

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

Савчук Валентина Юріївна

УДК 624.138.23

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

**ГРУНТОВМІСНІ МАТЕРІАЛИ, МОДИФІКОВАНІ ВІДХОДАМИ ВИРОБНИЦТВ,  
З ПІДВИЩЕНИМ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПОРОМ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СПОРУД**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

**В.Ю. Савчук**

Науковий керівник: Трикоз Людмила Вікторівна, доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Савчук В.Ю.* Грунтовмісні матеріали, модифіковані відходами виробництв, з підвищеним електричним опором для залізничних споруд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та виробництво» (19 – Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена розробці ґрунтовмісного будівельного матеріалу, який має підвищений електричний опір за достатніх фізико-механичних характеристик, на основі ґрунтів, металургійного шлаку та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд з метою запобігання розповсюдження струмів витоку та блукаючих струмів, які викликають електрокорозійне руйнування конструкцій.

Виконано аналітичний огляд існуючого досвіду використання ґрунтів для виготовлення будівельних матеріалів, отримання на їх основі нових будівельних матеріалів з властивостями, придатними для їх використання в умовах впливу блукаючих струмів та струмів витоку. Викладено аналітичний огляд матеріалів для запобігання порушення стійкості земляних споруд та ґрунтових масивів за критерієм корозієстійкості. Укріплений ґрунт є системою, в якій її складові частини – ґрунтові частинки і в'язучі речовини – зберігають свою хімічну індивідуальність, а процеси фізико-хімічної взаємодії протікають головним чином на межах розділу фаз, тому більш узагальнюючим терміном є «композиційні матеріали на основі ґрунтів». Для подальшого дослідження матеріал, що містить ґрунти як основний компонент, у роботі названо ґрунтовмісним матеріалом. висунуто робочу гіпотезу про захист конструкцій від струмів витоку, які викликають їх електрокорозію, шляхом підвищення електричного опору ґрунтів. При цьому прийнято прийнято можливість використання активного мулу станцій біологічної очистки для активації шлаків у ґрунтовмісних матеріалах і, таким чином, отримати матеріал на основі ґрунтів з більш високими показниками

електричного опору з достатніми фізико-механічними характеристиками. Підвищення показників забезпечується за рахунок зниження іонної провідності в поровому просторі та утворення електрогетерогенних контактів між частинками композиційного матеріалу.

Надлишковий активний мул це продукт біологічної очистки міських стічних вод. Активний мул є комплексом мікроорганізмів колоїдного типу з адсорбованими і частково окисленими забруднювачами, вилученими із стічних вод у процесі біологічного очищення. Як складова частина ґрунтовмісних матеріалів у роботі використовувався зневоднений активний мул із полів фільтрації. Для дослідження використовувався основний і кислий шлак. Для проведення досліджень вивчалися ґрунти, які складають основу будівельного майданчика, де планувалося впровадження результатів досліджень. Досліджуваний ґрунт відноситься до пісків середньої групи за густиною, до дрібного за зерновим складом, з надвисоким вмістом пиловидних і глинистих частинок (далі «ґрунт»). Фізико-механічні дослідження зразків проведено за стандартними методиками: визначення стандартних показників консистенції ґрунту (вологості на границях розкочування і текучості); оптимальної вологості; визначення деформаційних характеристик ґрунтів; визначення границі міцності при стиску; визначення границі міцності при стиску в насиченому водою стані. Питомий опір визначали безпосередньо розміщуючи вимірювальні електроди приладу в чарунку, заповнену досліджуваним ґрунтовмісним матеріалом. Виводи електродів підключали до вимірювального пристрою, який дає можливість отримувати значення електричного опору  $R$ , Ом.

Активний мул очисних споруд стічних вод містить три складові: біологічну (мікроорганізми, найпростіші, водорості, гриби); органічну (нуклеїнові та амінокислоти, білки, полісахариди, гумусові кислоти та ін.); неорганічну (оксиди, фосфати, карбонати, силікати і т.д.), кожна з яких здатна зв'язувати іони металів доменного шлаку і ґрунтів. Вивчення хімічного складу мулів показало, що основними компонентами мулів є полі- й моносахариди – 26%; амінокислоти й білковоподібні речовини – 28%, ліпіди – 17%, неорганічні сполуки – 28%. На-

явність в оксикислотах і амінокислотах двох і більше функціональних груп ( $-OH$  і  $-COOH$ ,  $-NH_2$  і  $-COOH$  і т.п.) сприяє зростанню їх комплексоутворюючих властивостей і взаємодії з гідроксильними групами, розташованими на поверхні частинок ґрунту з утворенням просторової системи. Білки є амфотерними поверхнево-активними речовинами (ПАР) за рахунок здатності функціональних груп  $-COOH$ ,  $-NH_3OH$  в залежності від рН по різному дисоціювати і утворювати за низьких рН органічний катіон ( $R-COOH \rightarrow R-CO^+ + OH^-$ ;  $R-NH_3OH \rightarrow R-NH_3^+ + OH^-$ ), а за високих рН – аніон ( $R-COOH \rightarrow R-COO^- + H^+$ ;  $R-NH_3OH \rightarrow R-NH_3O^- + H^+$ ). У присутності шлаку, з якого в результаті гідратації виділяється вапно, білки та, відповідно, активний мул набувають властивості аніонних ПАР і здатності адсорбуватись на позитивно заряджених поверхнях часток вапна, карбонатних складових ґрунту. Це дозволяє застосувати активний мул як іоногенну поверхнево-активну речовину з метою утворення оптимальної структури ґрунтових матеріалів. Підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності і набухання ґрунтів забезпечено за рахунок використання речовин з протилежними за знаком електроповерхневими потенціалами і утворення електрогетерогенних (між різнойменно зарядженими поверхнями частинок ґрунту, шлаку, активного мулу) контактів. Міцність контактів забезпечується іон-іонними та іон-дипольними взаємодіями між потенціалвизначальними іонами частинок ґрунту, шлаку, активного мулу і молекулами адсорбційних шарів води між ними. Такі контакти забезпечують найбільше підвищення міцності і водостійкості, зниження деформативності і набухання ґрунту. У звичайному стані частинки ґрунту утримуються в агрегатах, а агрегати між собою капілярними та молекулярними силами. Після уведення шлаку та активного мулу в результаті гідратації шлаку та неорганічної складової активного мулу утворюється деяка кількість гідроксиду кальцію, який утворює з агрегатами частинок ґрунту і частинками активного мулу певну кількість електрогетерогенних контактів. Уведення аніонактивної ПАР сприяє також пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту і утворенню контактів між окремими частинками.

Проведено натурні обстеження пасажирських платформ на 5 станціях на

електрифікованих постійним та перемінним струмом ділянках Південної залізниці. Після 15 років експлуатації в конструкціях платформ відмічались такі дефекти: пошкодження захисного шару бетону плит та опор; вертикальні тріщини та суттєві руйнування бетону на торцях опор; суттєві руйнування ригелів; ознаки вилуговування бетону опор. Як зворотний провід для залізничного транспорту використовуються рейкові колії. Оскільки неможливо забезпечити абсолютну ізоляцію, то це створює передумови для стікання струмів в землю. У вологих умовах струм витоку з рейок проходить через конструкції верхньої будови колії (скріплення, залізобетонні шпали, баласт), а потім через тіло насипу розповсюджується далі по ґрунту до споруд. Струми протікають найкоротшим шляхом з найменшим опором – від підошви рейок через водонасичені під час дощу і сніготанення забруднені баласт і ґрунт основного майданчика земляного полотна та потім через найближчу до рейкової колії торцеву грань конструкції, або металеві труби інженерних мереж. У результаті на електрифікованих постійним струмом залізницях найбільшим впливам в результаті електричної корозії піддаються фундаменти і опори контактної мережі, залізобетонні підрейкові основи, мостові конструкції, трубопроводи інженерних мереж. Результат впливу блукаючих струмів на залізобетон – корозія металевої арматури і бетону, що викликає утворення тріщин і надалі руйнування всієї конструкції.

З урахуванням цього запропоновано нові принципові схеми конструктивно-технологічного рішення захисту стояків та опор високих пасажирських платформ, металевих труб інженерних мереж, що зазнають електрокорозії, улаштуванням своєрідних екранів із ґрунтовмісних матеріалів підвищеного електропору. Ця схема придатна при будівництві та реконструкції залізничних споруд, які експлуатуються на електрифікованих ділянках залізниць.

Визначено оптимальну кількість активного мулу, яку можна додати в ґрунт для його стабілізації і підвищення міцносних характеристик. Встановлено, що найбільшу величину як щільності ( $2,2 \text{ г/см}^3$ ) так і міцності (3,45 МПа) мають зразки із вмістом активного мулу 50%. Встановлено, що співвідношення компонентів ґрунт:активний мул:шлак 1:1:0,35 є оптимальним для досягнення

найбільшої міцності композиції. Це обумовлено збільшенням кількості коагуляційних контактів в одиниці об'єму ґрунту і збільшенням його щільності за рахунок більшого зближення високодисперсних частинок. Додавання активного мулу у кількості 50% зменшує коефіцієнт стисливості зразків у 2,4 рази порівняно з ґрунтом без наповнювачів. У порівнянні із зразками, які містять 50% активного мулу, зразки із додаванням 50% шлаку, зменшують стисливість у 1,7 рази. Додавання в ґрунт активного мулу дозволило збільшити модуль деформації з 7,8 МПа до 20,3 МПа, шлак підвищує цю величину до 52,7 МПа. Більший модуль деформації свідчить про меншу величину осідання основи будівель або споруд після їх зведення.

