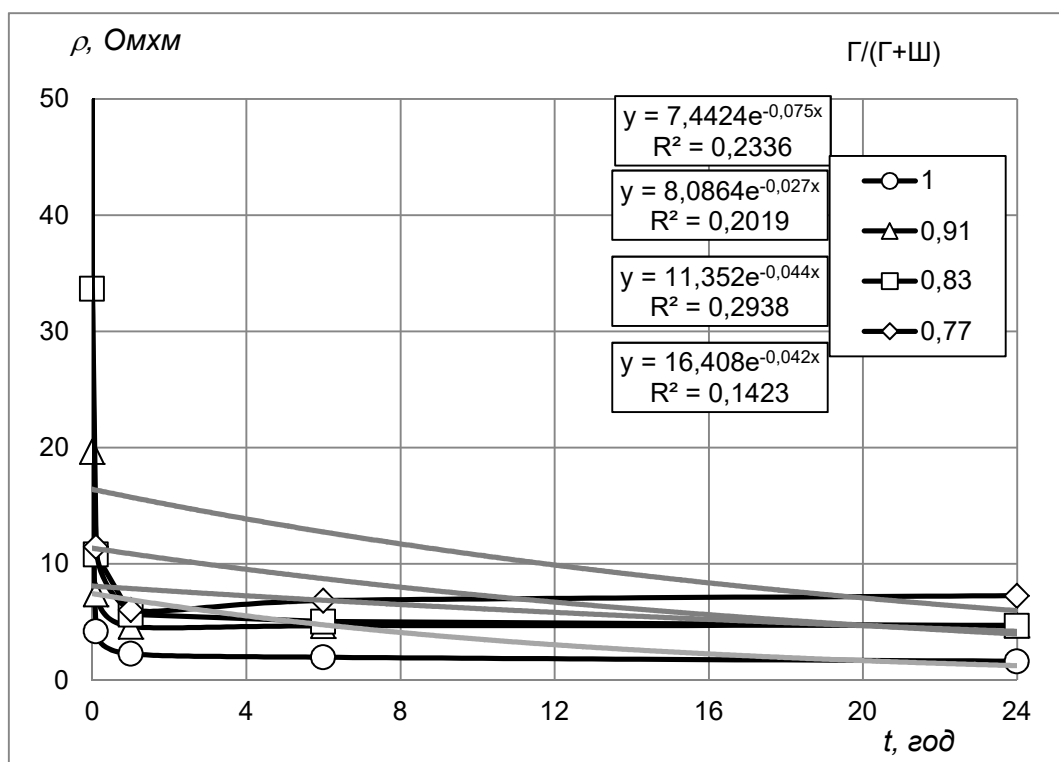


Рис. 4.21 Залежність питомого електричного опору  $\rho$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту графітового наповнювача  $\Gamma/(\Gamma+Ш)$  (а) та від тривалості водонасичення  $t$  (б)

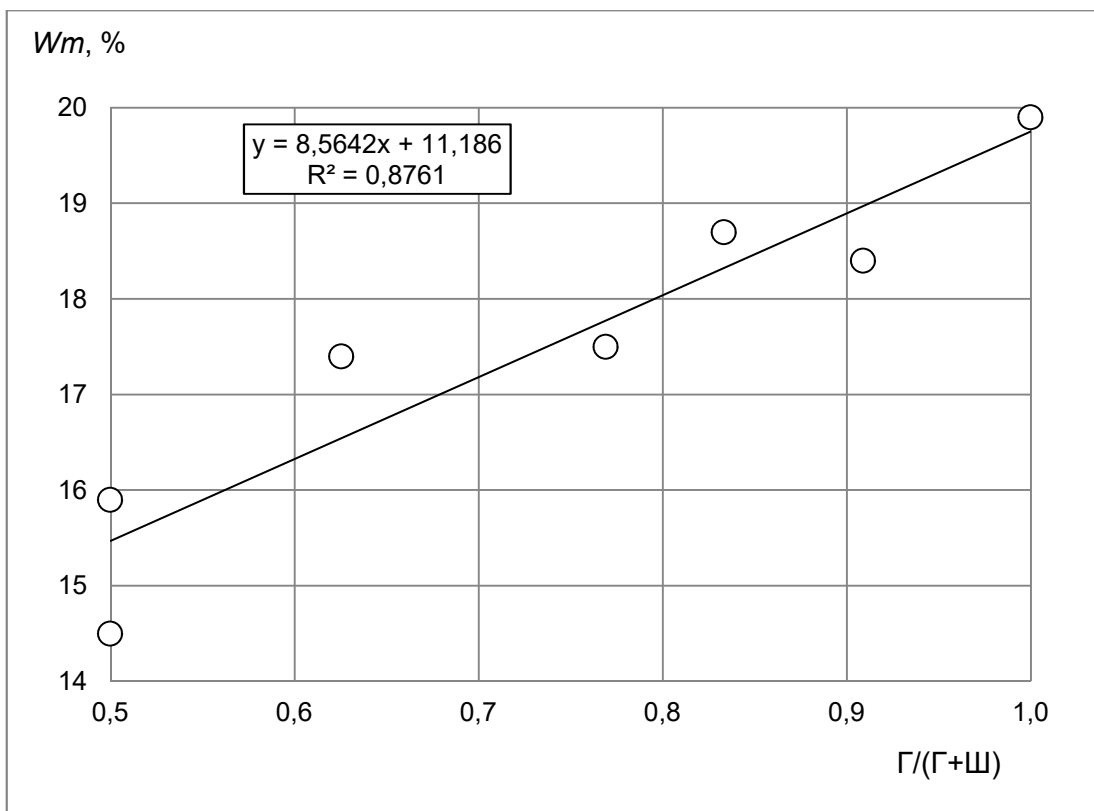
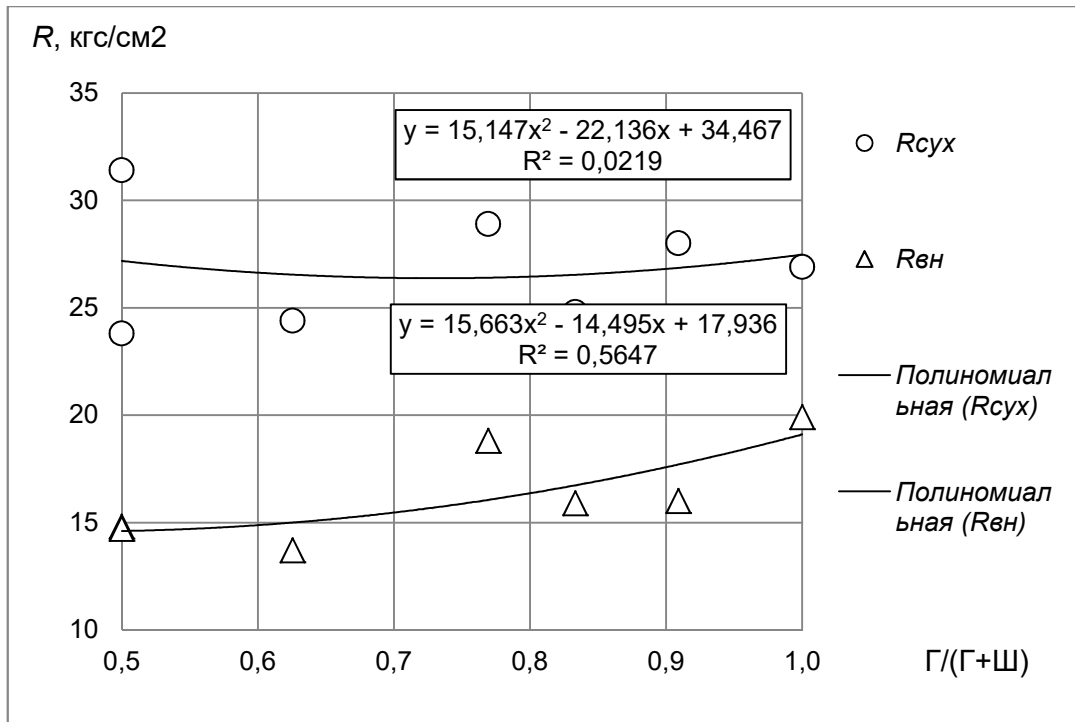


Рис. 4.22 Залежність водопоглинання за масою  $W_m$  електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту графітового наповнювача  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$



а)



б)

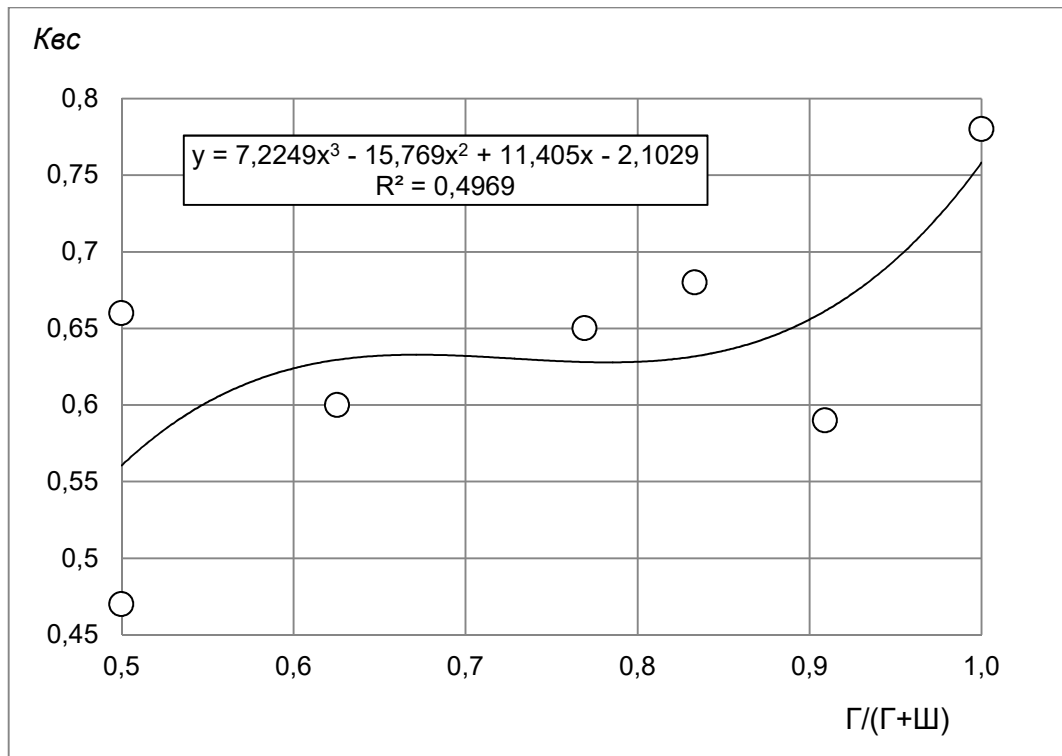


Рис. 4.23 Залежність міцності на стиск у сухому  $R_{\text{сух}}$  і водонасиченому  $R_{\text{вн}}$  стані (а) та коефіцієнту водостійкості (розм'якшення)  $K_{\text{вн}}$  (б) електропровідної силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, від показника вмісту графітового наповнювача  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$

На водостійкість силікатних композицій впливає відносний вміст графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  (рис. 4.10, б). Коефіцієнт водостійкості перевищує 0,6 за величин відносного вмісту графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  понад 0,7.

Уведення в силікатну композицію, що не містить кремнійфториду натрію, графітового наповнювача обумовлює зниження її питомого електричного опору у повітряно-сухому стані до величин порядку 0,2–0,3 Ом $\times$ м (рис. 4.11). На питомий електричний опір силікатної композиції, що не містить кремнійфториду натрію, впливає рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  (рис. 4.11). Залежність має екстремальний характер – мінімальні величини питомого електричного опору порядку 0,2–0,3 Ом $\times$ м спостерігаються за відносним вмістом силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  0,7–0,9. Зменшення або збільшення вмісту силікату натрію обумовлює зростання питомого електричного опору, отже, його вміст 0,7–0,9 є оптимальним.

Силікатна композиція, що не містить кремнійфториду натрію, є задовільно водостійкою з коефіцієнтом водостійкості 0,6–0,66 лише за відносним вмістом силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,75-1$  і  $\text{СН}/\text{Ш} = 2$  (рис. 4.12).

Уведення у силікатну композицію кремнійфториду натрію обумовлює підвищення її водостійкості.

У силікатній композиції, що як наповнювач містить тільки графітовий порошок, під час твердіння утворюються усадкові тріщини (табл. 4.5). Уведення меленого доменного гранульованого шлаку у кількості не менше 0,1 від кількості силікату натрію запобігає утворенню усадкових тріщин.

Мінімальні величини питомого електричного опору композиції, що містить кремнійфторид натрію, спостерігаються за відносним вмістом графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  0,4–0,6 (рис. 4.21, а). Зменшення або збільшення вмісту наповнювача обумовлює

зростання питомого електричного опору, отже, його вміст 0,4–0,6 є оптимальним.

На питомий електричний опір силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрій, рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $\text{СН}/(\text{Г}+\text{Ш})$  і  $\text{СН}/\text{Ш}$  впливає несуттєво (рис. 4.13, *a* і 4.15, *a*). Зі збільшенням  $\text{СН}/(\text{Г}+\text{Ш})$  і  $\text{СН}/\text{Ш}$  питомий електричний опір композиції декілька знижується.

Зволоження і водонасичення силікатної композиції обумовлює зниження її питомого електричного опору, який досягає мінімальних величин через 1 годину контакту покриття із неї з водою (рис. 4.15, *б*, 4.18, *б*, 4.21, *б*).

Для силікатних композицій з графітовими наповнювачами потрібні електрофізичні характеристики перебувають в антагонізмі з фізико-механічними та гідрофізичними властивостями, отже, розробка їх рецептур має здійснюватись методами компромісної оптимізації.

#### **4.2.2 Фізико-хімічні дослідження електропровідної силікатної композиції з добавкою доменного гранульованого шлаку та графітовим наповнювачем**

Мета фізико-хімічних досліджень - доказ гіпотез:

- про утворення в композиціях на основі силікатів натрію цеолітоподібних натрієвих і кальцієвих гідроалюмосилікатів внаслідок взаємодії мінералів доменного гранульованого шлаку із сполуками лужних металів;
- про відсутність хімічної взаємодії графіту з компонентами силікатного розчину.

Матеріали: розчин силікату натрію (рідке скло натрієве, далі - силікат натрію) з силікатним модулем 2,8, густиною  $1350 \text{ кг/м}^3$ ; натрій кремнійфтористий технічний; шлак доменний гранульований основний з модулем основності 1,1, мелений до питомої поверхні  $250\text{-}350 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Можливість утворення цеолітоподібних мінералів-алюмосилікатів внаслідок уведення в силікатну композицію доменного граншлаку досліджена

порівняльним аналізом ІЧ-спектрів поглинання і рентгенограм зразків силікату натрію, отвердженого діоксидом кремнію повітря; силікату натрію, отверженого кремнійфторидом натрію без добавки (сполучне кислототривкого в'язучого) і з добавкою шлаку (сполучне запропонованої композиції); доменного граншлаку, отвердженого силікатом натрію (шлаколузне в'язуче). Смути поглинання ІЧ-спектрів і дифракційні максимуми рентгенограм ідентифікували за [164–188]. Аналіз джерел [164–188] показав, що вони містять протиріччя, тому для ідентифікації використовували характеристики, які збігались у незалежних джерелах.

ІЧ-спектри усіх досліджуваних зразків (рис. 4.24, 4.25) містять смуги поглинання в областях, характерних для даних матеріалів.

Смуга  $966\text{ см}^{-1}$  відповідає коливанням групи  $Si-ONa$ .

Для силікату натрію, у т.ч. із отверджувачем, характерні смуги поглинання [164]:

- $460\text{--}480\text{ см}^{-1}$  (за іншими даними  $420\text{--}500\text{ см}^{-1}$ ), що пов'язані з деформаційними коливаннями зв'язку  $Si-O-Si$ ;
- $890\text{--}1080$ , що пов'язані з валентними коливаннями зв'язку  $Si-O$ ;
- $966\text{ см}^{-1}$ , що відповідає коливанням групи  $Si-ONa$ ;
- $3350\text{--}3600$ , що пов'язані з валентними коливанням груп  $OH$ , які містяться у складі груп із кремнійкисневих тетраедрів.

Для кремнійфториду натрію характерні смуги [171]:

- $477, 496, 523\text{ см}^{-1}$ , що відповідають деформаційним коливанням групи  $SiF_6^{2-}$ ;
- $740\text{ см}^{-1}$ , що відповідають валентним коливанням групи  $SiF_6^{2-}$ .

Для кремнегелю характерна смуга поглинання в області  $3400\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ , що вказує на наявність в структурі слабко зв'язаної води.

Діапазони  $1520\text{--}1760$  і  $2500\text{--}3800$  відповідають коливанням зв'язків у групах  $OH$  і молекулах  $H_2O$ .

Для карбонатних структур характерні смуги у діапазоні  $400\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ , що відповідають коливанням зв'язків:

- $400\text{--}600\text{ см}^{-1}$  –  $C-O$  у  $CO_3^{2-}$ ;
- $1300\text{--}1600\text{ см}^{-1}$  –  $C-O$  у  $CO_3^{2-}$  і  $Ca-O$ .

Для різних силікатних і алюмосилікатних структур характерні смуги у діапазоні  $400\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ , що відповідають коливанням зв'язків:

- $400\text{--}600$  –  $\text{Si-O}$  у  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  і  $\text{Si-O-Al}$  у  $[\text{AlO}_6]$ ;
- $600\text{--}950$  –  $\text{Si-O}$  у  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  і  $\text{Si-O-Al}$  у  $[\text{AlO}_4]$ ;
- $900\text{--}1000$  –  $\text{Si-O}$  у  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  ізольованих;
- $966$  –  $\text{Si-O}$  у  $[\text{SiO}_6]^{4-}$ н конденсованих;
- $1000\text{--}1100$  –  $\text{Si-O}$  у  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ н конденсованих і  $\text{Si-O-Al}$  у  $[\text{AlO}_4]$ .

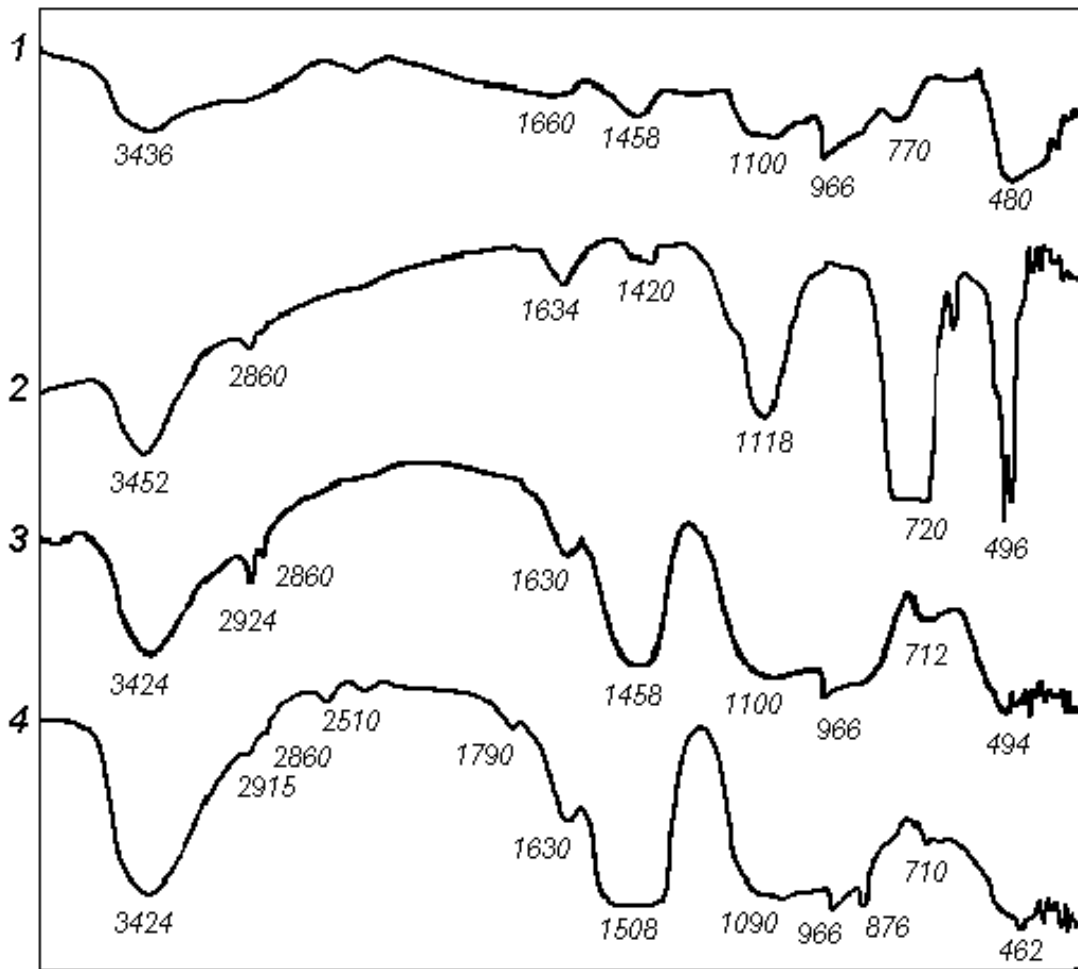


Рис.4.24 ІЧ-спектри (Specord 75IR) [142]: 1 - силікату натрію, отвердженого діоксидом вуглецю повітря  $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2+\text{CO}_2$ ; 2 - силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію  $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2+\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ; 3 - силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію з добавкою шлаку  $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2+\text{Na}_2\text{SiF}_6+\text{Ш}$ ; 4 - шлаку, отвердженого силікатом натрію  $\text{Ш}+\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$

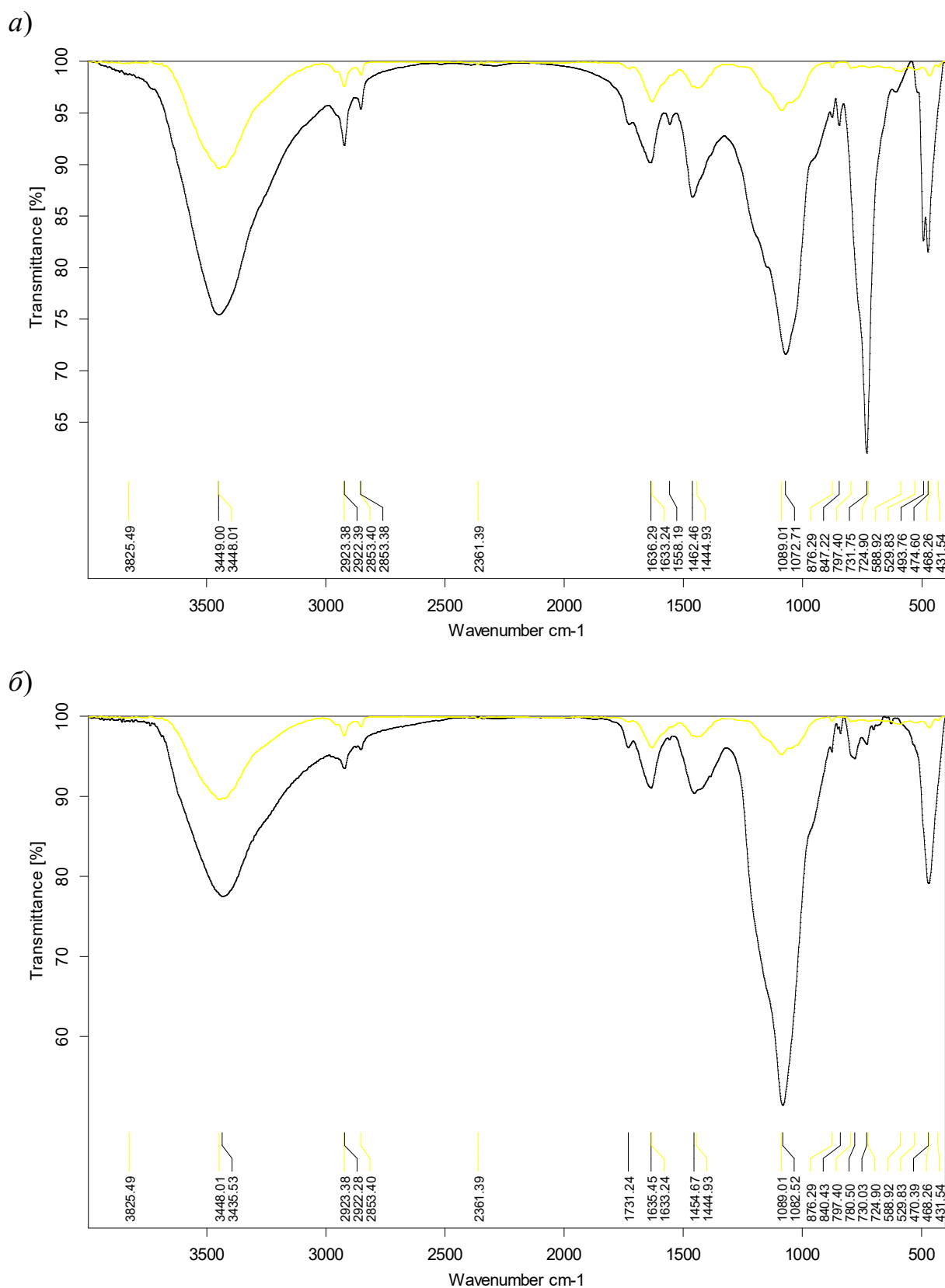


Рис. 4.25 ІЧ-спектри (BrukerAlpha): а - силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію  $NaO \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ ; б - силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію з добавками графіту, доменного граншлаку та сульфонафталінформальдегіду  $NaO \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + S + SNF + C$

Аналіз ІЧ-спектрів показав, що силікат натрію, затверділий на повітрі без кремнійфториду натрію, містить як ізольовані, так і конденсовані кремнекисневі тетраедри, гідроксильні іони або молекули води, карбонатні іони. Спектр має нерізкий характер, що дозволяє зробити припущення про низький ступінь поліконденсації кремнійкислоти в силікаті натрію, що не прореагував. Очевидно, що внаслідок твердіння силікату натрію утворюється гель кремнійкислоти, структура дисперсної фази якого є стрічковою та листовою з конденсованими іонами  $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$  й  $\text{Si}_6\text{O}_{17}^{10-}$  у її основі.

Для спектру силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, у порівнянні з попереднім спектром, характерно зникнення смуги  $966\text{ см}^{-1}$  (коливання групи  $\text{Si-ONa}$ ) і поява смуги  $700\text{ см}^{-1}$  (валентні коливання групи  $\text{SiF}_6^{2-}$ ). Фазового складу продуктів твердіння силікату натрію отверджувач паринципово не змінює. Збільшення інтенсивності смуги  $1100\text{ см}^{-1}$ , що відповідає коливанням зв'язку  $\text{O-H}$  у групах  $\text{Si-O-H}$ , очевидно обумовлено поліконденсацією іонів  $\text{HSiO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  і  $\text{H}_4\text{SiO}_4\text{aq}$ . Силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, містить тільки конденсовані кремнекисневі тетраедри (посилення інтенсивності смуги  $1000\text{-}1100\text{ см}^{-1}$  та відсутність смуги  $900\text{-}1000\text{ см}^{-1}$ ), разом із кремнійкислотою може містити фториди ( $400\text{-}600\text{ см}^{-1}$ ) та кремнійфторид ( $600\text{-}950\text{ см}^{-1}$ ). Кількість води залишається такою ж самою. Це дозволяє зробити припущення про високий ступінь конденсації кремнійкислоти та наявність фторидів та кремнійфторидів. Смуги, що відповідають карбонатам, є приблизно однаковими в обох випадках.

Шлак, отверджений силікатом натрію, містить конденсовані кремнекисневі тетраедри ( $1090\text{ см}^{-1}$ ), зв'язки  $\text{Si-O-Al}$  ( $876, 968\text{ см}^{-1}$  - у гідроалюмосилікатах), кількість води та гідроксильних іонів у них вища, ніж у силікаті натрію, що може свідчити про наявність гідросилікатів кальцію та цеолітної води у гідроалюмосилікатах. Також містяться карбонати, про що свідчить вузька смуга  $876\text{ см}^{-1}$  та інтенсивна смуга  $1400\text{ см}^{-1}$ .

Силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію з добавкою шлаку, за наявною інтенсивністю смуг займає проміжне становище між двома

попередніми і найвірогідніше містить як кремнегель, так і деяку кількість сполук, що притаманні шлаколузним в'язучим, у тому числі цеолітоподібні гідроалюмосилікати кальцію та натрію.

На рис. 4.26, 4.27 наведені штрихграми рентгенограм силікату натрію, отвердженого різними компонентами, отримані за допомогою ретгенівського дифрактометра ДРОН-1,5 у діапазоні міжплоскісних відстаней 0,15-0,5 нм [142]. На рис. 4.28 наведені штрихграми рентгенограм силікату натрію, отвердженого різними компонентами, з добавкою графіту, отримані за допомогою ретгенівського дифрактометра ДРОН-3, що має кращу роздільну здатність, у діапазоні міжплоскісних відстаней 0,1-1,5 нм .

Аналіз рентгенограм (рис. 4.26, 4.27) показує, що на рентгенограмі силікату натрію, затвердженого діоксидом вуглецю повітря (рис. 4.26), дифракційні максимуми є ледь помітними, що свідчить про малий вміст кристалічної фази. Кристалічна фаза представлена вихідними силікатами натрію (0,24; 0,362; 0,422 нм) і карбонатами та гідрокарбонатами натрію (0,237; 0,277; 0,294 нм), які є продуктами карбонізації луку.

Рентгенограма силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію (рис. 4.26), в цілому має схожий характер з попередньою, але містить кілька чітких дифракційних максимумів, комбінація яких дозволяє зробити припущення про наявність значної кількості фториду натрію (0,230 нм) та незначної кількості кремнійфториду натрію (0,231; 0,331; 0,440 нм), кварцу (0,18; 0,227; 0,331 нм). Кремнійфторид натрію являє собою залишки вихідного компоненту, фрагменти кварцоподібних структур могли утворитись внаслідок конденсації кремнійкислоти.

Рентгенограма силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію з добавкою шлаку (рис. 4.27), також свідчить про малу кількість кристалічної фази та переважний вміст аморфної фази. З кристалічних фаз максимум фториду натрію є відсутнім, що свідчить про його зв'язування шлаком, присутніми можуть бути фторид кальцію (0,192 нм), гідросилікати кальцію і цеолітоподібні натрієві та кальцієві гідроалюмосилікати (0,25; 0,266;



0,302 нм), деяка кількість кварцу та кальциту (0,191; 0,209; 0,228; 0,302; 0,332 нм). Кальцит є продуктом карбонізації вапна шлаку.

Рентгенограма шлаку, отвердженого силікатом натрію (шлаколужного в'язучого, рис. 4.27) в цілому є подібною до рентгенограми силікату натрію, затвердженого кремнійфторидом натрію з добавкою шлаку і має більшість аналогічних максимумів, але більш інтенсивних. Це свідчить про вищий ступінь кристалічності затверділого шлаколужного в'язучого та про більший вміст в ньому гіросилікатів кальцію та гідроалюмосилікатів кальцію та натрію. При цьому максимум фториду кальцію 0,192 нм є відсутнім.

Рентгенограми, наведені на рис. 4.28, в цілому відповідають рентгенограмам рис. 4.26-4.27. На рентгенограмах композицій, що містять графіт, з'являються дифракційні максимуми 0,318-0,319; 0,324; 0,635-0,638; 0,647-0,648; 0,71 нм. Оскільки вони характерні саме для графіту, це підтверджує гіпотезу про відсутність хімічної взаємодії графіту з силікатом натрію та іншими компонентами композиції.

Таким чином, аналіз інфрачервоних спектрів і рентгенограм зразків в цілому підтвердили уявлення про те, що силікат натрію, отверджений діоксидом вуглецю повітря, містить переважно гель кремнійкислоти; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію - гель кремнійкислоти та фторид натрію; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію з добавкою доменного гранульованого шлаку - гель кремнійкислоти, гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гіросилікати кальцію, але не містить фторид натрію. При цьому гідроалюмосилікатів кальцію і натрію міститься менше, ніж у камені шлаку, отвердженого силікатом натрію (шлаколужного в'язучого).

Хімічної взаємодії графіту з силікатом натрію та іншими компонентами композиції не виявлено, отже, графіт залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

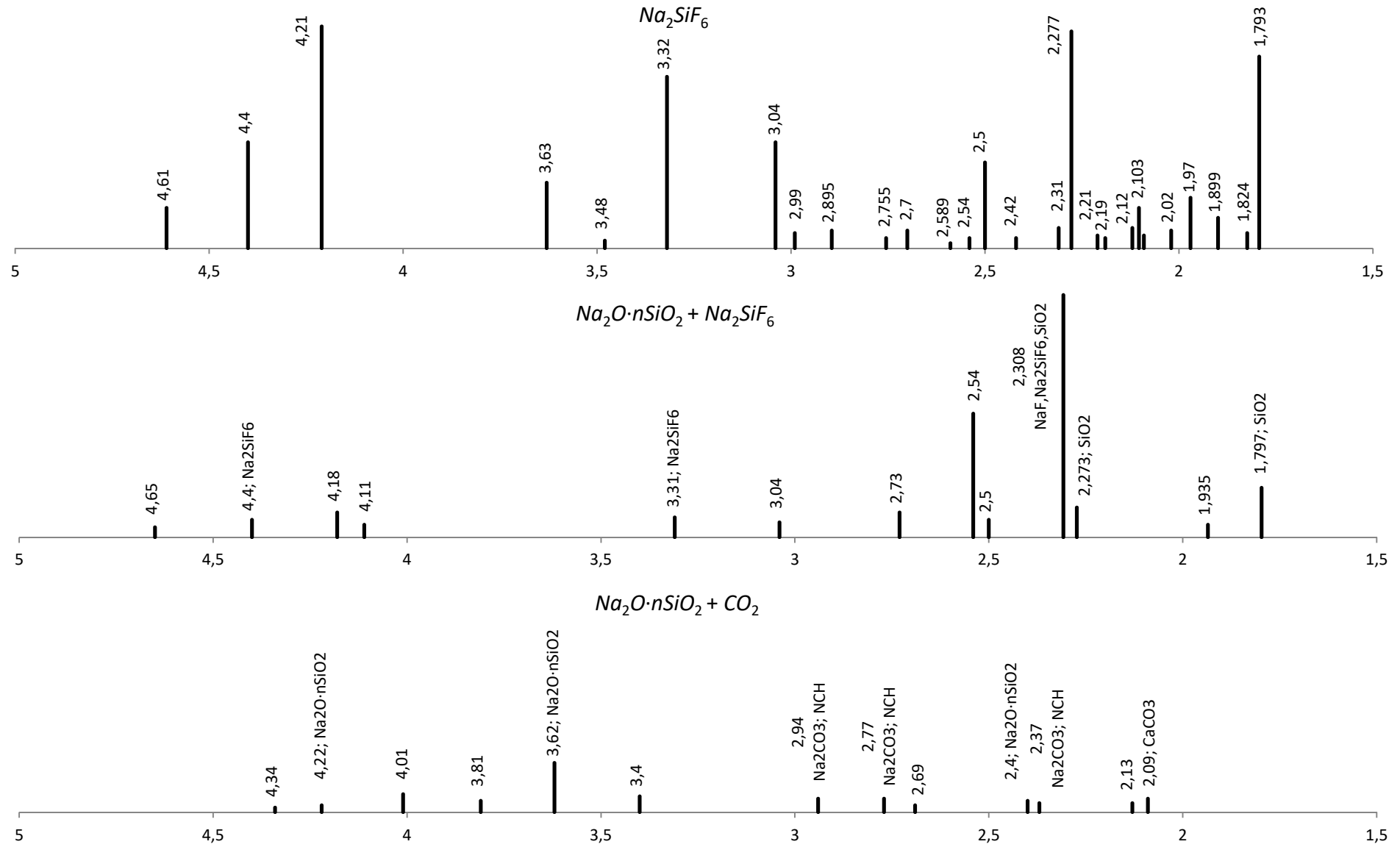


Рис. 4.26 Штрихграми рентгенограм: кремнійфториду натрію  $Na_2SiF_6$ ; силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ ; силікату натрію, отвердженого діоксидом вуглецю повітря  $Na_2O \cdot nSiO_2 + CO_2$

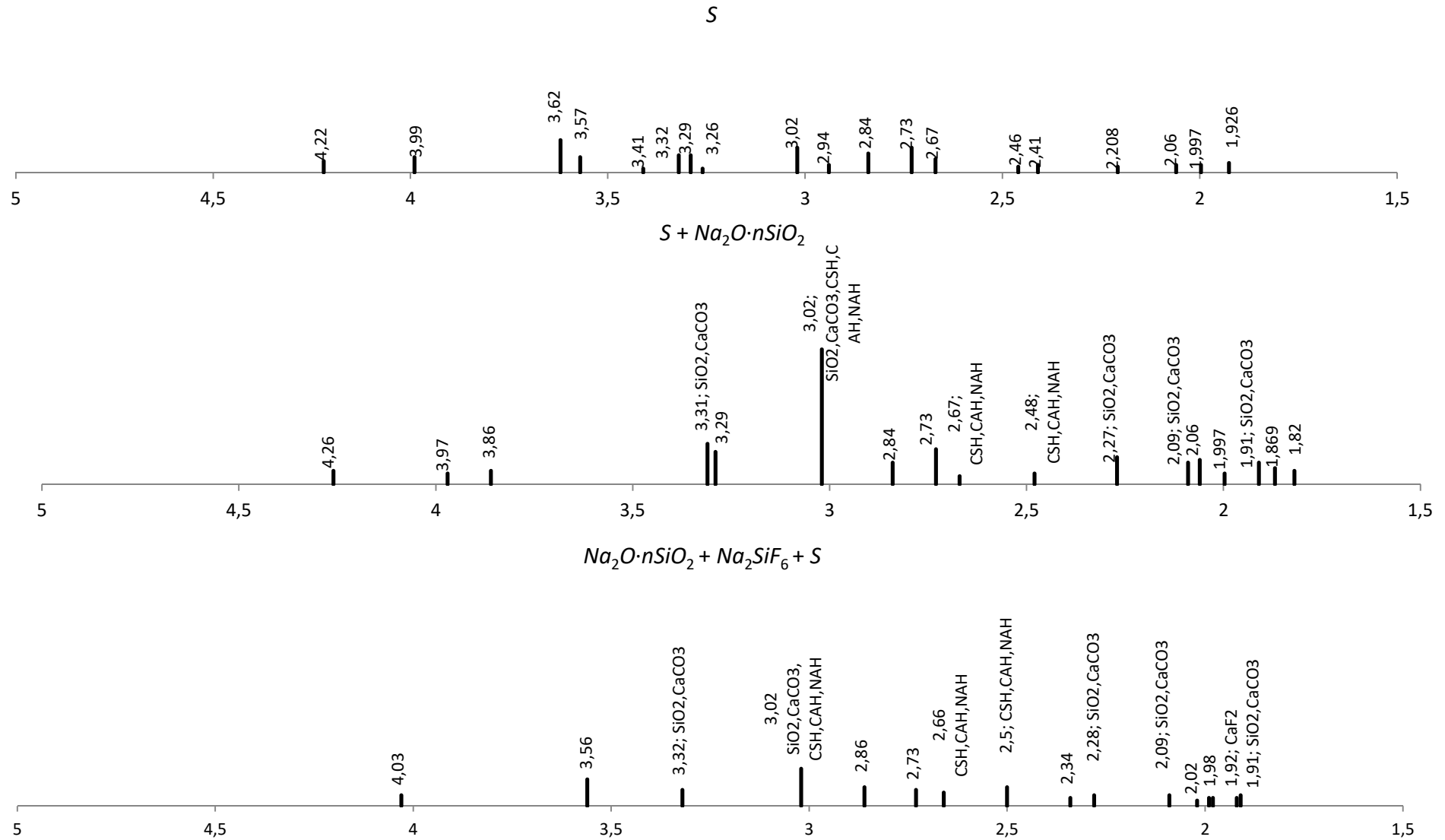


Рис. 4.27 Штрихграми рентгенограм: силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ ; силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію з добавкою шлаку  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + S$ ; кремнійфториду натрію  $Na_2SiF_6$

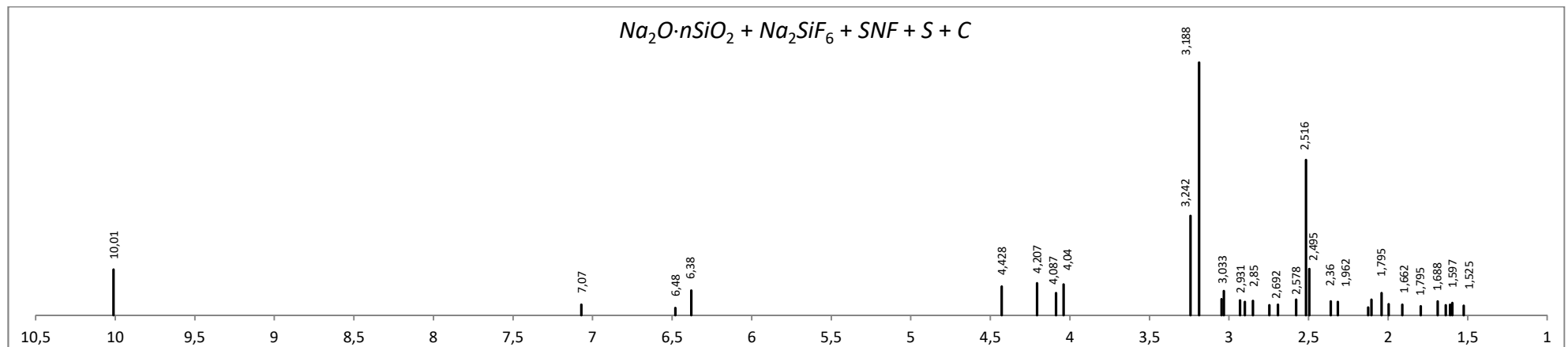
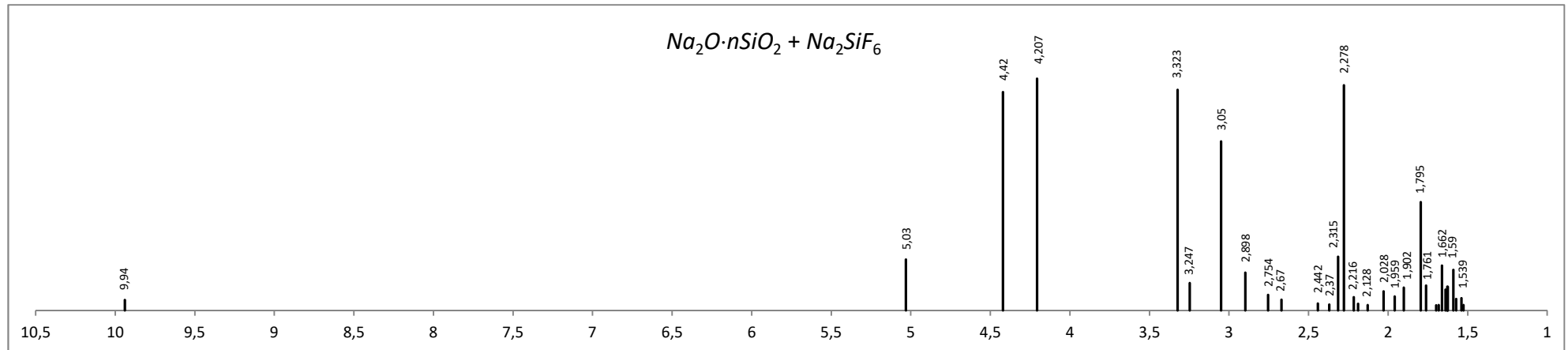


Рис. 4.28 Штрихграми рентгенограм: силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ ; силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавками сульфонафтальінформальдегіду та шлаку  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + SNF + S$ ; силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію з добавками сульфонафтальінформальдегіду, шлаку та графіту  $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + SNF + S + C$

На рис. 4.29, 4.30 наведені електронно-мікроскопічні знімки поверхні відколу силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту, на рис. 4.31, 4.32 – рентгенівські карти розподілу елементів по поверхні, що відповідають ЕМЗ рис. 4.29 і 4.30. У табл. 4.8, 4.9 наведено інтегральний розподіл елементів по поверхням, що відповідають рентгенівським картам рис. 4.37 і 4.38.

