

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Палант Олена Валентинівна

УДК 691.32:620.193 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

БЕТОНИ ТА ВИРОБИ ДЛЯ ТРАМВАЙНИХ КОЛІЙ ПІДВИЩЕНОЇ СТІЙКОСТІ ДО ДИНАМІЧНИХ, ЕЛЕКТРИЧНИХ І ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ

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,



О.В. Палант

Науковий керівник: Пługін Дмитро Артурович, доктор технічних наук, доцент

Харків 2019

Анотація

Палант О.В. Бетони та вироби для трамвайних колій підвищеної стійкості до динамічних, електричних і температурних впливів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби (19 – Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена удосконаленню бетонів і виробів трамвайної колії для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі в результаті аналізу особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній встановлено, що традиційним конструкціям колії притаманні недоліки, а саме: вібрація та шум, електрокорозійні пошкодження, викиди рейок від температурних напружень, тріщиноутворення в бетоні підрейкових основ, сходи трамваїв з рейок. Відзначено близькість більшості найбільш пошкоджуваних ділянок колії та місць сходів трамваїв з рейок до водотоків, ліній залізниць та метрополітенів, що можуть бути джерелами струмів витоку і надлишкових електричних зарядів.

Сучасні конструкції колії характеризуються меншими вібрацією та шумом, пошкоджуваністю, проте безстикова колія на них схильна до викидів рейок. Викиди рейок влітку та розрив зварних стиків взимку відбуваються від значних температурних напружень, що виникають у разі порушення умов експлуатації колії. Встановлено, що вразливою для викидів є конструкція інтегрованої в дорожнє покриття «безшумної» колії з безшийковими рейками.

Раніше виконаними в УкрДУЗТ під керівництвом проф. А.М. Плугіна дослідженнями доведено, що інтенсивним руйнівним фактором, що впливає на конструкції електрифікованих постійним струмом рейкових колій і їх споруд, є струми витоку з рейок і надлишкові електричні заряди антропогенного та природного походження.

В результаті теоретичних досліджень розвинуто уявлення про вплив струмів витоку та надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження на конструкції трамвайних колій. Надлишкові електричні заряди на конструкціях колії сприяють утворенню та розвитку пошкоджень, обумовлюючи: підняття ґрунтових вод за рахунок електроосмосу; розрідження глинистого ґрунту за рахунок електростатичного відштовхування його частинок згідно теорії стійкості дисперсних систем, що сприяє утворенню виплесків та провалів; погіршує механічні властивості сталі та бетону, що сприяє руйнуванню дорожнього покриття, відколам, зламам, розривам, зносу та викидам рейок.

Для уповільнення розладнань колії та розвитку інших пошкоджень, збільшення міжремонтних термінів, а також запобігання сходів, під час ремонту і реконструкції колії необхідно впроваджувати заходи з попередження обводнення основ, зниження вібрації та електричних впливів.

Зниження вібрації та шуму має забезпечуватись застосуванням вібропоглинальних матеріалів, а електричних впливів – збільшенням електричного опору між рейками та підрейковими й ґрунтовими основами, отже, застосуванням матеріалів, що мають більш високий електричний опір.

В результаті аналітичного огляду робіт і досліджень, присвячених структурі, реологічним, фізико-механічним, електротехнічним властивостям полімерних матеріалів і гум, а також важких бетонів, розроблено робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень, тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії необхідне максимальне застосування в них поліуретанів з високими вібропоглинаючими властивостями та електричним опором, пружних деталей

прикріплення рейок до підрейкових основ, бетонів оптимального складу з підвищеною динамічною міцністю та зниженим коефіцієнтом лінійного теплового розширення.