Для виявлення загальних закономірностей зміни електричних властивостей багатокомпонентних систем, до яких відносяться ґрунти, було досліджено вплив виду шлаку на питому електропровідність ґрунтовмісних матеріалів. Як показали результати вимірювань зразків ґрунту з шлаком, залежності питомого опору для кислого і основного шлаку дещо відрізняються. Для кислого шлаку зі збільшенням його кількості величина питомого опору ґрунту зростає повільніше ніж для основного. Утворення тонкодисперсних цементуючих новоутворень, що підвищують зчеплення в твердуючій системі, призводить до зменшення концентрації електроліту в порах і, як результат, – до зниження електропровідності. Здатність органічної складової активного мулу до комплексоутворення з катіонами металів знижує іонну провідність порового розчину та сприяє підвищенню електроопору ґрунтовмісного матеріалу в цілому.

Для підтвердження механізму взаємодії функціональних груп активного мулу з поверхневими іонами шлаку і ґрунту було досліджено інфрачервоні спектри зразків композиційних матеріалів. Вид смуг поглинання в основному однаковий, проте вони відрізняються інтенсивністю, що означає виникнення подібних продуктів взаємодії ґрунту, шлаку та активного мулу, хоча і в різних співвідношеннях. Наявність смуг 469 і 470  $\text{cm}^{-1}$ , що відносяться до деформаційних коливань Al–O, свідчить про лужну активацію шлаків, більш виражену для основного шлаку. Порівняння мезо- та мікроструктури зразків ґрунтовмісних

матеріалів методами оптичної та електронної мікроскопії підтвердили формування більш щільної структури у випадку застосування активного мулу та шлаків як модифікуючої добавки.

На зміцнену ґрунтову композицію отримано патент на винахід № 115843 UA. Розроблену композицію було використано для забезпечення електрокорозійної стійкості основи пасажирської платформи на станції Золочів напрямку Харків-Готня, засипки зовнішніх інженерних мереж залізничного транспорту на ст. Харків-Пасажирський при реконструкції вантажного складу під музей історії та залізничної техніки Південної залізниці, для забезпечення електрокорозійної стійкості будівель при реконструкції ПАТ «Харківський плитковий завод» з розширенням виробничих будівель під виробництво керамічної плитки. Загальна площа закріпленого ґрунту становить 675 м<sup>2</sup>. Було впроваджено такий комплекс робіт із модифікації ґрунту: підготовка полоси ґрунту; розпушення і подрібнення; перемішування подрібненого ґрунту з активним мулом та шлаком; ущільнення смуги стабілізованого ґрунту. Дана технологія придатна для використання, вона не затримує процесу виконання робіт. Для оцінювання рівня зниження електрокорозійної небезпеки було здійснено вимірювання потенціалів по відношенню до контрольного електроду до початку робіт і після. Величини різниці потенціалів становлять, відповідно, 0,3 В і 0,05 В, що свідчить про ефективність даного заходу. Основний економічний ефект від впровадження нових матеріалів і технології полягає в подовженні міжремонтних термінів будівель та споруд і використання некондиційних матеріалів. Розрахований загальний економічний ефект на всіх об'єктах впровадження становить 295,7 тис. грн.

**Ключові слова:** ґрунтовмісні матеріали, активний мул, шлак, струм витоку, електричний опір, електрокорозія.

## ABSTRACT

*Savchuk V.Yu.* Soil-containing materials modified with industrial waste of a higher electric resistance for railway facilities. Qualifying scientific work as a manuscript.

A thesis for Candidate Degree in Engineering Science in speciality 05.23.05

“Building Materials and Products” (19 – Architecture and Construction). – Ukrainian State University of Railway Transport under Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis deals with development of a soil-containing building material of a higher electric resistance and good physical-mechanical properties, based on soils, metallurgical waste and activated sludge for foundations of rail facilities to prevent leakage and stray currents causing electrocorrosion damages in the structures.

The authors conducted an analytical survey of the existing experience in the use of soils for building materials and production of new soil-based building materials with properties suitable for preventing damages from stray and leakage currents. The work presents the analytical survey of materials intended to maintain stability of earthwork structures and soil bodies by the corrosion stability criterion. The stabilized soil is a system, the components of which, soil particles and binding materials, maintain their chemical identity, and the physicochemical interaction runs mainly along the interface of phases, therefore, the soil-based composite material is a more generic term. Afterwards, in the work, the material with soil as the basic component will be called a soil-containing material. The authors put forward a working hypothesis on protection of structures from leakage currents causing electrocorrosion by increasing the electric resistance of soils. Besides, the authors assumed that it was possible to use the active sludge from biological treatment stations in order to activate slags of soil-containing materials and, thus, to obtain a soil-based material of a higher electric resistance and good physical and mechanical characteristics. Better characteristics were provided due to a lower ionic conduction in the pore space and creation of electro-heterogeneous contacts among particles of the composite material.

Surplus activated sludge was the product of biological treatment of local sewage waters. The activated sludge is a complex of colloid microorganisms with adsorbed and partially oxidized pollutants extracted from sewage waters under biological treatment. The work used a dry-out activated sludge from filtration fields as a component of soil-containing materials; the basic and acid slag was also used in the research. In the framework of the research the authors studied soils predominantly presented on the



building site chosen for implementation of the results. The soil under investigation was of the middle-density and fine-grain sands by composition, with a large amount of powdered and clay particles (hereinafter referred to as “soil”). The physical and mechanical study into the samples was conducted by standard methods: measurement of soil consistency (moisture along limits of plasticity and liquidity), optimal moisture, deformation characteristics of soils, stability limits under pressure, and stability limits under pressure in a saturated state. Specific resistance was directly determined by locating measuring electrodes of the device in the cell filled with a soil-containing material. The electrodes’ outputs were connected to the measuring device which made it possible to obtain values of electric resistance  $R$ , Ohm.

The activated sludge from sewage waters at treatment stations had three components: biological (microorganisms, protozoa, algae, fungi), organic (nucleic and amino acids, proteins, polysaccharides, humus acids, etc) and inorganic (oxides, phosphates, carbonates, silicates, etc.); each could bind metal ions of blast-furnace slag and soils. The chemical composition of sludges showed that their basic components were poly- and mono saccharides – 26%, amino acids and albuminoid substances – 28%, lipids – 17%, and inorganic compounds – 28%. Presence of two and more functional groups ( $-OH$  and  $-COOH$ ,  $-NH_2$  and  $-COOH$ , etc.) in oxyacids and amino acids promoted an increase in their complexing properties, interaction with hydroxyl groups on the surface of soil particles, and creation of a space system. Proteins are amphoteric surface-active agents (surfactants) and due to the functional groups  $-COOH$ ,  $-NH_3OH$  and subject to pH they enable to differently dissociate and form at low pH the organic cation ( $R-COOH \rightarrow R-CO^+ + OH^-$ ;  $R-NH_3OH \rightarrow R-NH_3^+ + OH^-$ ), and at high pH – the anion ( $R-COOH \rightarrow R-COO^- + H^+$ ;  $R-NH_3OH \rightarrow R-NH_3O^- + H^+$ ). With slag, from which lime was hydrated, proteins and, accordingly, activated sludge acquired properties of anionic surfactants and ability to be adsorbed on the positively-charged surfaces of the lime and the soil carbonate components. It allowed applying activated sludge as an ionogenic surface-active material in order to create the optimal structure for soil materials. Better stability, water resistance, stress-strain behavior and soil swelling were provided due to application of materials with oppositely-charged electro-

surface potentials and creation of electro-heterogeneous contacts (between oppositely-charged surfaces of soil particles, slag and activated sludge). The contact strength was provided by ion-ionic and ion-dipole interactions between potential-determining ions of particles of soil, slag, activated sludge and molecules of adsorptive layers of water between them. Such contacts guaranteed a further increase in strength and water resistance, better stress-strain behavior and soil swelling. In ordinary state soil particles were kept in aggregates, and aggregates were kept by capillary and molecular forces. After withdrawal of slag and the inorganic component from activated sludge by hydrating it, a certain amount of calcium hydroxide was formed; it generated a certain amount of electro-heterogeneous contacts with aggregates of soil particles and activated sludge particles. Withdrawal of anionic surfactants also stimulated peptization, i.e. disintegration of soil aggregates and creation of contacts between certain particles.