Аналіз рис. 4.29–4.32 показує, що, поверхні відколів пористі й шорсткі, частинки графіту на знімках мають сірий колір і аморфну будову, подібно зернам металів (заліза, хрому, титану), проте важко ідентифікуються, оскільки їх поверхня покрита дрібними частинками продуктів взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію. Із знімків видно, що структура силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту дисперсна, складається із гелеподібних утворень і кристалічних частинок розміром від менше 1 мкм до декількох мкм, а також вкраплень більш крупних частинок розміром від десятків мкм до 100 мкм. Спільний аналіз ЕМЗ (рис. 4.29-4.30) і рентгенівських карт поверхні (рис. 4.31, 4.32) показує, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту, має структуру композиційного матеріалу з наповнювачем із рівномірно розподілених по поверхні частинок графіту  $C$ , і матрицею із продуктів взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію, по якій рівномірно розподілені такі елементи, як кисень  $O$ , кремній  $Si$ , фтор  $F$ .

В цілому аналіз ЕМЗ підтверджує висновки, зроблені за результатами спектрального та рентгенофазового аналізу про те, що внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію утворюються нові продукти переважно гелеподібної будови та про відсутність хімічної взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію з графітом, який залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

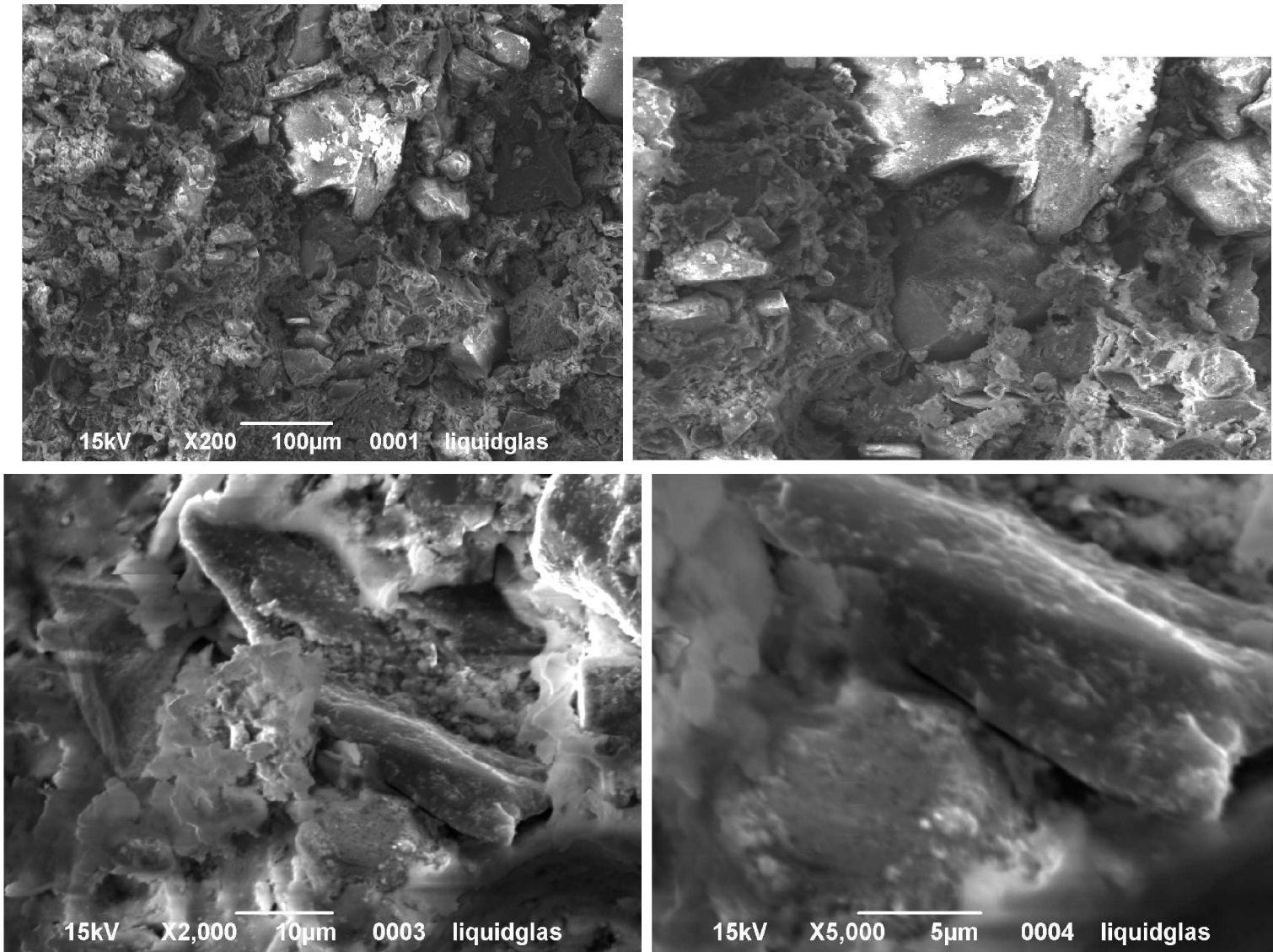


Рис. 4.29 Електронно-мікроскопічні знімки силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту

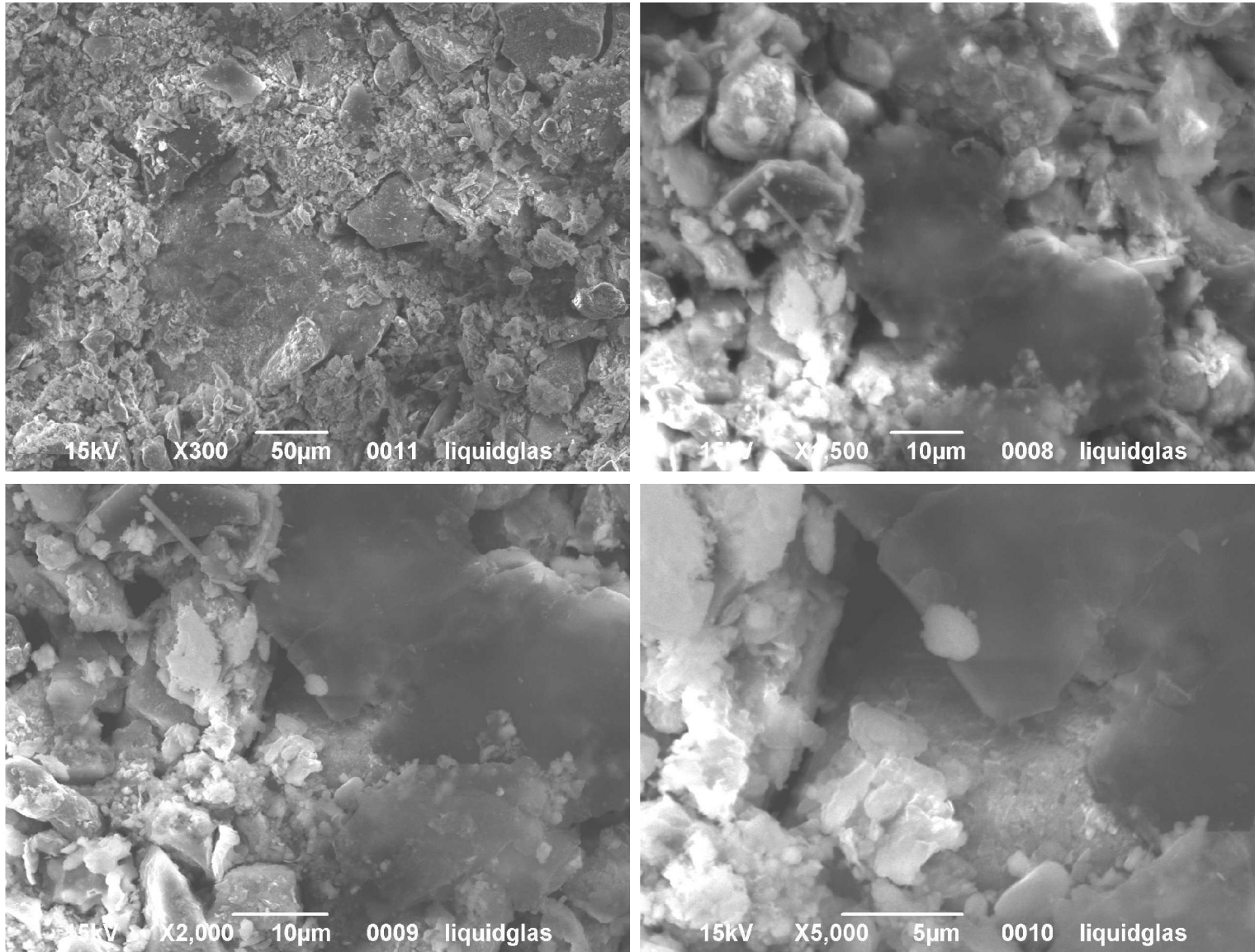


Рис. 4.30 Електронно-мікроскопічні знімки силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту

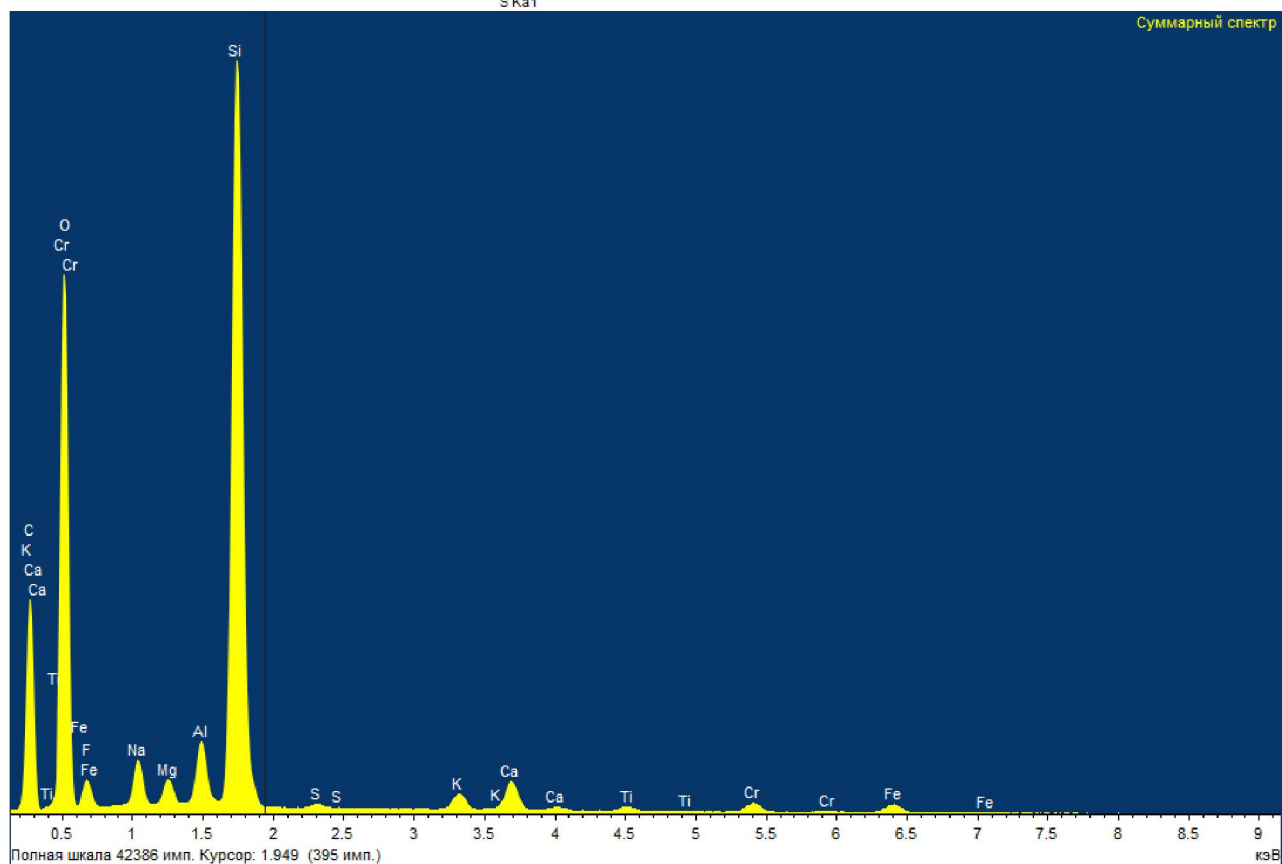
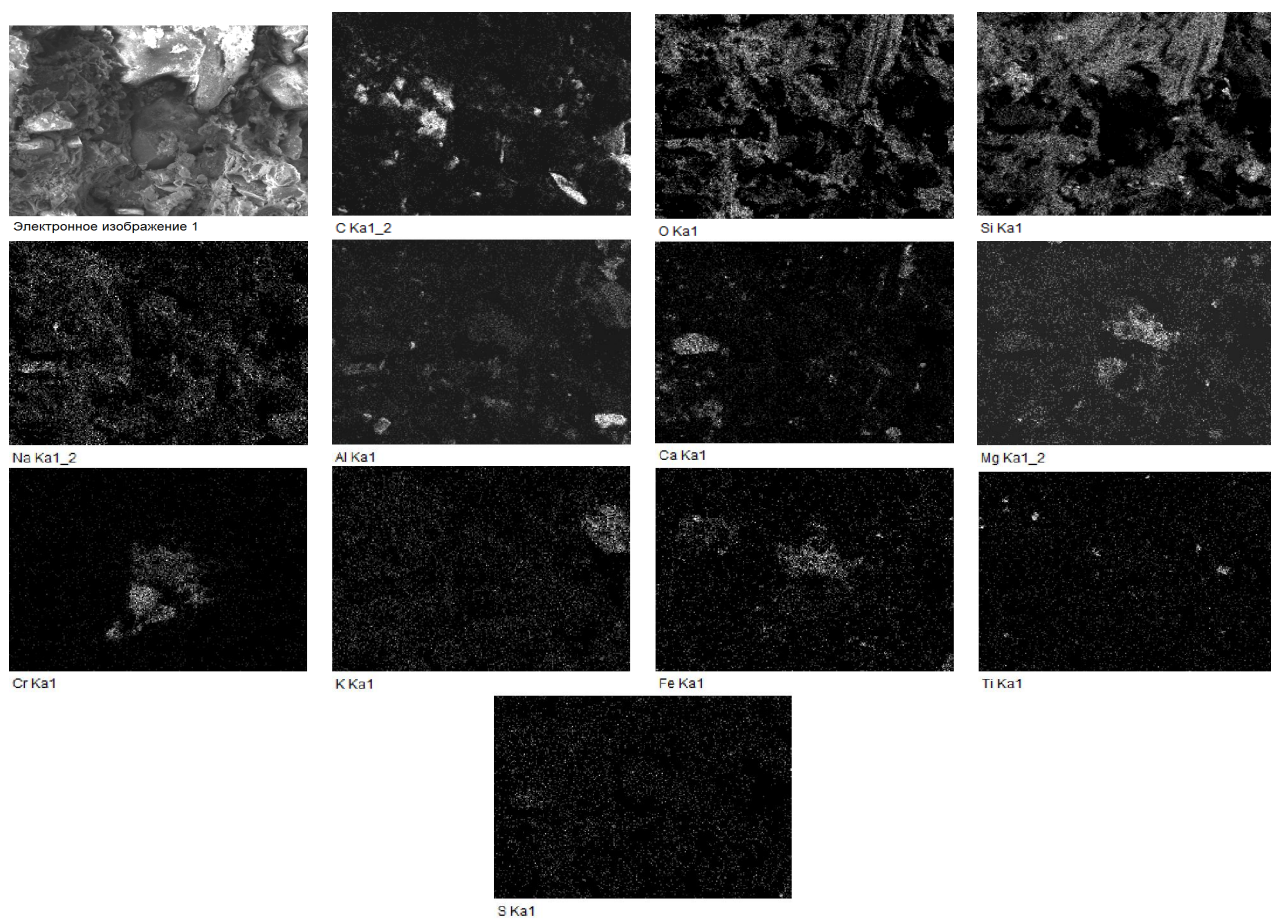


Рис. 4.31 Рентгеновські карти розподілу елементів по поверхні силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту. Фрагмент поверхні відповідає ЕМЗ рис. 4.30



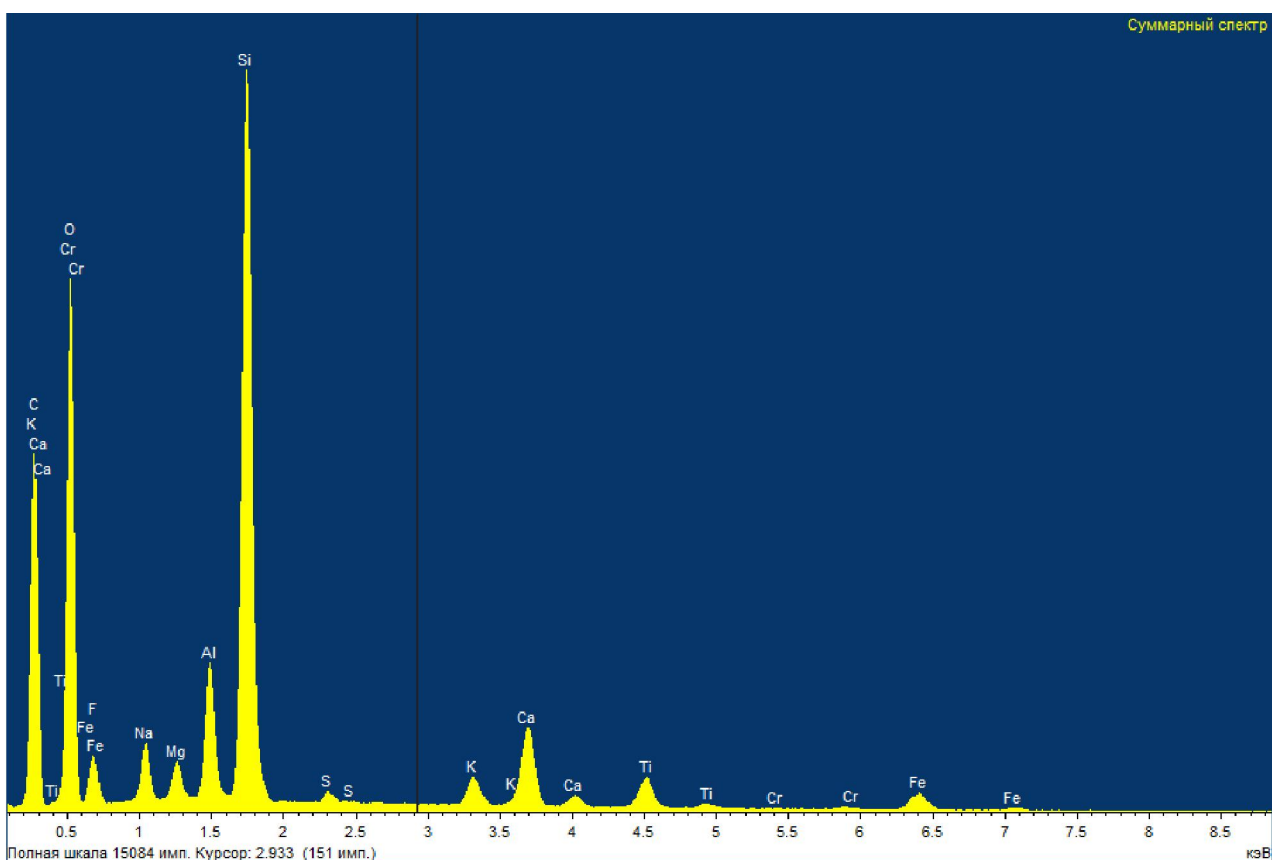
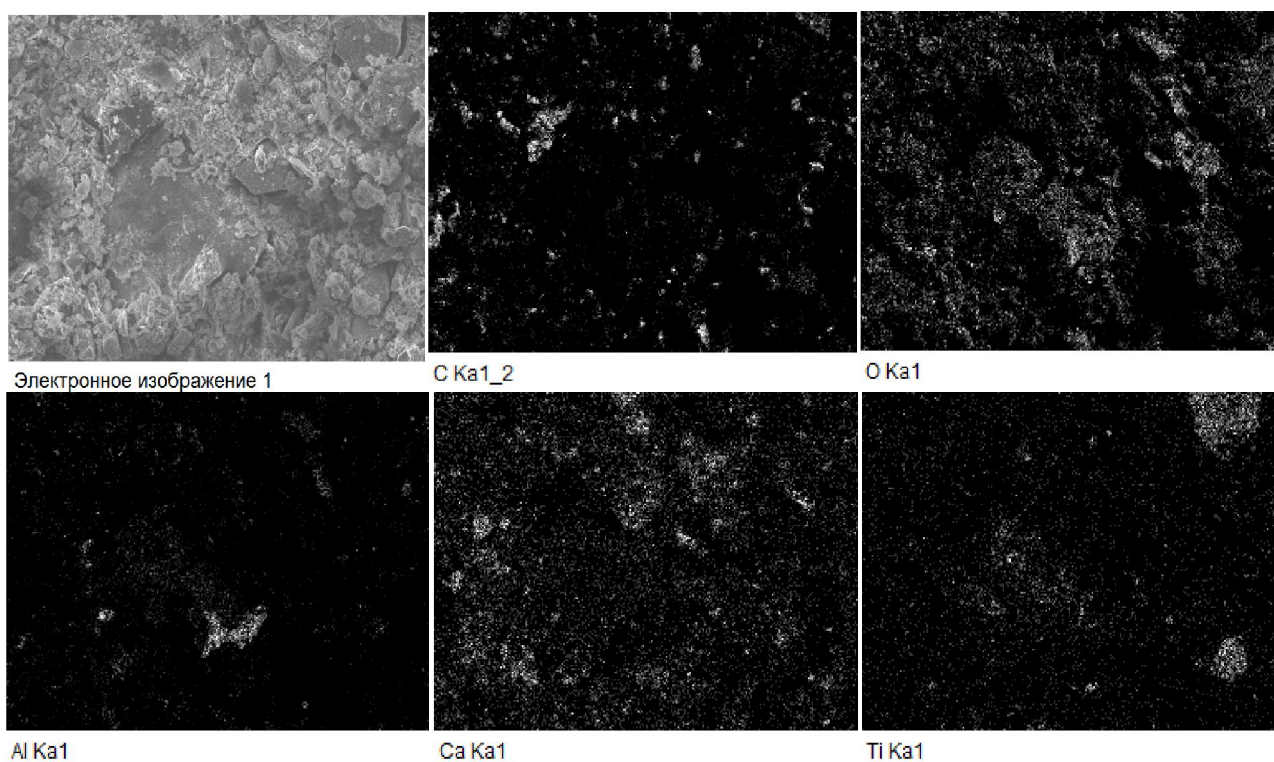


Рис. 4.32 Рентгенівські карти розподілу елементів по поверхні силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту. Фрагмент поверхні відповідає ЕМЗ рис. 4.34, б

Таблиця 4.8

Інтегральний розподіл елементів по поверхні рентгенівської карти рис. 4.35

Елемент	Умовна концентрація	Інтенсивність	Ваговий %	Ваговий % $\sigma$	Атомний %
<i>O</i>	6,31	1,0079	46,32	0,16	50,47
<i>C</i>	3,96	1,4762	19,82	0,17	28,76
<i>Si</i>	1,94	0,8158	17,64	0,07	10,95
<i>F</i>	0,15	0,2640	4,20	0,14	3,86
<i>Na</i>	0,24	1,0024	1,78	0,03	1,35
<i>Al</i>	0,22	0,9280	1,78	0,03	1,15
<i>Ca</i>	0,28	0,9691	2,12	0,03	0,92
<i>Mg</i>	0,09	0,8627	0,80	0,02	0,57
<i>Cr</i>	0,17	0,8018	1,55	0,04	0,52
<i>K</i>	0,14	1,0290	1,03	0,03	0,46
<i>Fe</i>	0,24	0,7903	2,24	0,06	0,7
<i>Ti</i>	0,06	0,8031	0,57	0,03	0,21
<i>S</i>	0,02	0,8909	0,15	0,02	0,08
Разом			100		

Таблиця 4.9

Інтегральний розподіл елементів по поверхні рентгенівської карти рис. 4.36

Елемент	Умовна концентрація	Інтенсивність	Ваговий %	Ваговий % $\sigma$	Атомний %
<i>O</i>	2,01	0,8571	40,62	0,24	44,57
<i>C</i>	2,20	1,6576	22,76	0,24	33,27
<i>Si</i>	0,62	0,8047	13,24	0,09	8,28
<i>F</i>	0,09	0,2719	5,61	0,20	5,19
<i>Al</i>	0,16	0,9216	3,07	0,04	2,00
<i>Ca</i>	0,25	0,9790	4,37	0,06	1,91
<i>Na</i>	0,10	0,9897	1,77	0,04	1,35
<i>Ti</i>	0,12	0,8027	2,59	0,07	0,95
<i>Mg</i>	0,04	0,8554	0,86	0,03	0,62
<i>K</i>	0,08	1,0454	1,33	0,04	0,60
<i>S</i>	0,02	0,9109	0,33	0,03	0,18
<i>Cr</i>	0,00	0,8035	0,09	0,05	0,03
Разом			100		

### 4.3 Дослідження ефективності захисних екранів як заходу захисту від електрокорозії

#### 4.3.1 Захисні екрани від наведення потенціалів електричним полем від контактного проводу

За методикою, викладеною у п.2.2.1, досліджено ефективність захисних екранів від наведення електричних потенціалів на залізобетонні конструкції електричними полями, створюваними контактною мережею електрифікованої постійним струмом залізниці.

На рис. 4.33 представлено залежності наведеного на арматуру зразка потенціалу  $U$  від часу  $t$  для зразка без захисного екрану (рис. 4.33, а), із захисним екраном (рис. 4.33, б), із заземленим захисним екраном (рис. 4.33, в). Характерні величини потенціалів наведені у табл. 4.10.

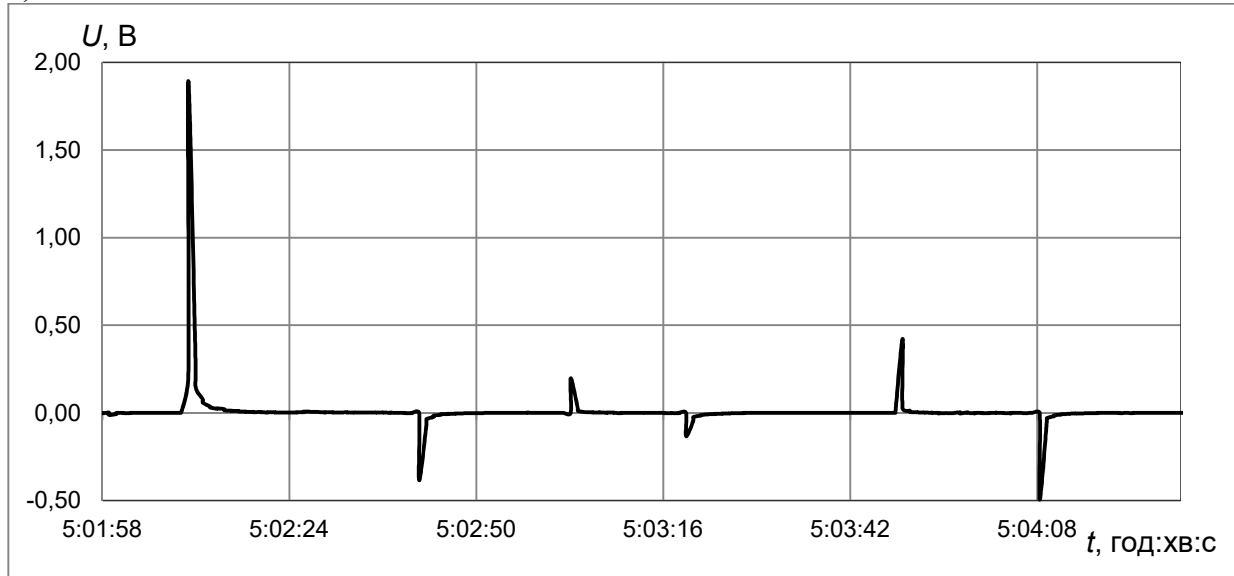
Таблиця 4.10

Максимальні та мінімальні величини  
наведених на арматуру зразків потенціалів

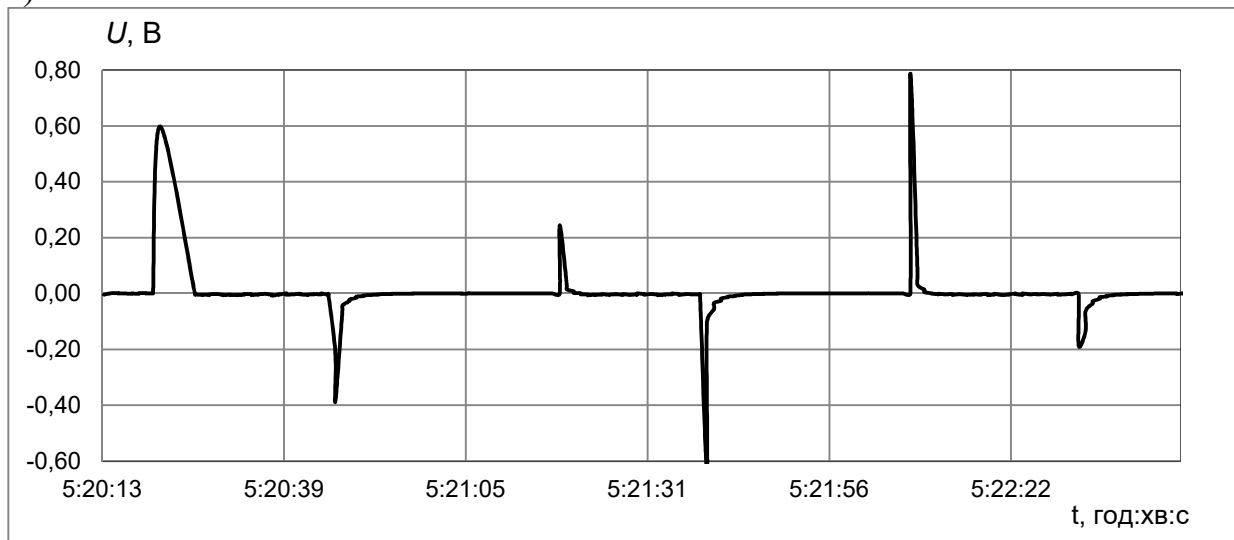
№ п/п	Зразок	Величина потенціалу, наведеного на зразок $U$ , В		Зниження величини потенціалу відносно зразка без захисного екрану $\Delta U$ , %
		$U_{\max}$	$U_{\min}$	
1	без захисного екрану	1,893	-0,496	-
2	із захисним екраном	0,787	-0,646	58
3	із заземленим захисним екраном	-0,082	-0,100	100

Як видно із рис.4.33, після подавання різниці потенціалів на електроди експериментальної установки потенціал на арматурі зразка без захисного екрану досягає величини 1,983 В, із захисним екраном - 0,787 В, із заземленим захисним екраном - мінус 0,082. Після зняття різниці потенціалів потенціал в арматурі зразка змінюється до негативних величини (табл. 4.10).

а)



б)



в)

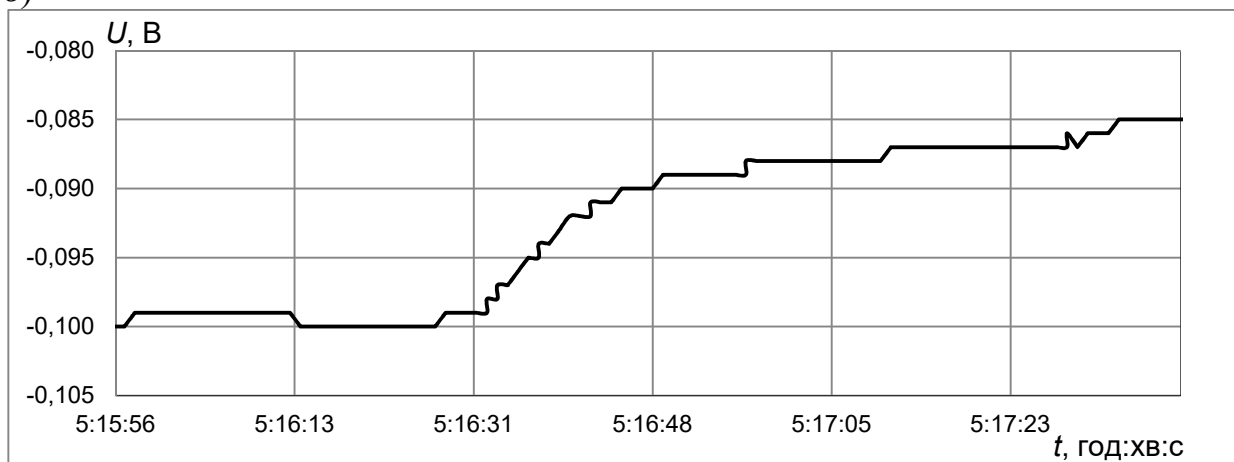


Рис. 4.33 Залежність електричного потенціалу  $U$ , B, наведеного електричними полем від пульсуючого постійного електричного потенціалу 5 кВ, на арматуру зразка: а - без захисного екрану; б - із захисним екраном; в - із заземленим захисним екраном

Таким чином, за рахунок застосування захисного екрану (табл. 4.10, рис. 4.33) величина потенціалу, наведеного на залізобетонні конструкції електричними полями, створюваними контактною мережею електрифікованої постійним струмом залізниці, знижується на 58 %, а у разі застосування заземленого екрану потенціал майже не наводиться.

#### **4.3.2 Заземлені екрани із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем**

Згідно з методикою п. 2.2.3 проведено дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідної силікатної композицій з наповнювачем - графітовим порошком на основі отвердженого кремнійфтористим натрієм силікату натрію.

Результати дослідження у вигляді залежностей сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  без захисного екрану (контрольної) та із захисним екраном та зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі із захисним екраном у порівнянні з моделлю без захисту  $\Delta I_{аб}$  від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  наведені у табл. 4.10 і на рис. 4.34. Для порівняння на рис. 4.34 наведені такі ж залежності для електропровідної композиції на основі портландцементу [18, 116].

Як бачимо із рис. 4.34, у разі сухого стану ґрунту (на початку експерименту за  $t = 0$ ) сила струму  $I_{аб}$  і  $I_{зе}$  мінімальна як у моделі споруди без захисту, так і у моделях із захисними екранами. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки, причому у порівнянні з моделлю без захисту сила струму  $I_{аб}$  у моделі з екраном із композиції на основі силікатів натрію і кальцію менша на 33–59 %, а з екраном із композиції на основі портландцементу – менша на 48–65 % (рис. 4.34).