The authors conducted full-scale surveys of passenger platforms at five stations along DC and AC electrified sections of the Southern Railway. A fifteen-year operation life caused the following damages in the platform structure: decay of the protective concrete layer in slabs and supports, vertical cracks and considerable destruction of support sides, considerable damages of beams, and leaching signs in the concrete of supports. The rail tracks were used as the return conductor for rail transport. Since it was impossible to provide the absolute isolation, the current could run to the earth. Under humid conditions the leakage current from rails went through the permanent track structure (fastenings, reinforced ties, ballast) and then through the back of ballast bed across the soil to buildings. The currents run the shortest way with the least resistance from rail foundation through water-saturated dirt (due to rains and snow melting) ballast and soil of the basic site of the railway bed, and then, through the building sides or metal pipes of engineering networks closest to the rail track. Therefore, foundations and supports of contact networks, reinforced under-rail bases, bridge structures, and pipelines of engineering networks of DC electrified railways were badly suffered from electric corrosion. Consequences of an impact from stray currents on reinforced concrete are corrosion of metal armature and concrete resulting in development of cracks and further damages in the whole structure.

Taking into account all the above-said, the authors proposed new basic design and technology solutions to protect posts and supports of high passenger platforms, metal pipes of engineering networks suffering from electro corrosion; the essence of which is laying down unique screens of soil-containing materials of a higher electric resistance. The approach can be applied in construction and refurbishment of rail structures on electrified rail sections.

The optimal amount of activated sludge which can be added to stabilize the soil and improve the strength properties was also determined. And it was established that samples with 50 % of activated sludge had the highest value of both density ( $2.2 \text{ g/sm}^3$ ) and strength (3.45 MPa). The authors established that such a ratio of components as 1:1:0.35 (soil:activated sludge:slag) was optimal to obtain the best composition stability. It was conditioned by a greater number of coagulation contacts in a unit of soil volume and its higher density due to closeness of fine fraction particles. Activated sludge added in an amount of 50% reduced the coefficient of compressibility of the samples by 2.4 times in comparison with the soil without fillers. The samples with 50% of activated sludge reduced the compressibility by 1.7 times in comparison with the samples with 50% of slag. The soil with activated sludge added increased the deformation module from 7.8 MPa to 20.3 MPa, and slag increased the value up to 52.7 MPa. A higher deformation module testified to a lower subsidence of building and structure foundations.

For revealing the general patterns of changes in electric properties for multicomponent systems such as soils, the authors studied the influence of slag on the specific electrical conductivity of soil-containing materials. Measurement results of the samples with slag showed that the specific resistance slightly depended upon the slag type (basic or acid). By adding slag the specific resistance increased more slowly for acid slag than for basic slag. Fine-dispersed cementing newgrowths, which increased adhesion in a solidifying system, led to a lower electrolyte concentration in pores, and, as a result, to a lower electric conductivity. The ability of the organic component of activated sludge to form complexes with metal cations decreased the ionic conductivity of a pore solution and increased the electric resistance of a soil-containing material as a whole.

To confirm the mechanism of interaction between functional groups of activated sludge and surface ions of slag and soil, the authors studied infrared spectra of the composite material samples. The absorption bands were mainly similar, though differed in intensity, that meant formation of similar products of interaction with soil, slag and activated sludge in various ratios. Presence of the 469 and 470  $\text{cm}^{-1}$  bands, considered as the Al–O deformation vibrations, testified to the alkaline activation of slags, most evident for the basic slag. Comparison of the meso- and microstructure of soil-containing samples by using optical and electronic microscopy methods testified to the formation of a denser structure when activated sludge and slag were used as modified additives.

The authors got a patent for invention #115843 UA on the solidified soil composition. The composition developed was used for the following: to provide electrocorrosion stability of the passenger platform foundation at the Zolochiv station on the Kharkiv-Hotnia line; to fill exterior rail engineering networks at the Kharkiv passenger station under modification of a freight depot into the Museum of History and Rail Machinery on the Southern railway; to provide electrocorrosion stability of buildings under extension of Kharkiv Tile Plant PJSC. The total solidified soil area was 675  $\text{m}^2$ . The following work package on soil modification was conducted: preparation of soil belts; breaking down and grinding; blending the ground soil with activated sludge and slag; compaction of the solidified soil belts. The technology is ready for implementation and will not hamper the operation process. In order to estimate an electrical corrosion level the potentials of electrodes were measured before and after the work. The potential difference value was 0.3V and 0.05V, respectively, which proved the efficiency of the method. The major economic effect from the introduction of new materials and technologies is prolongation of interrepair periods for buildings and structures, and application of substandard materials. The calculated cumulative economic effect at all objects of implementation was 295,700 hryvnas.

**Keywords:** soil-containing materials, activated sludge, slag, leakage current, electric resistance, electric corrosion.

## Список публікацій здобувача

### **Публікації у фахових виданнях:**

1. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації ґрунтів. *Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 148. С. 58-62. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на міцність ґрунтовмісних матеріалів, оптимізація їх складів.*

2. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип.155. С. 153-158. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу електролітів на щільність ґрунтовмісних матеріалів оптимізація їх складів.*

3. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження деформаційних характеристик ґрунтового матеріалу з використанням відходів. *Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. А. В. Лазаряна. Науковий журнал. 2017. № 2 (68). С. 166-172. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу та шлаків на деформаційні характеристики ґрунтовмісних матеріалів.*

4. Трикоз Л. В., Борзяк О. С., Савчук В. Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип.155. С. 153-158. Особистий внесок: підготовка зразків, аналіз фізико-хімічних властивостей розробленого композиційного матеріалу.*

5. Савчук В. Ю. Електронно-мікроскопічні дослідження структури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Збірник наукових праць. Одеса: ОДАБА, 2018. Вип. 71. С. 130-134.*

**Публікації у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus:**

6. Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed / L.V. Trykoz, I.V. Bagiyanc, V.Yu. Savchuk, O.M. Pustovoitova, S.M. Kamchatnaya, O.S. Saiapin // International Journal of Engineering Research in Africa, 2016. Vol. 25. Pp. 52-57. *Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на електричний опір ґрунтовмісних матеріалів.*

**Патенти:**

7. Патент 115843 UA МПК (2006.01) E01C 3/04, E01C 7/36, E02D 3/12, C09K 17/40. Зміцнена ґрунтова композиція / Плугін А. А., Трикоз Л. В., Савчук В. Ю.; Патентовласник Український державний університет залізничного транспорту. – Заявл. 09.12.2016. Заявка № а 2016 12540. Опубл. 26.12.2017. Бюл.№ 24. 5 с. *Особистий внесок: проведення патентного пошуку, виконання експериментальних досліджень, аналіз їх результатів.*

**Додаткові публікації:**

8. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу станцій біологічного очищення. *Науковий вісник будівництва: Збірник наукових праць Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури. Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2017. Т. 87. № 1. С. 128-133. Особистий внесок: проведення та узагальнення результатів досліджень впливу активного мулу на електричний опір ґрунтовмісних матеріалів.*

**Публікації апробаційного характеру:**

9. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Использование активного ила станций биологической очистки для обеспечения устойчивости грунтовых массивов. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (23–24 квітня 2014 р., м. Харків). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. С. 81-82. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

10. Trykoz L., Rachkovskiy A., Savchuk V. Untersuchungen der Verbundwerkstoffe aus Böden und Bioschlamm bei biologischer Reinigung. 19

Internationale Baustofftagung, 16–18 September 2015, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015. Band 2. P. 1427-1431. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

11. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. Тези доповіді 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (23–24 квітня 2015 р., м. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 39. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

12. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю., Савчук Ю. Ю. Дослідження залежності модуля деформації ґрунтового матеріалу від кількості шлаку металургійних комбінатів. Збірник матеріалів Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (25 листопада 2015 р., м. Полтава). Полтава: ПолтНТУ, 2015. С. 63-65. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

13. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу. Тези доповідей 78-ї міжнародної науковотехнічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–27 квітня 2016 р., м. Харків). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип.160 (додаток). С. 88. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

14. Trykoz L., Savchuk V. The surface interaction in the Soil-Slag-Biological Solids system. 2nd International Conference on the Chemistry of Construction Materials (10–12 October, 2016, Munchen, Germany). Kempten: AZ Druck und Datentechnik, 2016. GDCh-Monographie. Vol. 50. pp. 400-403. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

15. Трикоз Л. В., Савчук В. Ю. Дослідження властивостей ґрунтовмісних

матеріалів з використанням відходів виробництва. Тези доповіді 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19–21 квітня 2017 р., м. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 76-78. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів.*

16. Савчук В. Ю. Особливості формування мезоструктури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. Тези доповідей 80-ї міжнародної науковотехнічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (24–26 квітня 2018 р., м. Харків). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 101.