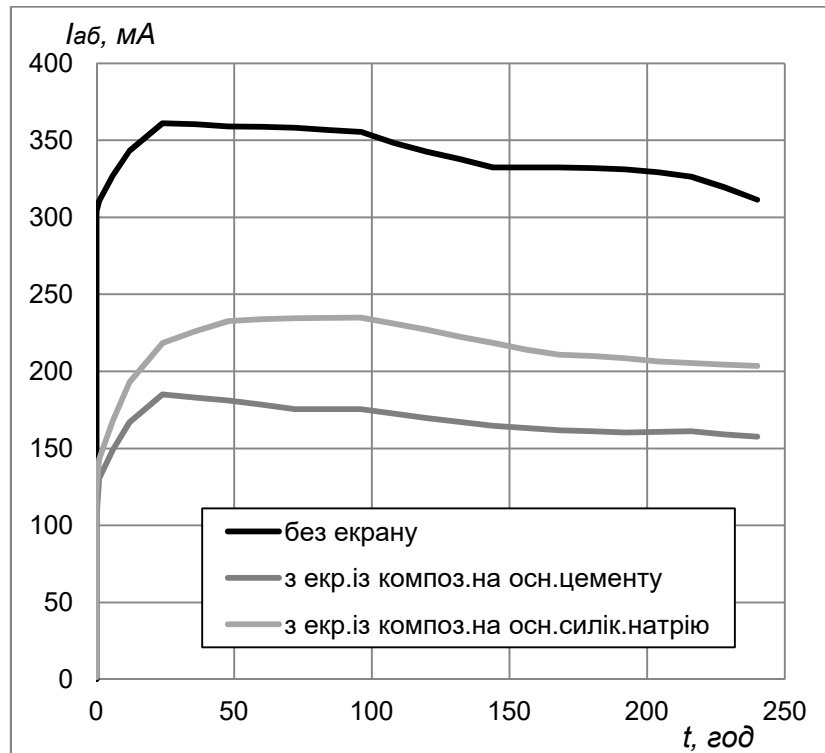
Як видно із рисунку 4.34, захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі  $I_{аб}$  за рахунок протікання частини струму  $I_{зе}$  крізь захисний екран.

Таблиця 4.11

Результати дослідження ефективності екранів із силікатної композиції  
для захисту споруд від електрокорозії

Стан ґрунту	Час, год	Сила струму крізь арматуру і бетон $I_{аб}$ і крізь захисний екран $I_{зе}$ , мА, у моделях:							
		контрольний без екрану	з екраном на зразку №						$\Delta I_{аб},$ %
			1		2		сер		
		$I_{аб}$	$I_{аб}$	$I_{зе}$	$I_{аб}$	$I_{зе}$	$I_{аб}$	$I_{зе}$	
сухий	0	0.052	1.77	1.56	1.180	1.390	1.475	1.475	2736.5
після водо- насичення ґрунту протя- гом часу	0	304.1	132.2	256.2	112.1	242.4	122.2	249.3	-59.8
	1	310.5	153.3	360.2	132	320.4	142.7	340.300	-54.1
	6	327.2	176.4	380.3	159.4	345.60	167.9	362.95	-48.7
	12	343.3	199.2	401.2	186.8	370.20	193	385.70	-43.8
	24	361	222.3	420	214.3	393.20	218	406.60	-39.5
	36	360.4	228.7	238.2	223.1	408.50	226	323.35	-37.3
	48	359.1	235	456.4	230.2	423.10	233	439.75	-35.2
	60	358.7	235.8	444.7	231.8	417.20	234	431.0	-34.8
	72	358.2	236.2	432.5	233	411.5	235	422.0	-34.5
	84	356.7	235.4	359.8	234.2	429.8	235	394.8	-34.2
	96	355.5	234.9	390.2	235.1	350.1	235	370.2	-33.9
	108	348.3	231.2	376.3	230.7	341.2	231	358.8	-33.7
	120	342.5	227.8	362.7	226.3	332.8	227	347.8	-33.7
	132	337.8	223.2	348.2	221.9	323.1	223	335.7	-34.1
	144	332.5	219.5	332.5	217.5	313.5	219	323.0	-34.3
	156	332.4	215.3	324.7	213.1	303.9	214	314.3	-35.6
	168	332.5	212.5	317.5	209.2	293.20	211	305.35	-36.6
	180	331.9	211.7	313.20	208.1	291.30	210	302.25	-36.8
	192	331.2	210.1	309.50	206.9	288.70	209	299.10	-37.0
	204	329.2	208.2	304.90	204.8	281.20	207	293.05	-37.3
216	326.3	207.1	299.50	203.7	274.30	205	286.90	-37.1	
228	319.6	206.1	292.30	202.6	269.20	204	280.75	-36.1	
240	311.5	205.4	284.50	201.5	263.80	203	274.15	-34.7	

a)



б)

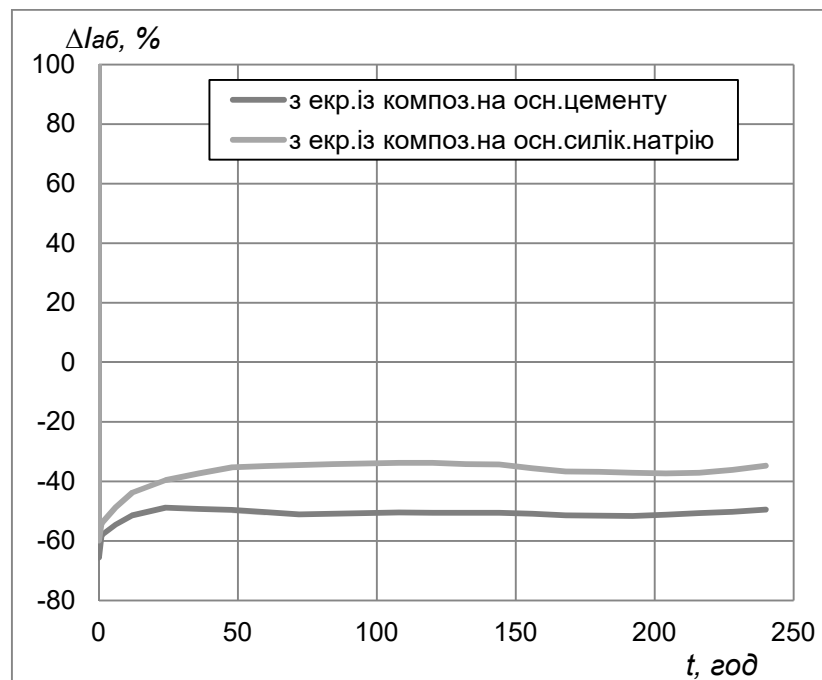


Рис. 4.34 Залежність сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{a\delta}$  без захисного екрану (контрольної) та із захисними екранами з композицій на основі цементу і силікатів натрію і кальцію (a) і зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі із захисними екранами у порівнянні з моделлю без захисту  $\Delta I_{a\delta}$  (б) від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$

Було припущено, що захисні властивості заземленого екрану залежать також від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із струмопровідної композиції (рис. 2.6) і мають збільшуватись із збільшенням цього відсотку. Подальше дослідження виконано з метою встановлення залежності захисних властивостей заземлених екранів із електропровідних композицій на основі портландцементу і отверджуваного кремнійфтористим натрієм силікату натрію з наповнювачем – графітовим порошком від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном.

У табл. 4.11 і на рис. 4.35 і 4.36 наведені залежності сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  (а) і захисний екран  $I_{зе}$  (б) від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$  (0 - без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3).

На рис. 4.37 наведено залежності зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі із захисними екранами у порівнянні з моделлю без захисту  $\Delta I_{аб}$  від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$ .

На рис. 4.38 наведено залежності максимальної величини  $I_{max}$  сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  і захисний екран  $I_{зе}$  від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$

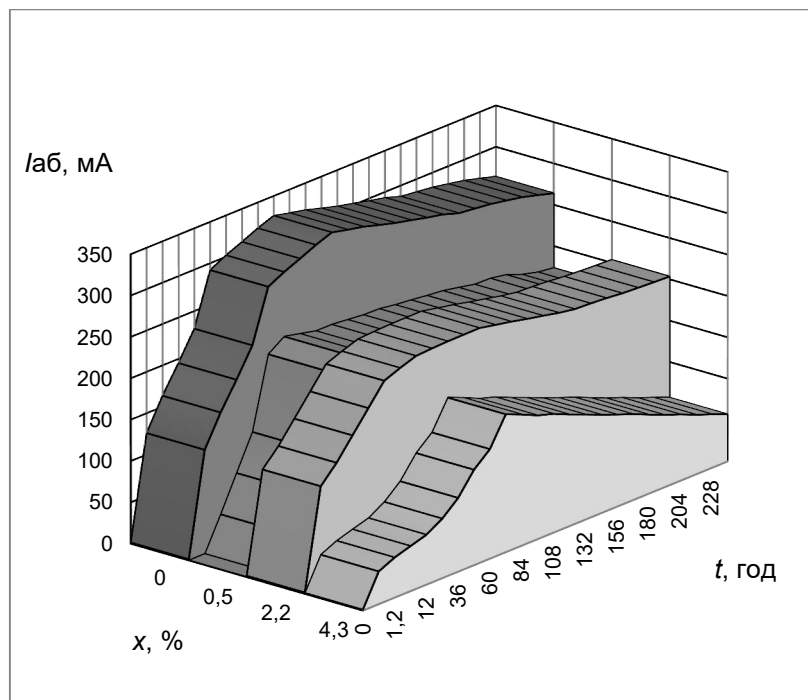


Таблиця 4.12

Результати дослідження ефективності екранів із силікатної композиції для захисту споруд від електрокорозії з різним відсотком площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном

Стан ґрунту	Час год	Сила струму крізь арматуру і бетон $I_{аб}$ , мА, у моделях без екрану	Сила струму крізь арматуру і бетон $I_{аб}$ і крізь захисний екран $I_{зе}$ , зниження сили струму крізь арматуру і бетон за рахунок застосування екрану $\Delta I_{аб}$ у моделях з екраном із композиції на основі силікату натрію з різним відсотком площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном $x$ :								
			$I_{аб}$ , мА			$I_{зе}$ , мА			$\Delta I_{аб}$ , %		
			0	0,5	2,2	4,3	0,5	2,2	4,3	0,5	2,2
сухий	0	1,3	0,0	1,5	1,0	0,004	1,5	2,74	-75,2	2736,5	-74,3
через час після водонасичення ґрунту	0	125,8	0,0	122,2	39,4	0,036	249,3	198,3	10,5	-59,8	-46,2
	1,2	163,1	40,0	142,7	48,4	0,042	340,3	236,3	-39,8	-54,1	-56,9
	6	194,8	82,1	167,9	54,4	2,18	363,0	242,2	-26,7	-48,7	-62,6
	12	228,6	123,9	193,0	60,2	4,40	385,7	247,2	-24,9	-43,8	-66,1
	24	291,6	210,0	218,3	71,8	9,00	406,6	258,5	-21,6	-39,5	-70,8
	36	301,6	223,5	225,9	89,0	8,90	323,4	279,7	-14,4	-37,3	-68,6
	48	309,9	219,0	232,6	115,2	8,70	439,8	302,3	-13,4	-35,2	-63,7
	60	318,6	214,5	233,8	132,3	11,3	431,0	333,2	-15,9	-34,8	-61,3
	72	326,0	214,5	234,6	166,6	16,1	422,0	372,1	-16,2	-34,5	-54,2
	84	321,4	212,5	234,8	158,4	16,1	394,8	356,5	-15,0	-34,2	-55,7
	96	317,3	210,5	235,0	149,5	15,4	370,2	337,5	-14,4	-33,9	-57,3
	108	311,5	210,0	231,0	143,6	14,1	358,8	322,8	-12,9	-33,7	-58,4
	120	306,1	207,0	227,1	135,0	13,2	347,8	308,0	-12,3	-33,7	-60,3
	132	301,7	205,0	222,6	127,1	11,9	335,7	293,3	-12,4	-34,1	-61,9
	144	296,9	202,5	218,5	119,0	10,8	323,0	278,7	-12,0	-34,3	-63,7
	156	292,9	200,5	214,2	111,4	10,4	314,3	263,6	-10,5	-35,6	-65,5
	168	286,6	196,5	210,9	104,1	9,90	305,4	250,8	-6,9	-36,6	-67,1
	180	284,3	192,5	209,9	95,7	8,65	302,3	237,9	-8,3	-36,8	-69,3
192	282,0	192,0	208,5	87,3	7,55	299,1	224,2	-8,1	-37,0	-71,5	
204	278,5	188,5	206,5	80,2	6,55	293,1	210,7	-8,9	-37,3	-73,2	
216	274,7	181,0	205,4	71,9	5,60	286,9	198,8	-11,7	-37,1	-75,4	
228	269,4	176,0	204,4	64,7	4,45	280,8	187,3	-12,9	-36,1	-77,4	
240	263,9	173,5	203,5	56,9	3,90	274,2	173,5	-13,3	-34,7	-79,7	
тах		326,0	223,5	235,0	166,6	16,1	439,8	372,1	-75,2	-59,8	-79,7
сер (від 36 до 180 год)		305,7	208,3	225,4	126,7	11,9	359,1	302,8	-12,7	-35,0	-62,1

a)



б)

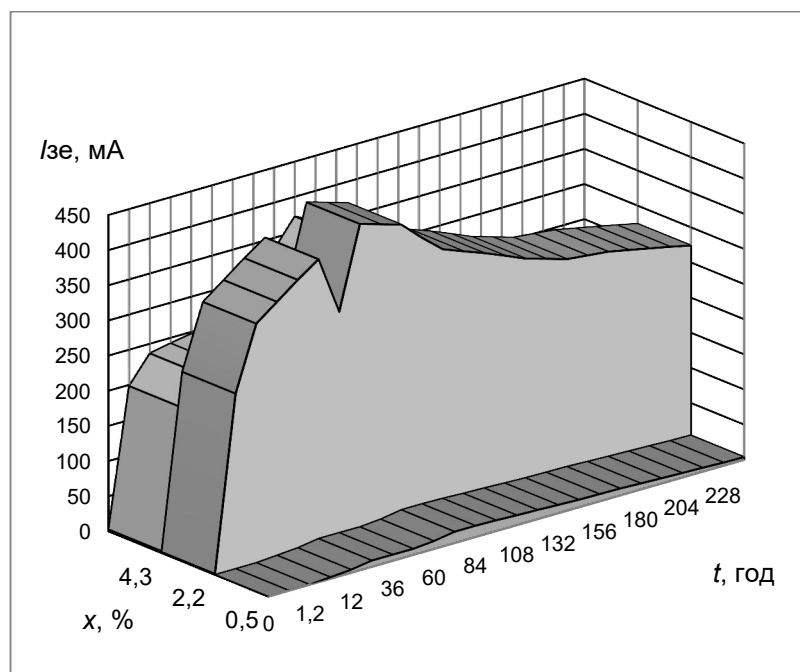
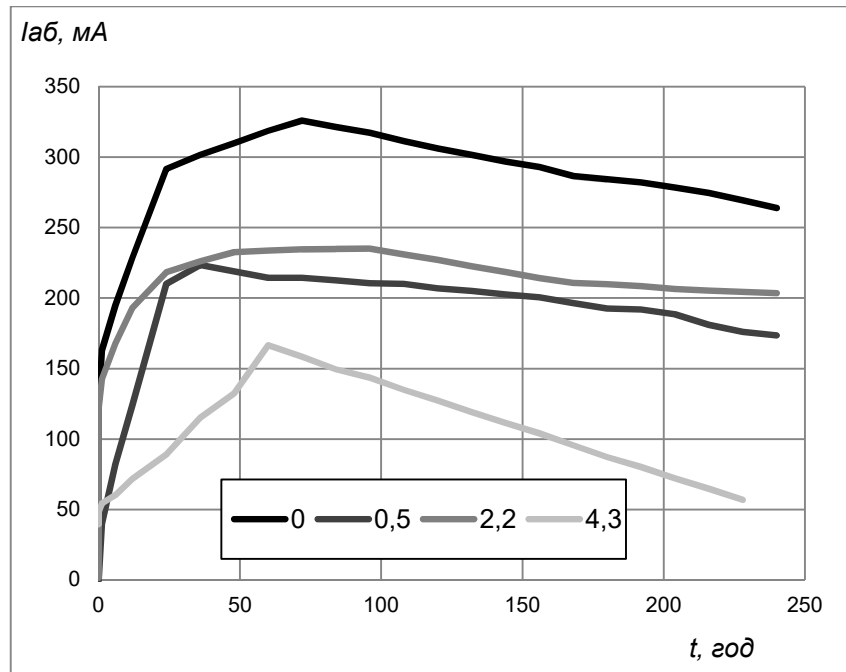


Рис. 4.35 3D-моделі залежності сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  (a) і захисний екран  $I_{зе}$  (б) від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$  (0 - без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3)

в)



г)

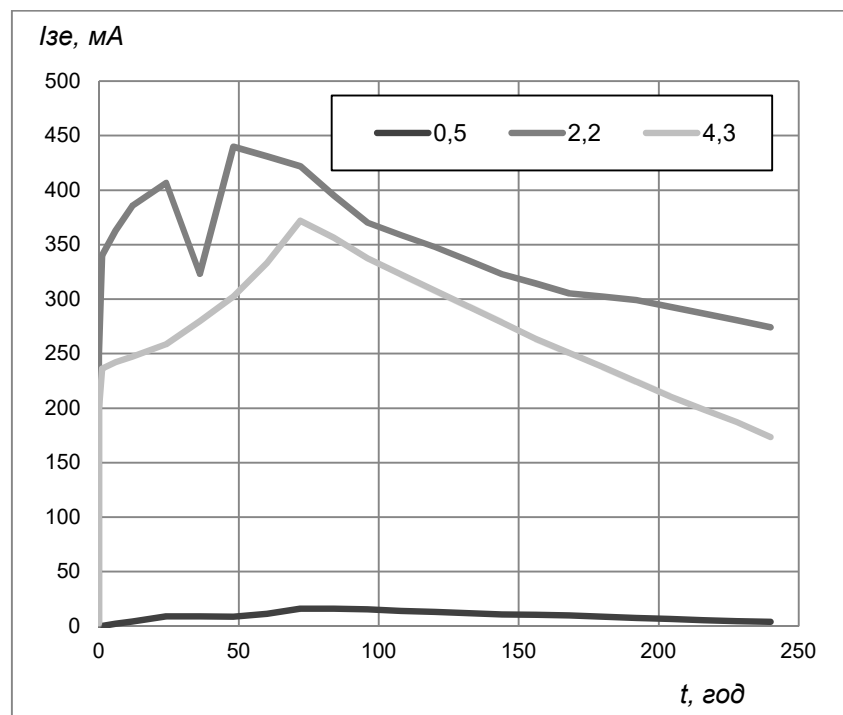


Рис. 4.36 Залежності сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  (а) і захисний екран  $I_{зе}$  (б) від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$  (0 - без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3)

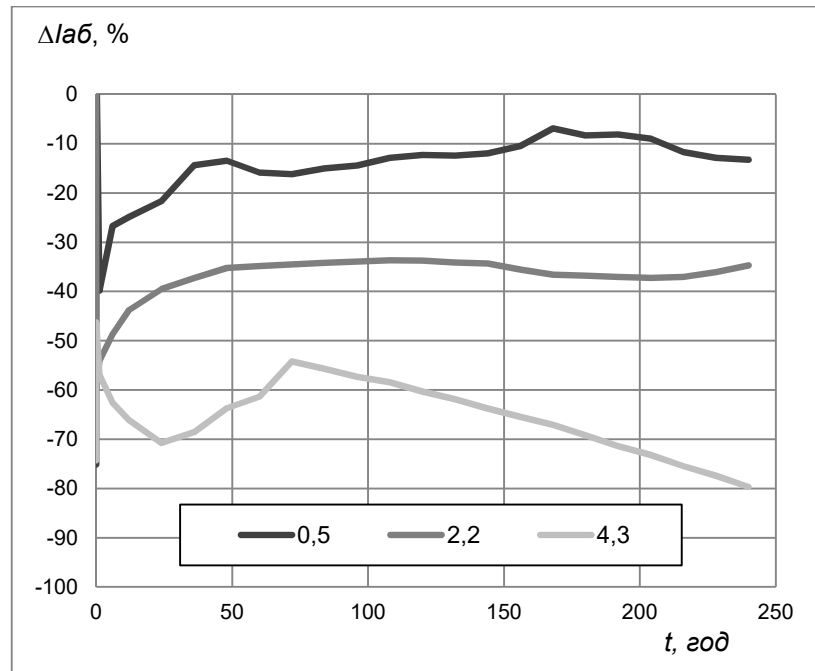


Рис. 4.37 Залежності зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі із захисними екранами у порівнянні з моделлю без захисту  $\Delta I_{аб}$  від часу з моменту водонасичення ґрунту  $t$  за різних відсотків площі контакту сталевго електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$  (0 – без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3)

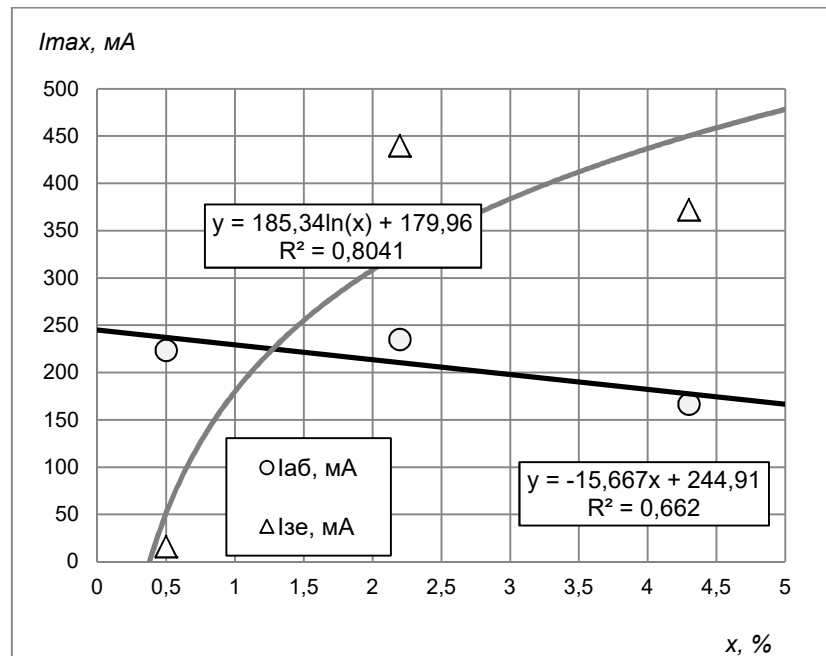


Рис. 4.38 Залежності максимальної величини  $I_{max}$  сили струму крізь арматуру і бетон моделі  $I_{аб}$  і захисний екран  $I_{зе}$  від відсотка площі контакту сталевго електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції на основі силікату натрію  $x$

Аналіз табл. 4.10 та рис. 4.35–4.38 показав, що захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку сила струму  $I_{аб}$  знижується, а  $I_{зе}$  зростає (рис. 4.38). У разі застосування екрану із композиції на основі силікату натрію з  $x = 0,5 \%$   $I_{аб}$  знижується на  $\Delta R_{аб} = 10\text{--}15 \%$ ,  $x = 2,2 \%$  – на  $35\text{--}40 \%$ ,  $x = 4,3 \%$  – на  $65\text{--}70 \%$ . Це підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

Таким чином, розвинуто експериментальну методику дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідних силікатних композицій для захисту споруд від електрокорозії струмами витоку, що полягає у порівнянні величини електричного струму, який протікає крізь арматуру і бетон моделі споруди без захисного екрану та моделі споруди із захисним екраном, і визначенні величини зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі із захистом у порівнянні з моделлю без захисту.

Експериментально підтверджена ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

Встановлено, що у разі сухого стану ґрунту сила струму як крізь бетон і арматуру мінімальна як у моделі споруди без захисту, так і у моделях із захисними екранами. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки.

Захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі  $I_{аб}$  за рахунок протікання частини струму  $I_{зе}$  крізь захисний екран.

Захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку сила струму  $I_{аб}$  знижується, а  $I_{зе}$  зростає. У разі застосування заземленого екрану з відсотком площі контакту електроду заземлення з ним до  $4,3 \%$  сила струму крізь бетон і арматуру знижується для композиції на основі силікату натрію – на  $65\text{--}70 \%$ .

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. В результаті пошукових експериментальних досліджень встановлено, що питомий електричний опір композицій із металевих наповнювачів і силікату натрію (рідкого скла) перевищує  $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , а із графітових наповнювачів і силікату натрію не перевищує декількох  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ , що обумовлене утворенням на поверхні металевих частинок гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на поверхнях розподілу та, відповідно, підвищують загальний опір, та відсутністю таких плівок на поверхні частинок графіту. Перколяція композиції за електропровідністю спостерігається за вмісту графіту 50–60 % за масою від вмісту силікату натрію. Проте композиції з силікату натрію і графітових наповнювачів характеризуються недостатньою водостійкістю не більше 0,2. Для розробки електропровідної композиції обрано матрицю із силікату натрію, а наповнювач – графітовий порошок.

2. В результаті експериментальних досліджень впливу складу на електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості силікатних композицій на основі силікату натрію, кремнійфториду натрію, графітового наповнювача і доменного меленого гранульованого шлаку встановлено наступне.

2.1. Уведення графітового наповнювача обумовлює зниження питомого електричного опору композиції у повітряно-сухому стані до величин менше  $1\text{--}0,3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Мінімальні величини питомого електричного опору спостерігаються за відносним вмістом графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  0,2–0,8. Зменшення або збільшення вмісту графітового наповнювача обумовлює зростання питомого електричного опору.

2.2. На питомий електричний опір композиції впливає рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$ . Залежність має екстремальний характер – мінімальні величини питомого електричного опору порядку  $0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  спостерігаються за відносним вмістом силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  0,4–0,5. Зменшення або збільшення вмісту силікату натрію обумовлює зростання питомого електричного опору.

2.3 Водостійкість композиції в найбільшому ступені визначається рідинно-твердим відношенням  $СН/(Г+Ш)$ . Максимальні величини коефіцієнту водостійкості (розм'якшення), що досягають 0,8, спостерігаються за  $СН/(Г+Ш) = 0,3-0,4$ . Збільшення  $СН/(Г+Ш)$  обумовлює зниження водостійкості, проте аж до величини  $СН/(Г+Ш)=1$  коефіцієнт водостійкості залишається більшим 0,6, отже, водостійкість залишається задовільною.

2.4. На водостійкість композицій впливає відносний вміст графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $Г/(Г+Ш)$ . Коефіцієнт водостійкості перевищує 0,6 за величин відносного вмісту графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $Г/(Г+Ш)$  понад 0,7.

2.5. Уведення в композицію, що не містить кремнійфториду натрію, графітового наповнювача обумовлює зниження її питомого електричного опору у повітряно-сухому стані до величин порядку 0,2–0,3 Ом×м.

2.6. На питомий електричний опір композиції, що не містить кремнійфториду натрію, впливає рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $СН/(Г+Ш)$ . Залежність має екстремальний характер – мінімальні величини питомого електричного опору порядку 0,2–0,3 Ом×м спостерігаються за  $СН/(Г+Ш) 0,7-0,9$ . Зменшення або збільшення вмісту силікату натрію обумовлює зростання питомого електричного опору, отже, його вміст 0,7–0,9 є оптимальним.

2.7. Композиція, що не містить кремнійфториду натрію, є задовільно водостійкою з коефіцієнтом водостійкості 0,6–0,66 лише за відносним вмістом силікату натрію  $СН/(Г+Ш) = 0,75-1$  і  $СН/Ш = 2$ . Уведення кремнійфториду натрію обумовлює підвищення водостійкості композиції.

2.8. У композиції, що як наповнювач містить тільки графітовий порошок, під час твердіння утворюються усадкові тріщини. Уведення меленого доменного гранульованого шлаку у кількості не менше 0,1 від кількості силікату натрію запобігає утворенню усадкових тріщин.

2.9. Мінімальні величини питомого електричного опору композиції, що містить кремнійфторид натрію, спостерігаються за відносним вмістом

графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  0,4–0,6. Зменшення або збільшення вмісту наповнювача обумовлює зростання питомого електричного опору.

2.10. На питомий електричний опір силікатної композиції, що містить кремнійфторид натрію, рідинно-тверде відношення – відносний вміст силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  і  $\text{СН}/\text{Ш}$  впливає несуттєво. Зі збільшенням  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  і  $\text{СН}/\text{Ш}$  питомий електричний опір композиції дещо знижується.

2.11. Зволоження і водонасичення силікатної композиції обумовлює зниження її питомого електричного опору, який досягає мінімальних величин через 1 годину контакту покриття із неї з водою.

2.12. Для силікатних композицій з графітовими наповнювачами потрібні електрофізичні характеристики перебувають в антагонізмі з фізико-механічними та гідрофізичними властивостями, отже, розробка їх рецептур має здійснюватись методами компромісної оптимізації.

3. В результаті фізико-хімічних досліджень встановлено наступне.

3.1 Аналіз інфрачервоних спектрів проглинання і рентгенофазовий аналіз в цілому підтвердили уявлення про те, що силікат натрію, отверджений діоксидом вуглецю повітря, містить переважно гель кремнійкислоти; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, – гель кремнійкислоти та фторид натрію; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію з добавкою доменного гранульованого шлаку, – гель кремнійкислоти, гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гідросилікати кальцію, але не містить фторид натрію. При цьому гідроалюмосилікатів кальцію і натрію міститься менше, ніж у камені шлаку, отвердженого силікатом натрію (шлаколужного в'язучого).

Хімічної взаємодії графіту з силікатом натрію та іншими компонентами композиції фізико-хімічними методами не виявлено, отже, графіт залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

3.2 Скануюча електронна мікроскопія з рентгенівським мікроаналізом показала, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, з



добавкою графіту, має структуру композиційного матеріалу з наповнювачем із рівномірно розподілених по поверхні частинок графіту  $C$ , і матрицею із продуктів взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію, по якій рівномірно розподілені такі елементи, як кисень  $O$ , кремній  $Si$ , фтор  $F$ .

Підтверджено, що внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію утворюються нові продукти переважно гелеподібної будови та про відсутність хімічної взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію з графітом, який залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

4. В результаті експериментальних досліджень ефективності захисних екранів як заходу від електрокорозії конструкцій на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, встановлено наступне:

4.1. Для залізобетонних конструкцій, зокрема прогонових споруд, розташованих поблизу контактної мережі, застосування захисного екрану знижує величину наведеного електричним полем на арматуру потенціалу на 58 %. У разі застосування заземленого екрану потенціал майже не наводиться.

4.2. Для опор пасажирських платформ у разі сухого стану ґрунту сила струму, що стікає з рейок, крізь бетон і арматуру мінімальна як у моделі споруди без захисту, так і у моделях із захисними екранами. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки.

4.3. Захист заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції забезпечує зниження сили струму  $I_{аб}$  крізь бетон і арматуру моделі за рахунок протікання частини струму  $I_{зе}$  крізь захисний екран.

4.4. Захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку  $I_{аб}$  знижується, а  $I_{зе}$  зростає. У разі застосування заземленого екрану з відсотком площі контакту електроду заземлення з ним близько 4 % сила струму крізь бетон і арматуру знижується на 65–70 %.

## РОЗДІЛ 5

### ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **5.1 Розробка системи моніторингу технічного, у т.ч. корозійного, стану цивільних будівель та споруд залізниць**

Системи моніторингу технічного, у т.ч. корозійного, стану цивільних будівель та споруд залізниць під час свого функціонування та під час прийняття системою або оператором за її допомогою рішення щодо захисту або відновлення експлуатаційних властивостей мають розв'язувати певні технічні протиріччя.

Автором запропоновано для розв'язання технічних протиріччя у будівельній галузі застосовувати метод Альтшуллера. Метод заснований на теорії технічних систем, а саме - на вирішенні технічних протиріччя. Простий приклад технічного протиріччя: у стародавнього будівельника, який використав в якості перекриттів плити з природного каменю, в якійсь момент виникла необхідність збільшити несучу здатність плит (і за рахунок цього - міцність конструкції). Очевидним (для стародавнього будівельника) способом досягти цього було, ймовірно, збільшення товщини суцільнокам'яної плити. Однак збільшення товщини плити призводило до збільшення навантаження на несучі стіни і фундамент. Отже, спроба збільшити міцність конструкції реалізувалася через збільшення ваги її елементів, що призводило до зниження міцності конструкції; парадокс (або технічне протиріччя).

Метод Альтшуллера заснований на системі з 40 прийомів дозволу технічних протиріччя. Ця система зводить нескінченне число рішень технічних протиріччя до обмеженого числа прийомів (принципів) їх дозволу. Фрагмент цієї системи наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

## Фрагмент списку прийомів вирішення технічних протиріч

Прийом	Найменування прийому
1	Принцип дроблення: а) поділити об'єкт на незалежні частини; б) виконати об'єкт розбірним; в) збільшити ступінь дроблення, розплавити геть до атомів
...	....
27	Принцип дешевої недовговічності замість дорогої довговічності: застосувати набір дешевих об'єктів
...	....
40	Застосування композиционных матеріалів

Однак оцінювати можливість застосування послідовно кожного з 40 прийомів для вирішення завдання є занадто трудомістким процесом. Тому розробником методу була сформована таблиця застосування прийомів вирішення технічних протиріч (табл. 5.2). Для використання таблиці потрібно проаналізувати відомий спосіб поліпшення основного параметра системи і визначити, який параметр при застосуванні відомого способу погіршується. Таблиця є квадратною матрицею; по вертикалі - параметр, який винахідник намагається поліпшити (умовно позначений як X), всього 39 параметрів; по горизонталі - параметр, який може погіршитися при застосуванні відомого способу (умовно позначений як Y).

Рішення задачі може виглядати так. Параметр, який хочемо поліпшити (X, табл. 5.2) - 14. Міцність; параметр, який погіршується внаслідок нарощування товщини суцільнокам'яної плити (Y) - 02. Вага нерухомого об'єкта 14x2-> 40, 27, 1. З табл. 5.1 знаходимо і намагаємося застосувати прийоми з номерами 40,27 і 1.

Таблиця 5.2

Фрагмент таблиці застосування прийомів розв'язання  
технічних протиріч

Параметр, що погіршується при застосуванні відомого способу, Y	01. Вага рухомого об'єкту	02. вага нерухомого об'єкту	03. Довжина рухомого об'єкту	...	39. Продуктивність
Параметр, який хочемо поліпшити, X					
01. Вага рухомого об'єкту					
14. Міцність	1,8,40,15	40,27,1	1,15,8,35		29,35,10,14
39. Продуктивність	35,26,24,37	28,27,15,3	18,4,28,38	...	...

Прийом 40 (табл.5.1, застосування композиційних матеріалів) - армованих залізобетонних плит перекриття. Прийом 27 (принцип дешевих недовговічні замість дорогої довговечності) - замість кам'яних плит перекриття можуть бути використані дерев'яні перекриття. Прийом 1 (принцип дроблення) - розділити об'єкт на незалежні частини, виконати об'єкт розбірним. Конструкція перекриттів може бути виконана у вигляді плит з горизонтальною орієнтацією і встановлених під ними плит з вертикальною орієнтацією перетину (останні виконують функцію ребер жорсткості).

Отже, на основі рекомендованих прийомів 40, 27, 1 сформульовані ідеї, які реалізовані під час розробки за участю автора системи моніторингу технічного стану інженерних споруд та будівель залізниць [14].

Розроблена система моніторингу дозволяє ранжувати ділянки інженерних споруд та будівель за ступенем небезпеки, виявляти найбільш небезпечні місця, що вимагають додаткового обстеження, ремонту, захисту від корозії. Основними складовими системи є моніторинг стану ґрунтів основ споруд та

будівель (Додаток Д), розробка якого ґрунтувалась на [190–204], а також виявлення електрокорозійної небезпеки (Додати Б,В).

Показно можливість застосування цієї системи для моніторингу електрокорозійного стану конструкцій і керування заходами з їх захисту від електрокорозії. У цьому випадку датчиками електрокорозійного стану є міліамперметри, а виконавчими механізмами - джерела струму. У разі перевищення струмом витоку, що протікає через конструкцію, допустимих значень, система може накласти на конструкцію протипотенціал до зниження сили струму витоку аж до нульового значення.

Розроблено критерій вибору варіанту конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту від електрокорозії опор високих пасажирських платформ (рис. 5.1):

1) якщо опори ще не зазнали пошкоджень, проте сила струму, що протікає крізь них, перевищує критичне значення, має обиратись варіант екранного захисту за допомогою електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем;

2) якщо опори зазнали пошкоджень, які не спричиняють зниження несучої здатності, але обумовлюють зниження довговічності за рахунок подальшого розвитку, має обиратись варіант ремонту поверхні та екранного захисту за допомогою електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем;

3) якщо пошкодження опори спричиняють зниження несучої здатності на момент обстеження, має обиратись варіант ремонту з відновленням несучої здатності – металоін'єкційною сорочкою з її заземленням для захисту від електрокорозії;

4) якщо пошкодження опори спричиняють повну втрату несучої здатності на момент обстеження, опора підлягає повній заміні новою конструкцією.



Рис. 5.1 Схеми вибору способу захисту та ремонту опор високих пасажирських платформ в залежності від їх стану

## 5.2 Склад електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електричних впливів

Для реалізації функціонування системи, запропонованої у 5.1, розроблено склад електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача [4] та електропровідної шпаклювальної силікатної композиції на основі рідкого скла з графітовим наповнювачем [5] (Додаток А).

За результатами експериментальних досліджень визначені межі потрібних властивостей силікатної композиції і межі структурних характеристик, які їх забезпечують (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Межі потрібних властивостей силікатної композиції і межі структурних характеристик, які їх забезпечують

Структурні характеристики складів	Величини структурних характеристик складів електропровідних силікатних композицій ЕСК, що забезпечують:								
	мінімальні (менше 2) і допустимі (менше 100 показники питомого електричного опору $\rho$ , Ом $\times$ м			максимальні (понад 0,7) і допустимі (понад 0,6) показники водостійкості $K_{вн}$ (понад 0,6)			допустимі (компромісні) величини показників питомого електричного опору та водостійкості		
	всі ЕСК	ЕСК без КФН	ЕСК з КФН	всі ЕСК	ЕСК без КФН	ЕСК з КФН	всі ЕСК	ЕСК без КФН	ЕСК з КФН
$\frac{H}{\Gamma+Ш}$	0,2–0,8	0,5–0,7	0,4–0,6	>0,7	0,5	>0,6	0,7–0,8	0,5	
$\frac{CH}{\Gamma+Ш}$	0,4–0,6	0,2–0,3	>0,6	0,3–0,5	0,5	>0,75	0,3–0,4	0,4	

Електропровідна шпаклювальна силікатна композиція на основі рідкого скла з графітовим наповнювачем призначена для захисту бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій від руйнівного впливу струмів витоку та блукаючих струмів.

Під час її розроблення за аналоги прийняті кислототривкі кварцово-кремнійфтористі композиції [140, 205, 206], що містять натрієве рідке скло, кремнійфтористий натрій та кислототривкий висококремнеземистий наповнювач у вигляді кварцового, андезитового або діабазового порошку. Однак

означені композиції є неводостійкими, мають невисоке зчеплення з портландцементним бетоном, що обмежує їхнє застосування.

Як прототип обрана кислототривка в'яжуча композиція [207], що готується з рідкого скла, кремнійфтористого натрію і двокомпонентного кислототривкого наповнювача. Наповнювач складається з висококремнеземистого кварцового, андезитового або діабазового порошку і тонкомеленого гранульованого доменного шлаку. За рахунок уведення доменного шлаку вдалося підвищити водостійкість розчину та міцність його зчеплення з бетоном. До недоліків відомого розчину слід віднести те, що, незважаючи на свої підвищені показники водостійкості та міцності зчеплення з бетоном, він не є електропровідним і не може бути застосований для захисту від електрокорозії у вигляді захисних екранів, що наносяться шпаклюванням і призначені для відведення від конструкції струмів витоку. Було поставлене завдання отримання шпаклювальної композиції на основі рідкого скла з підвищеними показниками електропровідності.

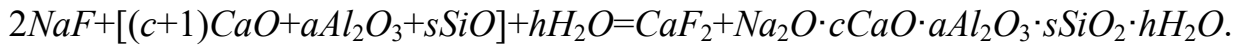
Поставлене завдання розв'язане зміною складу композиції [207] шляхом заміни діабазового наповнювача на графітовий порошок за такого співвідношення компонентів, мас. %:

- скло рідке натрієве - 26-27,
- натрій кремнійфтористий - 5-6,
- шлак доменний гранульований тонкомелений - 6,5-33,
- порошок графітовий - 34-58,
- добавка суперпластифікатора - сульфонафталінформальдегіду сухого - 2-2,5.

Відхилення від складу не дозволяє вирішити поставлену задачу. Струми витоку, блукаючі струми від джерел постійного струму, наприклад електрифікованих залізничних колій, спричиняють електрокорозію арматури залізо-бетонних конструкцій, корозію бетону та розчину бетонних конструкцій і кам'яної кладки [30, 208]. Одним із засобів захисту є відведення блукаючих струмів за допомогою нанесення на поверхню спеціальних розчинів з високими показниками електропровідності, тобто низьким електричним опором,



які виконуються як заземлювані екрани. Графітовий порошок, введений у пропоновану композицію замість діабазового наповнювача, дозволяє підвищити електропровідність. Фторид натрію при взаємодії з мінералами доменного шлаку утворює цеолітоподібні кальцієво-натрієві гідроалюмосилікати і малорозчинний (0,016 г/л) фторид кальцію за схемою:



Утворений фторид кальцію кольматує 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. Пластифікатор було уведено в композицію для кращого перемішування суміші за високого вмісту сухих компонентів.

Композицію готували наступним чином. Спочатку перемішували доменний шлак, кремнійфтористий натрій, графітовий порошок і суперпластифікатор. Потім у перемішану суміш додавали рідке скло. З готової суміші формували зразки для фізико-механічних випробувань згідно з нормативними документами. Зразки витримували 28 діб у повітряних умовах. Аналогічно виготовляли зразки за прототипом. Показники електропровідності сумішей визначали через 2 доби повітряного твердіння за допомогою оригінальної лабораторної установки, наведеної на кресленні. Суміш з пропонованої композиції та суміш за прототипом наносили у вигляді покриття на поверхню зразка-призми 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3, затверділих і витриманих 28 діб.

Електрофізичні характеристики покриття із досліджуваної композиції - питомий електричний опір  $\rho$ , Ом×м та питому електропровідність  $\sigma$ , См/м визначали за методикою п. 2.2.2.

Приклади складів електропровідної шпаклювальної композиції надано в табл. 5.4, а порівняльні результати властивостей - у табл. 5.5.

Таблиця 5.4

## Склади композицій

№	Найменування компонентів	Склад, мас. %			
		1	2	3	Прототип
1	Шлак доменний гранульований тонкомелений	33	19,8	6,5	13,6
2	Наповнювач (порошок графітовий або, у разі позначення *, борошно діабазове)	34	46,2	58	64,1*
3	Натрій кремнійфтористий	5	5,3	6	2,9
4	Суперпластифікатор - сульфонафталінформальдегід	2,0	2,3	2,5	-
5	Силікат натрію (скло рідке натрієве)	26	26,4	27	19,4

Таблиця 5.5

## Електрофізичні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості композицій

№	Показники властивостей	Склади*			
		1	2	3	Прототип
1	Питомий електричний опір, Ом×м	8	5	21	700
2	Питома електропровідність, См/м	0,13	0,20	0,05	0,0014
3	Міцність на стиск у повітряно-сухому стані, МПа	12	11	5	39
4	Коефіцієнт водостійкості (розм'якшення)	0,55	0,65	0,7	0,8

Запропоновані склади електропровідної шпаклювальної композиції мають показники електропровідності майже на 300 % більші, ніж у прототипу, що дозволяє використовувати їх як кислототривкі та захисні покриття від впливу як постійного, так і змінного струму.

Таким чином, розроблено і запатентовано склад електропровідної силікатної композиції, яка містить шлаку доменного гранульованого тонкомеленого - 6,5-33%, порошку графітового - 34-58%, натрію кремнійфтористого 5-6 %, сульфонафталінформальдегіду - 2-2,5%, силікату натрію 26-27 %, який забезпечує питомий електричний опір покриття із нього менше ніж 10 Ом×м.

### **5.3 Технологія виробництва електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електричних впливів**

Розроблено технологічний регламент виробництва сумішей електропровідних композицій (додаток Е), а також технологічну схему виробництва суміші електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії. Технологічну схему наведено на рис. 5.2.

Згідно з цією схемою виготовлення суміші здійснюється у такому порядку:

- 1) підготування основних компонентів – помел доменного гранульованого шлаку, завантаження у бункери меленого шлаку, кремнійфториду натрію, графітового порошку; всі компоненти мають бути сухими з відносною вологістю не більше 0,1%;
- 2) завантаження у бункер силікату натрію (рідкого скла);
- 3) приготування сухої суміші – дозування та змішування меленого шлаку, кремнійфториду натрію, графітового порошку;
- 4) фасування сухої суміші у мішки 15 кг із вологонепроникного паперу;
- 5) розливання силікату натрію у ємності ПЕТ 5 л;
- 5) складування сухої суміші у мішках, силікату натрію у ємностях, відвантаження споживачу.

Для забезпечення якості продукції розроблено систему контролю якості, яка включає:

- вхідний контроль якості матеріалів,
- поопераційний контроль технологічних процесів,
- вихідний контроль якості готової продукції

на відповідність вимогам нормативних документів і технологічного регламенту.

Розроблені параметри контролю якості матеріалів і готової продукції, наведені у табл. 5.1.

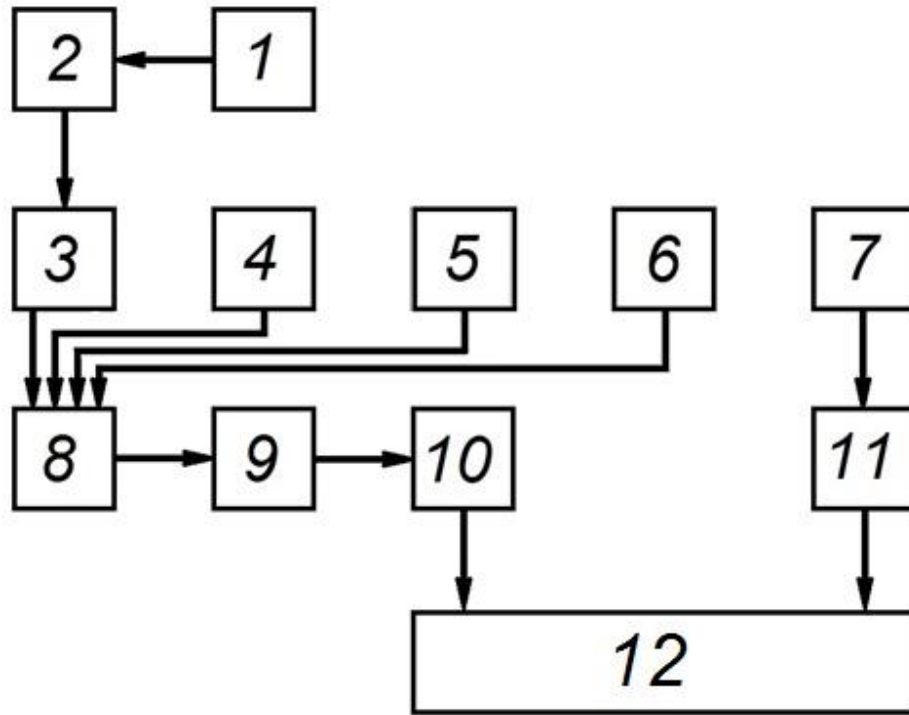


Рис. 5.2. Технологічна схема виготовлення сумішей електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем: 1 – бункер з доменним граншлаком; 2 – помел шлаку; 3 – бункер з меленим шлаком; 4 – бункер з графітовим порошком; 5 – бункер з кремнійфторидом натрію; 6 – бункер з сульфонафталінформальдегідом; 7 – ємність з силікатом натрію; 8 – дозатор (ваги) 100 кг; 9 – змішувач 50 л; 10 – пакувальна машина (паперові пакети 15 кг); 11 – розливна машина (ємності ПЕТ 5 л); 12 – склад готової продукції

Таблиця 5.6

## Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції

Найменування матеріалу	Місце відбору проб	Контрольований параметр		Метод випробування, чинний нормативний документ	Періодичність випробувань
		найменування	величина		
Вхідний контроль якості матеріалів					
Шлак доменний гранульований	Бункер для шлаку	Вміст частинок більших 5 мм	не більше 5 %		Кожна партія шлаку
Графітовий порошок	Бункер для графіту	Вміст частинок більших 0,2 мм	не більше 1 %	Сито 02, ваги електронні	Кожна партія графіту
Кремнійфторид натрію	Бункер для КФН	Зовнішній вигляд	Сухий, без грудок		Кожна партія КФН
Сульфонафтальінформальдегід	Ємкість для СНФ	Зовнішній вигляд	Сухий, без грудок		Кожна партія добавки
Вихідний контроль якості готової продукції					
Готова суха суміш	Змішувач	Вологість	не більше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	1 раз у зміну
		Міцність на стиск	не менше 10 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	
		Міцність зчеплення з основою	не менше 1 МПа	Відриву штапу за ДСТУ Б В.2.7-126	

ТОВ «Віа-Телос» згідно з технологічним регламентом (додаток Е) і наведеною технологічною схемою виготовлено дослідну партію сухої суміші композиції у кількості 0,5 т (додаток Ж).

#### 5.4 Конструктивно-технологічне рішення екранного захисту пасажирських платформ від електричних впливів

Конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем, наведене на рис. 1.37, удосконалене з урахуванням результатів досліджень, отриманих у п. 4.3.2.

У п. 4.3.2 показано, що захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним - зі збільшенням цього відсотку сила струму крізь арматуру та бетон  $I_{аб}$  знижується, а сила струму крізь захисний екран  $I_{зе}$  зростає.

Виходячи з викладеного передбачено на рис. 1.37 деталь сполучення провідника заземлення з екраном у вигляді пластини замінено на пояс навколо опори із смуги шириною 40-50 мм, товщиною 3-5 мм (рис. 5.3) або із кутника з шириною полиці 63 мм товщиною 5 мм (рис. 5.4).

Захисний заземлений екран із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем влаштовують таким чином.

Роботи проводять за температури повітря: середньодобової – не менше 10°C, мінімальної протягом доби – не менше 5°C.

Перед улаштуванням екрану навколо опори на глибину 150 мм видаляють ґрунт. Поверхню опори очищують від бруду, рихлого пошкодженого шару бетону та промивають водою.

По периметру опори збирають сполучну деталь у вигляді кутника (смуги) та закріплюють її зварюванням з туго забитими у попередньо просвердлені отвори анкерами. Під сполучну деталь безпосередньо перед її установленням на опору наносять шар електропровідної композиції товщиною 3–5 мм.

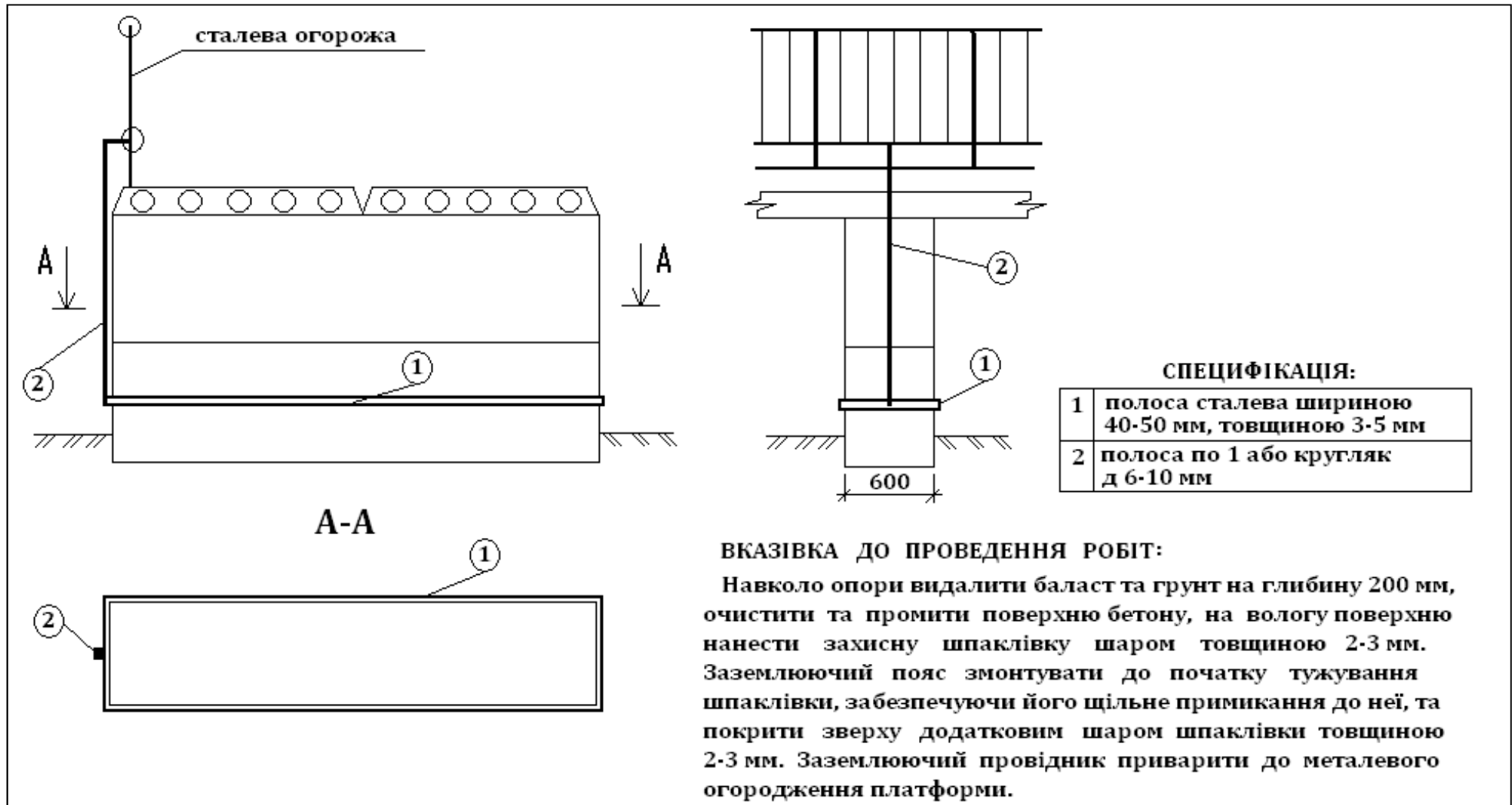


Рис. 5.3 Конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем. Електрод із сталеві смуги

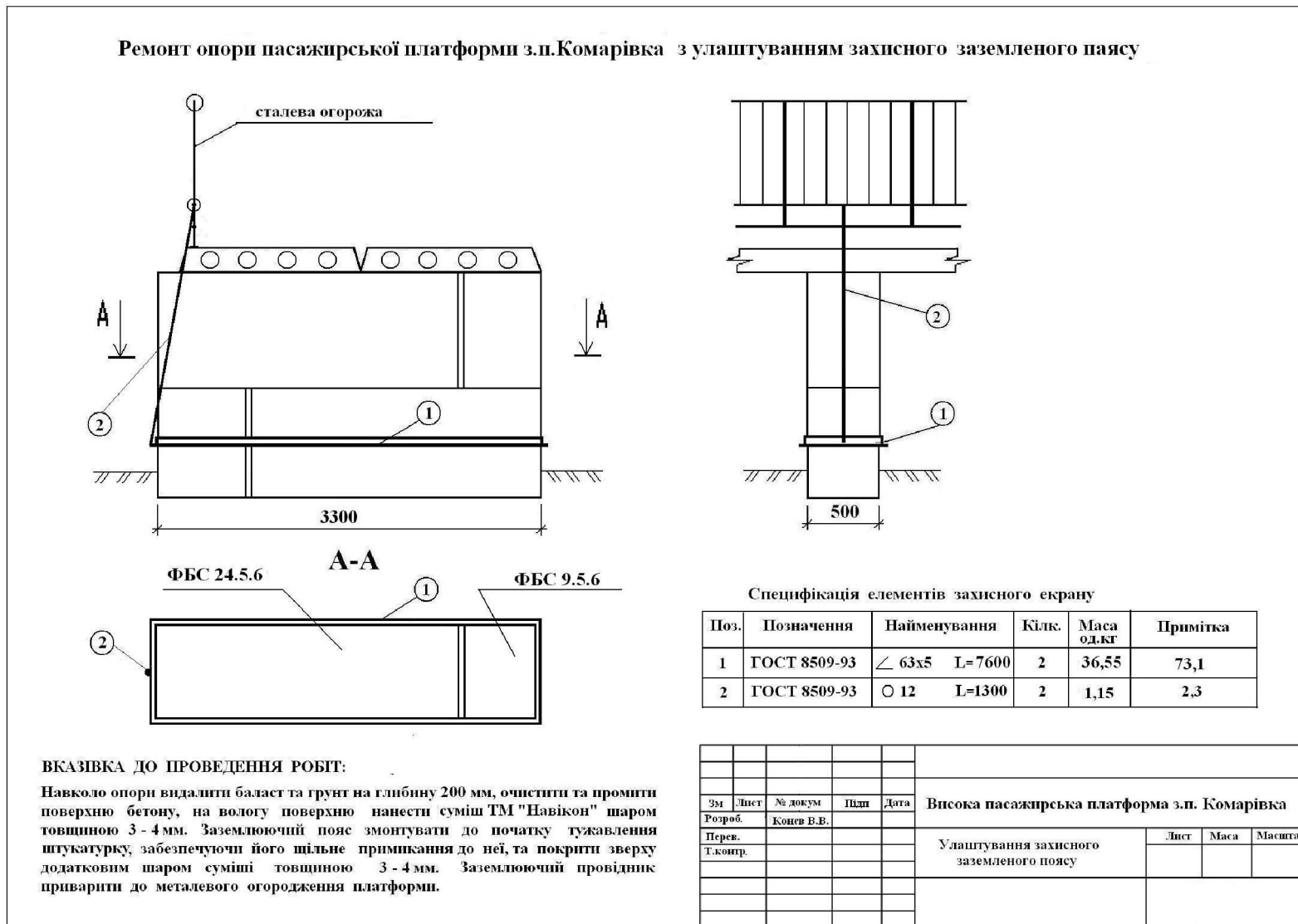


Рис. 5.4 Конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном із електропровідної силкатної композиції з графітовим наповнювачем. Електрод із сталевго кутника



До сполучної деталі за допомогою зварювання або різьбового з'єднання прикріплюють провідник із сталевого дроту діаметром 8 мм, який приєднують до заземлених відповідно рис. 3.1 металевих перил платформи.

Сушу суміш композиції замішують силікатом натрію (рідким склом). Склад композиції приймають за табл. 5.4. Для цього суміш поступово засипають у ємкість об'ємом 10–15 л з попередньо дозованим силікатом натрію, постійно перемішуючи її за допомогою низькообертової електродрілі з насадкою-міксером. Перемішування здійснюють протягом не менше 5 хвилин до візуальної однорідності.

Суміш наносять на попередньо змочену водою поверхню опори, згідно проекту, шаром товщиною 3–5 мм, у т.ч. на поверхню сполучної деталі, прийомами штукатурних робіт.

### **5.5 Дослідно-промислове впровадження екранного захисту конструкцій пасажирських платформ від електричних впливів**

Для дослідного експерименту і дослідно-промислового впровадження обрано пасажирську платформу на з.п. Комарівка регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» (додаток Ж), на якій у жовтні–листопаді 2020 р. виконувався капітальний ремонт. У складі капітального ремонту на частині опор улаштовували захист заземленими екранами із електропровідних композицій згідно з рис. 5.4.

На одну опору нанесено екран із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача та без заземлення, на другу - екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем без заземлення, на третю - екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем із заземленням, на четверту - екран із композиції на основі силікату натрію з графітовим наповнювачем із заземленням згідно рис. 5.4.

Послідовність улаштування заземлених захисних екранів наведена на рис. 5.5-5.8.



Рис. 5.5 Улаштування екранного захисту опор пасажирських платформ: *а, б* – монтаж заземлення – сполучної деталі екрану у вигляді сталевих поясу (*а*) і з'єднувального провідника із заземленим огородженням платформи (*б*); *в* – замішування композиції; *г* – ґрунтування поверхні опори і заповнення композицією зазору між сполучною деталлю й поверхнею опори

а)



б)



в)



Рис. 5.6 Улаштування екранного захисту опор пасажирських платформ: а – шпаклювання нерівностей; б, в – нанесення композиції прийомами малярних робіт (щіткою)



Рис. 5.7 Захисні екрани пасажирських платформ: *а–в* – із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача і заземлення (*а*), без графітового наповнювача з заземленням (*б*), з графітовим наповнювачем і заземленням (*в*); *г* – із силікатної композиції з графітовим наповнювачем і заземленням



Рис. 5.8 Загальний вигляд опор пасажирських платформ з екранами

## 5.6 Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень залежить від обраного виду ремонту за рис. 5.1.

У разі усунення пошкоджень і улаштування захисних екранів із електропровідних композицій під час виконання поточного ремонту пасажирських платформ замість капітального ремонту економічний ефект досягається за рахунок відмови від заміни конструкцій, отже, зниження трудовитрат, відмови від використання важкої техніки і зупинки руху поїздів.

У разі усунення пошкоджень шляхом заміни конструкцій з улаштуванням на них захисних екранів із електропровідних композицій під час виконання капітального ремонту економічний ефект досягається за рахунок збільшення в подальшому міжремонтного періоду з 20 до 50 років.

Економічний ефект розрахований на прикладі платформи з.п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа Південної залізниці. Для фактично виконаного ремонту та варіантів ремонту з улаштуванням захисту заземленими екранами із електропровідних композицій (додаток Ж) розроблено кошторисну документацію (додаток К), на основі якої оцінено економічний ефект кожного варіанту. Узагальнені показники кошторисів та результати розрахунку економічного ефекту наведені у табл. 5.7.

Як видно із табл. 5.7, кошторисна вартість капітального ремонту із заміною плит і блоків складає 458458 грн., поточного ремонту із улаштуванням заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу – 124447 грн., а на основі електропровідної силікатної композиції – 69625 грн. Отже, економічний ефект складе для варіанту улаштування заземленого екрану із електропровідної композиції на основі портландцементу – 334011 грн., а із електропровідної силікатної композиції – 388833 грн.

Таблиця 5.7

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	силікатної	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	"	<b>334011</b>	<b>388833</b>			
7	Термін служби після ремонту до наступного капітального ремонту	років			20	50	50
8	Розподілена на рік вартість ремонту	грн./рік			22923	11658	10562
9	Розрахунковий річний економоефект від застосування заземлених екранів	грн./рік				<b>11265</b>	<b>12361</b>

Для капітального ремонту тільки із заміною плит і блоків розподілена на рік міжремонтного періоду вартість складе 22923 грн./рік, а ще й з улаштуванням заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портланцементу – 11658 грн./рік, а на основі електропровідної силікатної композиції – 10562 грн./рік. Отже, річний економічний ефект складе для варіанту улаштування заземленого екрану із електропровідної композиції на основі портланцементу – 11265 грн./рік, а із електропровідної силікатної композиції – 12361 грн./рік.

### **5.7 Розробка рекомендацій за результатами досліджень**

За результатами досліджень спільно із співавторами розроблено та затверджено:

- Технологічний регламент виробництва суміші електропровідної композиції проникної дії для гідроізоляції і захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій з вказівками із застосування, 2015 (Додаток Е) з доповненнями від 2020 р. (п.5.2, 5.3, 5.4);
- Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах (Додаток Ж);

Результати досліджень використано також під час розроблення СТП 06-018:2020 Інженерні споруди. Мости залізничні. Правила фарбування в процесі експлуатації [3].

### **5.8 Використання результатів досліджень у навчальному процесі**

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі з підготовки магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітніми програмами «Промислове та цивільне будівництво» і «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту» у складі лекційних курсів, практичних заніть, лабораторних робіт з дисциплін «Відновлення експлуатаційних властивостей і захист конструкцій та споруд залізниць», «Захист конструкцій та будівель від корозії», у складі дипломного проектування (Додаток Л).



## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. Розроблено блок-схему моніторингово-керуючої системи вологісного стану ґрунтів і стійкості насипів, виїмок, схилів та інших ґрунтових масивів, в якій передбачено не тільки інформування оператора про досягнення вологістю ґрунту гранично допустимих значень і небезпеки порушення стійкості масиву, але і вибір і розрахунок автономних зворотних впливів виконавчих механізмів (пристроїв для осушення, ін'єкційного закріплення і т.п.), що забезпечують осушення і стійкість масиву. Показано можливість застосування цієї системи для моніторингу електрокорозійного стану конструкцій і керування заходами з їх захисту від електрокорозії. У цьому випадку датчиками електрокорозійного стану є міліамперметри, а виконавчими механізмами - джерела струму. У разі перевищення струмом витоку, що протікає через конструкцію, допустимих значень, система може накласти на конструкцію протипотенціал до зниження сили струму витоку аж до нульового значення.

2. Розроблено критерій вибору варіанту конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту від електрокорозії опор високих пасажирських платформ: 1) якщо опори ще не зазнали пошкоджень, проте сила струму, що протікає крізь них, перевищує критичне значення, має обиратись варіант екранного захисту за допомогою електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем; 2) якщо опори зазнали пошкоджень, які не спричиняють зниження несучої здатності, але обумовлюють зниження довговічності за рахунок подальшого розвитку, має обиратись варіант ремонту поверхні та екранного захисту за допомогою електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем; 3) якщо пошкодження опори спричиняють зниження несучої здатності на момент обстеження, має обиратись варіант ремонту з відновленням несучої здатності – металоін'єкційною сорочкою з її заземленням для захисту від електрокорозії; 4) якщо пошкодження опори спричиняють повну втрату

несучої здатності на момент обстеження, опора підлягає повній заміні новою конструкцією.

3. Розроблено склад електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача, а також електропровідної силікатної композиції, яка містить 6,5–33 % шлаку доменного гранульованого тонкомеленого, 34–58 % порошку графітового, 5–6% натрію кремнійфтористого, 2–2,5 % сульфонафталінформальдегіду, 26–27% силікату натрію (рідкого скла) та характеризується питомим електричним опором покриття із неї не більше 10 Ом×м.

4. Розроблено технологічний регламент виробництва сумішей електропровідних композицій, а також технологічну схему виробництва суміші електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії.

5. З урахуванням результатів проведених досліджень удосконалено конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції з графітовим наповнювачем. Удосконалення полягає у заміні деталі сполучення провідника заземлення з екраном у вигляді пластини поясом навколо опори із смуги шириною 40–50 мм, товщиною 3–5 мм або із кутника з шириною полиці 63 мм товщиною 5 мм.

6. Результати досліджень впроваджено у дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з.п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». У складі ремонту на частині опор улаштовано захист заземленими екранами із електропровідних композицій: на одну опору як контроль нанесено екран із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача та без заземлення, на другу – екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем без заземлення, на третю – екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем із заземленням, на четверту –

екран із композиції на основі силікату натрію з графітовитм наповнювачем із заземленням. За опорами встановлено спостереження.

7. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень залежить від обраного виду ремонту. У разі усунення пошкоджень і улаштування захисних екранів із електропровідних композицій під час виконання поточного ремонту пасажирських платформ замість капітального ремонту економічний ефект досягається за рахунок відмови від заміни конструкцій, отже, зниження трудовитрат, відмови від використання важкої техніки і зупинки руху поїздів. У разі усунення пошкоджень шляхом заміни конструкцій з улаштуванням на них захисних екранів із електропровідних композицій під час виконання капітального ремонту економічний ефект досягається за рахунок збільшення в подальшому міжремонтного періоду з 20 до 50 років.

Економічний ефект, розрахований на прикладі платформи з.п. Комарівка, склав: одноразовий для варіанту ремонту і улаштування заземленого екрану із електропровідної композиції на основі портланцементу замість заміни конструкцій – 334011 грн., те ж саме із електропровідної силікатної композиції – 388833 грн; річний для варіанту улаштування на нових опорах заземленого екрану із електропровідної композиції на основі портланцементу – 11265 грн./рік, а із електропровідної силікатної композиції – 12361 грн./рік.

8. За результатами досліджень спільно із співавторами розроблені та затверджені «Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах» і «Технологічний регламент виробництва суміші електропровідної композиції проникної дії для гідроізоляції і захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій з вказівками із застосування».

9. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі з підготовки магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проектування.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу літературних джерел, натурних досліджень встановлено, що по мірі руху електрорухомого складу залізничними коліями струми витоку з рейок наводять на поверхню землі та конструкції пульсуючий однопольований електричний потенціал ПООП і спричиняють електрокорозію арматури залізобетонних конструкцій, а також бетону, для якого вона полягає у електроміграційному вилуговуванні. Показано, що найбільш ефективними для захисту від електрокорозії є заземлені електропровідні екрани на рівні нульової відмітки, які дреноують струми витоку.

2. Розвинуто уявлення про електрокорозію від ПООП, зокрема, уточнено, що носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони  $Na^+$  та  $K^+$ , у бетоні – катіони  $Ca^{2+}$  та аніони  $OH^-$ , у сталевій арматурі – електрони. У залізобетонних та бетонних конструкціях протікання струму супроводжується утворенням зон, в яких відбуваються корозійні процеси: зона нейтралізації (карбонізації) бетону; катодна та анодна зони арматури; зона вилуговування бетону. Наведення ПООП на залізобетонні прогонові будови від контактного проводу відбувається за рахунок поляризації порового електроліту захисного шару бетону.

3. Встановлено, що у силікатній композиції з графітовим наповнювачем  $C$  внаслідок накладання електричного потенціалу поверхні частинок  $C$  розділяються на анодні й катодні ділянки. На анодних ділянках відбувається розчинення  $C$ , тому довговічність композиції обумовлена кількістю пропущеної частинками  $C$  електрики. Продуктами взаємодії силікату та кремніюфториду натрію є гель ортокремнієвої кислоти  $Si(OH)_4$  і фторид натрію  $NaF$ , частинки яких мають негативний поверхневий заряд і утворюють між собою неводостійкі електрогетогенні контакти. У разі додавання доменного гранульованого шлаку його сполуки взаємодіють з  $NaF$  з утворенням лужних та лужноземельних гідроалюмосилікатів, гідроалюмінату  $C_3AH_6$  та фториду кальцію  $CaF_2$ . Частинки  $C_3AH_6$  і  $CaF_2$  мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з  $Si(OH)_4$

електрогетерогенні контакти, які забезпечують підвищення водостійкості композиції.

4. Експериментально встановлено, що електрофізичні властивості композиції перебувають в антагонізмі з фізико-механічними та гідрофізичними, отже, розробка її складу має здійснюватись методами компромісної оптимізації. Питомий електричний опір композиції  $\rho$  залежить від вмісту графіту  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  та силікату натрію  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$ ; мінімальні  $\rho = 0,2-1$  Ом $\times$ м спостерігаються за  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,2-0,8$  та  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,4-0,9$ . Водостійкість  $K_v$  залежить від  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш})$  та  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ ;  $K_v$  є максимальним (до 0,8) за  $\text{СН}/(\Gamma+\text{Ш}) = 0,3-1,0$  та перевищує 0,6 за  $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$  понад 0,7. У композиції, що як наповнювач містить тільки  $C$ , утворюються усадкові тріщини; уведення шлаку в кількості не менше 0,1 від силікату натрію запобігає їх утворенню.

5. В результаті фізико-хімічних досліджень підтверджено, що продуктами взаємодії силікату та кремнійфториду натрію є  $\text{Si}(\text{OH})_4$  та  $\text{NaF}$ , а з добавкою шлаку –  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гідросилікати кальцію. В результаті електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що композиція має структуру матричного композиту з наповнювачем із рівномірно розподіленого  $C$  і матрицею із продуктів твердіння переважно гелеподібної будови. Хімічної взаємодії  $C$  з компонентами композиції не виявлено, отже,  $C$  залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

6. В результаті експериментальних досліджень ефективності захисних екранів із електропровідної силікатної композиції встановлено, що захист ними забезпечує зниження сили струму крізь конструкцію на 65–70 % за рахунок його протікання крізь екран. Для залізобетонних прогонових будов, під якими проходить контактна мережа, екрани знижують наведений потенціал майже до нуля.

7. Розроблено та запатентовано склад електропровідної силікатної композиції, удосконалено конструктивно-технологічне рішення екранного захисту нею, яке впроваджено під час капітального ремонту пасажирської платформи

на з.п. Комарівка Південної залізниці. Економічний ефект досягається за рахунок збільшення міжремонтного періоду і складає для однієї платформи 12,36 тис.грн./рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками: Звіт з НДР. – №ДР 0115U000279

2. Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд: Звіт з НДР / УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – №ДР 0115U000276. – 277 с.

3. СТП 06-018:2020 Інженерні споруди. Мости залізничні. Правила фарбування в процесі експлуатації / АТ «Укрзалізниця»; УкрДУЗТ. – Київ, 2020. – 105 с. (Г/Т №60/5-2017)

4. 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; А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Прощін, О.А. Пługін, Д.О. Бондаренко, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с.

5. 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; А.А. Пługін, О.А. Пługін, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв, Ю.Ю. Савчук, Т.О. Костюк, Д.О. Бондаренко. – Заявл.24.03.2017. – Заявка № а2017 02778. – Опубл.25.06.2018. – Бюл.№12. – 3 с.

6. Конєв В.В., Плугін О.А. Виявлення цивільних будівель та споруд Південної залізниці, які можуть зазнавати негативного впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. – 2016, Вип. 160 (Додаток). – С.84-85.

7. Плугін О.А., Касьянов В.В., Конєв В.В, Никитинський А.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій. *VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*, Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.68–69. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf)

8. Трикоз Л.В., Плугин А.А., Чалая Л.Э., Герасименко О.С., Конєв В.В. Предпосылки интеллектуального управления изменениями эксплуатационных свойств строительных объектов с помощью автономных компьютерных систем. *VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*, Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.184–185. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf)

9. Kasyanov V., Plugin D., Konev V., Nesterenko S., Afanasiev A. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection. *MATEC Web of Conferences*, 116, 01012 (2017). 6 p.

10. Плугін О.А., Плугін Д.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Скорик О.О., Никитинський А.В. Фактори, що визначають ефективність захисту від електрокорозії заземленими екранами з електропровідних в'язучих композицій. *VIII Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*, Харків, 20–22 листопада 2019: Тези доповідей. Ч.2. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – С.188–190. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses\\_2019\\_part2.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2019_part2.pdf)

11. Крот А.Ю., Конев В.В. Использование метода Альтшуллера для разрешения технических противоречий. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Матер. Междунар. научно-техн. конфер.*, Могилев, 23-28 апреля 2017 г. – С.260–261.

12. Трикоз Л.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С., Конев В.В. Розробка автономних комп'ютерних систем для інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей. *Тези стенд. допов. та виступів учасників 30-ї Міжнар. конфер. «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті».* *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип.4 (додаток). – С.48-49.

13. Конев В.В. Інформаційно-вимірювальна система контролю та безпеки в розподільних електричних мережах. *Друга міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»* 10-12 квітня 2017р. НТУ «ХПІ», 2017. Тези доповідей – С.74.

14. Plugin A., Trykoz L., Herasymenko O., Pluhin A., Konev V. Independent diagnostic computer systems with the ability to restore operational characteristics of construction facilities. *Diagnostyka*, 2018, Vol.19, No2, p.13–23.DOI: 10.29354/diag/83009 (Scopus)

15. Конев В.В. Вдосконалені алгоритми навчання нейромережевої системи ідентифікації безпечного стану нерухомих об'єктів систем критичного застосування. *Системи обробки інформації.* – 2016, №3(140). – С. 241–245.

16. Крот О.П., Конев В.В., Ровенський О.І. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ.* – 2016, Вип. 166. – С.78-86.

17. Конев В.В., Плугин А.А. Сравнительный анализ программного обеспечения поддержки принятия решений в жизненном цикле объектов недвижимости. *Системи управління, навігації та зв'язку.* – Полтавський національний



університет ім. Ю.Кондратюка, 2016. – Вип.1(37). – С.83–85. URL: <http://sunz.pntu.edu.ua/files/archive/37-2016/23-1-37-2016.pdf>

18. Плугін А.А., Плугін О.А., Касьянов В.В., Плугін Д.А., Конєв В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. – 2017. – Вип. 171. – С.53–61. DOI: 10.18664/1994-7852.171.2017.111411

19. Трикоз Л.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С., Конєв В.В. Передумови інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей будівельних об'єктів за допомогою автономних комп'ютерних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип.4. – С.36-43. DOI: 10.18664/iksz.v0i4.111791

20. Крот О.П., Конєв В.В., Ровенский А.И. Модернизация процессов очистки сточных вод и установленного оборудования на очистных сооружениях промывочно-пропарочных станций вагонных депо. *Вагонный парк*. – 2017, №3-4. – С.39–43.

21. Крот О.П., Ровенский А.И., Конєв В.В. Повышение эффективности технологий приготовления топливных смесей. *Локомотив-Информ*. – 2017, №3–4, С.21-25.

22. ДБН В.2.3-19:2018 Споруди транспорту. Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування

23. Паспорт господарства філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд АТ «Укрзалізниця» станом на 01.01.2019. - Київ, АТ «Укрзалізниця», 2019.

24. ГБН В.2.3-37472062-2:2013 Службово-технічні будівлі і споруди станційно-вокзальних комплексів та зупинних пунктів залізничного транспорту. Проектування, будівництво. - Київ: Мінінфраструктури України, 2013. - 119 с.

25. 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 / УкрДАЗТ: Харків, 2008.*- г/д №60/2-08. - Етап 1.- 61 с.; Етап 2.- 88 с.; Етап 3.- 108 с.

26. Плугін А.А., Наконечний В.І., Щур Є.Г., Калінін О.А., Мірошніченко С.В., Плугін Д.А. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Промислові та цивільні будівлі та споруди. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2007.*- Вип.87.- С.68-79.

27. Плугін А.А., Систренський В.О., Скорик О.О., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Плугін Д.А. Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: Огляд характерних пошкоджень залізобетонних, бетонних і кам'яних конструкцій штучних споруд. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2007.*- Вип.87.- С.79-88.

28. Палій В.В., Плугін А.А., Плугін О.А., Дудін О.А. Дослідження спільної дії вібрації і обводнення на будівлі та споруди станційних комплексів. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2009.*- Вип.109.- С.151-167.

29. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Плугин Д.А., Плугин Ал.А., Дудин А.А., Борзяк О.С. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2009.*- Вип.109.- С.131-143.

30. Plugin A.N., Plugin A.A., Plugin O., Dudin O., Borzyak O. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions. *17 Internationale Baustofftagung (17'ibausil).* – Weimar, 2009. – Band 2. – P.1151–1156.

31. Плугін О.А. Вплив постійного струму на бетон обводнених конструкцій та споруд, розташованих поблизу електрифікованих залізничних колій: *Дис... к.т.н. - 05.23.05. - Зах.23.09.2010.* - Харків: ХДТУБА, 2010.

32. Борзяк О.С. Механізм електрокорозії бетону залізобетонних конструкцій в складних умовах експлуатації. *Дис... к.т.н.* - 05.23.05. - *Зах.30.09.2010.* - Харків: УкрДАЗТ, 2010.
33. Плугін О.А., Борзяк О.С., Мартинова В.Б., Халюшев О.К.; за ред. Плугіна А.А. і Зайченка М.М. Електричні впливи на бетон. – Харків: *Форт*, 2013. – 300 с.
34. Плугин А.Н., Плугин А.А., Дудин А.А., Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Конев А.А. Исследование влияния переменного электрического поля в бетоне на его электрокоррозию. *Вісник ОДАБА.* Одеса 2010.- Вип.43.- С.517-524.
35. Дудін О.А. Механізм впливу змінного струму витоку й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні споруди: *Дис.. к.т.н.*: 05.23.05. - *Зах.14.06.2012.* - Харків: УкрДАЗТ - 2012. - 275 с.
36. Плугін А.А., Щур Є.Г. Систематизація пошкоджень будівель та споруд станційних комплексів залізниць. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2009.-* Вип.109.- С.167-188.
37. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. – Москва, Ленинград: *Госэнергоиздат*, 1955. - 320 с.
38. Москвин В.М. Коррозия бетона. – Москва: *Госархстройиздат*, 1952. – 344 с.
39. Артамонов В.С. Защита железобетона от коррозии. Москва.: *Стройиздат*, 1967. – 128 с.
40. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. - Москва: *Транспорт*, 1966. – 500 с.
41. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. Москва: *Стройиздат*, 1980. – 408 с.

42. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. Москва: *Стройиздат*, 1966. – 216 с.
43. Полак А.Ф., Ратинов В.Б., Гельфман Г.Н. Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтехимической промышленности. Москва: *Стройиздат*, 1971.
44. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: *Стройиздат*, 1990.- 320 с.
45. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. Харків: *Вища школа*, 1989. – 168 с.
46. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. Дніпропетровськ: *ДНУЗТ*, 2008. – 412 с.
47. Sandberg P., L.-O.Nillson, Peterssonet P.E. al. Durability of Concrete in Saline Environment. Uppsala: *Almqvist&Wiksell*, 1996. – 206 pp.
48. Stark J. Dauehaftigkeit von beton / J.Stark, B.Wicht. Weimar: *FIB*, 1995. – 295 s.
49. Stark J. Alkali-Kieselsaure-Reaktion. Weimar: *FIB*, 2008. – 144 s.
50. Stark J. Bellman F., Nobst B., Wicht B. Sulfatangriff auf Beton. Weimar: *FIB*, 2010. – 60 s.
51. Солодкий С.Й. Наукові засади підвищення тріщиностійкості дорожнього цементного бетону: *Автореф. дис... д.т.н.* Львів: *НУ «Львівська політехніка»*, 2013 – 27 с.
52. Толмачов С.Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов: *Дисс... д.т.н. – 05.23.05.* Харьков: *ХНАДУ*, 2013. – 427 с.

53. Корнфельд И. А., Притула В.А. Защита железобетонных конструкций от коррозии, вызываемой блуждающими токами. Москва: *Стройиздат*, 1964. – 73 с.
54. Ершов И.М., Панфиль Л.С. Защита сооружений от воздействия блуждающих токов железных дорог. Москва: *Транспорт*, 1965. –144 с.
55. Котельников А.В., Иванова В.И., Селедцов Э.П., Наумов А.В.; под ред. Котельникова А.В. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах. Москва: *Транспорт*, 1974.- 152 с.
56. Котельников А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта. Москва: *Транспорт*, 1986.- 279 с.
57. Стрижевский И.В., Белоголовский А.Д., Дмитриев В.И. и др. Защита подземных металлических сооружений от коррозии. Москва: *Стройиздат*, 1990. – 303 с.
58. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. К.: *Будівельник*, 1978.- 168 с.
59. Старосельский А.А. Коррозия и защита железобетонных конструкций в сооружениях электрифицированных железных дорог. Харьков: *ХИИТ*, 1988. - 82 с.
60. Подольский В.И. Железобетонные опоры контактной сети. Конструкции, эксплуатация, диагностика. Москва: *Интекст*, 2007. – 152 с.
61. Плугин А.Н., Плугин Ал.А., Конев А.А., Козеняшев И.А., Нестеренко С.Г. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций. *Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* – Х., 2012. – Вип.130. – С.64-71.

62. Лютий В.А. Повторювана швидконатікаюча повзучість бутової кладки мостових опор під механоелектричною дією: *Дис... к.т.н.: 05.23.05.* Харків: УкрДАЗТ, 2007.

63. Конєв О.А. Вплив надлишкових негативних зарядів від струмів витоку на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій: *Дис... к.т.н.: 05.23.05.* Харків: УкрДАЗТ, 2014.

64. Забіяка О.А. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного полотна та опорах залізничних мостів і підвищення їх тріщиностійкості: *Дис... к.т.н.: 05.23.05.* Харків: УкрДАЗТ, 2015.

65. Пługін Д.А. Розвиток теорії електрокорозії обводнених конструкцій і розробка електрокорозійностійких матеріалів і способів захисту: *Дис... д.т.н.: 05.23.05.* Харків: УкрДАЗТ, 2014.

66. Трикоз Л.В. Теорія надлишкових електричних зарядів і розробка способів збереження стійкості матеріалів і конструкцій за їх наявності: *Дис... д.т.н.: 05.23.05.* Харків: УкрДУЗТ. 2015

67. Палій В.В., Петрашук М.І., Щур Є.Г., Мірошніченко С.В., Пługін А.А., Касьянов В.В., Корнієнко І.Г. Захист та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ.* Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С.100–107.

68. Пługин Ал.А., Забіяка А.А., Перестюк В.В., Нестеренко С.Г., Пługин А.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ.* – 2012. – Вип.130. – С.56–63.

69. Пługин А.Н., Пługин А.А., Пługин Ал.А., Конєв А.А., Забіяка А.А. Внутренние напряжения в бетоне, обусловленные электрическими воздействиями на него: экспериментальные исследования. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ.* – 2013. – Вип.138. – С.102–119.

70. Пługин Ал.А., Пługин А.Н., Пługин А.А., Конєв А.А., Забіяка А.А. Трещинообразование в обводненном бетоне при воздействии постоянного электрического тока. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ.* – 2013. – Вип.142. – С.173–181.

71. Плугін А.А., Забіяка О.А., Линник Г.О. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбаластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ.*- 2010.- Вип.115.- С.75-82.

72. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Герасименко О.С., Плугин А.А., Плугин Д.А., Плугин Ал.А. Развитие некоторых аспектов коллоидной химии и физико-химической механики дисперсных систем и материалов применительно к устойчивости откосов и склонов. *Вісник ДНУЗТ ім. В.Лазаряна.* – 2011. – Вип.39. – С.150–156.

73. Плугін А.А., Плугін А.М., Трикоз Л.В., Герасименко О.С. Вплив обводненості і струмів витоку на дефекти і деформації земляного полотна та моніторинг його вологісного стану. *Залізничний транспорт України.* – 2010. – №5. – С.55-59.

74. Trykoz L.V., Herasimenko O.S. Research of dielectric polarization of soil masses. *Eastern European Journal of Enterprise Technology.* – 2014. – Vol.4, No5(70). – P.24–28. doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26258

75. Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Плугин Д.А., Конев А.А., Борзяк О.С. Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ.* – 2014. – Вип.148. – Ч.2. – С.5–20.

76. Плугин А.Н., Плугин А.А., Плугин Д.А., Трикоз Л.В., Плугин Ал.А. Исследование и обнаружение новых особосложных условий эксплуатации сооружений и конструкций за счет избыточных зарядов на поверхности Земли. *Залізничний транспорт України.* – №2. – 2014. – С.17–26.

77. Палий В.В. Полимерцементный раствор для защиты и ремонта зданий и сооружений железных дорог: *Дисс... к.т.н.: 05.23.05.* Харьков: УкрДАЗТ, 2014. –219 с.

78. Нестеренко С.Г. Полімерцементний розчин для захисту будівель від електрокорозії і надлишкових електричних зарядів: *Дис... к.т.н.: 05.23.05.* – *Зах. 02.06.2016.* Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 242 с.

79. Plugin A., Pluhin O., Palant O., Konev O., Nikitinskii A. Electric potentials and charges on buildings and areas around deep water wells. *Matec Web of Conferences.* – 2017. – Vol.116. – 01011. doi.org/10.1051/mateconf/201711601011

80. Плугін А.А., Трикоз Л.В. Відновлення експлуатаційних властивостей основ, фундаментів, заглиблених і підземних споруд. Харків: *УкрДАЗТ*, 2005.- 141 с.

81. Плугін А.М., Плугін А.А., Трикоз Л.В., Саяпін О.С., Герасименко О.С., Плугін О.А.; за ред. Плугіна А.М. Розрахунки несучої здатності і технологія закріплення основ будівель і споруд залізничного транспорту. Харків: *УкрДАЗТ*, 2011. – Ч.1. – 150 с.; Ч.2. – 274 с.

82. Плугін А.А., Забіяка О.А., Мірошніченко С.В., Линник Г.О., Бабенко А.І. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбаластного полотна залізничних мостів. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ, 2009.-* Вип.109.- С.120-131.

83. Ризаев Р.Т. Система мониторинга сооружений елеваторного комплекса [Електронний ресурс]. Харків: *ONTSEEL, 2007.* 1 електр. оптичн. диск (CD-R). – Назва з вкладиша контейнера

84. Яковлева Е.В. Прогнозировать деформации земляного полотна. *Путь и путевое хозяйство.- №6.-* 2005.- С.29-32.

85. Тутаева Т.С. Надежность участков пути на оползневых косогорах. *Путь и путевое хозяйство.- №10.-* 2007.- С.15-17.

86. Данильянц Е.С., Пупатенко В.В. Сезонное изменение устойчивости откосов насыпей. *Путь и путевое хозяйство.- № 10.-* 2007.- С.17-18.

87. Трикоз Л.В., Плугін А.А., Систренский В.А. Анализ зависимости дефектов и деформаций земляного полотна от различных факторов. Удосконалення конструкції залізничної колії та системи ведення колійного господарства: *Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2008.-* Вип.91.- С.187-197.



88. Плугин А.Н., Скорик А.А., Плугин А.А. и др. Электрокоррозия железобетонных мостов и других искусственных сооружений. *Залізничний транспорт України.* - 2000.- №1.- С.11-13.

89. Савйовский В.В., Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. Харьков: *Ватерпас*, 1999.- 288 с.

90. Валетт Ж.-Л. Компенсационное нагнетание: технология в реальном времени. *Метро и тоннели.* - №4.- 2002.- С.16-19.

91. Роботи у ґрунтах: Каталог. – Київ: *НВП «Спеціальні поліметині технології»*, 2014. – Ч.1. – 35 с.

92. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Зверєва А.С., Резніченко І.В. Деформативні властивості ґрунтополімерного композита: Методика експериментальних досліджень. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ.* – 2018. – Вип. 182. – С.44–52. DOI: 10.18664/1994-7852.182.2018.15992

93. Зверєва А.С., Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Резніченко І.В. Деформативні властивості ґрунтополімерного композиту: Експериментальні дослідження. *Вісник ОДАБА.* – 2019. – Вип. 76. – С.136–141.

94. Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А., Зверєва А.С., Костюк Т.О. Властивості ґрунтополімерного композиту: Прогноз довговічності. *8 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»:* Тези допов. Харків: УкрДУЗТ, 2019. – Т.2. – С.168–170.

95. Пат. 94875 UA МПК (2006.01) G01N27/02 Спосіб вимірювання вологості і визначення вологісного стану ґрунтів, у тому числі на глибині / УкрДАЗТ; А.А.Плугін, А.М.Плугін, О.С.Герасименко, Л.В.Трикоз, Д.А.Плугін, О.А.Дудін, О.А.Плугін, В.А.Лютий. – Заявл.28.07.2010. – Заявка № а 2010 09447. – Опубл.10.06.2011. – Бюл.№11.

96. Асаул А.Н. Экономика недвижимости [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bizbook.online/nedvijimost-book/ekonomika-nedvijimosti.html>.

97. Жизненный цикл объекта недвижимости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://regionvuz.pguas.ru/Plone/reestr/2014\\_1\\_2\\_6\\_21.pdf](http://regionvuz.pguas.ru/Plone/reestr/2014_1_2_6_21.pdf).
98. Гектор: сметчик-строитель. Выпуск смет и актов выполненных работ. Инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=1005>.
99. Міхеев І.А. Сучасні інформаційні технології для визначення складу бетону [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://suchasni-informatsiyni-tehnologiyi-dlya-viznachennya-skladu-betonu.pdf>.
100. Обзор современных систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bourabai.kz/graphics/dir.htm>.
101. Пилипенко А.В. Применение САПР в инженерных расчетах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://automiolab.ru/index.php/article/94-2009-03-17-18-59-30>.
102. Сизова Н.Д., Михеев И.А. Особенности создания программного обеспечения для проектирования состава бетона. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – №6/2(66). – С.27–31.
103. Современные САЕ системы автоматизации инженерных расчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://housea.ru/index.php/auto/1362>.
104. Справочно-методическое пособие по разработке стройгенпланов и календарних графиков в составе ППР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.unireg.org/dat/codes\\_doc\\_383.pdf](http://www.unireg.org/dat/codes_doc_383.pdf).
105. Kaetzel L.J., Clifton J.R. Expert Knowledge Based Systems for Materials in the Construction Industry. *State-of-Art Report*. – Washington: SHRP NAS, 1993. – 36 p.
106. Семенов С.Г., Зиков І.С., Давидов В.В. Дослідження ризиків моніторингу технічного стану об'єктів авіації. *Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал*. – Х.:Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, 2015. – №4(44). С. 108-110.

107. Семенов С.Г., Глоба С.М., Мигущенко Р.П. Виявлення особливих точок при вимірюванні та неруйнівному контролі авіаційної техніки. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України науковий журнал*. – Х.:Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, 2015. – №4(21). С. 38-40.

108. Бодянский Е.В., О.Г. Руденко Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004 – 369 с.

109. Жашкова Т.В., Михеев М.Ю. под ред. Юркова Н.К. Синтез обобщенной информационной модели нейросетевой идентификации распределенных информационных объектов. *Надежность и качество: труды Международного симпозиума: в 2х-т. Пенза: Информационно издательский центр ПензГУ, 2009. – 1т. –С. 442-444.*

110. Лавренков Ю.Н., Комарцова Л.Г. Исследование нейросетевых алгоритмов обучения в интеллектуальных информационных системах. *Научно-практический журнал «Открытое образование»* 2011. №2 (85). Ч.2. С 89 – 91.

111. Лавренков Ю.Н., Комарцова Л.Г., Антипова О.В. Комплексный подход к исследованию сложных систем. *Журнал «Программные системы и вычислительные методы»* – 2013. – № 4. – С. 330 – 334.

112. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Москва: Вильямс, 2006. – 1103 с.

113. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 (ГОСТ 31384-2008, NEQ) Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги / *Мінрегіон-буд України*. – К.: НДІБК. – 2010. – 56 с.

114. Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Дудин А.А., Конев А.А., Плугин А.А. Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. – 2011. – Вип.127. – С.204– 212.

115. Борзяк О.С., Плугин Д.А., Герасименко О.С., Дудин А.А., Конев А.А. Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ,

расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути. *Науковий вісник будівництва*. – 2014. – №1(75). – С.80– 85.

116. Касьянов В.В. Электропроводні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць: *Дис... к.т.н.: 05.23.05. – Зах. 04.07.2018.* – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 281 с.

117. Плуґін А.А., Костюк Т.О., Прошин О.Ю., Бондаренко Д.О., Плуґін О.А., Борзяк О.С., Арутюнов В.А. Гідроізоляційні цементні композити проникної дії. Харків: *Колегіум*, 2018. – 268 с.

118. Врублевский Л.Е. Возможности использования электропроводного бетона (бетэла) в гражданском строительстве. Москва, 1971. - 51 с.

119. Lopanov A.N., Fanina E.A., Guzeeva O.N. Cement-quartz electrically conductive composites based on graphite dispersions. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. - Vol. 9 (2014). - P.2250-2253.

120. Христич О.В., М.С.Лемешев. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізуючого випромінювання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*.- 1998.- №2. - С.18-23.

121. Лопанов А.Н., Фанина Е.А., Томаровщенко О.Н. Влияние рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона с углеродной фазой. *Вестник БГТУ им В. Г. Шухова*. - 2017. - №1. - С.130-133.

122. Сердюк В.Р., Лемешев М.С., Христич О.В. Фізико-хімічні особливості формування структури електропровідних бетонів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. - 1997.- №2.- С.5-9.

123. Христич О.В., Лемешев М.С. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізуючого випромінювання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*.- 1998.- №2. - С.18-23.

124. Пушкарева Е.К., Гузий С.Г. Моделирование процессов получения нелинейных высокоомных резистивных композиционных материалов в системе « $\beta$ - $C_2S$ - $SiC$ - $C$ - $Na_2O$ · $SiO_2$ · $mH_2O$ ». *Будівництво: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: ДНТ*, 2001. - Вип.9. - С.54-57.

125. Пушкарьова К.К., Гузій С.Г. Мікроструктура резистивних композиційних матеріалів в системі « $\beta\text{-C}_2\text{S-SiC-C-Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ». *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. - Рівне: РДТУ. - 2000. - вип.5. - С.82-85.*

126. Пушкарева Е.К., Гузій С.Г. Исследование физико-химических процессов формирования диэлектрической матрицы в системе « $\beta\text{-C}_2\text{S-Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ». *Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій: Зб. наук. ст. – К.: КНУБА. - 2002. - Вип. 5. – С. 23-29.*

127. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Назаренко І.І., Сівко В.Й., Шилюк П.С., Старчук В.Н., Братчун В.І., Плугін А.М., Саницький М.А. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. Київ: *ЕксОб*, 2008. – 355 с.

128. Пушкарьова К.К., Дворкін Л.Й., Градобоев О.В., Зайченко М.М., Кагановський О.С., Плугін А.А., Тимошенко С.А., Г.М.Шабанова. Енергосозберігаючі мінеральні в'язучі речовини та композиційні будівельні матеріали на їх основі. – К.: *Задруга*, 2014. – 272 с.

129. Казимагомедов, И.Э., С.Ю.Шептун Влияние микронаполнителей на усадочные деформации растворов для наливных полов. *Зб. наук.праць Укр-ДУЗТ. – 2016. – Вип.159. – С.57–62.*

130. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. – К.: *Будівельник*, 1991. – 136 с.

131. Лесовик В.С., Потапов В.В., Алимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов. *Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 60 – 62.*

132. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Холодный А.Г. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами. *Строительные материалы. – 2010. – №9. – С.96–100.*

133. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А. Применение углеродных коллоидных наночастиц в мелкозернистых цементных бетонах. Харків: ХНАДУ, 2014. – 152 с.
134. Беличенко Е.А., Толмачев С.Н. Повышение качества дорожных бетонов за счет применения углеродных наночастиц. *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. – 2017, №1(8). – С.333–337.
135. Плугін А.А., Костюк Т.О., Прошин О.Ю., Бондаренко Д.О., Плугін О.А., Борзяк О.С., Арутюнов В.А. Гідроізоляційні цементні композити проникної дії. Харків: Колегіум, 2018. – 268 с.
136. Demina O.I., Plugin A.A., Dedenyova E.B., Bondarenko D.O., Kostuk T.A., Bondarenko A.I. Interaction of Portland cement hydration products with complex chemical additives containing fiberglass in moisture-proof cement compositions. *Functional Materials*, 24(3) (2017) 415-419. DOI: 10.15407/fm24.03.415
137. 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 in Africa*, Vol. 36, pp 69-73, 2018. DOI:10.4028/www.scientific.net/JERA.36.69.
138. Balonis M., Lothenbach B., Le Saout G., Glasser F.P., Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems, *Cem. Concr. Res.* 40(7) (2010) 1009-1022.
139. Balonis M., Medala M., Glasser F.P., Influence of calcium nitrate and nitrite on the constitution of the *AFm* and *AFt* cement hydrates - experiments and thermodynamic modelling, *Adv. Cem. Res.* 23(3) (2011)
140. Субботкин М.И., Курицына Ю.С. Кислотоупорные бетоны и растворы. Москва: Стройиздат, 1967. – 136 с.
141. Бабушкин В.И., Плугин А.А., Зеленский Д.Ю., Жалкина С.З., Салия Г.Ш. Коррозионностойкие материалы на основе минеральных вяжущих для систем городской канализации. *Науковий вісник будівництва*. –1998.- Вип.2.- С. 195-199.

142. Бабушкін В.І., Плугін А.А., Зеленський Д.Ю. Термодинамічні та фізико-хімічні дослідження кислотостійких в'язучих композицій на основі рідкого скла і кремнійфториду натрію. *Зб. наук. праць ХарДАЗТ.* - 2000.- Вип.37.- С.55-62.

143. Murtazaev S-A. Y., Salamanova M.S. Clinker-free binders based on finely dispersed mineral components. *20 Internationale Baustofftagung*, 12-14 September 2018, Weimar.- P.2055-2062.

144. Плугін А.А., Зеленський Д.Ю., Бабушкін В.І. Повышение водостойкости кислотоупорных композиций на основе жидкого стекла. *Сб. тр. по технической химии (II міжнародна конференція «Розвиток технічної хімії в Україні»)*. Харків: ХарГАЖТ, 1997.- С. 303-306.

145. Пат.30165А UA Кислототривка в'язуча композиція. МПК 6С04В12/04 / В.І.Бабушкін, І.В.Корінько, А.А.Плугін, Д.Ю.Зеленський, С.З.Жалкіна, В.О.Юрченко.- Заявл. 08.01.1998.- №98010089.- Опубл.15.11.2000.- Бюл.№6-П.

146. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н. и др. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях. Київ: *Вища школа*, 1981. - 224с.

147. Бродко О.А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны повышенной кислотостойкости: *Дис... к.т.н. – 05.23.05. – Київ: КІБІ*, 1991. – 227 с.

148. Кривенко П.В., Е.К.Пушкарева. Долговечность шлакощелочного бетона. Київ: *Будівельник*, 1993 . – 224 с.

149. Кривенко, П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / П.В.Кривенко, Е.К.Пушкарева, В.И.Гоц, Г.Ю.Ковальчук. – Київ: ІПК Експрес-Поліграф, 2012. -258 с.

150. Pluhin O., Plugin A., Plugin D., Borziak O., Dudin O. The effect to f structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders. *Matec Web of Conference*, V.116, 01013 (2017), 9 pp. DOI: 10.1051/matecconf/201711601013

151. Лопанов А.Н., Фанина Е.А., Гузеева О.Н. Регулирование электрических и реологических свойств гетерогенных систем на основе кварцевого песка

и графита механической активацией кварцевого песка. *Вестник МГСУ*, 2016. – № 8. – С. 78–87.

152. Lopanov A.N., Guzeeva O.N., Prushkovsky I.V., Tikhomirova K.V. Technology of electrically conductive composites of alkali-line earth metals carbonates and carbon dispersions. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. – Vol. 9 (2014) – P. 2275–2278.

153. Бернацкий А.Ф., Целебровский Ю.В., Чунчин В.А. Электрические свойства бетона. Москва: *Энергия*, 1980. - 208 с.

154. Plugin A.A., Pluhin O., Borziak O., Kaliuzhna O.. The Influence of Storage Conditions on the Electric Conductivity of Concrete. *Materials Science Forum*, Vol. 968, pp. 50-60, 2019. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.968.50

155. Касьянов В.В., Плугін А.А. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць. *Будівництво, матеріалознавство, машинознавство*. – 2018. – Вип.104. – С.151–159.

156. Чехов В.И. Под ред. Зарудского Г.К. Экологические аспекты передачи электроэнергии [Текст] /– Москва: *МЭИ*, 1991. – 44 с.

157. Плугин А.Н. Плугин А.А., Трикоз Л.В., Кагановский А.С., Плугин Ал.А. Под ред. Плугина А.Н.. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. – Київ: *Наукова думка*, 2011. – 331 с.

158. Дамаскин Б.Б., Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А.. Электрохимия. - Москва: *Химия*, 2006. - 672 с.

159. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. Москва: *Стройиздат*, 186. – 408 с.

160. Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С., Евсютин Ю.Р., Салдугей М.М., Саницкий М.А., Сербин В.П., Токарчук В.В., Удачкин И.Б., Чистяков В.В. Теория цемента. Київ: *Будівельник*, 1991. – 168 с.

161. Horacio E. Bergna. The Colloid chemistry of silica. Washington:



*American Chemical Society*, 1991. – 695 pp.

162. *Vauipraxis* Birkhauser, 2000. – 470 pp.

163. Шпынова Л.Г., Чих В.И., Саницкий М.А., Соболев Х.С., Мельник С.К.; под ред. Шпыновой Л.Г. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня. Львів: *Вища школа*, 1981. – 160 с.

164. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. Москва: *Высшая школа*, 1981. – 335 с.

165. Ларионова З.М. Методы исследования цементного камня и бетона [Текст].- М.: *Стройиздат*, 1970.- 159 с.

166. Болдырев А.И. ИК-спектры минералов. Москва: *Недра*, 1976.-199с.

167. Леманн Г., Датц Г. Исследование гидратации клинкерных минералов и цементов при помощи ИКС. *Тр. IV Междунар. конгр. по химии цемента*. – М.: *Стройиздат*, 1964. – С. 383-388.

168. Мчедлов-Петросян О. П., Ольгинский А.Г., Фольке К. ИК-спектры продуктов гидратации в системе «портландцемент-минерал заполнителя-вода». *Изв. вузов строит. и архит.* - 1973. - №8. - С.50-55.

169. Ларионова З.М., Виноградов Б. Н. Петрография цементов и бетонов. - М.: *Стройиздат*, 1974. - 347 с.

170. Ларионова З.М., Никитина Л. В., Гарашин В. Р. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона. - М.: *Стройиздат*, 1977. - 264 с.

171. Оробей Н.В., Третьяк А.Н., Новиков Г.И. ИК-спектроскопический и рентгенофазовый анализ гексафторсиликатов. *Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук*. - 1999. - №4 - С.5-8.

172. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. Москва: *Стройиздат*, 1982. – 133 с.

173. Бетехтина А.Г. Курс минералогии. Москва: *Госгеолтехиздат*, 1956. – 558 с.

174. Золотов М.С., Волювач С.В., Шелкович А.А. Особенности фазового состава кислото- и теплостойких жидкостекольных композиций.

*Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения.* - 2012. - Вып.65. - С.219-226. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit\\_2012\\_65\\_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2012_65_37)

175. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Супрун О.Ю., Волювач С.В. Физико-химические свойства и фазовый состав кислото- и теплостойких жидкостекольных композиций. *Коммунальное хозяйство городов*, 2010. - №95. - С.451-460.

176. Мамченков Е.А., Акаев О.П., Акаева Т.К. Исследование температурно-временных характеристик взаимодействия модифицированного кремнегеля с гидроксидом натрия. *Химия в интересах устойчивого развития*, 23 (2015) 97-102с.

177. Белых С.А., Лебедева Т.А., Даминова А.М. Строительные материалы на основе наполненных жидкостекольных композиций и область их применения. *Системы Методы Технологии*, 2017 №4 (36) 176-181. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-4-176-181

178. Белых С.А., Новоселова Ю.В., Новоселов Д.А., Кудряков А.И. Структурообразование жидкостекольных композиций для защиты древесины от возгорания. *Системы Методы Технологии*, 2017 №3 (35) 80-86. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-3-80-86

179. Руми М.Х., Ирматова Ш.К., Зуфаров М.А., Файзиев Ш.А., Мансурова Э.П., Уразаева Э.М., Нурматов Ш.Р. Исследование композиций на основе паркентской каолиновой глины. *Новые огнеупоры*, №11, 2018, С.29-33.

180. Яковлев Н.А., Плакунова Е.В., Мостовой А.С., Щербаков А.С. Модифицированные дисперсные наполнители – натрий кремнефтористый и полифосфат аммония, их свойства и влияние на эпоксидную матрицу. *Вестник ВГУИТ*, 2020, Т.82, №1, С.207-212. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-1-207-212

181. Helén Jansson, Diana Bernin, and Kerstin Ramser Silicate species of water glass and insights for alkali-activated green cement. *AIP Advances* 5, 067167 (2015); <https://doi.org/10.1063/1.4923371>.

182. A. Bobrowski, Stypuła B., Hutera B., Kmita A., Drożyński D., Starowicz M. Ftir spectroscopy of water glass - the binder moulding modified by ZnO nanoparticles. *Metallurgija* 51 (2012) 4, 477-480
183. Zhiming Wang, Yuning Sun, Shuo Zhang and Yonglong Wang. Effect of sodium silicate on Portland cement/ calcium aluminate cement/gypsum rich-water system: strength and microstructure. : *RSC Adv.*, 2019, 9, 9993-10003. DOI: 10.1039/c8ra09901d
184. Smirnova O. E. Thermal insulation materials of different structures producing on the basis of flax boon. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 456 (2018) 012062. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012062
185. Vidal L., Gharzouni A., and Rossignol S. Alkaline Silicate Solutions: An Overview of their Structure, Reactivity, and Applications. *Springer International Publishing Switzerland 2016 L. Klein et al. (eds.), Handbook of Sol-Gel Science and Technology*, DOI 10.1007/978-3-319-19454-7\_88-1
186. Medvedev E.F., Komarevskaya A.S. IR spectroscopic study of the phase composition for sodium silicate synthesized in aqueous medium. *Glass Ceram* 64, 7–11 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10717-007-0002-y>
187. Taylor, W.R. Application of infrared spectroscopy to studies of silicate glass structure: Examples from the melilite glasses and the systems Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)* 99, 99–117 (1990). <https://doi.org/10.1007/BF02871899>
188. Davidenko A.O., Sokol'skii V.E., Roik A.S. et al. Structural study of sodium silicate glasses and melts. *Inorg Mater* 50, 1289–1296 (2014). <https://doi.org/10.1134/S0020168514120048>
189. Liu Y.-C., Chang E.-C., Shyu J.-L., Chen X.-G. Dynamic Analysis of the Leakage Current Corrosion for the Non-Grounded DC Railway Systems. *International Journal of Electrical Energy*, Vol. 3, No. 4, 2015, pp. 257-261.
190. Wilkinson P, Chambers J, Uhlemann S, Meldrum P, Smith A, Dixon N, et al. Reconstruction of landslide movements by inversion of 4-D electrical resistivity

tomography monitoring data. *Geophysical Research Letters*. 2016; 43(3): 1166-1174. <http://dx.doi.org/10.1002/2015gl067494>.

191. Wang L, Seko I, Nishie S, Uchimura T. Prefailure deformation monitoring of landslide and slope by using tilt sensors. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*. 2016; 2(28): 1021-1024. <http://dx.doi.org/10.3208/jgssp.jp-048>.

192. Xu D, Hu X-Y, Shan C-L, Li R-H. Landslide monitoring in southwestern China via time-lapse electrical resistivity tomography. *Applied Geophysics*. 2016; 13(1): 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s11770-016-0543-3>.

193. Xu D, Hu X-Y, Shan C-L, Li R-H. Landslide monitoring in southwestern China via time-lapse electrical resistivity tomography. *Applied Geophysics*. 2016; 13(1): 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s11770-016-0543-3>.

194. Rzydzik S. The conception of simulation environment for development and testing of distributed diagnostic systems. *Diagnostyka – Applied Structural Health, Usage and Condition Monitoring*. 2012; 1(61): 51-58.

195. Cholewa A. Mobile devices in diagnostic systems. *Diagnostyka – Applied Structural Health, Usage and Condition Monitoring*. 2012; 1(61): 59-64.

196. Żoltowski B, Łukasiewicz M, Kalaczynski T. The investigation aid in exploitation. *Diagnostyka – Applied Structural Health, Usage and Condition Monitoring*. 2012; 2(62): 65-69.

197. Cholewa W, Amarowicz M. Acquisition of requirements for diagnostic systems. *Diagnostyka – Applied Structural Health, Usage and Condition Monitoring*. 2012; 2(62): 23-30.

198. Wojcicki T. Supporting The Diagnostics And The Maintenance Of Technical Devices With Augmented Reality. *Diagnostyka*. 2014; 15 (1): 43-47.

199. Khriyenko O, Terzian V, Kaikova O. End-user facilitated interoperability in internet of things: Visually-enriched user-assisted ontology alignment. *International Journal on Advances in Internet Technology*. 2013; 6 (1/2): 90-100.

200. Yin J, Wang HF, Wang SM, Xu F. Remote Video Surveillance Applications in Landslide Monitoring. *Advanced Materials Research*. *Trans Tech*

*Publications.* 2012; 594-597: 1086-1092.  
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.594-597.1086>.

201. Smarsly K, Georgieva K, König M. "An Internet-Enabled Wireless Multi-Sensor System for Continuous Monitoring of Landslide Processes. *International Journal of Engineering and Technology*. 2014; 6 (6): 520-529.  
<http://dx.doi.org/10.7763/IJET.2014.V6.752>.

202. Wei Z, Chen FC, Zhan SL, Pan YH. GPS Application in Ginkgo Landslide Monitoring. *Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications*. 2014; 624: 588-591. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.624.588>.

203. Xu X, Shang M, Deng YH. Analysis about the Classification of Landslide Monitoring Method. *Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications*. 2014; 638-640: 360-364. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.638-640.360>.

204. Патент 94875 UA G01N27/02. Спосіб вимірювання вологості і визначення вологісного стану ґрунтів, у тому числі на глибині / УкрДАЗТ; А.А.Плугін, А.М.Плугін, О.С.Герасименко, Л.В.Трикоз, Д.А.Плугін, О.А.Дудін, О.А.Плугін, В.А.Лютий.- Заявл.28.07.2010.- Заявка № а 2010 09447.- Опубл.10.06.2011.- Бюл.№11.

205. Пат. 2055036 RU Кислотоупорная вяжущая композиция. - Заявл. 27.02.96. - Опубл. 1996. - Бюл. № 6.

206. А.с. 216496 SU Кислотоупорный раствор / В.И. Бабушкин, А.М. Любошиц, Н.В. Лобач, 30 Ю.Н. Зенченко. Заявл. 23.01.1967. Опубл. 11.04.1968. Бюл. № 14.

207. Пат. 30165А UA Кислототривка в'яжуча композиція МПК 6С04В12/04 / В.І. Бабушкін, І.В. Корінько, А.А. Плугін, Д.Ю. Зеленський, С.З. Жалкіна, В.О. Юрченко. Заявл. 08.01.1998. № 98010089. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6-П.

208. Плугін А.М., Плугін А.А., Дудін А.А., Плугін О.А., Борзяк О.С., Конєв О.О. Дослідження впливу змінного електричного поля в бетоні на його електрокорозію. *Вісник ОДАБА*. - Одеса, 2010. - Вип. 43. - С. 517-524.

**ДОДАТОК А**



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: <b>a 2016 02005</b>	(72) Винахідник(и): <b>Плугін Андрій Аркадійович (UA), Костюк Тетяна Олександрівна (UA), Процин Олег Юрійович (UA), Плугін Олексій Андрійович (UA), Бондаренко Дмитро Олександрович (UA), Касьянов Володимир Володимирович (UA), Борзяк Ольга Сергіївна (UA), Коня Віталій Васильович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>01.03.2016</b>	(73) Власник(и): <b>УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Феєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.02.2017</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: <b>UA 73395 C2, 15.07.2005 UA 103280 C2, 25.09.2013 SU 270561 A1, 10.04.1962 RU 2165911 C1, 27.04.2001 US 6855199 B1, 15.02.2005 CN 1092048 A, 14.08.1994 CN 1483699 A, 24.03.2004 CN 104860504 A, 26.08.2015 KR 20100012495 A, 08.02.2010</b>
(41) Публікація відомостей про заявку: <b>11.07.2016, Бюл.№ 13</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.02.2017, Бюл.№ 3</b>	

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, кальцієву олію 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) МПКC04B 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 ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 02778	(72) Винахідник(и): Плугін Андрій Аркадійович (UA), Плугін Олексій Андрійович (UA), Касьянов Володимир Володимирович (UA), Борзак Ольга Сергіївна (UA), Конєв Віталій Васильович (UA), Савчук Юлія Юрївна (UA), Костюк Тетяна Олександрівна (UA), Бондаренко Дмитро Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 24.03.2017	(73) Власник(и): УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Феєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.06.2018	(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
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.08.2017, Бюл.№ 15	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2018, Бюл.№ 12	

UA 117194 C2

## (54) ЕЛЕКТРОПРОВІДНА 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.



**ДОДАТОК Б**

## Результати обстеження залізобетонних конструкцій будівлі вокзалу та пішохідного мосту ст. Харків-пасажирський

Автором виконано натурне обстеження залізобетонних конструкцій будівлі 2-3-поверхового крила вокзалу Харків-пасажирський, зведеного на початку 1980-х рр., зокрема балкону (рис. Б.1). Балкон розташований на рівні 3 поверху (рис. Б.1, *а*), призначений для виходу із залів очікування до пасажирських платформ через пішохідний міст, з яким сполучається майже в одному рівні через 3 сходи (рис. Б.1, *б*, Б.2, *а*), та є залізобетонною консольною плитною конструкцією з окремими підсилюючими ребрами-консолями. Від крайнього прогону пішохідного мосту балкон відділено деформаційним швом. Покриття галереї асфальтобетонне (рис. Б.2, *б*). Контактна мережа постійного струму 3 кВ проходить під прогоновими будовами пішохідного мосту (рис. Б.2, *а*, Б.3, *б*). Безпосередньо під прогоновими будовами улаштовані ізольовані вставки несучого тросу контактної мережі (рис. Б.3, *б*), на які напруга не подається. Конструкції балкону та прогонові будови пішохідного мосту з'єднані через металеві перила та, можливо, закладні деталі стояків опор мосту (рис. Б.2, *б*). Для виходу пасажирів балкон було закрито з 1990-х років.

Через декілька десятків років експлуатації залізобетонні конструкції прогонових будов мосту, балкону та сталевих косоурів сходи зазнали корозійних пошкоджень, наведених на рис. Б.4–Б.7.

У перші ж роки після уведення в експлуатацію балкон був закритий для проходу, очевидно через пошкодження, які швидко утворились і почали розвиватись. Цими пошкодженнями є руйнування захисного шару бетону і корозія арматури на нижній грані і ребрах плити балкону (рис. Б.4, *б*–Б.7) і вони є небезпечними, оскільки послаблюють стиснуту зону консольно зацемлених плит.

а)



б)



Рис. Б.1 Балкон 2/3-поверхового крила вокзалу Харків-пас.: а – загальний вигляд; б – сполучення балкону з пішохідним мостом та сходами на перон

а)



б)



Рис. Б.2 Балкон 2/3-поверхового крила вокзалу Харків-пас.: б – пішохідний міст; б – сполучення балкону з пішохідним мостом

*a)**б)*

Рис. Б.3 Балкон вокзалу та пішохідний міст ст. Харків-пас.: *a* – асфальтобетонне покриття балкону; *б* – розташування контактної мережі під прогоновими будовами пішохідного мосту.

*a)**б)*

Рис. Б.4 Корозійні ушкодження залізобетонних конструкцій: *a* – прогонової споруди пішохідного мосту; *б* – плити балкону

*a)**б)*

Рис. Б.5 Корозійні ушкодження нижньої грані (*a*) та ребра (*a, б*) залізобетонної плити балкону – руйнування захисного шару бетону і корозія арматури

а)



б)



Рис. Б.6 Корозійні ушкодження нижньої грані та ребра залізобетонної плити балкону з відшаруванням ремонтної штукатурки





Рис. Б.7 Корозійні ушкодження сталевих оштукатурених косоурів сходів з балкону

Спроби відремонтувати пошкодження шляхом нанесення сучасної штукатурки білого кольору, очевидно, акрилової або гіпсополімерної, були невдалими – корозія продовжується і штукатурка швидко руйнується (рис. Б.6).

Очевидними причинами пошкоджень є недостатня щільність і водонепроникність бетону та втрата водонепроникності асфальтобетонним покриттям балкону і гідроізоляції під ним, про що свідчать наявність тріщин і рослин (рис. Б.3, *a*).

Менш очевидною, проте більш вагомою причиною могло бути наведення на поверхню плит електричних потенціалів від струмів витоку з контактної мережі постійного струму, яка проходить безпосередньо під прогоновими спорудами пішохідного мосту, сполученого з балконом (рис. Б.2, *a*, Б.3, *б*). Про можливий електрокорозійний вплив свідчать патьоки вилуговування (рис. Б.3, *б*, Б.4, *a*), найбільш інтенсивні безпосередньо над несучими тросами (рис. Б.3, *б*).

Зовнішній вигляд пошкоджень (рис. Б.4. *б* – Б.7) свідчить про небезпечний стан балкону і невжиття негайних заходів з усунення пошкоджень і запобігання

їх подальшого розвитку, аж до аварійної ситуації з обрушенням частини балкону.