## ЗМІСТ

ВСТУП	20
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРООПОРУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ ГРУНТОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	27
1.1 Вибір критеріїв застосування матеріалів для підвищення електроопору в умовах збереження міцності	27
1.2 Аналітичний огляд матеріалів для запобігання порушення стійкості земляних споруд та ґрунтових масивів за критерієм стійкості	28
1.3 Аналітичний огляд матеріалів для запобігання порушення стійкості земляних споруд та ґрунтових масивів за критерієм електропровідності	35
1.4 Узагальнення методів поліпшення властивостей ґрунтів і формулю- вання робочої гіпотези щодо їх стійкості та підвищення електроопору	41
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	50
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	51
2.1 Матеріали для досліджень	51
2.1.1 Визначення властивостей ґрунтів	51
2.1.2 Визначення властивостей шлаків	52
2.1.3 Характеристика активного мулу	54
2.2 Методи проведення лабораторних досліджень	55
2.2.1 Методи визначення фізико-механічних властивостей	55
2.2.2 Електрофізичні методи дослідження	57
2.2.3 Фізико-хімічні методи дослідження	59
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	60
3 РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ УЯВЛЕНЬ ПРО ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	61
3.1 Теоретичне обґрунтування активації твердіння шлаків уведенням до ґрунтовмісних матеріалів активного мулу	61
3.2 Передумови утворення електрогетерогенних контактів у ґрунто-	68

вмісних матеріалах з використанням шлаків та активного мулу	
3.3 Розвиток уявлень про формування щільної структури ґрунтовмісних матеріалів з підвищеним електроопором	76
3.4 Теоретичні основи підвищення електричного опору ґрунту зменшенням іонної провідності в поровому просторі	78
3.5 Обґрунтування підвищення електричного опору ґрунту як способу захисту залізобетонних залізничних споруд від корозії	81
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	94
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВНОГО МУЛУ ТА ШЛАКІВ	96
4.1 Дослідження фізико-механчних властивостей	96
4.1.1 Визначення необхідної кількості активного мулу для стабілізації ґрунту	96
4.1.2 Вплив виду електроліту на ступінь ущільнення ґрунтовмісних матеріалів	99
4.1.3 Визначення виду та кількості шлаку для підвищення міцності ґрунтовмісних матеріалів	100
4.2 Дослідження електрофізичних властивостей ґрунтовмісних матеріалів	106
4.2.1 Визначення необхідної кількості активного мулу для збільшення електроопору ґрунту	106
4.2.2 Дослідження впливу виду шлаку на електричні властивості ґрунтовмісних матеріалів	109
4.3 Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії	112
4.4 Дослідження мезоструктури ґрунтовмісних матеріалів методом оптичної мікроскопії	116
4.5 Електронно-мікроскопічні дослідження структури ґрунтовмісних матеріалів	123

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	127
5 ВИРОБНИЧО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ГРУНТОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	129
5.1 Виробничо-експлуатаційні випробування ґрунтовмісних матеріалів при виконанні робіт з реконструкції високої пасажирської платформи ст. Золочів.	129
5.2 Виробничо-експлуатаційні випробування зміцнення основи при виконанні робіт по прокладанню зовнішніх водопровідних та каналізаційних мереж на об'єкті «Реконструкція вантажного складу під музей історії та залізничної техніки Південної залізниці»	133
5.3 Виробничо-експлуатаційні випробування зміцнення основ при виконанні робіт з реконструкції Харківського плиткового заводу	139
5.4. Патентування результатів досліджень	141
5.5. Використання результатів досліджень в навчальному процесі	142
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	143
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	146
ДОДАТОК А. Акт дослідного впровадження під час виконання робіт з реконструкції високої пасажирської платформи ст. Золочів	171
ДОДАТОК Б. Акт дослідного впровадження при виконанні робіт по прокладанню зовнішніх водопровідних та каналізаційних мереж на об'єкті «Реконструкція вантажного складу під музей історії та залізничної техніки Південної залізниці»	175
ДОДАТОК В. Акт дослідного впровадження при виконанні робіт з реконструкції Харківського плиткового заводу	179
ДОДАТОК Г. Патенти за результатами дослідження	181
ДОДАТОК Д. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	182

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Композиційні матеріали на основі ґрунтів можуть застосовуватися в усіх галузях будівництва. Найбільш перспективним є їх використання для улаштування основ під дорожні покриття, теплоізолюючих, морозозахисних, капіляронеривних шарів, для укріплення верхніх шарів земляного полотна залізниць, виробничих майданчиків тощо. При цьому, використання ґрунтів, оброблених різними в'язучими, є тільки одним із можливих технічних рішень інженерних задач. Недоліком даних композицій є висока вартість, викликана високою витратою в'язучих – портландцементу, вапна та інших – для забезпечення необхідної міцності матеріалу, а також висока потреба в кондиційних мінеральних ґрунтах. Виходячи з економічних міркувань найбільше застосування в будівництві будуть мати композиційні матеріали на основі ґрунтів, в яких основну частину складають відходи, що мають навіть слабо виражені в'язучі властивості. У теперішній час у світовій практиці накопичено певний досвід поліпшення властивостей ґрунтів для їх подальшого використання шляхом уведення неорганічних або органічних закріплюючих компонентів. Але найбільший інтерес викликають композиційні матеріали на основі ґрунтів, у яких дефіцитні і відносно дорогі в'язучі та добавки до них використовуються в мінімальних обсягах, а основну частину складають ті чи інші відходи і побічні продукти промислових підприємств. Відходи та побічні продукти займають великі території землі, виключаючи їх з корисного використання, викликають забруднення повітря, водойм, шкідливо впливають на рослинний і тваринний світ. Одним з таких відходів є активний мул станцій біологічного очищення, проблема утилізації якого є досить актуальною для великих міст.

До сих пір переважна частина осадів стічних вод міст, виробничих підприємств і агропромислових комплексів видаляється в шламонакопичувачі, на мулові майданчики, викидається в море, заривається в землю, спалюється в печах, впливаючи на природу і людину. Такий стан багато в чому пояснюється тим, що

більшість побудованих водоохоронних об'єктів, вельми дорогих за капітальними вкладеннями і фінансовими експлуатаційними витратами, по суті вирішують лише частину завдання - очищення стічних вод, залишаючи невирішеними питання обробки та використання решти концентрованих осадів. Тим часом, тільки при комплексному підході до вирішення загального завдання можна по справжньому запобігти негативному впливу стічних вод і осадів на навколишнє середовище і перетворити відходи стічних вод у вторинні сировинні ресурси, використання яких має важливе народногосподарське значення.

Такою ж актуальною є проблема утилізації шлакових відвалів навколо металургійних підприємств. Аналіз даних про будівельні властивості металургійних шлаків України й досвіду використання їх в промислових, дорожніх та інших будівельних об'єктах показав широкий діапазон можливостей застосування їх замість природних кам'яних і ґрунтових матеріалів, а також бетонних елементів конструкцій. Металургійні шлаки є продуктом технологічних процесів, переробки, а також розпаду сталеплавильних і доменних шлаків. Шлаки активно реагують з водою і розчиненими в ній компонентами з підвищенням величини показника рН і виходом в розчин деяких шлакоутворюючих елементів. Процес гідролізу йде до утворення на поверхні шлакових зерен плівки вторинних мінералів, найважливішими серед яких є карбонати і гідросилікати кальцію. З формуванням останніх пов'язана притаманна шлакам, переважно доменного виробництва, здатність до самоцементації (гідралічна активність шлаків).

При розробці нових композиційних матеріалів необхідно враховувати умови, в яких вони будуть застосовуватися. Наприклад, умови експлуатації споруд електрифікованих залізниць мають відмінну рису: ймовірність впливу додатково до інших факторів – природних і технічних – електричного струму. На електричному рейковому транспорті одним з проводів є рейкова колія. Необхідно враховувати, що рейкова лінія використовується також як провідник сигнального струму на ділянках з автоблокуванням. Крім того рейки є хорошим природним заземлювачем, в силу чого на них заземлюють різні споруди і конструкції, розташовані поблизу контактної мережі. Тому залізнична колія виконує функції

не тільки силової конструкції, але й функції складної електричної мережі. Рейки через шпали і баласт у дуже великій кількості точок з'єднані з землею. Якби вони були повністю ізолювані від землі, то весь струм повністю протікав би рейками і в будь-якому перерізі між підстанцією і рухомою одиницею дорівнював би струму навантаження. Однак в умовах динамічних впливів від поїздів, періодичного зволоження, забруднення елементів верхньої будови колії ідеально ізолювати рейки від землі практично неможливо. Тому при проходженні струму рейками частина його відгалужується в землю (струми витоку, блукаючі струми), використовуючи її як паралельний їм провідник. Дія цих струмів призводить до корозії арматури і бетону, що в кінцевому рахунку викликає руйнування конструкцій. Цілком природно, що зниження опору рейкового кола тягне за собою і відповідне збільшення блукаючих струмів. Таким чином, для залізобетонних конструкцій споруд електрифікованих залізниць завжди існує небезпека впливу такого агресивного фактора як електричний струм. Отже, пошук шляхів підвищення електричного опору ґрунтовмісних матеріалів, поряд із забезпеченням їх фізико-механічних характеристик та утилізацією відходів, є актуальною науково-технічною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд у складі держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України: «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (2015-2017 рр., номер держреєстрації 0115U000276).

Як **наукову гіпотезу** прийнято можливість використання активного мулу станцій біологічного очищення міських стічних вод для активації шлаків у ґрунтовмісних матеріалах і, таким чином, отримання матеріалу на основі ґрунтів з високими показниками електричного опору і достатніми фізико-механічними характеристиками. Підвищення показників забезпечується за рахунок зниження іонної провідності в поровому просторі та утворення електрогетерогенних контактів між частинками композиційного матеріалу.