Для усунення та подальшого запобігання розвитку пошкоджень необхідно здійснити дослідження з виявлення їх дійсних причин та розробити заходи з ремонту і захисту. Ці заходи крім відновлення герметичності покриття (бажано додатково улаштувати навіс) повинні передбачати розробку складів ремонтної штукатурки з добавками інгібіторами корозії, а також схем і пристроїв захисту конструкцій балкону від наведення електричних потенціалів.

**ДОДАТОК В**

### **Результати обстеження конструкцій шляхопроводів, на яких закріплено контактну мережу постійного струму**

На залізницях України над залізничними коліями експлуатується 1101 шляхопровід загальною довжиною близько 68612 м. З них на Донецькій залізниці – 201 (13845 м), на Львівській – 191 (13415 м), на Одеській – 136 (7067 м), на Південній – 166 (11901 м), на Південно-Західній – 208 (12916 м), на Придніпровській – 199 (9467 м). Над електрифікованими постійним струмом залізничними коліями експлуатується близько 141 шляхопроводу загальною довжиною близько 10084 м. З них на Донецькій залізниці – близько 48 (3762 м), на Львівській – близько 27 (2130 м), на Південній – близько 25 (2196 м), на Придніпровській – 76 (3873 м). На цих шляхопроводах, більшість з яких є залізобетонними, контактна мережа проходить під прогоновими спорудами, у т.ч. закріплена за них. На Одеській і Південно-Західній залізницях шляхопроводів над електрифікованими постійним струмом ділянках залізниць немає.

За своєю конструкцією із автодорожніх шляхопроводів найбільшу небезпеку для руху поїздів мають залізобетонні шляхопроводи з прогоновими спорудами із балок таврового перерізу, яких на балансі залізниць нараховується 16, у т.ч. на Донецькій залізниці – 1, на Львівській – 7, на Одеській – 1, на Південній – 2, на Придніпровській – 5. На Південно-Західній залізниці таких шляхопроводів немає.

За участю автора на Південній залізниці проведено натурні дослідження конструкцій шляхопроводів у кількості 14 шт., на яких закріплено контактну мережу постійного струму. Результати досліджень наведені у табл. В.2. Як видно із табл. В.2, пошкодження виявлені у 6 із них (рис. В.1–В.15).

Автодорожній шляхопровід на 775 км ПК7 ділянки Козача Лопань – Харків (з.п. Північний пост ст. Харків-сортувальний) має під собою 7 електрифікованих колій (рис. В.1, а). Несучий трос контактної мережі під ним має електрично ізольовані нейтральні вставки, підвішені до металевої балки, закріпленої до прогонової споруди через ізолятори і заземленої на рейку (рис. В.1, б). Відстань від нейтральної вставки до низу конструкцій

шляхопроводу в деяких місцях складає декілька сантиметрів. Пошкодження конструкцій шляхопроводу наведені у рядку 2 табл. 1.2 і на рис. В.2-В.3.

Найбільш пошкодженими є залізобетонні тротуарні консолі: руйнування бетону полук та ребер до їх відсутності, відшарування захисного шару бетону до оголення та корозії арматури (рис. В.1, *a*). Також пошкодження мають прогонів будови: відшарування захисного шару бетону та корозія арматури, вилугування цементного каменю бетону, подовжні тріщини. Найбільш пошкодженими є зони стиків підвісних прогонів (рис. В.1, *b*), у яких спостерігається протікання та намокання конструкцій через пошкоджену ізоляцію проїжджої частини. Пошкоджені також стояни та опори. Крізь стояни спостерігається фільтрація води, що призводить до вилугування бетону та утворення тріщин (рис. В.2, *a*). Опори в нижній частині мають відшарування захисного шару бетону та його руйнування до оголення робочої арматури (рис. В.2, *b*). Характер пошкодження та умови експлуатації стоянів та опор може свідчити про електрокорозійне руйнування бетону при наявності на них електричного потенціалу.

Інструментальні дослідження електричних потенціалів у пошкоджених місцях стояну та опор відносно відділеної точки землі здійснювали в точках – Т.1, Т.2, Т.3 та на рейці (рис. В.1, *a*, *b*): Т.1 – оголена робоча арматура опори, розташованої між електрифікованими коліями (рис. В.3, *b*); Т.2 – у місці руйнування захисного шару бетону у основи опори; Т.3 – зона фільтрації води та вилугування бетону стояну (рис. В.3, *a*). Результати вимірювання електричних потенціалів на рейці та на конструкціях шляхопроводу представлені в таблиці В.1.

Таблиця В.1

Результати вимірювання електричних потенціалів на рейці  
та на конструкціях шляхопроводу

№	Місце вимірювання	Виміряні величини електричного потенціалу, В
1	Рейка $U_p$	-(11-8)
2	Т.1	-(0,1-0,2)
3	Т.2	0,25-0,33
4	Т.3	0,1-0,15

Таблиця В.2

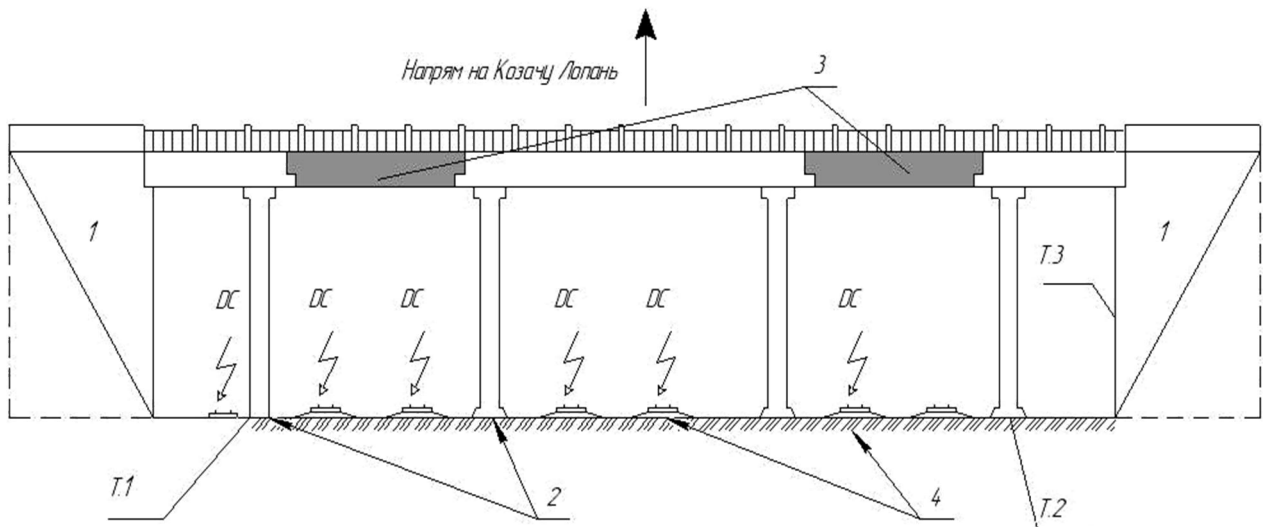
## Досліджені шляхопроводи Південної залізниці, розташовані над електрифікованими коліями

№	ПЧ	Дільниця (місце розташування, назва шляхопроводу)	Км, ПК	Схема шляхопроводу; тип електрифікації	Повна довжина	Рік будівництва	Розрах. навантаження	Матеріал	Власник шляхопроводу, автопроїзду	Виявлені пошкодження
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3	Козача Лопань – Харків (Окружна дорога)	773пк9	21х33,0; постійним 3 кВ	694,0	1976		3.б.	Служба автошляхів Харківської обл.	
2	3	Коз. Лопань – Харків (ст. Північний пост)	775пк7	2х21,4+25,2+2х10,0; постійним 3 кВ	102,8	1954	Н-13 НГ-60	3.б.	ПЗ; м.Харків	З підвісними прогонами. Руйнування бетону тротуарних блоків, стояків опор та прогонових споруд.
3	3	Коз. Лопань – Харків (Кузинський міст)	780пк3	6х21,0+24,0+33,0+ +28,0+33,0+3х21,0+ +1,8+21,0+3х24,0+12,0; постійним 3 кВ	439,0	1990	Н-30 НК-80	3.б.	ПЗ; м.Харків	
4	3	Харків – Лозова (ст. Харків-пас.; вул. Полтавський шлях; шляхопровід ім. М.Караєва)	781пк4	3х23,9+46,28; постійним 3 кВ	137,67	1953	Т-13 Н-13 500кг/м <sup>2</sup>	3.б.	ПЗ; м.Харків	Інтенсивний рух важких автопоїздів. Силкові тріщини в консолях проїжджої частини. Руйнування захисного шару бетону прогонових споруд. Тріщина в стояні. Дефектна перильна огорожа.
5	3	Харків – Люботин (ст. Н.Баварія, пр. Ново-Баварський)	бпк10	9,0+4х21,7+9,0; постійним 3 кВ	110,43	1956	Н-13 НГ-60 Т-13	3.б.	ПЗ; м. Харків	Сколи бетону в балках ПС та стояках опор. Найбільш зруйнований бетон верхньої частини стояків під ригелями. Пошкодження перильної огорожі

## Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	3	Харків – Лозова (Карповський міст)	782пк3	1х27; залізничний; за- кріплена тролейбусна конт. мережа; постійним 3 кВ	41,5	1973 (1975)	С-14	Мет.	ПЗ	
7	3	Харків – Лозова (З.п.Науковий; Окружна дорога)	793пк6	21,0+33,0+21,0; постійним 3 кВ	81,0	1982		3.б	Служба ав- тошляхів Харківської обл.	
8	7	Харків-Куп'янськ (просп. Гагаріна)	9пк6	23,0+18,0; залізничний, 1- кол., закріпл. тролей- бусна к.м.; пост. 3 кВ	54,91	1949	Н-8	Мет.	ПЗ	
9	7	Харків Балашовка - Нова Баварія	2пк1	23,0+18,0; залізничний, 1- кол., закріпл. тролей- бусна к.м.; пост. 3 кВ	54,91	1949	Н-8	Мет.	ПЗ	
10	7	Харків – Куп'янськ (Московський просп., Корсиковсь- кий ш/п)	12пк3	2х13,9; постійним 3 кВ	34,80	1944		Мет.	Доррембуд м.Харків	Мет. балки з суцільною стілкою, з.б. плита. В'язі між балками були зруйновані корозією до обрушення на контактну мережу і панто- графи. У 2007-08 в'язі замінено
11	7	Основа–Харків Ле- вада (вул.Молочна)	6пк1	13,44+2х15,68+13,44; постійним 3 кВ	60,3	1952	Н-13 НГ-60	3.б.	ПЗ; м.Харків	Сколи бетону в блоках ПС
12	18	Дарниця – Полтава*	133пк8	14,3+20,3+14,3; перемінним 27 кВ	56,8	1980	НК-80	3.б.	м. Гребінка Полтавської обл.	
13	18	Дарниця – Полтава	136пк8	20,4+3х32,2+20,4+ +2х32,2+20,4; перемінним 27 кВ	332,2	1978/ 95(ел.)	СН 365- 67 Н-30	3.б.	м. Гребінка Полтавської обл.	Вилуджування з тротуарних блоків
14	18	Бахмач-Черкаси	802пк2	5,4+5,5+8,25+8,85+ +8,25+6,1+ 6,2+5,4; перемінним 27 кВ	66,18	1912/ 49	1907	3.б.	ПЗ	

а)



б)

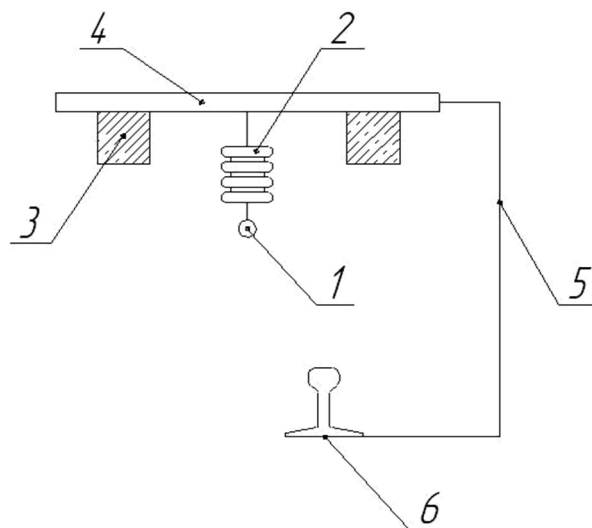


Рис. В.1 Автостроїтний шляхопривід на 775 км ПК7 дїльниці Козача Лопань – Харків (з.п. Північний пост ст. Харків-сортувальний): а – схема шляхопривіду: 1 – стояни, 2 – опори, 3 – підвісні прольоти, 4 – електрифіковані колії. Точки вимірювання електричних потенціалів: Т.1 – у основи опори на робочій арматурі, Т.2 – на бетоні опори, Т.3 – на бетоні стояну; б – схема кріплення несучого тросу контактної мережі до прогонової споруди: 1 – несучий трос, 2 – ізолятор, 3 – залізобетонні конструкції прогону, 4 – металева балка, 5 – заземлення, 6 – рейка



а)



б)



Рис. В.2 Пошкодження конструкцій автодорожного шляхопроводу на 775 км ПК7 ділянки Козача Лопань – Харків (з.п. Північний пост ст. Харків-сортувальний): а – тротуарних консолей; б – місць обпирання підвісних прогонів

а)



б)



Рис. В.3 Пошкодження конструкцій автодорожного шляхопроводу на 775 км ПК7 ділянці Козача Лопань – Харків (з.п. Північний пост ст. Харків-сортувальний): а – тротуарних консолей; б – місце обпирання підвісних прогонів

Автодорожній шляхопровід на 781 км ПК4 дільниці Козача Лопань – Харків (ім. М.Караєва, м. Харків) має під собою 10 електрифікованих колій, зверху 2 трамвайні колії (рис. 1.16).

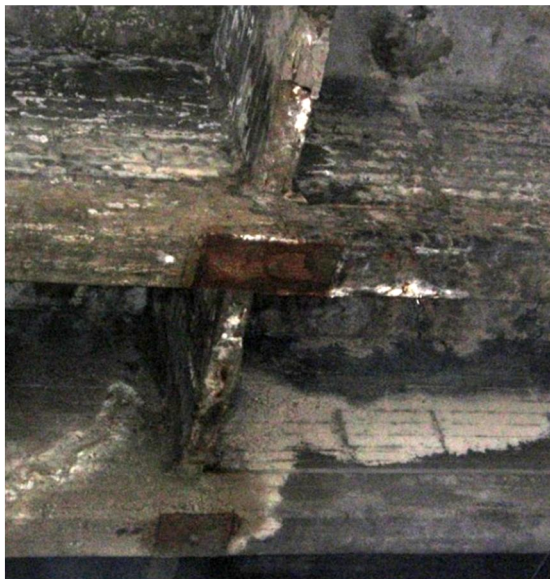


Рис. В.4 Загальний вигляд шляхопроводу ім. М.Караєва на ділянці Козача Лопань – Харків зі сторони ст. Харків-пас.

Пошкодження конструкцій шляхопроводу наведені у рядку 2 табл. 1.2 і на рис. В.5-В.6, з яких видно, що характерними є:

- інтенсивне вилугування бетону прогонових споруд;
- відшарування захисного шару і корозія арматури;
- фільтрація води через тіло опори та потік води по опорі, що є наслідком порушення цілісності гідроізоляції;
- руйнування приопорних ділянок: залізобетонних балок, опорних та підферментних блоків;
- пошкодження бетонних частин перильної огорожі.

а)



б)



в)

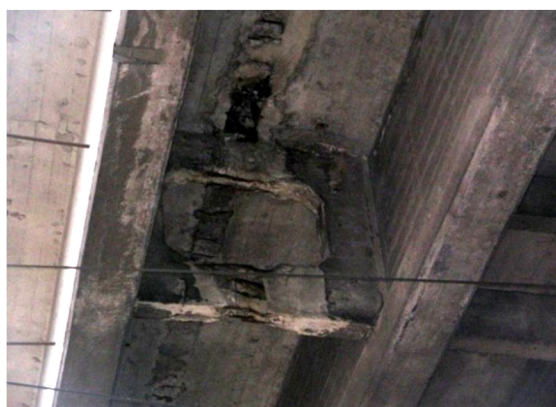


Рис.В.5 Пошкодження конструкцій автодорожнього шляхопроводу на 781 км ПК4 ділянки Козача Лопань – Харків (ім. М.Караєва, м. Харків): а – інтенсивне вилугування бетону балочних прогонових споруд; б – Відшарування захисного шару і корозія арматури на конструкціях шляхопроводу; в – пошкодження діафрагм та корозія їх арматури



Рис.В.6 Пошкодження конструкцій автодорожнього шляхопроводу на 781 км ПК4 дільниці Козача Лопань – Харків (ім. М.Караєва, м. Харків): *a* – фільтрація води через тіло опори (*a*) та потік води по опорі (*b*) внаслідок порушення гідроізоляції; *b* – руйнування опорних ділянок: залізобетонних балок, опорних та підферменних блоків; *e* – пошкодження перильної огорожі шляхопроводу

Автодорожній шляхопровід на 6 км ПК10 діляниці Харків – Люботин (ст. Нова Баварія, пр. Ново-Баварський, м. Харків) має під собою вісім залізничних колій, чотири з яких електрифіковані постійним струмом, зверху – автодорогу з проїздом тролейбусів (рис. В.7).



Рис. В.7 Загальний вигляд шляхопроводу на ділянці Харків – Люботин зі сторони ст. Нова Баварія

Пошкодження конструкцій шляхопроводу наведені у рядку 5 табл. В.2 і на рис. В.8–В.9, з яких видно, що характерними є:

- відшарування захисного шару і корозія арматури;
- інтенсивне вилугування бетону прогонових споруд, підферменних блоків;
- тріщини на стояках;
- значні пошкодження тротуарної частини шляхопроводу.

а)



б)



в)



Рис.В.8 Пошкодження конструкцій автодорожнього шляхопроводу на 6 км ПК10 ділянки Харків – Люботин (ст. Нова Баварія): а – відшарування захисного шару і корозія арматури ригеля в зоні підвіски контактного проводу; б – відшарування захисного шару і корозія арматури прогонової споруди в зоні підвіски контактного проводу; в – інтенсивне вилугування бетону конструкцій шляхопроводу

а)



б)



в)



Рис.В.9 Пошкодження конструкцій автодорожнього шляхопроводу на 6 км ПК10 діляниці Харків – Люботин (ст. Нова Баварія, пр. Ново-Баварський, м. Харків): а, б – тріщини у верхній (а) та нижній (б) частині на стояках; в – руйнування бетону і корозія арматури тротуарних консолей



Автодорожній шляхопровід на 12 км ПКЗ дільниці Харків – Куп'янськ («Корсиковський», Московський просп., м. Харків) сталезалізобетонний з металевими балками, має під собою 3 залізничні колії, одна з яких електрифікована постійним струмом, зверху – 2 трамвайні колії (рис. В.10, а). Для забезпечення габариту по висоті несучий трос контактної підвіски пропущений крізь повздожні балки прогонових споруд (рис. В.10, б).

а)



б)



Рис. В.10 Автодорожній шляхопровід на 12 км ПКЗ дільниці Харків – Куп'янськ («Корсиковський», Московський проспект, м. Харків): а – загальний вигляд; б – кріплення несучого тросу контактного проводу до прогонової будови

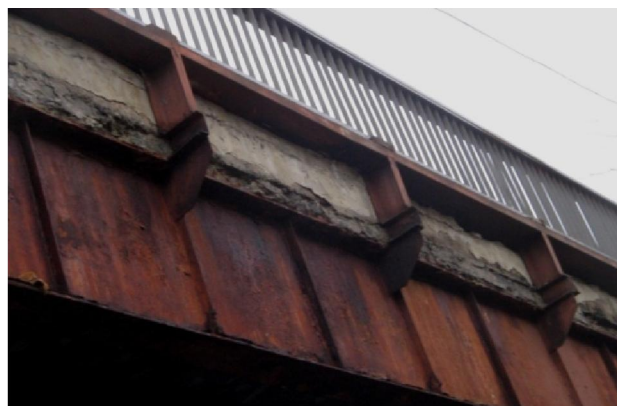
Пошкодження конструкцій шляхопроводу наведені у рядку 10 табл. В.2 і на рис. В.11, з яких видно, що характерними є:

- руйнування бетону ребер залізобетонної плити;
- відшарування лакофарбового покриття металевих конструкцій;
- корозія металу балок прогонової споруди.

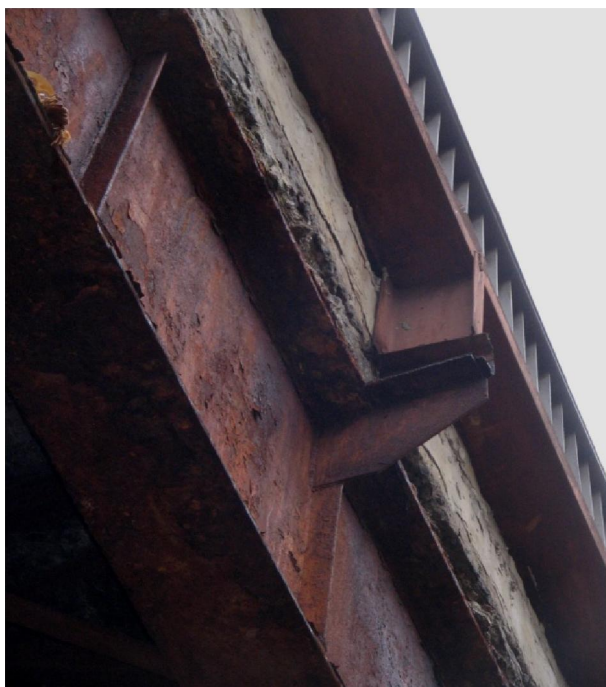
а)



б)



в)



г)



Рис. В.11 Пошкодження конструкцій автодорожного шляхопроводу на 12 км ПКЗ ділянки Харків – Куп'янськ («Корсиковський», Московський проспект, м. Харків)

Автодорожній шляхопровід на 6 км ПК1 дільниці Основа – Харків-Левада (вул. Молочна, м. Харків) має під собою дві залізничні колії, електрифіковані постійним струмом, зверху – дві трамвайні колії (рис. В.12, а). Несучі троти контактної мережі закріплені на прогонових спорудах (рис. В.12, б). Заземлення контактних проводів трамвайних та залізничних ліній знаходяться у належному стані.

а)



б)



Рис. В.12 Автодорожній шляхопровід на 6 км ПК1 дільниці Основа – Харків-Левада (вул. Молочна, м. Харків): а – загальний вигляд шляхопроводу; б – кріплення несучого тросу контактної мережі до прогонових споруд

Пошкодження конструкцій шляхопроводу наведені у рядку 11 табл. В.2 і на рис. В.13, з яких видно, що характерними є:

- відшарування захисного шару і корозія арматури переважно безпосередньо над контактним проводом;
- пошкодження залізобетонних стійок поручнів.

а)



б)



в)



Рис. В.13 Пошкодження конструкцій автодорожного шляхопроводу на 6 км ПК1 ділянки Основа – Харків-Левада (вул. Молочна, м. Харків): а, б – відшарування захисного шару бетону і корозія арматури переважно безпосередньо над контактним проводом (а); в – відшарування захисного шару бетону і корозія арматури залізобетонних стояків поручнів

Автодорожній шляхопровід на 136 км ПК6 ділянки Дарниця – Полтава має під собою 2 колії, електрифіковані змінним струмом 27 кВ (рис. В.14). Ізольована вставка несучого тросу контактної мережі підвішена до прогонової будови за допомогою сталевого дроту та кутника та заземлена через діоди (рис. В.15, *a*). Шляхопровід знаходиться у задовільному стані крім одиничного випадку тріщини (рис. В.15, *a*) та відколу захисного шару з корозією арматури (рис. В.15, *б*) в нижній частині опор.

*a*)



*б*)



Рис. В.14 Автодорожній шляхопровід на 136 км ПК6 ділянки Дарниця-Полтава: *a* – загальний вигляд шляхопроводу; *б* – кріплення несучого тросу контактної мережі до прогонових споруд

а)



б)



Рис. В.15 Конструкції автодорожного шляхопроводу на 136 км ПК6 ділянки Дарниця-Полтава: а – діодне заземлення нейтральної вставки несучого тросу та відкол захисного шару бетону з корозією арматури в нижній частині опори; б – тріщина в нижній частині опори

Анализ результатів обстежень дозволив класифікувати шляхопроводи, під якими проходять електрифіковані залізничні колії, за характером впливу на їх конструкції впливів від контактної мережі – силових навантажень та електричних струмів, потенціалі і зарядів:

1. Контактна мережа закріплена до прогонових споруд таким чином, що несучі троси діють на них горизонтальними та вертикальними силами. Шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції:

- виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів);
- виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження;
- індукційне наведення з контактного проводу.

2. Контактна мережа закріплена до прогонових споруд на вертикальних підвісках таким чином, що на них діють лише вертикальні сили (рис. 1.6, б). Шляхи потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції:

- виток з рейки через заземлення конструкцій на неї у разі несправних захисних пристроїв (іскрових розрядників, діодів);
- виток з контактного проводу поверхнею ізоляторів у разі їх забруднення і зволоження;
- індукційне наведення з контактного проводу.

3. Контактна мережа не закріплена за прогонові споруди на шляхопроводах незначної ширини. Шлях потрапляння позитивних електричних потенціалів на конструкції – лише індукційний.

**ДОДАТОК Г**



## Результати обстеження конструкцій будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа

За участю автора проведено дослідження з інструментальними вимірюваннями електричних потенціалів будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа Південної залізниці, яка зазнала пошкоджень у вигляді тріщин (рис. Г.1). Характеристики водозабірної свердловини: глибина – 766 м; дебіт – 984 м<sup>3</sup>/сут; обсадна труба – сталева; водозабірна труба – сталева складена; насос – погрузний 380 В. На відстані 97 м від будівлі знаходиться найближча колія ст. Основа, електрифікована постійним струмом 3 кВ.

Пошкодження будівлі водозабірної свердловини визначили шляхом візуального огляду та обмірів з фотографуванням і складанням карт пошкоджень (рис. Г.1). Як видно із рис. Г.1, основними пошкодженнями є тріщини, що розкриваються знизу уверх, та поверхнєве руйнування мурування стін. Такий характер тріщин свідчить про вигин будівлі за рахунок нерівномірного осідання основи.

Проведено вимірювання електричних потенціалів на конструкціях будівлі та навколо них (рис. Г.2). Електричні потенціали (різниці потенціалів між точками вимірювань) визначали за допомогою цифрового мультиметра Sanva PC510. Схема вимірювань наведена: фактична – на рис. Г.3, а, приведена – на рис. Г.3, б, результати вимірювання – в табл. Г.1. Контакт з точками вимірювань забезпечували: 0 (обсадної трубою свердловини) – безпосередньо щупом мультиметра; 1, 3 (конструкціями будівлі) – за допомогою спеціального мідно-сульфатного електрода (контакт латунної вимірювальної пластини з конструкцією забезпечується через губку, просочену насиченим розчином мідного купоросу); 2, 4 (грунтом) – сталевими стержнями діаметром 12 мм, забитими в ґрунт на глибину 0,5 м. Величину потенціалу в кожній точці вимірювали 10 разів з інтервалом 1 хв, потім брали середнє значення.

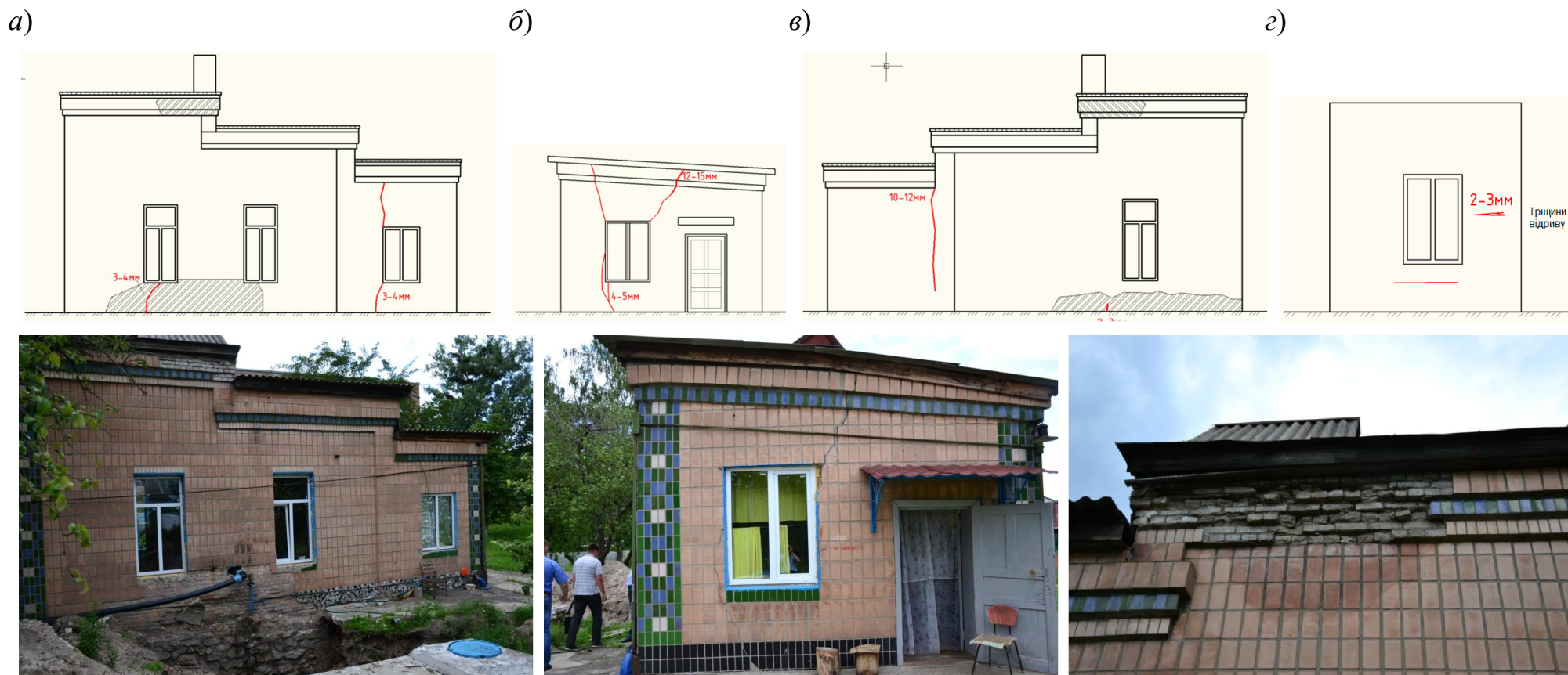


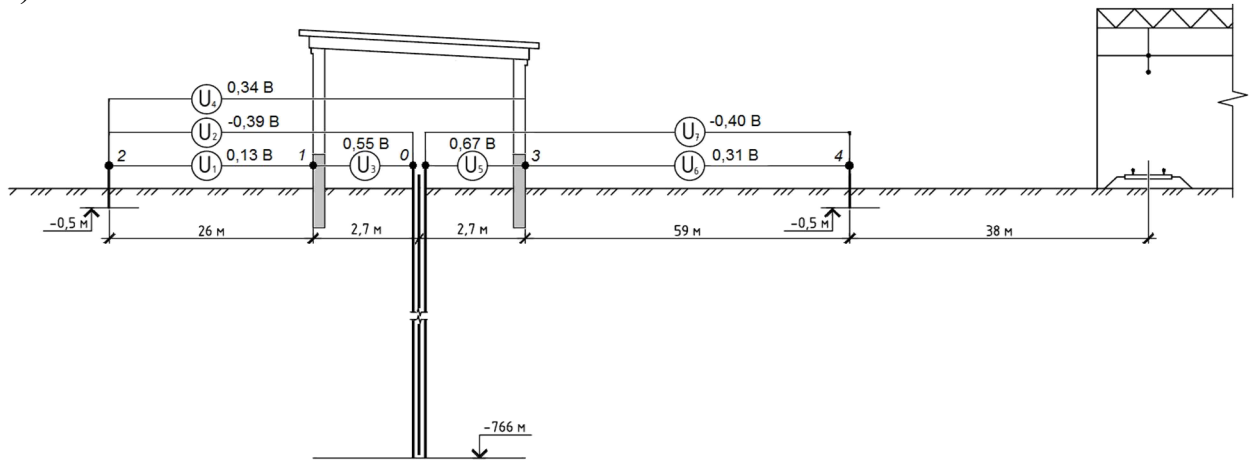
Рис. Г.1 Будівля водозабірної свердловини на ст. Основа та пошкодження її конструкцій.

Фасади: *а* – східний; *б* – північний; *в* – західний; *з* – південний



Рис. Г.2 Вимірювання електричних потенціалів на конструкціях будівлі водозабірної свердловини на ст. Основа та діля неї

а)



б)

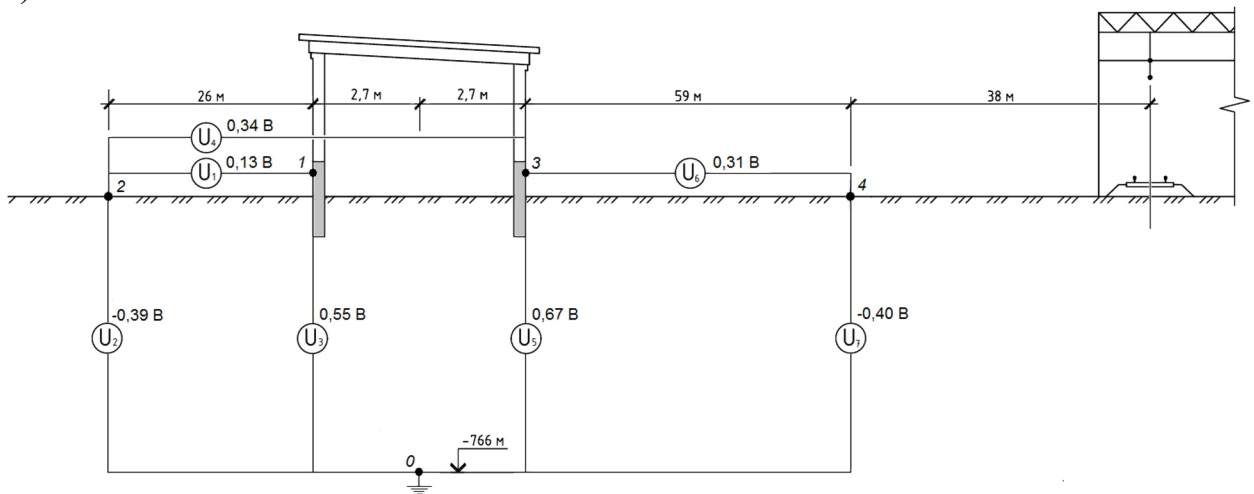


Рис. Г.3 Будівля водозабірної свердловини на ст. Основа. Результати і схема вимірювання електричних потенціалів : а – фактична; б – приведена

Таблиця Г.1

## Результати вимірювань електричних потенціалів

Різниця електричних потенціалів, виміряна:		Величина U, В											Сер.
		За час від початку вимірювання, хвил.											
між точками (рис.1.30)	на струмі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$U_1 (U_{1-2})$	постій.	0,25	0,078	0,02	0,111	0,13	0,09	<b>0,14</b>	0,16	0,09	0,17	0,17	0,13
	перем.	0,25	0,25	0,34	0,33	0,37	0,32	<b>0,31</b>	0,28	0,27	0,29	0,26	0,30
$U_2 (U_{0-1})$	пост.	-0,39	-0,37	<b>-0,43</b>	-0,41	-0,39	-0,36	-0,36	-0,41	-0,4	-0,38	-0,36	-0,39
	перем.	0,43	0,32	<b>0,36</b>	0,35	0,3	0,31	0,34	0,43	0,43	0,46	0,4	0,38
$U_3 (U_{0-2})$	пост.	0,56	0,56	0,57	0,57	0,55	0,54	0,55	0,55	0,58	0,53	0,54	0,55
	перем.	0,09	0,09	0,05	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08	0,06	0,08
$U_4 (U_{1-3})$	пост.	0,26	0,32	0,36	<b>0,36</b>	0,32	0,27	0,36	0,37	0,36	0,38	0,35	0,34
	перем.	0,33	0,38	0,2	<b>0,2</b>	0,22	0,22	0,22	0,2	0,2	0,25	0,21	0,24
$U_5 (U_{0-3})$	пост.	0,68	0,68	0,67	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,67
	перем.	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07
$U_6 (U_{0-4})$	пост.	0,39	0,25	0,28	0,34	0,34	0,31	0,31	0,33	0,28	0,28	0,28	0,31
	перем.	0,3	0,31	0,38	0,39	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,38	0,44	0,34
$U_7 (U_{3-4})$	пост.	-0,32	-0,34	-0,42	-0,33	-0,35	-0,36	-0,37	-0,47	-0,41	-0,45	-0,6	-0,40
	перем.	0,54	0,63	0,63	0,69	0,71	0,86	0,62	0,55	0,57	0,62	0,57	0,64

*Курсив* – погрузний насос у свердловині (380 В) увімкнений

Звичайний шрифт – погрузний насос у свердловині вимкнений

**Жирний шрифт, у т.ч. курсив** – прохід поїзда с електричною тягою 3 колією

Величини потенціалів складають: на поверхні цоколя будівлі – плюс (0,55–0,67) В, на поверхні землі на відстані 29-62 м від свердловини – мінус (0,39–0,4) В. Впливу на величину потенціалів проходження залізничного електрорухомого складу, а також вмикання та вимкнення погрузного насосу не виявлено.

**ДОДАТОК Д**

## Система моніторингу стану ґрунтів основ споруд та будівель

Основною складовою системи є моніторинг стану ґрунтів основ споруд та будівель.

Ґрунти є капілярно-пористими тілами, міцність яких у значній мірі визначає кількість вологи, що знаходиться в порах. Відповідно, методи діагностики земляних споруд можуть ґрунтуватися на вимірюванні електричних характеристик ґрунтів (опору, ємності, діелектричної проникності тощо) [190÷193]. В теперішній час розвиток технічних засобів діагностування дозволяє створювати все більш складні системи моніторингу зсувних процесів. У [194] представлена концепція середовища для розробки і тестування розподілених діагностичних систем. Устаткування і системи для моніторингу та діагностування, які становлять розподілену діагностичну систему, є вузлами цієї системи. Кожен елемент представляє обраний вузол розподіленої діагностичної системи. Локально елемент виконує завдання зв'язку з вузлом, який представляє, і завдання обробки і збору інформації, що міститься в отриманих даних з цього вузла. У глобальному масштабі елемент взаємодіє з іншими елементами, виконуючи завдання передавання, приймання, обробки та зберігання повідомлень. Швидкий розвиток мобільних технологій з підвищенням якості й швидкості передавання даних сприяє використанню мобільних терміналів в діагностичних цілях [195]. Це стосується діагностування як простих об'єктів для повсякденного використання, так і складних, критичних об'єктів. У [195] сформульовані основні принципи, що дозволяють користувачеві здійснювати бездротовий доступ до діагностичних даних технічного об'єкта. Висунуті основні вимоги до інтерфейсу мобільного додатка.

Системи управління постійно удосконалюються методами діагностування та інформаційними технологіями. Вони включають в себе вибір інформації, спеціальні діагностичні системи, систему узгодження рішень і моделювання причинно-наслідкових зв'язків. Окремі аспекти цієї теми обговорювались у [196]. Визначення очікуваної функціональності розробленої

діагностичної системи є найбільш важливим етапом процесу розробки. Проте негайне застосування багатьох відомих методів розробки програмного забезпечення неможливо в разі діагностичних систем. У [197] описана складна експертна система прийняття рішень на основі бази даних у вигляді мережі мультимодальних операторів.

У [198] представлений метод підтримки діагностичних процесів з використанням оригінальної комп'ютерної системи, в якій застосовується доповнена реальність - технологія, що з'єднує реальний світ з віртуальною реальністю. У розробленому вирішенні діагностичні процеси виконуються через візуальне уявлення: розташування компонентів пристрою, діагностичні завдання, описові підказки, виміряні значення, розташування точок вимірювання та тривимірні моделі компонентів. У цій технології віртуальні об'єкти проєкціонуються на частину реальності, записану камерою або набором камер. Особа, яка управляє системою, отримує візуальні дані від проєкційного пристрою, що формує частину призначеного для користувача інтерфейсу зв'язку. На основі проєкції зображення технічного пристрою, який збагачене інструкціями і віртуальними об'єктами, оператор аналізує та інтерпретує стан процесу діагностики, а потім приймає рішення щодо подальших завдань, описаних в інструкції. Дії оператора за допомогою зворотного зв'язку в ході діагностичного процесу, візуально сигналізуються, і в результаті підтверджується правильне доопрацювання завдань. У разі завдань, які не пов'язані з елементом, що генерує зворотний зв'язок, точність дій виконавця розпізнається користувачем на основі порівняння фізичного стану пристрою з візуальним представленням, що складається з віртуальних об'єктів і тексту. Пропоноване рішення є важливим кроком на шляху вдосконалення дій, спрямованих на оцінку технічного стану складних технічних пристроїв. У [199] також пропонується візуально-збагачений підхід для орієнтованого на користувача інтерфейсу для полегшення семантичної інтероперабельності. Успішне застосування технології відеоспостереження в системі моніторингу зсувів і характеристики системи дистанційного відеоспостереження описано й у



[200]. Завдяки зображенням в реальному часі можна запобігти і своєчасно усунути пошкодження, спричинені несподіваним геологічним зсувом. Однак ці методи дозволяють управляти тільки процесом діагностування й не мають можливості здійснювати зміни самого об'єкта діагностики.

Системи моніторингу та раннього попередження, хоча і здатні постійно збирати польові дані, пов'язані зі зсувними процесами, як правило, не здатні автономно виявляти й аналізувати ознаки зсувів в реальному часі. Система моніторингу, описана у [201], в першу чергу призначена для допомоги людям в оцінці ризику зсуву та поліпшення розуміння поведінки схилу, що може допомогти зменшити економічні втрати та смертельні випадки, викликані зсувами. Зокрема, інтелектуальні бездротові сенсорні вузли були розподілені в спостережуваному схилі для автономного збору, аналізу і передачі відповідних параметрів навколишнього середовища в реальному часі. Веб-додаток, встановлений на комп'ютері, підключеному до вузлів датчиків на місці, забезпечує автоматичне поширення параметрів нахилу через Інтернет. У [202] пропонується проект програми моніторингу зсуву, збору, обробки та аналізу даних на основі технології GPS. Згідно з аналізом результатів моніторингу GPS, зсув знаходиться на етапі деформування з постійною швидкістю. Опави є основним чинником, що викликає ковзання зсувів. Передбачається, що пильну увагу необхідно приділяти зсувам за наявності зливи, сильного або тривалого дощу, щоб полегшити і запобігти катастрофам. Важливість систем моніторингу зсувів підкреслювалась і у [203]. Створення ефективної системи моніторингу зсуву не тільки розв'язує інженерні завдання, але також може зменшити народногосподарські втрати. Ґрунтуючись на відмінності об'єктів, моніторинг зсуву може бути однієї з 5 категорій: деформації; стану землетрусів; напруги; гідрографічний; стану навколишнього середовища. Відповідно до відмінностей об'єктів моніторингу будуть різними й обрані засоби моніторингу. Таким чином, розробка діагностичної системи є складною інженерною проблемою, спрямованою на запобігання шкоди, що завдається раптовим зміщенням ґрунтових масивів.

Для реализации методики застосовано оригінальний коаксіальний капілярний датчик (рис. Д.1) [204].

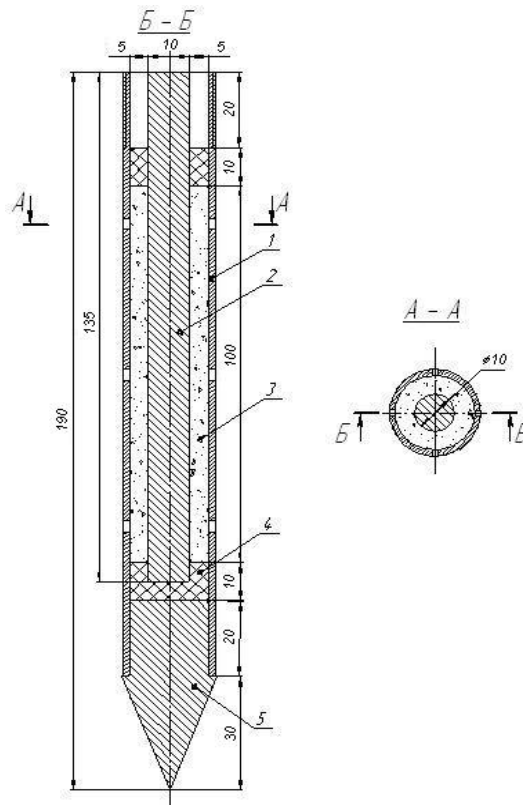


Рис. Д.1 Капілярний коаксіальний датчик для моніторингу вологості ґрунту:  
1 – зовнішній електрод; 2 – внутрішній електрод; 3 – капілярна засипка; 4 – полімерні вкладиші; 5 – наконечник

Зазор між електродами датчика заповнюють спеціальною капілярною засипкою. Капілярна засипка через перфорований зовнішній електрод з'єднується з навколишнім ґрунтом, поточна вологість якого визначає вологість капілярної засипки та електричні показники датчика - електричний опір і електричну ємність. Такий спосіб забезпечує набагато більшу точність визначення вологості, ніж прямі вимірювання електричних характеристик ґрунту, на які може впливати фракційний, сольовий склад ґрунту тощо. Датчики встановлюють в місцях в плані і на глибині, в яких вважають за можливе виникнення деформацій і пошкоджень в результаті перезволоження ґрунту. Датчики занурюють за допомогою колони труб, яку забивають до проектної глибини, а потім видаляють домкратом, залишаючи в ґрунті датчик і провідник до

нього (рис. Д.2). Для вимірювань опору датчиків застосовують омметр або мультиметр, що забезпечує діапазон вимірювань 100 Ом - 10 МОм. Для вимірювань електричної ємності застосовують прилад, який забезпечує діапазон вимірювань 1-500 пФ.



Рис. Д.2 Вимірювання електричного опору зануреного у ґрунт датчика цифровим мультиметром (перетворювачем аналогового сигналу в цифровий)

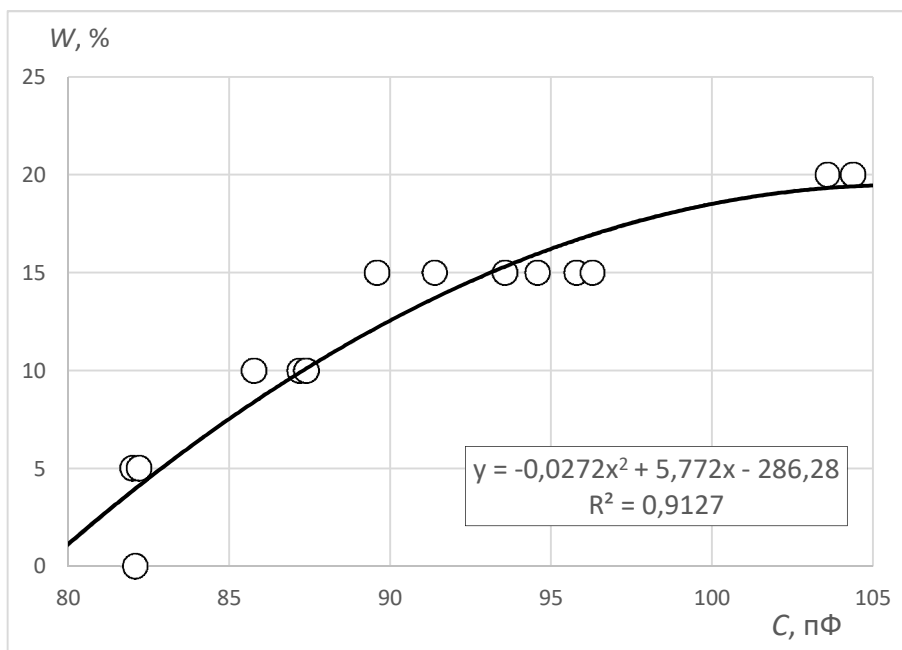
Оскільки величина ємності та опору ґрунту залежить не тільки від вологості, але й від виду ґрунту (піски, супіски, суглинки, глини), то для кожного виду є своя характерна залежність опору від вологості. Отже, під час використання даної методики як основи моніторингу вологісного стану ґрунту повинні бути попередньо отримані математичні рівняння залежності опору від вологості (рис. Д.3). На підставі цих рівнянь, включених в програмне забезпечення, комп'ютер за даними з польових датчиків про опір ґрунту розраховує вологість, порівнює з допустимими значеннями для кожного виду ґрунту і видає рекомендації оператору або автономній системі «швидкого реагування».

Як видно із графіків рис. Д.3, залежність вологості ґрунту від ємності та електричного опору ґрунту описується поліномом другого ступеня та ступеневим рівнянням, відповідно:

$$y = -0,0272x^2 + 5,772x - 286,28, \quad (\text{Д.1})$$

$$y = 47,363x^{-0,56}. \quad (\text{Д.2})$$

а)



б)

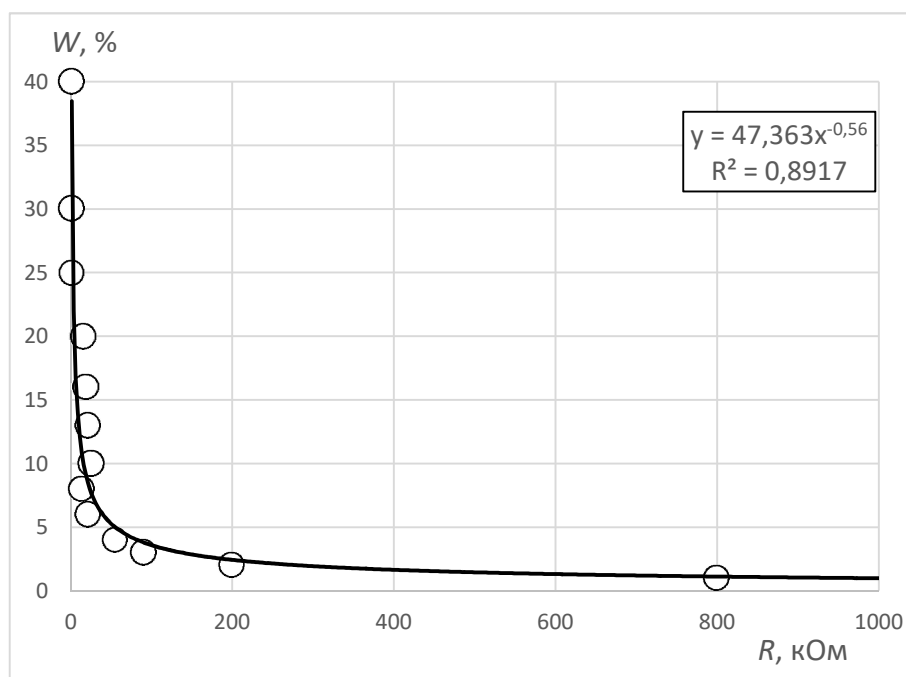


Рис. Д.3 Приклади кореляційних залежностей вологості ґрунту  $W$  від електричних характеристик датчика: а – електричної ємності  $C$ ; б – електричного опору  $R$

За величинам опору (ємності) за допомогою залежностей (Д.1) і (Д.2) визначають вологість ґрунту в кожній контрольованій точці. Отримані величини вологості порівнюють із небезпечними величинами, які відповідають переходу ґрунтів в текучий стан, наприклад, для глини - 40-50 %; суглинку - 30-40%; супіску - 20-30%; піску - 23-36%. Збільшення вологості ґрунту та її наближення до цих небезпечних величин свідчить про можливість виникнення і розвитку деформацій і пошкоджень. Стан вологості ґрунту можна також оцінити за відношенням поточного опору  $R_x$  до опору  $R_0$  в точці, що відповідає текучому стану. У цьому випадку, якщо  $R_x$  перевищує  $R_0$  ( $R_x > R_0$ ), ґрунт вважають структурованим, якщо менше ( $R_x < R_0$ ) - текучим і зсувонебезпечним. Ступінь структурованості ґрунту та його міцності визначають за величиною відношення  $R_x/R_0$  - чим воно більше, тим більше структурованим та міцним є ґрунт.

Результати вимірювань у вигляді значень електричного опору датчика, зануреного у ґрунт основи прибудова до будівлі залізничного навчального закладу, схильної до нерівномірного осідання через перезволоження ґрунтів [9], виміряних на постійному і змінному струмі, і величин вологості ґрунту  $W$ , розрахованих за формулою, наведені на рис. Д.5. Серед результатів вимірювань звертає на себе увагу різке падіння опору та, відповідно, підвищення вологості, яке відбулося після прориву підземного трубопроводу теплової мережі під час його випробування. Отже, розроблений датчик об'єктивно відображає дані про зміну вологості ґрунту.

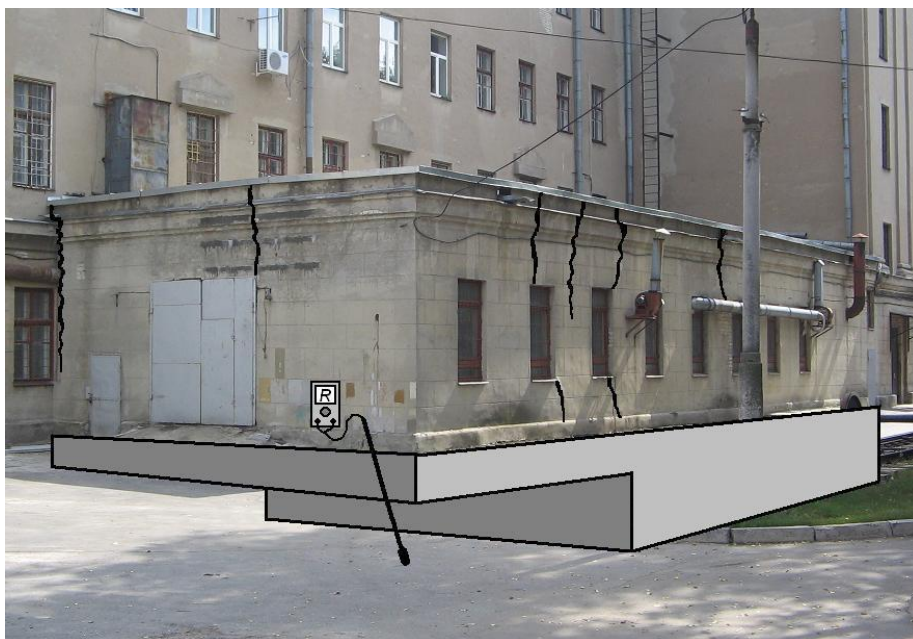
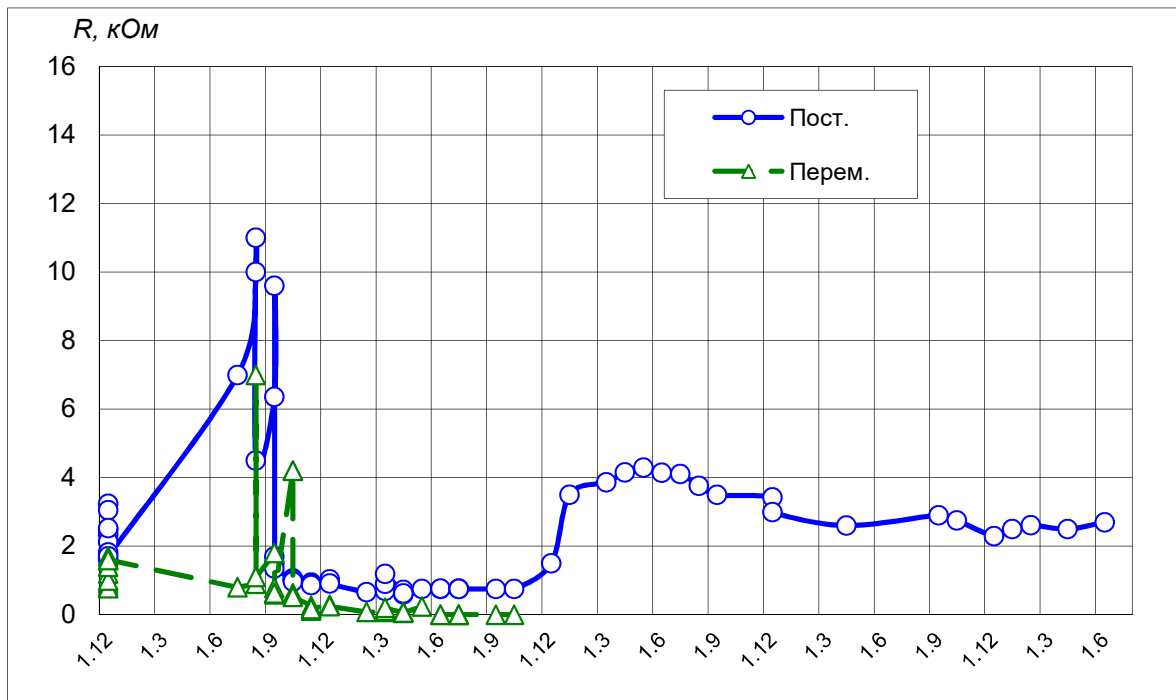


Рис. Д.4 Моніторинг вологісного стану ґрунту основи прибудови до будівлі залізничного навчального закладу, схильної до нерівномірного осідання через перезволоження ґрунтів

а)



б)

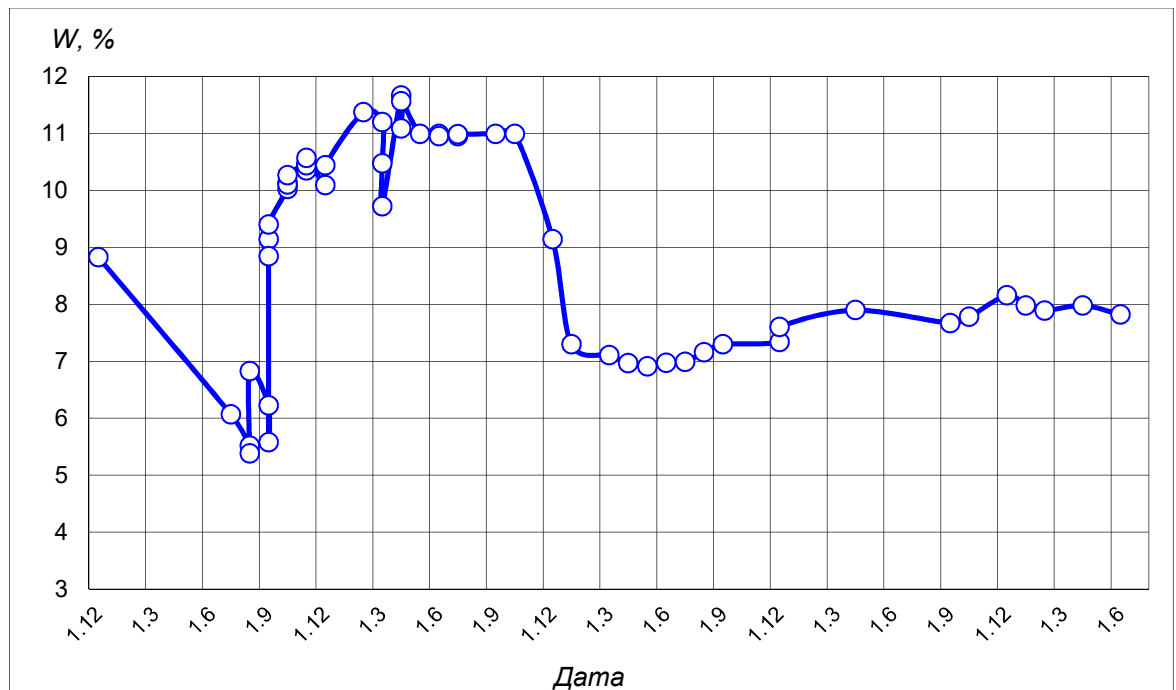
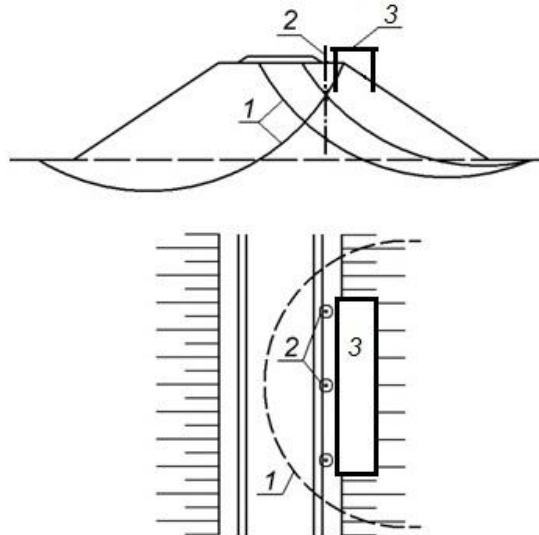


Рис. Д.5 Зміна в часі електричного опору датчика  $R$  (а), виміряного на постійному і змінному струмі, та вологості ґрунту (б)

Для постійного спостереження за станом нестійких укосів насипів і схилів запропонована методика моніторингу вологісного стану ґрунтів потенційно нестійких укосів насипів земляного полотна та зсувонебезпечних схилів, основ пасажирських платформ за допомогою стаціонарних датчиків (рис. Д.6) [9]. Ця методика дозволяє визначити вологість ґрунту всередині

земляних споруд і ґрунтових масивів, в яких вважають за можливе виникнення деформацій і пошкоджень в результаті перезволоження ґрунту. Методика здійснюється шляхом занурення в ґрунт спеціального капілярного датчика, проведення електричних вимірювань та оцінки за їх результатами вологості ґрунту і його реологічного стану - пластичного, текучого.

а)



б)

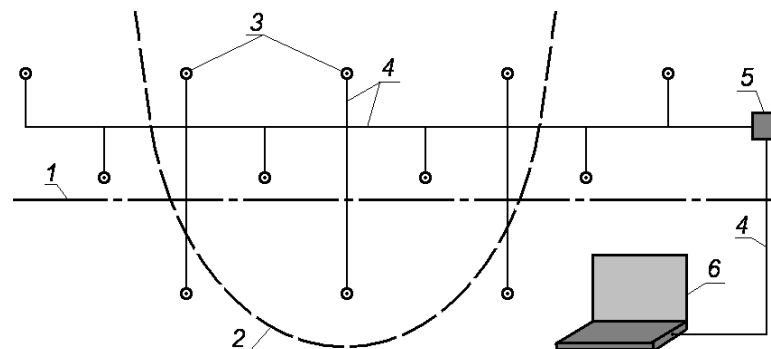


Рис. Д.6 Схема моніторингу вологісного стану ґрунту: *а* - нестійких укосів: *1* - можливі поверхні зсуву укосу; *2* - місця установлення датчиків; *3* - висока пасажирська платформа; *б* - зсувонебезпечних схилів: *1* - вісь залізничної колії; *2* - передбачувана межа зсуву («язик»); *3* - коаксіальні капілярні датчики, встановлені на глибині передбачуваної площини ковзання; *4* - лінії зв'язку; *5* - пристрої для комутації, посилення і перетворення сигналів від датчиків; *6* - диспетчерський пункт

Проте ця система, як і всі вищезгадані, є системою моніторингу стану і не призначена для розв'язання рішень з відновлення втрачених експлуатаційних властивостей і реалізації таких рішень. Необхідна система, що дозволяє



диспетчеру не тільки прийняти правильне рішення на основі сигналів від датчиків, але й самостійно почати запобігання небезпечних випадків.

Запропонована блок-схема алгоритма функціонування такої системи (рис. Д.7). Розглянемо її роботу. Вологість ґрунту визначає стійкість укосу ґрунтового масиву. Її підвищення більш нормованого гранично допустимого значення може привести до сповзання укосу, нерівномірному осіданню будівлі, перекосу платформи з її виходом із габариту наближення будов.

Робота системи здійснюється наступним чином. Система використовує коаксіальні капілярні датчики вологості (рис. Д.1), розподілені по ґрунтовому масиву (рис. Д.6), і перетворювачі аналогових сигналів в цифрові (рис. Д.2). Попередньо в програмне забезпечення вводять нормовані межі вологості ґрунтів. Комп'ютер з програмним забезпеченням відповідно до попередньо заданого дискретного режиму вмикає датчики, з яких знімаються величини електричного опору і ємності. Ці величини через перетворювачі аналогового сигналу в цифровий надходять на комп'ютер, де за формулами Д.1 і Д.2 перетворюються в величини вологості. На підставі цих величин і координат датчиків система будує і виводить на монітор комп'ютера 3D модель ізополей вологості ґрунтів масиву. Далі програмне забезпечення порівнює отримані величини вологості з нормованими межами. У разі відповідності вологості нормованим межах (відсутність перевищення) система інформує фахівця з нагляду про це і відключається до наступного включення згідно з заданим дискретним режимом.

У разі невідповідності вологості нормованим межах система інформує фахівця про це і визначає можливість автоматичного інтенсивного виправлення показника експлуатаційних властивостей, що вийшов за нормовані межі (вологості ґрунту). Таке виправлення можливе у разі наявності в системі вбудованих виконавчих механізмів відновлення експлуатаційних властивостей.

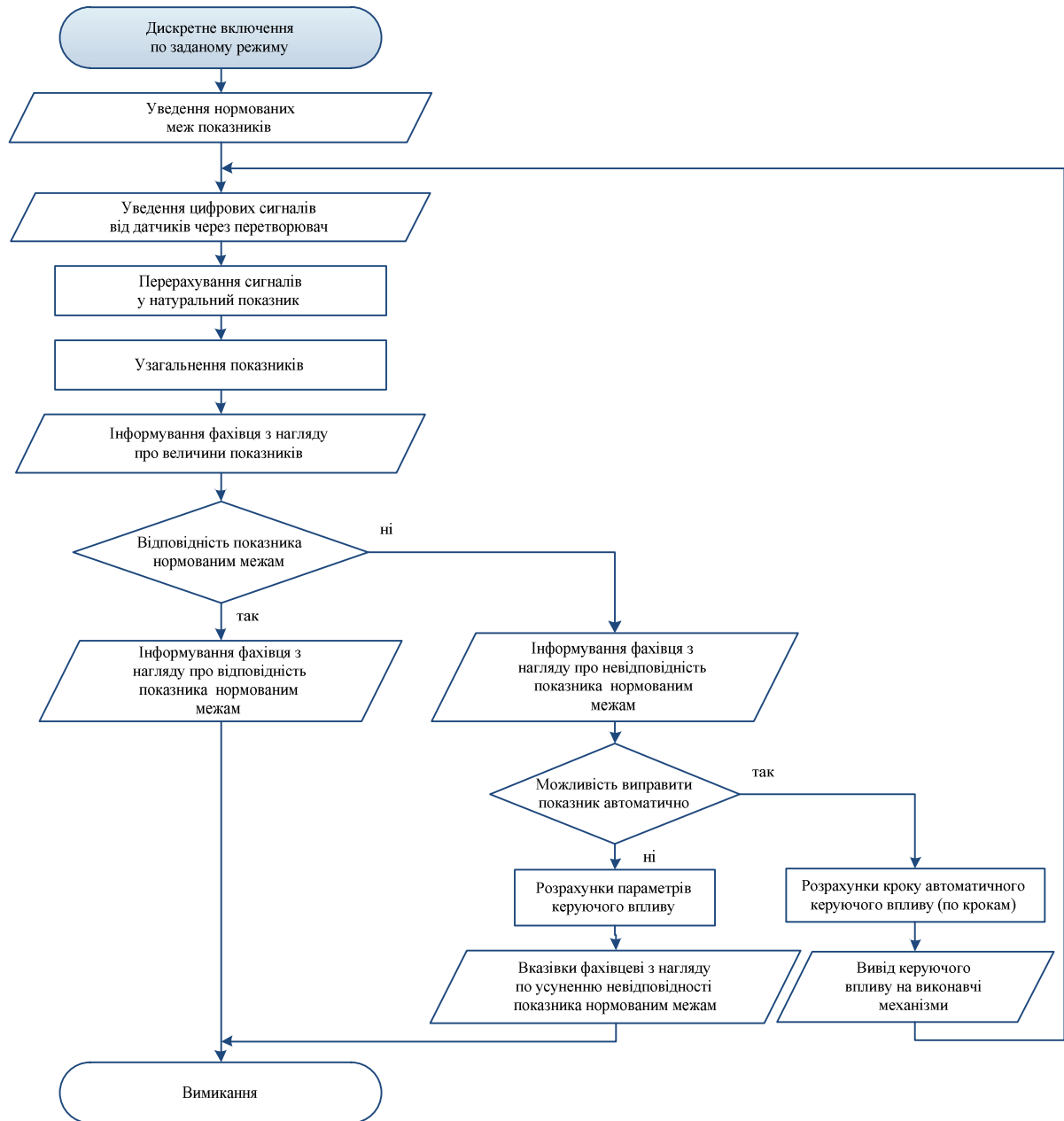


Рис. Д.7 Блок-схема алгоритму функціонування автономної комп'ютерної системи інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей будівельних об'єктів (по одному показнику властивостей)

Цими механізмами можуть бути капілярні дренажі (рис. Д.1), влаштовані в тілі ґрунтового масиву і розподілені між капілярними датчиками (рис. Д.6). У звичайному режимі капілярні дренажі підсушують ґрунтовий масив. У разі прийнятті системою рішення про інтенсивне зниження вологості вони можуть бути автоматично включені в режим електроосмотичного

осушення, в якому зовнішній електрод капілярних датчиків використовується як анод, а капілярний дренаж - як катод. Після роботи електроосмотичного осушення протягом встановленого часу воно відключається і включаються датчики вологості. Цикли повторюються до повернення вологості в нормовані межі.

У разі неможливості автоматичного інтенсивного виправлення показника експлуатаційних властивостей, що вийшов за нормовані межі (відсутність виконавчих механізмів, дефіцит їх продуктивності), система інформує фахівця про це і продовжує роботу в експертному режимі. Використовуючи спеціальні алгоритми і бази даних, вона генерує варіанти відновлення експлуатаційних властивостей, вибирає критерій оптимальності варіанта, порівнює варіанти, пропонує фахівцеві оптимальний з них і видає рекомендації по його реалізації (виїзд аварійної бригади, улаштування дренажних прорізів або свердловин, посилення укосу контрбанкетами, геотекстилем, габіонами, підпірною стінкою, контрфорсами, буроін'єкційними або буронабивних палями тощо). Під час ремонтних робіт система працює в режимі моніторингу вологості, після їх завершення переходить в звичайний режим.

Таким чином, розроблено блок-схему моніторингово-керуючої системи вологісного стану ґрунтів і стійкості насипів, виїмок, схилів та інших ґрунтових масивів, в якій передбачено не тільки інформування оператора про досягнення вологістю ґрунту гранично допустимих значень і небезпеки порушення стійкості масиву, але і вибір і розрахунок автономних зворотних впливів виконавчих механізмів (пристроїв для осушення, ін'єкційного закріплення і т.п.), що забезпечують осушення і стійкість масиву.

**ДОДАТОК Е**

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.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Цей технологічний регламент встановлює порядок виготовлення суміші електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для гідроізоляції і захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій.

Склад композиції захищено Патентом 113600 UA Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Прощін, О.А. Пługін, Д.О.Бондаренко, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с.

Композиція дозволяє отримати електропровідний, водонепроникний, морозостійкий захисний шар з короткими термінами тужавлення, добрим зчепленням зі «старим» бетоном та іншими кам'яними підкладками.

Композиція призначена для гідроізоляції та захисту від електрокорозії постійними струмами витоку залізобетонних, бетонних і кам'яних конструкцій заземленими екранами-покриттями.

Технологічний регламент містить вказівки із нанесення композиції на залізобетонні, бетонні та кам'яні конструкції і улаштування з неї заземленого екрану-покриття.

## 2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У технологічному регламенті містяться посилання на нормативні документи:

ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-126:2011 Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия

ГОСТ 21929-76 Транспортирование грузов пакетами. Общие технические условия

ГОСТ 22237-85 Цементы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия

### ЗМАТЕРІАЛИ

Композиція складається із в'язучої речовини, заповнювача, електропровідного наповнювача і комплексної хімічної добавки.

В'язуча речовина – портландцемент ПЦ I-500 або ПЦ II-A/Ш-500 ДСТУ Б В.2.7-46.

Заповнювач – пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5.

Електропровідний наповнювач – графітовий порошок марки ГС-1.

Складові комплексної хімічної добавки КХД: нітрат натрію; кальцієва сіль слабкої неорганічної кислоти; хлорид кальцію; сульфат натрію; карбонат натрію; гідроксид кальцію; перетворювачі ржі; інгібітор корозії; добавка-суперплатифікатор – сульфонафталінформальдегід СП-1.

### З СКЛАД КОМПОЗИЦІЇ

Склад композиції, частин за масою:

- портландцемент– 32;
- пісок– 53;

- графіт – 10;
- КХД – 5, у т.ч.:
  - нітрат натрію – 1;
  - кальцієва сіль слабкої неорганічної кислоти – 1;
  - хлорид кальцію – 0,5;
  - сульфат натрію – 0,5;
  - карбонат натрію – 0,5;
  - гідроксид кальцію – 1;
  - перетворювач іржі – 0,1;
  - інгібітор корозії – 0,1;
  - добавка-суперплатифікатор – 0,3.

За узгодженням із споживачем вміст КХД може бути змінено:

- у разі задовільного стану і щільності бетону конструкції вміст КХД може бути зменшений з 5 до 2,5;
- у разі більш пошкодженого менш щільного бетону вміст КХД може бути збільшений з 5 до 7,5

#### 4 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИГОТОВЛЕННЯ СУМІШІ КОМПОЗИЦІЇ

В залежності від потрібної продуктивності виробництва виготовлення композиції виробництво суміші композиції слід організувати за однією із технологічних схем:

- для продуктивності до 1 т/зміну – за схемою, наведеною на рис. 1, а;
- для продуктивності понад 1 т/зміну – за схемою, наведеною на рис. 1, б.

Більш продуктивний варіант технологічної схеми відрізняється подвійною кількістю вагового обладнання.



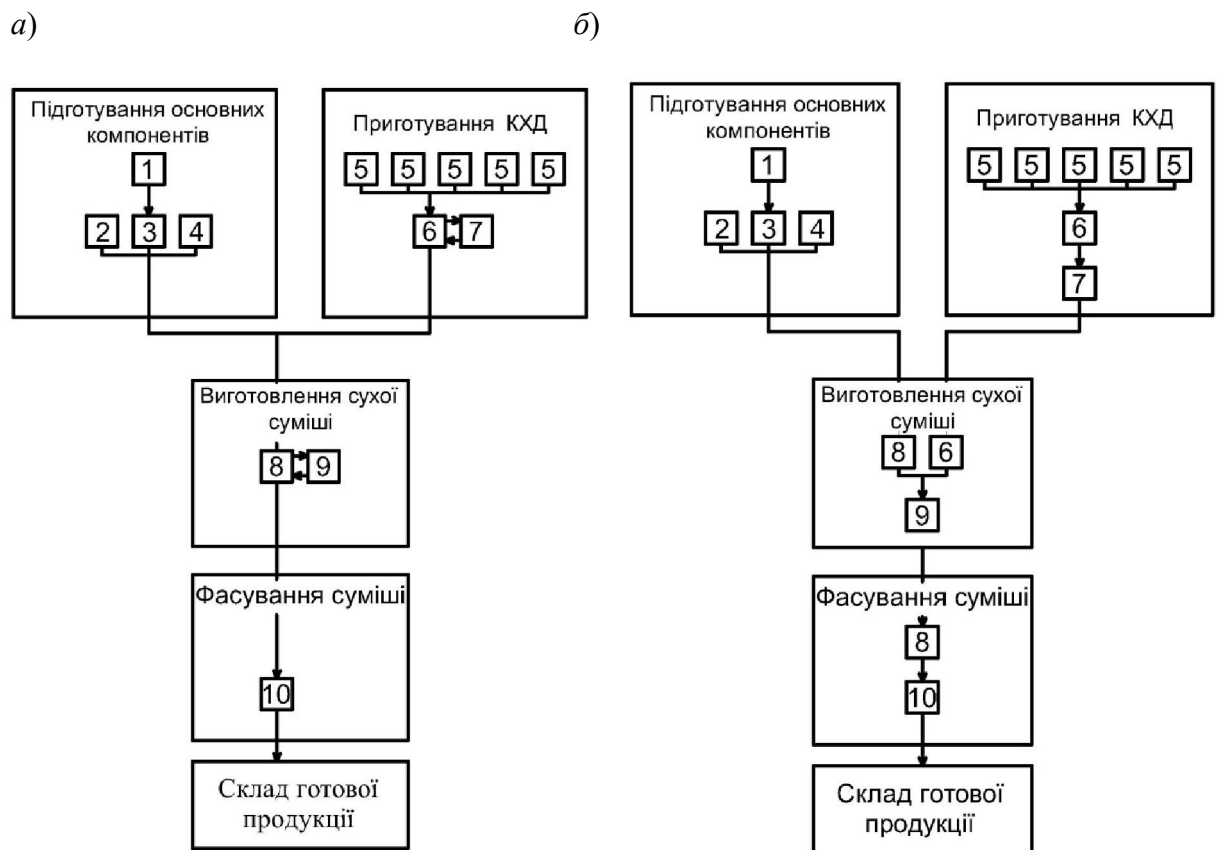


Рис. 1. Технологічні схеми виготовлення суміші електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем: *а* – для продуктивності виробництва до 0,5 т/зміну; *б* – для продуктивності виробництва понад 0,5 т/зміну; 1 – сушарка піску; 2 – бункер для цементу; 3 – бункер для піску; 4 – бункер для графітового порошку; 5 – бункери для компонентів КХД; 6 – дозатор (ваги) 5 кг; 7 – змішувач 10 л; 8 – дозатор (ваги) 100 кг; 9 – змішувач 0,25 м<sup>3</sup>; 10 – пакувальна машина

## 5 ПОРЯДОК ПРИГОТУВАННЯ СУМІШІ КОМПОЗИЦІЇ

Згідно з технологічною схемою виробництва суміші композиції її виготовлення має здійснюватися у такому порядку:

- 1) підготування основних компонентів – сушка піску, завантаження у бункери цементу, піску і графітового порошку; всі компоненти мають бути сухими з відносною вологістю не більше 0,1%;
- 2) приготування комплексної хімічної добавки – дозування та змішування компонентів;
- 3) приготування сухої суміші – дозування та змішування цементу, піску, графітового порошку і комплексної хімічної добавки;
- 4) фасування сухої суміші у мішки 25 кг із вологонепроникного паперу;
- 5) складування сухої суміші у мішках, відвантаження споживачу.

## 6 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Для забезпечення якості продукції система її контролю має включати:

- вхідний контроль якості матеріалів;
- поопераційний контроль технологічних процесів;
- вихідний контроль якості готової продукції

Всі параметри контролюються на відповідність вимогам нормативних документів і технологічного регламенту.

Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції наведені у табл. 1.