**Мета дослідження** – розроблення ґрунтовмісного будівельного матеріалу, який має підвищений електричний опір за достатніх фізико-механичних характеристик, на основі ґрунтів, металургійного шлаку та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд.

**Завдання дослідження:**

– теоретично обґрунтувати можливість досягнення необхідного електричного опору за достатніх фізико-механичних характеристик матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків, активного мулу;

– експериментально підтвердити підвищення електричного опору при збереженні необхідної міцності за рахунок формування оптимальної структури ґрунтової композиції, забезпечення електрогетерогенних взаємодій адсорбцією іоногенних поверхнево-активних речовин, які входять до складу активного мулу;

– розробити склади композиційних матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків і активного мулу та провести фізико-механічні випробування отриманого композиційного матеріалу з поліпшеними електрофізичними та достатніми фізико-механічними характеристиками;

– провести фізико-хімічні дослідження структури і взаємодій компонентів затверділого ґрунтовмісного матеріалу;

– виконати дослідно-промислову перевірку результатів досліджень та впровадження розроблених складів матеріалів на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу.

*Об'єкт дослідження* – закономірності формування структури ґрунтовмісного композиційного матеріалу та його властивості на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу.

*Предмет дослідження* – ґрунтовмісний композиційний матеріал з використанням металургійних шлаків та активного мулу для улаштування основ залізничних споруд.

**Методи дослідження.** Дослідження фізико-механичних властивостей матеріалів (фізичні властивості ґрунтів, характеристики міцності і деформованості розроблених композицій) проводилися відповідно до стандартних

методик і чинних нормативних документів. Електрофізичні характеристики ґрунтовмісних матеріалів досліджували за допомогою оригінальної авторської методики та лабораторної установки. Методами інфрачервоної спектроскопії, оптичної та електронної мікроскопії досліджувались процеси структуроутворення в розроблених матеріалах.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в такому.

**Уперше:**

- встановлено, що активний мул станцій біологічного очищення може бути активатором твердіння як кислого, так і основного шлаків за рахунок амфотерності функціональних груп органічної складової активного мулу;

- розроблено композиційний матеріал на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення з підвищеним електричним опором.

**Отримали подальший розвиток:**

- уявлення про формування структури композиційного матеріалу на основі ґрунтів, металургійних шлаків та активного мулу станцій біологічного очищення, який має властивості іоногенної поверхнево-активної речовини та утворює електрогетерогенні контакти з продуктами гідратації шлаків і ґрунтовими частинками;

- уявлення про закономірності зміни електричних властивостей багатокомпонентних систем, до яких належать ґрунтовмісні матеріали, за рахунок взаємодії функціональних груп органічної складової активного мулу з іонами порового розчину, що зменшує їх рухливість та призводить до зменшення іонної провідності матеріалу в цілому.

**Достовірність та обґрунтованість результатів** досліджень забезпечена використанням у теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, застосуванням в експериментах комплексу стандартних фізико-механічних та фізико-хімічних методів досліджень, методів статистичної обробки результатів досліджень, а також підтвердженням теоретичних і



експериментальних досліджень експлуатаційними випробуваннями.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в такому:

- розроблено склад ґрунтовмісного матеріалу з використанням металургійних шлаків і активного мулу станцій біологічного очищення з підвищеним електричним опором при збереженні необхідної міцності;

- композиційний матеріал було використано для запобігання розповсюдженню струмів витоку та блукаючих струмів і захисту від електрокорозії споруд, а саме: для улаштування основи при реконструкції високої пасажирської платформи на ст. Золочів напрямку Харків–Готня на 196 км ПК2+97м; при улаштуванні інженерних мереж на ст. Харків-Пасажирський при реконструкції вантажного складу під музей історії і залізничної техніки Південної залізниці; для улаштування основи при реконструкції ПАТ «Харківський плитковий завод» з розширенням виробничих будівель під виробництво керамічної плитки;

- досягнутий загальний економічний ефект від упровадження розробленого складу за рахунок відмови від використання кондиційних високовитратних в'язучих (цементу, вапна), зниження витрат кондиційного ґрунту та відповідно зниження вартості будівництва, розширення сировинної бази для отримання матеріалу становить 295,7 тис. грн. При подальшій експлуатації об'єктів економічний ефект буде досягатися зниженням витрат на їх утримання та продовженням їх строків служби.

**Особистий внесок здобувача.** Вивчення проблеми і постановка завдання за тематикою дослідження, усі фізико-механічні та електрометричні випробування, обробка їх результатів і отримання експериментальних залежностей; формулювання наукової гіпотези і теоретичні обґрунтування (спільно з науковим керівником); фізико-хімічні дослідження, упровадження результатів досліджень (спільно із співавторами публікацій). Особистий внесок у спільні публікації відображено в переліку опублікованих робіт.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних наукових конференціях: Міжнародна науково-

практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (м. Харків, 23–24 квітня 2014 р.); Всеукраїнська інтернет-конференція молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (м. Полтава, 25 листопада 2015 р.); 19 Internationale Baustofftagung (м. Веймар, Німеччина, 16–18 вересня 2015 р.); 2-nd International Conference on the Chemistry of Construction Materials (м. Мюнхен, Німеччина, 10–12 жовтня 2016 р.); 5-та (23–24 квітня 2015 р.) та 6-та (19–21 квітня 2017 р.) міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, УкрДУЗТ); 78-ма (26–27 квітня 2016 р.) та 80-та (24–26 квітня 2018 р.) міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, УкрДУЗТ).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з них 5 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, які входять до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, що індексується в Scopus, 1 патент України на винахід, 8 праць апробаційного характеру, 1 – додаткова публікація.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи – 186 сторінок, з яких – 125 основного тексту. Дисертація містить 50 рисунків і 12 таблиць. Список використаних джерел складається із 186 найменувань на 24 сторінках. П'ять додатків розміщено на 13 сторінках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс...доктора хим. наук: 14.06.89.Харков, 1989. 282 с.
2. Воронкевич С. Д., Голоднов В. М., Сергеев В.И., Мимко Т.Г. Влияние сорбции на искусственное закрепление грунтов силикатными растворами. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978.С. 78-81.
3. Воронкевич, С. Д., Евдокимова Л. А., Ларионова Н. А. Новый тампонажный раствор на основе лигносульфоната кальция (ССБ). Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978.С. 82-85.
4. Соколовский А.Т., Злочевская Р. И., Богданов И. Я. Влияние поля пульсирующего тока на степень электроосмотического осушения водонасыщенных грунтов. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978. С. 205-208.
5. Жинкин Г. М., Калганов В. Ф. Опыт электрохимической борьбы с пучинами на железных дорогах. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978.С. 225-228.
6. Воронкевич С. Д., Евдокимова Л. А. Закрепление песчаных грунтов силикатуглекислотным методом в условиях северо-запада СССР. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971.С. 179-182.

7. Воронкевич С. Д., Евдокимова Л. А. Особенности тампонажного закрепления грунтов солями железа и алюминия. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971. С. 404-406.

8. Круглицкий Н. Н., Жукова Р. С., Беглецов В. В. Укрепление глинистых грунтов силикатом калия. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VIII Всесоюзном научно-техническом совещании. Киев, 1974. С. 194-195.

9. Соколович В. Е. Химическое закрепление грунтов. Москва, 1980. 119 с.

10. Методические рекомендации по технологии сооружения земляного полотна из глинистых грунтов повышенной влажности в нечерноземной зоне РСФСР. URL: [http://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/5/5785/index.php](http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5785/index.php) (дата обращения 05.03.2013).

11. Ржаницын Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. Москва, 1986. 264 с.

12. Жинкин Г. Н. Электрохимическое закрепление грунтов в строительстве. Москва, 1966. 195 с.

13. Дворкін Л.Й., Лушнікова Н.В., Рунова Р. Ф., Троян В.В. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах: монографія. Київ: Нво КУБіА, 2007. 216 с.

14. Софронов, В.С., Решетняк Н.Д. Исследование сырья для получения минеральной ваты. *Сборник трудов Харьковского института инженеров ж.д. тр-та. Харьков: ХИИТ, 1962. Вып. 54. С. 79-93.*

15. Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта. Москва, 1984. 184 с.

16. Глуховський В.Д. Грунтосилікатні вироби і конструкції. Київ, 1967. 154 с.

17. Каолины Украины: справочник / под. ред. Ф.Д. Овчаренко. Київ, 1982. С.367.
18. Платонов А.П., Першин М.Н. Композиционные материалы на основе грунтов. Москва, 1987.144 с.
19. Будников Е.П., Пеганов А.А., Чернов В.В. Применение белковых стабилизаторов в строительстве из грунтов. *Сообщения института строительной техники Академии архитектуры СССР*. Москва: 1944. Вып.14. С.24.
20. Plugin A.A. Quantitative Theory of Strength of Portland Cement Stone, Including with Mineral Additions. 18 Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universitet, 2012.Band 1. P. 0874-0881.
21. Плугин А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3-х т. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. Киев: Наук. думка, 2012. 287 с.
22. Кривенко Г.В., Мохорт Н.А. Неорганические полимеры. Анализ и актуальность проблемы применения. *Хімічна промисловість України*, 2003. № 3. С.33-38.
23. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. Київ, 1975. 133 с.
24. Комплексне в'яжуче з використанням відходів вуглевидобутку: пат. України 56391 МПК С04В28/00; Заявл. 08.07.2010; Опубл. 10.01.2011, Бюл.№ 1.