Таблиця 1

## Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції

Найменування матеріалу	Місце відбору проб	Контрольований параметр		Метод випробування, чинний нормативний документ	Періодичність випробувань
		найменування	величина		
Вхідний контроль якості матеріалів					
Портландцемент ПЦ І-500 або ПЦ ІІ-А/Ш-500 ДСТУ Б В.2.7-46	Бункер для цементу	Міцність на стиск	неменше 50 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	Кожна партія цементу
Пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5	Бункер для піску	Наявність пилюватих, глинистих і мулистих частинок	Небільше 2 %	Відмулювання за ГОСТ 8735	Кожна партія піску
		Вміст зернин більших 0,63 мм	Небільше 5 %	Ситовий аналіз за ГОСТ 8735	
		Вологість	Небільше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	
Графітовий порошок	Бункер для графіту	Вміст частинок більших 0,2 мм	небільше 1 %	Сито 02, ваги електронні	Кожна партія графіту
Хімічні добавки – компоненти КХД	Ємкості для хімічних добавок	Вміст частинок більших 0,2 мм	небільше 0,01%	«	Кожна партія добавки
Вихідний контроль якості готової продукції					
Готова суха суміш	Змішувач	Вологість	небільше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	1 раз у зміну
		Міцність на стиск	неменше 20 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	
		Міцність зчеплення з основою	неменше 2 МПа	Відриву штампку за ДСТУ Б В.2.7-126	

## 7 ТРАНСПОРТУВАННЯ

Транспортування суміші композиції має здійснюватися згідно з ГОСТ 22237.

Суміш повинна транспортуватися: у дрібному розфасуванні – у мішках), в упакованому вигляді – у транспортних пакетах або навалом.

Транспортування в дрібному розфасуванні – у мішках має здійснюватися автомобільним транспортом або у критих залізничних вагонах.

Транспортування в упакованому вигляді – у транспортних пакетах має здійснюватися універсальними транспортними засобами – критими автомобілями, вагонами, суднами у транспортних пакетах поштучно або у контейнерах відповідно до правил перевезення і кріплень вантажів, що діють на даному виді транспорту. Транспортування суміші пакетами в термоусадочної плівці залізницею слід здійснювати у чотиривісних піввагонах згідно з технічними умовами на розміщення і кріплення таких пакетів.

Транспортування навалом має здійснюватися у спеціалізованих автоцементовозах, вагонах-цементовозах, судах або у спеціальних ємкостях за погодженням зі споживачем

Транспортні пакети слід формувати із застосуванням плоских піддонів за ГОСТ 9078, термоусадочної поліетиленової плівки за ГОСТ 25951 або інших засобів пакетування за відповідною нормативно-технічною документацією та дотриманням вимог ГОСТ 21929. Пакети слід формувати пошарово із мішків та щільно обжимати плівкою. Довжина пакетів в термоусадочної плівці повинна бути в межах 1260–1290 мм, ширина – 1030–1060 мм, висота – 880–950 мм. Маса пакету нетто не повинна перевищувати 2000 кг. Пакети в термоусадочної плівці повинні бути герметичні.

Контейнери, що застосовуються для транспортування суміші, повинні відповідати вимогам нормативно-технічної документації на них.

Виробник зобов'язаний поставляти сумішу справному і очищеному транспортному засобі.

Під час навантаження і транспортуванні суміші без упаковки або в мішках вона повинна бути захищена від впливу вологи і забруднення сторонніми домішками.

Транспортні засоби повинні бути завантажені до повної вантажопідйомності або повної місткості кузова.

## 8 ЗБЕРІГАННЯ

Зберігання композиції має здійснюватися згідно з ГОСТ 22237.

Композиція повинна зберігатися окремо за видами і марками: навалом – в силосі або іншій критій ємкості; в упаковці – в критих сухих приміщеннях. Змішування композиції різних видів і марок, її забруднення сторонніми домішками, зволоження не допускаються.

У разі зберігання мішки з композицією потрібно укласти на піддони в ряди тісно один до одного, але із забезпеченням вільного підходу до них, висотою не більше 1,8 м.

Зберігання композиції в пакетах, виготовлених із застосуванням термоусадочної плівки, не вимагає захисту від атмосферних опадів за умови цілісності пакету.

Для захисту пакетів від примерзання і руйнування термоусадочної плівки їх слід укласти на піддони в штабелі висотою не більше чотирьох ярусів.

Не допускається зберігати композицію без упаковки в складах амбарного типу.

## 9 ВКАЗІВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ

Електропровідну композицію на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем слід застосовувати для екранного захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, у складі конструктивно-технологічних рішень, наведених на рис. 2.

Вузол сполучення електроду заземлення з екраном слід забезпечувати згідно з рис. 2, б–г. Сполучення слід здійснювати за допомогою сталевій перфорованої (для забезпечення зчеплення з композицією) пластини товщиною 5 мм, площа якої має складати 4 % від загальної площі екрану за проектом. Сполучну пластину слід прикріплювати на торцеву грань опори з боку, протилежного рейковій колії, анкерами, туго забитими у попередньо просвердлені отвори. Анкери мають бути уварені в пластину до її встановлення. Під пластину безпосередньо перед її встановленням на опору слід нанести шар електропровідної композиції товщиною 7–10 мм. Пластина та заземлені металеві перила платформи мають бути з'єднані між собою різьбовим (рис. 2, в) або зварним (рис. 2, г) провідником із сталевого дроту діаметром 8 мм.

Нанесення композиції слід здійснювати за температури повітря не менше: середньодобової – 10°C, мінімальної протягом доби – 5°C.

Перед улаштуванням екранного захисту навколо опори необхідно видалити ґрунт на глибину 150 мм, а її поверхню, на якій згідно проекту улаштується екран, очистити від нещільного пошкодженого шару, бруду та промити водою.

Суху суміш композиції потрібно замішати водою, забезпечуючи водотверде відношення 0,15-0,17. Для цього суміш слід поступово засипати у ємкість об'ємом 10–15 л з попередньо дозованою водою, постійно перемішуючи її за допомогою низько-обертової електродрилі з насадком-міксером. Перемішування слід здійснювати протягом не менше 5 хвилин до візуальної однорідності.

Суміш слід наносити на попередньо змочену водою поверхню опори згідно проекту шаром товщиною 7–10 мм, у т.ч. на поверхню сполучної пластини, прийомами штукатурних робіт. Після нанесення композиції протягом 3 діб за нею здійснюють вологий ухід, змочуючи її протягом дня 1 раз на 3 години, та укриваючи від прямих сонячних променів.

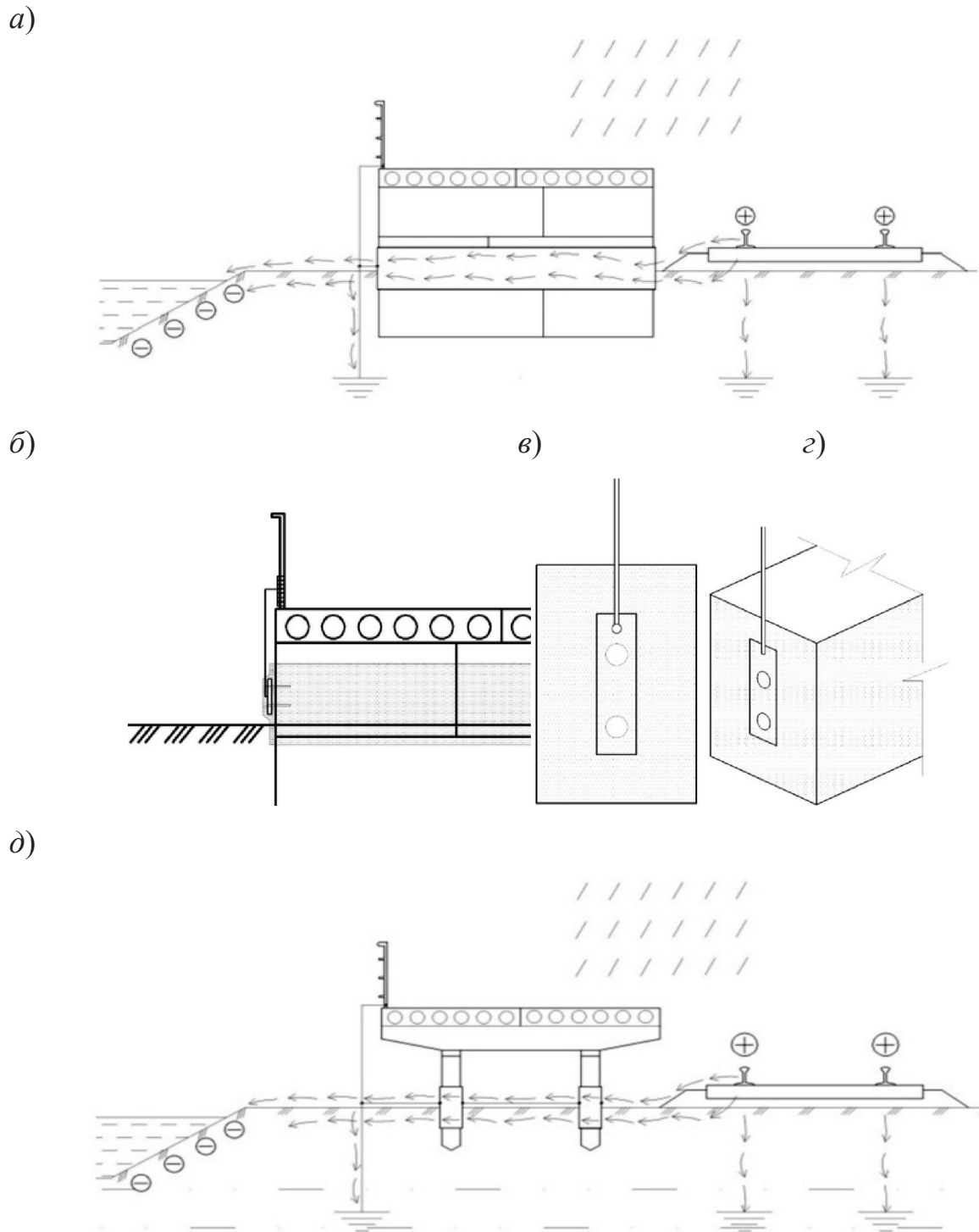


Рис. 2 Конструктивно-технологічні рішення захисту від електрокорозії заземленими екранами-покриттями конструкцій високих пасажирських платформ з опорами із бетонних блоків (а-г) і залізобетонних стояків і ригелів (д): а, д – загальні схеми; б-г – вузол сполучення електроду заземлення з екраном з різьбовим (в) та зварним (г) кріпленням провідника заземлення до сполучної пластини

**ДОДАТОК Ж**



УЗГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи  
Українського державного університету  
залізничного транспорту

д.т.н., проф. Г.Л. Ватуля

«24» січня 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ВАТ «Віа-Телос»

Т.В. Губіна

«25» січня 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., Прощін 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. Прощін

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

«18» жовтня 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник Харківського  
територіального управління філії  
«Центр будівельно-монтажних робіт  
та експлуатації будівель та споруд»  
ПАТ «Укрзалізниця»

О.Б. Чумаченко

«19» жовтня 2017 р.

## АКТ

вибору дослідної ділянки для впровадження захисту конструкцій  
високих пасажирських платформ від електрокорозії  
заземленими екранами-покриттями із електропровідних композицій

м. Харків

18.10.2017

Ми, що підписалися нижче, головний інженер Харківського територіального управління філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд» ПАТ «Укрзалізниця» Конєв В.В., професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ Плуґін Д.А., докторант кафедри будівельної механіки та гідравліки УкрДУЗТ Плуґін О.А., молодший науковий співробітник кафедри БМКС Касьянов В.В. склали цей акт про те, що 18.10.2017 здійснили огляд залізобетонних конструкцій високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків та ригелів на з.п. Науковий, Карачівка, Високий, Верещаківка та з опорами із бетонних блоків на з.п. Липовий Гай, Високий, Артемівка Південної залізниці. Огляд зроблено на предмет вибору ділянки для дослідного впровадження електропровідних композицій для захисту від електрокорозії за допомогою заземлених екранів-покриттів:

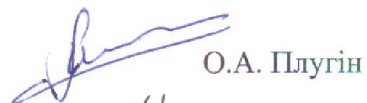
- електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу для гідроізоляції та захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (патент на винахід І13600 UA);
- електропровідної шпаклювальної композиції на основі силікату натрію для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (заявка на винахід № а2017 02778).

На момент огляду більшість опор мали характерні електрокорозійні пошкодження – тріщини у залізобетонних стояках на рівні землі, руйнування бетону опор із блоків. Згідно з розробленими критеріями вибору конструкти-

вно-технологічного рішення ремонту і захисту для дослідного впровадження композицій за пат.113600 UA і заявкою № а2017 02778 обрано опори з тріщинами та поверхневим руйнуванням бетону, що не знижують їх несучої здатності, на з.п. Артемівка та Високий.

  
В.В. Конєв

  
Д.А. Плуґін

  
О.А. Плуґін

  
В.В. Касьянов

УЗГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи  
Українського державного  
університету залізничного  
транспорт



Д.Т.Н. проф. Г.Л. Ватуля

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 Пługін А.А., зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ Пługін 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. Конєв



А.А. Плуґін



Д.А. Плуґін



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 витоку 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. Пługін**

« \_\_\_\_\_ » 2015 р.

Зав. ГНДІ КЗККС

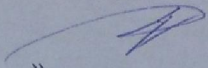
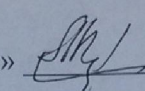
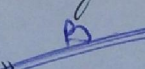
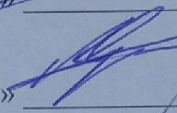
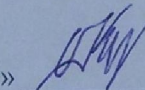
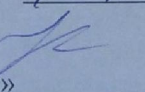
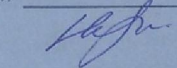
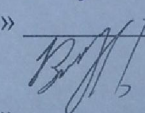
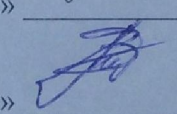
к.т.н., доц. **С.В. Мірошніченко**

« \_\_\_\_\_ » 2015 р.

Харків 2015

## Продовження титульного аркуша

## Розроблено:

Д.т.н., проф.		<b>Д.А. Плугін</b>
« » _____		2015 р.
Д.т.н., проф.		<b>А.М. Плугін</b>
« » _____		2015 р.
Інженер		<b>В.В. Конєв</b>
« » _____		2015 р.
К.т.н., доц.		<b>О.А. Плугін</b>
« » _____		2015 р.
К.т.н., доц.		<b>О.А. Калінін</b>
« » _____		2015 р.
К.т.н., доц.		<b>О.С. Борзяк</b>
« » _____		2015 р.
Інженер		<b>С.Г. Нестеренко</b>
« » _____		2015 р.
Інженер		<b>В.В. Касьянов</b>
« » _____		2015 р.
К.т.н., доц.		<b>В.А. Лютий</b>
« » _____		2015 р.

**ДОДАТОК К**



/назва організації, що затверджує/

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зведений кошторисний розрахунок в сумі

458,458 тис.грн.

В тому числі зворотних сум

посилання на документ про затвердження

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ р.

**ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК  
ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №**

Капітальний ремонт високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.

найменування об'єкта будівництва

Складений в поточних цінах станом на 11.11.2020

Ч.ч.	№ кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис. грн.			
			будівельних робіт	устаткув. меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
<b>Глава 2. Об'єкти основного призначення</b>						
1	02-001	Капітальний ремонт платформи	458,458			458,458
		Разом по главі № 2	458,458			458,458
		<b>Разом по главах № 1 - 7</b>	<b>458,458</b>			<b>458,458</b>
	<b>Разом</b>		458,458			458,458
	<b>Всього по зведеному кошторисному розрахунку</b>		<b>458,458</b>			<b>458,458</b>

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]

Капітальний ремонт високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.  
(найменування об'єкта будівництва)

## ВІДОМІСТЬ РЕСУРСІВ

до локального кошториса №02-001-001

Ч.ч.	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	У тому числі, грн.			
						Відпускна ціна	Транспортна складова	Загот.-склад.	
						Всього, грн.	Всього	Всього	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>I. Витрати труда</b>									
1	1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год.	1,989.85	56.93	-	-	-	-
2		Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	розряд	3.4	-	-	-	-	-
3	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд.год.	355.4	75.8497	-	-	-	-
4		Середній розряд ланки робітників, які зайняті управлінням і обслуговуванням машин	розряд	5.5	-	-	-	-	-
5	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням автомобільного транспорту при перевезенні ґрунту і будівельного сміття	люд.год.	9.34	67.5589	-	-	-	-
6		Витрати труда робітників, заробітна плата яких передбачена в загальновиробничих витратах	люд.год.	281.12	94.6571	-	-	-	-
7		Разом кошторисна трудомісткість у тому числі	люд.год.	2,635.71	63.5419	-	-	-	-
		- нормативної трудомісткості	люд.год.	-	-	-	-	-	-
		- розрахункової трудомісткості	люд.год.	2,345.25	-	-	-	-	-
		Середній розряд робіт за кошторисом	розряд	290.46	-	-	-	-	-
			розряд	3.4	-	-	-	-	-
<b>II. Будівельні машини і механізми</b>									
1	CH201-12	Автомобілі бортові, вантажопідйомність 5 т	маш-год	29.194	219.45	-	-	-	-
2	CH206-337	Екскаватори одноковшові дизельні на пневмоколісному ході, місткість ковша 0,25 м3	маш-год	3.816	6,407	-	-	-	-
3	CH205-101	Компресори пересувні з двигуном внутрішнього згоряння, тиск до 686 кПа [7 ат], продуктивність 2,2 м3/хв	маш-год	2.788	258.76	-	-	-	-
4	CH202-1140	Крани на автомобільному ході, вантажопідйомність 6,3 т	маш-год	209.687	988	-	-	-	-
5	CH233-803	Молотки відбійні пневматичні, при роботі від пересувних компресорних станцій	маш-год	2.788	190.70	-	-	-	-
6	CH203-850	Навантажувачі одноковшові, вантажопідйомність 1 т	маш-год	7.202	532	-	-	-	-
					369.84	-	-	-	-
					77,551	-	-	-	-
					3.70	-	-	-	-
					10	-	-	-	-
					221.79	-	-	-	-
					1,597	-	-	-	-

7	СН204-502	Установка для зварювання ручного дугового [постійного струму]	маш-год	84.292	19.74	-	-	-
8	С314-10	Перевезення сміття до 10 км	т	58.0	1,664	-	-	-
					74.37	-	-	-
					4,313	-	-	-
		Разом	грн.	-	93,061	-	-	-
		Бензин	кг	1,299.519665	31.6400	41,116.0750		
		Дизельне паливо	кг	50.923682	27.9900	1,425.3829		
		Електроенергія	квт.г.	446.747176	2.2929	1,024.1468		
		Масильні матеріали	кг	85.418853	71.5400	6,109.6660		
		Гідравлічна рідина	кг	0.220366	77.4900	17.0784		
III. Будівельні матеріали, вироби та конструкції								
1	С124-59	Анкерні деталі із прямих або гнутих круглих стрижнів з різьбою [в комплекті з шайбами та гайками або без них], такі, що поставляються окремо	т	0.042	38,337.74	37,425.50	160.52	751.72
					1,610	1,572	7	32
2	К581121-А003	Блоки бетонні для стін підвалів марки ФБС 24.5.6-Т ГОСТ 13579-78 із бетону марки 100(Ф12)	шт	62.0	1,347.14	1,100.00	220.73	26.41
3	К581121-А013	Блоки бетонні для стін підвалів марки ФБС 9.5.6-Т ГОСТ 13579-78 із бетону марки 100(Ф12)	шт	66.0	83,523	68,200	13,685	1,637
					590.95	500.00	79.36	11.59
4	5	Будівельне сміття	т	0.755	39,003	33,000	5,238	765
					-	-	-	-
5	С121-777	Деталі кріплення рейок, елементи кріплення підвісних стель, трубопроводів, повітроводів, закладні деталі, деталі кріплення стінових панелей, ворот, рам, грат тощо масою не більше 50 кг, з перевагою профільного прокату, такі, що складаються з двох та більше деталей, з отворами та без отворів, які з'єднуються на зварюванні	т	0.72	47,313.01	46,748.05	212.75	352.21
					34,065	33,659	153	254
6	С111-1513	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0.03653	41,257.79	40,240.71	208.10	808.98
					1,507	1,470	8	30
7	С111-1529	Електроди, діаметр 6 мм, марка Э42	т	0.0228	40,560.29	39,556.89	208.10	795.30
					925	902	5	18
8	С111-797	Катанка гарячекатана у мотках, діаметр 6,3-6,5 мм	т	0.011008	18,268.73	17,750.00	160.52	358.21
					201	195	2	4
9	С111-627	Оліфа комбінована К-2	т	0.002516	21,162.47	20,433.74	313.78	414.95
					53	51	1	1
10	С111-1305	Портландцемент загальнобудівельного призначення бездобавковий, марка 400	т	0.315	2,128.54	1,859.28	227.52	41.74
					670	586	72	13
11	С1425-11683	Розчин готовий кладковий важкий цементний, марка М100	м3	2.972	1,679.71	1,209.15	437.62	32.94
					4,992	3,594	1,301	98
12	С1425-11680	Розчин готовий кладковий важкий цементний, марка М25	м3	2.17	1,305.19	841.98	437.62	25.59
					2,832	1,827	950	56
13	С1425-11681	Розчин готовий кладковий важкий цементний, марка М50	м3	0.14	1,429.40	963.75	437.62	28.03
					200	135	61	4
14	С1425-11688	Розчин готовий кладковий важкий цементно-вапняковий, марка М50	м3	0.2208	1,859.58	1,385.50	437.62	36.46

15	C1113-307	Скло рідке калійне	т	0.035	411 13,345.04	306 12,777.78	97 305.59	8 261.67
16	C1424-11620	Суміші бетонні готові важкі, клас бетону В10 [M150], крупність заповнювача більше 10 до 20 мм	м3	0.9088	467 1,742.83	447 1,231.25	11 477.41	9 34.17
17	C1424-11633	Суміші бетонні готові важкі, клас бетону В15 [M200], крупність заповнювача 10 мм і менше	м3	4.62	1,584 1,872.84	1,119 1,358.71	434 477.41	31 36.72
18	C1424-11631	Суміші бетонні готові важкі, клас бетону В7,5 [M100], крупність заповнювача 10 мм і менше	м3	0.0477	8,653 1,687.10	6,277 1,176.61	2,206 477.41	170 33.08
19	C111-388-1	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	0.004181	80 26,268.20	56 25,450.28	23 302.86	2 515.06
20	C1422-10936	Цегла керамічна одинарна повнотіла, розміри 250x120x65 мм, марка М100	1000шт	0.36064	110 3,812.74	106 3,125.00	1 612.98	2 74.76
		Разом	грн.	-	182,262	154,629	24,473	3,159

Підсумкові показники								
		Кошторисна трудомісткість (I)	люд.год.	2,635.71	167,478.0	-	-	-
		Будівельні машини і механізми (II)	грн.	-	93,061	-	-	-
		Будівельні матеріали, вироби та конструкції (III)	грн.	-	182,262	-	-	-

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на 11.11.2020

Склав

Конев В.В.

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

/ /

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

/назва організації, що затверджує/

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зведений кошторисний розрахунок в сумі

124,447 тис.грн.

В тому числі зворотних сум

посилання на документ про затвердження

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ р.

**ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК  
ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №**

Улаштування захисних екранів на опорах високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.

найменування об'єкта будівництва

Складений в поточних цінах станом на 11.11.2020

Ч.ч.	№ кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис. грн.			
			будівель них робіт	устаткув. меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
<b>Глава 2. Об'єкти основного призначення</b>						
1	02-001	Улаштування захисних екранів	124,447			124,447
		Разом по главі № 2	124,447			124,447
		<b>Разом по главах № 1 - 7</b>	<b>124,447</b>			<b>124,447</b>
	<b>Разом</b>		<b>124,447</b>			<b>124,447</b>
	<b>Всього по зведеному кошторисному розрахунку</b>		<b>124,447</b>			<b>124,447</b>

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]

Улаштування захисних екранів на опорах високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.  
(найменування об'єкта будівництва)

## ВІДОМІСТЬ РЕСУРСІВ

до локального кошториса №02-001-001

Ч.ч.	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	У тому числі, грн.		
						Відпускна ціна	Транспортна складова	Загот.-склад.
						Всього, грн.	Всього	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>I. Витрати труда</b>								
1	1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год.	161,15	67,55	-	-	-
2		Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	розряд	4,7	-	-	-	-
3	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд.год.	7,42	77,2237	-	-	-
4		Середній розряд ланки робітників, які зайняті управлінням і обслуговуванням машин	розряд	5,6	-	-	-	-
5		Витрати труда робітників, заробітна плата яких передбачена в загальновиборничих витратах	люд.год.	18,88	94,6504	-	-	-
6		Разом кошторисна трудомісткість у тому числі	люд.год.	187,45	70,6588	-	-	-
		- нормативної трудомісткості	люд.год.	168,57	-	-	-	-
		- розрахункової трудомісткості	люд.год.	18,88	-	-	-	-
		Середній розряд робіт за кошторисом	розряд	4,7	-	-	-	-
<b>II. Будівельні машини і механізми</b>								
1	СН201-12	Автомобілі бортові, вантажопідйомність 5 т	маш-год	0,094	219,45	-	-	-
					21	-	-	-
2	СН204-201	Агрегати зварювальні пересувні з бензиновим двигуном, з номінальним зварювальним струмом 250-400 А	маш-год	6,732	173,73	-	-	-
					1.170	-	-	-
3	СН202-1140	Крани на автомобільному ході, вантажопідйомність 6,3 т	маш-год	4,845	369,84	-	-	-
					1.792	-	-	-
4	СН204-502	Установка для зварювання ручного дугового [постійного струму]	маш-год	3,34	19,74	-	-	-
					66	-	-	-
		Разом	грн.	-	3.048	-	-	-
		Бензин	кг	61,231999	31,6400	1,937,3934		
		Електроенергія	квт.г.	17,702367	2,2929	40,5818		
		Масляні матеріали	кг	3,168229	71,5400	226,6105		

Строительные Технологии - Смета™ ред. 7.9.46 - 2 -				5232_вр_02-001-001				
III. Механізований інструмент								
1	СН270-106	Апарат для газового зварювання і різання	маш-год	4,533				
2	СН233-301	Машини шліфувальні електричні	маш-год	0,094				
		Разом вартість ресурсів, спожитих механізованим інструментом і врахованих в вартості матеріалів	грн.	-	-	-	-	-
		Електроенергія	квт.г.	0,046823	2,2929	0,1074		
		Масляні матеріали	кг	0,001873	71,5400	0,1340		
IV. Будівельні матеріали, виробы та конструкції								
1	С111-1848	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,019001	65.807,77	64.312,98	204,44	1.290,35
					1.250	1.222	4	25
2	С121-755	Вартість м/к арматури 12 мм	т	0,0414	21.371,85	21.000,00	212,75	159,10
					885	869	9	7
3	С121-755	Вартість м/к кутика 63x5	т	1,3158	21.371,85	21.000,00	212,75	159,10
					28.121	27.632	280	209
4	С111-1513	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,001764	41.257,79	40.240,71	208,10	808,98
					73	71	-	1
5	С111-1515	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э46	т	0,001764	45.035,59	43.944,44	208,10	883,05
					79	78	-	2
6	С111-324	Кисень технічний газоподібний	м3	1,62864	19,80	16,03	3,38	0,39
					32	26	6	1
7	С1546-66	Пропан-бутан технічний	м3	0,149292	29,28	23,65	5,06	0,57
					4	4	1	-
8	С1113-300	Суміш з графітом / витрата 4,5 кг/м2	кг	1.231,2	60,86	59,40	0,27	1,19
					74.931	73.133	332	1.465
		Разом	грн.	-	105.376	103.035	632	1.709

Підсумкові показники								
		Кошторисна трудомісткість (I)	люд.год.	187,45	13.245,0	-	-	-
		Будівельні машини і механізми (II)	грн.	-	3.048	-	-	-
		Будівельні матеріали, виробы та конструкції (III+IV)	грн.	-	105.376	-	-	-

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на 11.11.2020

Склав

Конев В.В.

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

/ /

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

/назва організації, що затверджує/

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зведений кошторисний розрахунок в сумі

69,625 тис.грн.

В тому числі зворотних сум

посилання на документ про затвердження

" " р.

**ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК  
ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №**

Улаштування захисних екранів на опорах високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.

найменування об'єкта будівництва

Складений в поточних цінах станом на 11.11.2020

Ч.ч.	№ кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис. грн.			
			будівельних робіт	устаткув. меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
<b>Глава 2. Об'єкти основного призначення</b>						
1	02-001	Улаштування захисних екранів	69,625			69,625
		Разом по главі № 2	69,625			69,625
		Разом по главах № 1 - 7	69,625			69,625
	<b>Разом</b>		69,625			69,625
	<b>Всього по зведеному кошторисному розрахунку</b>		69,625			69,625

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]

[підпис (ініціали, прізвище)]



Улаштування захисних екранів на опорах високої пасажирської платформи довжиною 210 м.п.  
(найменування об'єкта будівництва)

## ВІДОМІСТЬ РЕСУРСІВ

до локального кошториса №02-001-001

Ч.ч.	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	У тому числі, грн.		
						Відпускна ціна	Транспортна складова	Загот.-склад.
					Всього, грн.	Всього	Всього	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>I. Витрати труда</b>								
1	1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год.	180,76	65,17	-	-	-
2		Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	розряд	4,4	-	-	-	-
3	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд.год.	7,29	77,5034	-	-	-
4		Середній розряд ланки робітників, які зайняті управлінням і обслуговуванням машин	розряд	5,6	-	-	-	-
5		Витрати труда робітників, заробітна плата яких передбачена в загальновиробничих витратах	люд.год.	20,63	94,668	-	-	-
6		Разом кошторисна трудомісткість у тому числі	люд.год.	208,68	68,5212	-	-	-
		- нормативної трудомісткості	люд.год.	188,05	-	-	-	-
		- розрахункової трудомісткості	люд.год.	20,63	-	-	-	-
		Середній розряд робіт за кошторисом	розряд	4,4	-	-	-	-
<b>II. Будівельні машини і механізми</b>								
1	СН204-201	Агрегати зварювальні пересувні з бензиновим двигуном, з номінальним зварювальним струмом 250-400 А	маш-год	6,732	173,73	-	-	-
2	СН202-1140	Крани на автомобільному ході, вантажопідйомність 6,3 т	маш-год	4,845	1.170	-	-	-
3	СН204-502	Установка для зварювання ручного дугового [постійного струму]	маш-год	3,34	369,84	-	-	-
		Разом	грн.	-	1.792	-	-	-
		Бензин	кг	60,942216	19,74	-	-	-
		Електроенергія	квт.г.	17,702367	66	-	-	-
		Масляні матеріали	кг	3,156901	3.027	-	-	-
					31,6400	1.928,2251		
					2,2929	40,5818		
					71,5400	225,8006		
<b>III. Механізований інструмент</b>								
1	СН270-106	Апарат для газового зварювання і різання	маш-год	4,533				

Строительные Технологии - Смета™ ред. 7.9.46		маш-год	0,094	5239_вр_02-001-001				
2	СН233-301	Машины шлифовальные электрические	грн.	-	-	-	-	-
		Разом вартість ресурсів, спожитих механізованим інструментом і врахованих в вартості матеріалів	квт.г.	0,046823	2,2929	0,1074		
		Електроенергія	кг	0,001873	71,5400	0,1340		
		Масляні матеріали						
IV. Будівельні матеріали, вироби та конструкції								
1	С111-1848	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,019001	65.807,77	64.312,98	204,44	1.290,35
					1.250	1.222	4	25
2	С121-755	Вартість м/к арматури 12 мм	т	0,0414	21.371,85	21.000,00	212,75	159,10
					885	869	9	7
3	С121-755	Вартість м/к кутика 63x5	т	1,3158	21.371,85	21.000,00	212,75	159,10
					28.121	27.632	280	209
4	С111-1513	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,001764	41.257,79	40.240,71	208,10	808,98
					73	71	-	1
5	С111-1515	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э46	т	0,001764	45.035,59	43.944,44	208,10	883,05
					79	78	-	2
6	С111-324	Кисень технічний газоподібний	м3	1,62864	19,80	16,03	3,38	0,39
					32	26	6	1
7	С1546-66	Пропан-бутан технічний	м3	0,149292	29,28	23,65	5,06	0,57
					4	4	1	-
8	С1113-307	Скло рідке калійне	т	0,074693	20.711,70	20.000,00	305,59	406,11
					1.547	1.494	23	30
9	С111-1656-2	Фарби силікатні для зовнішніх робіт	т	0,20219	85.302,74	83.330,00	300,14	1.672,60
					17.247	16.849	61	338
		Разом	грн.	-	49.240	48.244	383	613

Підсумкові показники								
		Кошторисна трудомісткість (I)	люд.год.	208,68	14.299,0	-	-	-
		Будівельні машини і механізми (II)	грн.	-	3.027	-	-	-
		Будівельні матеріали, вироби та конструкції (III+IV)	грн.	-	49.240	-	-	-

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на 11.11.2020

Склав

Конев В.В.

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

/ /

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

**ДОДАТОК Л**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної роботи  
Українського державного університету  
залізничного транспорту



Дмитро МКРТИЧЬЯН

15 лютого 2020 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук Конєва Віталія Васильовича  
«Електропровідна силікатна композиція для захисту від електрокорозії  
конструкцій і споруд залізниць»

Результати дисертаційного дослідження В.В.Конєва використані у навчальному процесі за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітніми програмами «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту», «Промислове та цивільне будівництво» в курсах «Відновлення експлуатаційних властивостей, захист конструкцій та споруд», «Відновлення та захист конструкцій і споруд (спекурс)», у дипломному проектуванні.

Результати дисертаційного дослідження В.В.Конєва використані у науково-дослідних роботах «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками» (№ДР 0115U000279), «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (№ДР 0115U000276), що виконувалась УкзДУЗТ у 2015–2018 рр. за кошти державного бюджету.

Зав. кафедри будівельних матеріалів,  
конструкцій та споруд,  
професор, д.т.н.

Дмитро ПЛУГІН

**ДОДАТОК М**

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

**Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до наукометричних баз:**

1. Plugin A., Trykoz L., Herasymenko O., Pluhin A., Konev V. Independent diagnostic computer systems with the ability to restore operational characteristics of construction facilities. *Diagnostyka*, 2018, Vol.19, No2, p.13–23. DOI: 10.29354/diag/83009. (Scopus) (*Особистий внесок: розроблено блок-схему функціонування системи діагностування стану з автоматичним виправленням відхилень експлуатаційних показників від встановлених величин*).

2. Конєв В.В. Вдосконалені алгоритми навчання нейромережевої системи ідентифікації безпечного стану нерухомих об'єктів систем критичного застосування. *Системи обробки інформації*. – 2016, №3(140). – С. 241–245.

3. Крот О.П., Ровенський О.І., Конєв В.В. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 166. – С.78-86. (*Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та побудова залежностей*).

4. Конєв В.В., Плуґин А.А. Сравнительный анализ программного обеспечения поддержки принятия решений в жизненном цикле объектов недвижимости. *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтавський національний університет ім. Ю.Кондратюка. 2016. – Вип.1(37). – С.83–85. URL: <http://sunz.pntu.edu.ua/files/archive/37-2016/23-1-37-2016.pdf>. (*Особистий внесок: виконано збір інформації і аналіз програмного забезпечення з питань експлуатації будівель та споруд*).

5. Плуґін А.А., Плуґін О.А., Касьянов В.В., Плуґін Д.А., Конєв В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. – Вип. 171. – С.53–61.

DOI: 10.18664/1994-7852.171.2017.111411. (*Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів для екранів із силікатних композицій*).

6. Трикоз Л.В., Конєв В.В., Пługін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С., Передумови інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей будівельних об'єктів за допомогою автономних комп'ютерних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – Харків: УкрДУЗТ. 2017. – Вип.4. – С.36-43. DOI: 10.18664/iksz.t.v0i4.111791. (*Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин*).

#### **Патенти на винаходи:**

7. Пат.113600 UA МПК(2016.01) C04B28/00 C04B41/65(2006.01) C04B/111/90(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/72(2006.01) Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; Пługін А.А, Костюк Т.О., Прощін О.Ю., Пługін О.А., Бондаренко Д.О., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с. (*Особистий внесок – опрацьовано методику вимірювання електричного опору композиції і вимірювання електричного опору зразків*).

8. Пат.117194 UA МПК C04B28/26(2006.01) C04B41/65(2006.01) C04B/111/20(2006.01) C04B111/26(2006.01) C04B111/94(2006.01) Електропровідна шпаклювальна композиція / УкрДУЗТ; Пługін А.А., Пługін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В., Савчук Ю.Ю., Костюк Т.О., Бондаренко Д.О. – Заявл.24.03.2017. – Заявка № а2017 02778. – Опубл.25.06.2018. – Бюл.№12. – 3 с. (*Особистий внесок – виконано експериментальні дослідження залежності електротехнічних властивостей композиції від її складу, розроблено склад композиції*).

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

9. Kasyanov V., Konev V., Plugin D., Nesterenko S., Afanasiev A. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection. *MATEC Web of Conferences*, 116, 01012. (2017). 6 p. (Особистий внесок – запропоновано показники ефективності екранів стосовно силікатних композицій, виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів).

10. Конєв В.В., Плугін О.А. Виявлення цивільних будівель та споруд Південної залізниці, які можуть зазнавати негативного впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 160 (Додаток). – С.84-85. (Особистий внесок – виконано узагальнення даних про будівлі та споруди, аналіз умов їх експлуатації і виявлення руйнівних впливів на них).

11. Конєв В.В., Плугін О.А., Касьянов В.В., Никитинський А.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій. *6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.68–69. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf). (Особистий внесок – виконано експериментальні дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій і аналіз експериментальних даних).

12. Плугін О.А., Плугін Д.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Скорик О.О., Никитинський А.В. Фактори, що визначають ефективність захисту від електрокорозії заземленими екранами з електропровідних в'язучих композицій. *VIII Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 20–22 листопада 2019: Тези доповідей. Ч.2. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – С.188–190. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses\\_2019\\_part2.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2019_part2.pdf)



*(Особистий внесок - виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів).*

13. Трикоз Л.В., Плугин А.А., Чалая Л.Э., Герасименко О.С., Конев В.В. Предпосылки интеллектуального управления изменениями эксплуатационных свойств строительных объектов с помощью автономных компьютерных систем. *6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.184–185. URL: [http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy\\_aprel\\_2017.pdf](http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf). *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

14. Трикоз Л.В., Конев В.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С. Розробка автономних комп'ютерних систем для інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей. *Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнародної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип.4 (додаток). – С.48–49. *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

15. Конев В.В. Інформаційно-вимірювальна система контролю та безпеки в розподільних електричних мережах. *Друга міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»*. 10–12 квітня 2017р. НТУ «ХП», 2017р. тези доповідей – С.74.

16. Конев В.В., Крот А.Ю. Использование метода Альтшуллера для разрешения технических противоречий. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Международной научно-технической*

конференції. Могилев, 23-28 апреля 2017 г. – С.260–261. (*Особистий внесок: формулюванні суті технічних протиріч в галузі технічної експлуатації будівель і споруд*).

**Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:**

17. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Модернизация процессов очистки сточных вод и установленного оборудования на очистных сооружениях промывочно-пропарочных станций вагонных депо. *Вагонный парк*. – 2017, №3-4. – С.39–43. (*Особистий внесок: оцінка агресивного впливу стічних вод та інших факторів на споруди*).

18. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Повышение эффективности технологий приготовления топливных смесей. *Локомотив-Информ*. 2017, №3–4, С.21-25. (*Особистий внесок: аналіз агресивного впливу органічних середовищ на споруди*).

**Відомості про апробацію результатів дисертації**

- МАТЕС Web of Conferences, 116, 01012. (2017р.) (*заочна участь*);
- VI-та Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків, УкрДУЗТ (19–21 квітня 2017р.) (*особиста участь*);
- VIII-ма Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків, УкрДУЗТ (20–22 листопада 2019р.) (*особиста участь*);
- 30-та міжнародна конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ. 2017р. (*особиста участь*);
- Друга міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі». Харків. НТУ «ХПІ» (10–12 квітня 2017р.) (*особиста участь*);
- Международная научно-техническая конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии»: *Материалы*. Могилев (23-28 апреля 2017 г.) (*заочна участь*).