25. Mitrovic A., Jevtic D. Milicic Lj. Metakaolin - Reactive Pozzolana from Serbian Clays. Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid: Spain, 3-8 July 2011. P.128.

26. Kopanitsa N., Kudiakov N., Safronov V. Peat-Based modifying agent regulating the behavior of mortars in multilayered wall systems. Proc. 17. Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 2. P.1231-1236.

27. Simon J., Middendorf B. Flüssigböden aus Bodenaushub – ressourcenschonende Einbettung von unterirdischer Infrastruktur. Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2012. Band 2. P. 0711-0718.

28. Trümer A., Ludwig H.-M. Calcined clays as supplementary cementitious material. Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 1. P. 0627-0634.

29. Skvara F. Aluminosilicate polymers – geopolymers. Proc. 17. Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 1. P.0801-0809.

30. Weil M., Buchwald A., Dombrowski K. Sustainable Design of Geopolymers - Evaluation of Primary and Secondary Raw Materials by the Integration of Economic and Environmental Aspects in the Early Phases of Material Development. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1025-1032.

31. Herr R., Schubert K., Hillemeier B. Geopolymere – eine neue mineralische Baustoff-Generation für den Brandschutz von Ingenieurbauwerken. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1055-1062.

32. Škvára F. Concrete based on fly ash geopolymer. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1079-1086.

33. Komljenovic M. The influence of water glass upon fly ash geopolymer properties. Proc. 17. Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 1. P.0481-0486.

34. Schmidt M. Nanotechnologie: Neue Ansätze für die Entwicklung von Hochleistungsbindemitteln und betonen. Proc. 17. Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 1. P.1035-1046.

35. Stoleriu S., Carabat A., Badanoiu A., Petre I. Geopolymers based on metakaolinite and pozzolanas activated with sodium hydroxide. Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2012. Band 1. P. 1039-1046.

36. Sagoe-Crentsil, K., Taylor A., Brown T. Transport properties of Geopolymer systems and their effect on binder permeability and durability. Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid: Spain, 3-8 July 2011. P. 149.

37. Samigov N.A. Gelpolymer in concrete. Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2012. Band 2. P. 0617-0622.

38. Arioiz O. Physical and Mechanical Properties of Fly Ash Based Geobricks Produced by Pressure Forming Process. Proc. 17. Internationale Baustofftagung, 23-26 September 2009, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. Band 2. P.0877-0884.

39. Over D., Kilinc K., Celik A.O., Tuncan M., Tuncan A. Freezing-Thawing and Temperature Resistance of Fly-Ash Based Geobricks. Proc. 18. Internationale Baustofftagung, 12-15 September 2012, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2012. Band 2. P. 1147-1154.

40. Исследование и внедрение в производство грунтосиликатных материалов, конструкций и изделий .Материалы к II рес. науч.-техн. конференции. Киев. КИСИ, 1968. С. 40-77.

41. Hüsken G., Brouwers H.J.H. Experimental and Theoretical Study of Earth-Moist Concrete. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1143-1152.

42. Рябов В. М. Закрепление песков и супесей пропиткой смолой на основе фурфурола и его кубового остатка. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971.С. 272-275.

43. Каримов М. С. Применение сланцевых смол для повышения несущей способности грунтов железнодорожного земляного полотна. Закрепление и



уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971. С. 306-309.

44. Maier M. Verflüssigung und Stabilisierung kaseinfreier, selbstverlaufender, zementärer Bodenspachtelmassen. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 2. P. 0305-0310.

45. Crépy L., Petit J.Y., Joly N., Wirquin E., Martin P. First step towards Bio-superplasticizers. Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid: Spain, 3-8 July, 2011. P. 114.

46. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Ленинград, 1984. 368 с.

47. Новосад Н.М., Зозуля В.А., Новосад К.Б. Соколовський Олексій Никанорович (слово про видатного вченого – Харківський етап). *Вісник Харківського національного аграрного університету ім.В.В.Докучаєва. Збірник наукових праць*. Харків: ХНАУ, 2005. Вип. № 2. URL: [http://visnukhnau.narod.ru/download/Visn\\_2005\\_02.pdf](http://visnukhnau.narod.ru/download/Visn_2005_02.pdf) (дата звернення 10.09.2014).

48. Ларионов А.К. Занимательное грунтоведение. Москва, 1974. 280 с. URL: [eggp.narod.ru/maps/Zanimat\\_grunt.htm](http://eggp.narod.ru/maps/Zanimat_grunt.htm) (дата звернення 15.10.2014).

49. Физико-химические методы оздоровления земляного полотна железных дорог. Материалы научно-технической конференции, Москва, ВЗИИТ, 21-23 апреля 1966 г. Москва: ВЗИИТ, 1968.

50. Кузин Б. Я., Гороховская И. Н., Рыбасов А. М., Явич Б. И. Технология и технико-экономические показатели устройства фундаментов из силикатированных лессовых грунтов в Волгодонске. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тез. докл. на IX Всесоюзн. научно-техн. совещ. совещ. Москва, 1978. С. 144-147.

51. Хребто А.О., Меренцова Г. С. Устройство конструктивных слоев дорожных одежд из местных грунтов, укрепленных золосодержащими вяжущими с комплексными химическими добавками. 2-я Всерос. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». Секция «Строительство». Ч. 1 / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул, 2005. С. 21-22.

52. Рекомендации по закреплению подвижных песков на железных дорогах вяжущими веществами и механической защитой из сборных элементов / Гл. управление пути МПС. Москва: Транспорт, 1985. 30 с.

53. Ткачев В. А., Аксенов С. В. Поликомплексная композиция для укрепления грунтов. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978. С. 404-406.

54. Демин В.Ф., Попов Ю.Д., Сулимов В.С. и др. Способ укрепления защитного слоя песка при ремонте гидроизоляции железнодорожных мостов. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978. С. 96-100.

55. Каримов М. С. Технико-экономическая целесообразность применения вяжущих материалов для укрепления основной площадки железнодорожного земляного полотна. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971. С. 140-142.

56. Ковальчук Ю. Ф., Молодых И. И., Батюк В. П. Результаты применения ПАВ в противодиффузионной защите грунтов на оросительных каналах и водоемах юга Украины. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве тезы

доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971. С. 326-328.

57. Гальченко П. П., Кобляков В. М., Ельков А. В. Химическое укрепление водоносных песков при строительстве Харьковского метро. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: материалы VIII Всесоюзного совещания. Киев, 1974. С. 178-181.

58. Dimitrova S. V. Possibilities for use of spent zeolite sorbent in cement mortars. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1011-1018.

59. Yanev I., Radenkova-Yaneva M., Possibilities for the use of Sludge from Water Treatment Plants in the Civil Engineering Practice. Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1019-1024.

60. Наумов С. Технологии реконструкции фундаментов. URL: <http://www.mediaterra.ru/materials/outer/foundations/foundation-reconstruction> (дата обращения 17.08.2013).

61. Ярмолинская Н.И., Ярмолинский В.А., Чубцов В.Ф. Модификация физико-механических свойств полимерцементогрунтовых смесей. *Транспортное строительство*. 2009. № 9. С. 29-31.

62. Богов С.Г. Глубинное закрепление глинистых грунтов URL: <http://www.georec.spb.ru/journals/05/9/9.htm> (дата обращения 05.03.2013).

63. Неизвестный Л. К. О возможностях армирования закрепленного грунта в фундаментах. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1978. С. 177-179.

64. Оползни. Исследование и укрепление: пер. с англ. Москва: Мир, 1981. 368 с.

65. Першин М.Н., Платонов А.П., Марков Л.А., Розов Ю.Н. Обеспыливание автомобильных дорог и аэродромов. Москва, 1993. 145 с.

66. Состав для обеспыливания, гидрофобизации и упрочнения грунта и способ обеспыливания, гидрофобизации и упрочнения грунта: пат. 2120457 RU, МПК С 09 К 17/40, Е 02 D 3/12, Е 01 С 7/36; заявл. 19.06.97; опубл. 20.10.98.

67. Стабилизация грунта диффузией катионов: пат. US 3490241 А, МПК С 09 К 17/06, С 09 К 17/14, С 09 К 17/02; заявл. 25.08.67; опубл. 20.01.70.

68. Грунтовая смесь: пат. 2119010 RU, МПК Е 02 D 3/12, Е 01 С 7/36; заявл. 14.04.97; опубл. 20.09.98.

69. Вяжущее для укрепления грунта: пат. 2106454 RU, МПК Е 02 D 3/12; заявл. 19.01.95; опубл. 10.03.98.

70. Способ цементации слабых грунтов: пат. 2098554 RU, МПК Е 02 D 3/12; заявл. 21.03.96; опубл. 10.12.97.

71. Павлова Л.В. Бетоны и теплоизоляционные изделия с использованием активного ила: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков, 1997. 207 с.

72. Состав для обработки горных пород: пат. 2044829 RU, МПК Е 02 D 3/12; заявл. 01.07.91; опубл. 27.09.95.

73. Способ строительства оснований автодорог и наземных сооружений: пат. 2060315 RU, МПК Е 01 С 7/36, Е 02 D 3/12, С 04 В 28/08; заявл. 28.06.91; опубл. 20.05.96.

74. ГБН В.2.3-37641918-554:2013. Автомобільні дороги. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво. Київ, 2013. 43 с.

75. ВБН В.2.3-218-537:2008. Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу методом ресайклінгу з використанням гранульованих доменних шлаків. Київ, 2008. 13 с.

76. Композиція для улаштування основ дорожніх одягів на основі укріплених суглинних ґрунтів: пат. 102551 Україна: МПК E01C 21/00, E01C 7/00; заявл. 30.03.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл.№ 21.

77. Композиция для устройства оснований автомобильных дорог и наземных сооружений: пат. 2114238 Рос. Федерация: МПК E01C 3/04, E01C 7/36, E02D 3/12; опубл. 27.06.1998.

78. Композиция для укрепления грунтов: пат. 2493316 Рос. Федерация: МПК E01C 7/36; опубл. 20.09.2013.

79. Композиция для устройства оснований дорожных одежд и других сооружений: пат. 2520118 Рос. Федерация: МПК: E01C 3/04, E02D 3/12, C09K 17/10; опубл. 20.06.2014.

80. Грунтовая смесь: пат. 2400593 Рос. Федерация: МПК E01C 7/36; опубл. 27.09.2010.

81. Состав для устройства основания автомобильных дорог: пат. 2094560 Рос. Федерация: МПК E01C 3/04, E02D 3/12; опубл. 27.10.1997.

82. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів: пат. 58654 Україна: МПК E01C 3/00, E02D 3/00, E01C 21/00, E01C 23/00; Опубл 26.04.2011, Бюл.№ 8.

83. Мадюдя І.А., Штундер О.М. Аналіз впливу електропровідності ґрунту на його хіміко-мінералогічні властивості. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2014. № 4. С. 51-55.

84. Трикоз Л.В., Багіянц И.В. Огрунтування вибору моделі зміни діелектричних властивостей несучільних систем. *Наука та прогрес транспорту*:

*Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. А.В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУСТ, 2016. Вип.№ 3 (63). С.120-129.

85. Журав В.В., Єлізаров О.І. Особливості електропровідності вологого ґрунту залежно від механічного складу. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2011. Т. 12. № 3. С. 791-794.

86. Беляева Т.А., Бобров П.П., Ивченко О.А., Мандрыгина В.Н. Зависимость диэлектрической проницаемости связанной воды в почвах от ее количества URL:<http://www.iki.rssi.ru/earth/articles06/vol2-281-286.pdf> (дата обращения 25.06.2012).

87. Корнилов А.В., Лыгина Т.З., Наумкина Н.И. и др. Физико-химические процессы, протекающие в глинистом сырье при электрокинетическом URL:<http://ig.krc.karelia.ru/publ.php?plang=r&id=7559> (дата обращения 05.03.2013).

88. ДСТУ Б В.2.7-149:2008. Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. Київ, 2009. 15 с.

89. Trykoz L.V., Bagiyanс I.V., Savchuk V.Yu., Pustovoitova O.M., Kamchatnaya S.M., Saiapin O.S. Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2016. Vol. 25. Pp. 52-57

90. Бушуев В.И., Бушуев С.В. Сопротивление изоляции рельсовых цепей – заблуждения и реальность. *Автоматика, связь, информатика*. 2003. № 6. С. 25-27.

91. Старосельский А. А. Коррозия и защита железобетонных конструкций в сооружениях электрифицированных железных дорог. Харьков, 1988. 82 с.

92. Физические свойства шлака  
URL:<http://specural.com/articles/category/6/message/215> (дата обращения 20.08.2012).
93. Бобров А.П., Бобров П.П., Иванченко О.А., Мандрыгина В.Н. Определение диэлектрической проницаемости прочно- и рыхлосвязанной воды на СВЧ с использованием емкостной модели диэлектрической проницаемости почв  
URL:<http://www.omsk.edu/volume/2006/phys-math>. (дата обращения 24.08.2012).
94. Крюков Б. Г. Расчеты радиуса распространения растворов синтетических смол при закреплении грунтов основной площадки железнодорожного земляного полотна. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тезы доклада на VII Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, 1971. С. 299-301.
95. Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Ленинград, 1986. 256 с
96. Ржаницын Б.А., Курденков Л.И. Руководство по технологии физико-химического укрепления грунтов. Москва, 1977. 64 с.
97. Караулова А.М. Механика грунтов. Москва, 2007. 286 с.
98. Makusa G.P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice  
URL:<http://pure.ltu.se/portal/files/42050076> (дата обращения: 05.06.2014).
99. Ржаницын Б.А., Курденков Л.И. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве. Москва, 1986. 96 с.
100. Yanev I., Radenkova-Yaneva M. Possibilities for the use of Sludge from Water Treatment Plants in the Civil Engineering Practice. Proc. 16. Internationale

Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. Band 1. P. 1019-1024.

101. Золотухин И.А. Биологическая флокуляция взвешенных веществ шахтных вод. *Химия и технология воды*. 1990. Т.12. № 9. С.30-45.

102. Линник П.М. Біометали в поверхневих прісних водах і екологотоксікологічне значення різних їх форм. *Вісник АН УРСР*. 1986. № 3. С.87-92.

103. Ставская С.С. Микробиологическая очистка производственных и ливневых сточных вод от анионных ПАВ. *Химия и технология воды*. 1989. Т.11. № 3. С.

104. Удод В.М. Биоадсорбционная очистка сточных вод. *Химия и технология воды*. 1986. Т.8. № 3. С.

105. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, 1991. С.3–151.

106. Antonovich I., Bradschow A.D., Turner R.G. Heavy metal tolerance in plants . *Advances in Ecological Research.- L.*, № 4.: Academic Press. 1971. V.7. P.2-86.

107. Lagerwerff J.V. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, USA: Soil Sci. Soc. Am. Inc. P.593-636.

108. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Ленинград, 1988. С.10-83.

109. Гаврилади Е.А., Евилевич М.А. Использование осадков сточных вод в производстве древесноволокнистых плит. *Бумажная промышленность*. 1983. с.

110. Приходько А. П., Шпирько Н. В., Сторчай Н. С., Зорина О. А., Погостнов А. П., Гришко А. М., Богданов Р. В. Влияние добавок осадков сточных



вод на фазовый состав и прочность керамических изделий. Зб. Наук. пр.

«Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Рівне: Вид-во НУВГП, 2013. Вип. 26. С. 382-392.

111. Яковлев С.В., Карелин Л.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод. Москва, 1979. 319 с.

112. Crépey L., Petit J.Y., Joly N., Wirquin E., Martin P. First step towards Bio-superplasticizers. Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid: Spain, 3-8 July, 2011. P. 114.

113. Волоцкой Д.В. Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Москва, 1978. 119 с.

114. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. Москва, 1966. 204 с.

115. Ребиндер П.А. Проблемы образования дисперсных систем и структур в этих системах: физико-химическая механика дисперсных структур и твердых тел. В. кн. «Современные проблемы физической химии.». Москва: Изд-во МГУ, 1968. 302 с.

116. Vekli M., Çadır C.C., Şahinkaya F. Effects of iron and chrome slag on the index compaction and strength parameters of clayey soils. Environmental Earth Sciences. Springer Science + Business Media; 2016 Feb 24;75(5).

117. Kavak A., Bilgen G. Reuse of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) in Lime Stabilized Embankment. *International Journal of Engineering and Technology*. IACSIT Press., 2016. Pp.11–4.

118. Большаков В.И., Елисева М. А., Щербак С. А. Контактная прочность механоактивированных мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного*

*університету залізничного транспорту ім. акад. А.В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУСТ, 2014. Вип. 5 (53). С. 138-149.*

119. Иванова А.П., Труфанова О. И. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. А.В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУСТ, 2014. Вип. 5 (53).С. 150–156.*

120. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов на Дону, 2007. 368 с.

121. Kaneko T., Watabe Y. Effect of sand content on stabilization of dredged soil - steel slag mixture Japanese Geotechnical Society Special Publication. The Japanese Geotechnical Society, 2016.

122. Oh M., Yoon G.L., Yoon Y.W. Evaluation on the compressive strength of dredged soil-steel slag. Japanese Geotechnical Society Special Publication. The Japanese Geotechnical Society, 2016.

123. Perná I., Hanzlíček T. The setting time of a clay-slag geopolymer matrix: the influence of blast-furnace-slag addition and the mixing method. Journal of Cleaner Production, 2016 .

124. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Класифікація. Київ, 1997. 41 с.

125. ДСТУ Б В.2.7-29-96 «Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація». Київ, 1996. 35 с.

126. ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови». Київ, 1996. 13 с.

127. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ, 2010. 31 с.

128. ДСТУ Б В.2.1-5-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. Київ, 1997. 41 с.

129. ДСТУ Б В.2.7-207:2009. Будівельні матеріали. Матеріали щебеневі, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'язучими. Технічні умови. Київ, 2010. 10 с.

130. Швайка Д.И. Использование отходов углеобогащения при производстве строительных материалов в УССР. Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. Москва: ВНИИЭСМ, 1985. Сер. 11. Вып. 2. С. 43-51.

131. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. Киев, 1985. 439 с.

132. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва, 1978. 455 с.

133. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. Москва, 1988. С.63-220.

134. Водоотводящие системы промышленных предприятий : учеб. для вузов. Москва:Стройиздат, 1990. С.360-365.

135. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология : учеб. пособие для вузов по спец.: “Водоснабжение и канализация”; 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 1979. С.300-326.

136. Покровская С.Ф., Касатиков В.А. Использование осадка городских сточных вод в сельском хозяйстве. Москва, 1987. 35с.

137. Игнатенко А.П. Вискозиметрические исследования суспензий активного ила. *Журнал прикладной химии*. 1987. Т. 60. Вып. 3. С.575-580.
138. Хидиров Ш.Ш. Анодное поведение белков на оксидных электродах. *Электрохимия*. 1984. Т.20. Вып.12. С.1670-1671.
139. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Київ, 1997. 79 с.
140. ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення максимальної щільності. Київ, 2010. 19 с.
141. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. Київ, 1997. 19 с.
142. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. Київ, 2010. 45 с.
143. ДСТУ Б В.2.7-204:2009. Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови. Київ, 2010. 13 с.
144. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев, 1975. 351 с.
145. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. Москва, 1976. 175 с.
146. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: пер. с англ. Москва, 1991. 536 с.
147. Islam S., Asadul H., Ha Hong Bui. 1-D Compression Behaviour of Acid Sulphate Soils Treated with Alkali-Activated Slag. *Materials*, 2016. Vol. 9. Iss. 4. P. 289-302.

148. Schneider N., [Dietmar Stn.](#) The effect of D-gluconic acid as a retarder of ground granulated blast-furnace slag pastes. *Construction and Building Materials*, 2016. Vol. 123. P. 99-105.

149. Kaya Z. Effect of slag on stabilization of sewage sludge and organic soil. *Geomechanics and Engineering*, 2016. Vol. 10. Iss. 5. P. 689-707.

150. Зыкова И. В. Обезвреживание избыточных активных илов и осадков сточных вод от тяжелых металлов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. хим. наук: спец. 03.0016 "Экология". Санкт-Петербург, 2008. 32 с.

151. Шпирько Н.В., Сторчай Н.С., Гришко А.Н., Кононов Д. В., Маляр Д. О., Богданов Р. В. Исследование влияния активации суглинки на содержание коллоидных частиц. URL:[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba\\_2014\\_53\\_64](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2014_53_64) (дата обращения: 16.03.2013).

152. Плугин А.Н., Плугин А.А., Трикоз и др. 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 ; под ред. А.Н. Плугина. Киев, 2011. 331 с.

153. Сивцов А. П. Электрокоррозия цементных материалов в зависимости от характеристик электрического тока. Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. Москва, 1971. С.50-56.

154. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. Київ, 1978. 198 с.

155. Старосельский А. А., Ольгинский А. Г. Коррозия приарматурного слоя бетона при воздействии переменного тока. Межвуз. сб. научн. тр «Повышение долговечности бетона транспортных сооружений:». Москва: МИИТ, 1980. Вып. 62. С.20-25.

156. Старосельский А. А. Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрических воздействий: дисс... д.т.н.: 05.23.05. Москва: 1989. 282 с.

157. Плугин А.Н., Плугин А.А., Герасименко О.С., Дудин А.А., Плугин Ал. А. Механизм разрушения кирпичной кладки водопропускной трубы переменным блуждающим током или током утечки. *Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць*. Харків, ХДТУБА. 2007. Вип.42.С.112-119.

158. Плугин А.Н., Скорик А.А., Плугин А.А. и др. Электрокоррозия железобетонных мостов и других искусственных сооружений. *Залізничний транспорт*. 2004. №1. С.11-13.

159. Плугин Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей: дисс... к.т.н.: 05.23.05. Харьков, 2010. 256 с.

160. Борзяк О.С. Механізм електрокорозії бетону залізобетонних конструкцій в складних умовах експлуатації: атореф. дис...на здобуття наук. ступеня к.т.н.: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби ». Харків: , 2010.

161. Плуґін О.А., Борзяк О.С., Мартинова В.Б., Халюшев О.К. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них): монографія; за ред. А.А.Плугіна і М.М.Зайченка. Харків, 2013. 300 с.

162. Плугин А.А., Дудин А.А., Плугин Ал.А., Плугин А.Н. Теоретические предпосылки защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций от переменных токов утечки. *Науковий вісник Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць*. Харків, ХДТУБА, 2008. Вип.47. С.179-184.

163. 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.Харків, 2012. 275 с.

164. 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 Одеської державної академії будівництва та архітектури. Збірник наукових праць. Одеса: ОДАБА, 2010.Вип.43.С.517-524.*

165. Касьянов В.В. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць: дис... к.т.н: 05.23.05. Харків, 2018. 281 с.

166. Плугин А.Н., Плугин А.А., Плугин Ал.А., и др. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог. Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті».Харків, 2009. Вип. 109. С.131-143.

167. Плугін А.М., Плугін А.А., Скорик О.О., Герасименко О.С., Трикоз Л.В., Макєєв М.Ф. Електрокорозія бетону залізобетонних блоків обробки метрополітену. Зб.наук. праць УкрДАЗТ, Харків: УкрДАЗТ, 2003.Вип.56. С.126-135.

168. Нестеренко С.Г. Полімерцементний розчин для захисту будівель від електрокорозії і надлишкових електричних зарядів: дис... к.т.н.: 05.23.05. Харків, 2016. 242 с.

169. 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.

170. Палий В.В. Полимерцементный раствор для защиты и ремонта зданий и сооружений железных дорог: Дисс... к.т.н.: 05.23.05. Харьков, 2014. 219 с.

171. Plugin A.N., Plugin A.A., Plugin O., Dudin O., Borzyak O. Research of influence of leakage currents and stray currents 17 International Baustofftagung, Weimar, 23-26 September 2009: Tagungsbericht. Weimar, 2009. B.2. P.1151-1156.

172. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації ґрунтів. *Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип.148. С.58-62.

173. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Использование активного ила станций биологической очистки для обеспечения устойчивости грунтовых массивов. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (23-24 квітня 2014 р., м. Харків). Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. С. 81-82.

174. Trykoz L., Rachkovskiy A., Savchuk V. Untersuchungen der Verbundwerkstoffe aus Böden und Bioschlamm bei biologischer Reinigung. 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2015. Band 2. P. 1427-1431.

175. Trykoz L., Savchuk V. The surface interaction in the Soil-Slag-Biological Solids system. 2nd International Conference on the Chemistry of Construction Materials 10-12 October, 2016, Munchen, Germany. Kempten: AZ Druck und Datentechnik, 2016. GDCh-Monographie. Vol. 50. P 400-403.



176. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. *Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип.155. С.153-158.

177. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповіді 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 23-24 квітня 2015 р. Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 39.

178. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження деформаційних характеристик ґрунтового матеріалу з використанням відходів. Наука та прогрес транспорту: *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. Акад. А.В.Лазаряна. Науковий журнал*. 2017. № 2 (68). С.166-172.

179. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю., Савчук Ю. Ю. Дослідження залежності модуля деформації ґрунтового матеріалу від кількості шлаку металургійних комбінатів. Збірник матеріалів Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (25 листопада 2015 р., м. Полтава). Полтава: ПолтНТУ, 2015. С. 63-65.

180. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження властивостей ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів виробництва. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповіді 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 19-21 квітня 2017 р. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 76-78.

181. Зміцнена ґрунтова композиція: пат. 115843 UA МПК (2006.01) E01C 3/04, E01C 7/36, E02D 3/12, C09K 17/40; Заявл. 09.12.2016; Опубл. 26.12.2017, Бюл.№ 24.

182. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу станцій біологічного очищення. *Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури*. Харків: ХДТУБА; ХОТВАБУ, 2017. Т. 87. № 1. С.128-133.

183. Трикоз Л.В., Савчук В. Ю. Дослідження залежності зміни питомого опору ґрунту від кількості активного мулу. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 26-27 квітня 2016 р. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип.160 (додаток). С. 88.

184. Трикоз Л.В., Борзяк О.С., Савчук В.Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип.171. С.44-52.

185. Савчук В.Ю. Особливості формування мезоструктури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті:тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції, Харків, УкрДУЗТ, 24-26 квітня 2018 р. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 101.

186. Савчук В.Ю. Електронно-мікроскопічні дослідження структури ґрунтовмісних матеріалів з використанням відходів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Збірник наукових праць*.Одеса: ОДАБА, 2018. Вип. 71. С. 130-134.