У другому розділі наведено характеристики основних матеріалів і методів досліджень. Як віброелектроізолюючі заливні мастики для конструкцій трамвайної колії з ізолюваною рейкою застосовано двокомпонентні поліуретанові мастики з відповідними ґрунтовками: EdilonCorkelast®, IcositC340/45F, композиція «Х» (м. Харків). Для виготовлення виробів підрейкових основ та прирейкових вкладишів, а також зразків їх бетону застосовано важкий бетон класів С20/25, С32/40, С35/45, С40/50. Для виготовлення прирейкових вкладишів застосовували замість гранітного щебеню кварцовий щебінь, кварцовий пісок та кварц мелений пилоподібний. Для деталей розроблюваного пружного рейкового скріплення застосовано: вуглецеву пружинну сталь 60С2А (55С2А), поліамід ПА6-Л-СВ-30, поліуретан СКУ-7Л.

Фізико-механічні властивості бетону визначали стандартними методами. Для дослідження адгезійних властивостей полімерів, параметрів вібрації конструкцій та електричного опору матеріалів та виробів трамвайної колії, тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів розроблено оригінальні методики досліджень.

Наявність у поліуретановому полімері функціональних груп з подвійними зв'язками визначали аналізом інфрачервоних спектрів поглинання, отриманих за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker Alpha зйомкою на відбивання.

У третьому розділі виконані теоретичні дослідження з розробки способів захисту від вібраційних та електричних впливів від трамвайних колій, зниження температурних напружень та запобігання тріщиноутворення в них.

Встановлено, що високій здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє латеральне електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а підвищення віброізоляційних властивостей конструкцій трамвайної колії може досягатись за рахунок

виготовлення підрейкових прокладок, ізолюючих втулок, дюбелів, заливних мастик із поліуретанів різної жорсткості, що мають високу вібропоглинальну здатність.

Розвинуто уявлення про вплив струмів витоку та надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження на конструкції трамвайних колій. Встановлено наступне: спільна дія змінних і постійних струмів витоку в реальних умовах експлуатації обводнених конструкцій набагато інтенсивніше руйнує ці конструкції; експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення макропотенціалу течії, макроелектрокінетичного потенціалу і виносу з ґрунту катіонів; від руху трамваїв на конструкціях трамвайних колій виникають пульсуючі односпрямовані електричні потенціали та відповідні їм надлишкові негативні заряди, які, крім електрокорозійного впливу на бетон і залізобетон та сприяння тріщиноутворенню в бетоні, за рахунок електростатичних сил можуть сприяти сходам рухомого складу на розладнаних ділянках колії.

Встановлено, що поліуретан характеризується більшим, ніж гума, електричним опором і здатністю запобігати накопиченню надлишкових електричних зарядів за рахунок електронегативності наявних в ньому функціональних груп $C=O$ з подвійними зв'язками. Ці групи забезпечують негативний заряд поверхонь порового простору, який запобігає перенесенню крізь нього носіїв електричного заряду – аніонів (за рахунок відштовхування) та катіонів (за рахунок адсорбції).

Встановлено, що заміна у важкому бетоні гранітного заповнювача кварцовим, а частини цементу – кварцом меленим пилоподібним обумовлює зниження коефіцієнта лінійного теплового розширення бетону до 3,8 разів від 10×10^{-6} до $2,65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а наклеювання на шийку трамвайної рейки вкладишів із такого бетону – зниження температурних напружень в рейці на 10 – 32%, віброшвидкості коливань підрейкової основи – на 27% від 0,85 до 0,62 мм/с.

Встановлено, що залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів, частинок цементу (клинкерних реліктів) η та водоцементного відношення В/Ц повинні мати екстремальний характер з максимальними показниками тріщиностійкості за оптимальних величин цих структурних характеристик $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$, В/Ц_{опт}. Для досліджуваних матеріалів їх значення складають 1,25, 1,74, 1,13 і 0,32, відповідно.

У четвертому розділі представлені результати експериментальних досліджень з підтвердження гіпотез та розробки способів захисту від вібраційних та електричних впливів від трамвайних колій, зниження температурних напружень та запобігання тріщиноутворення в них.

Виконано аналіз ІЧ-спектрів поліуретанів та гум, в результаті якого встановлено, що для спектрів всіх досліджених поліуретанів характерна інтенсивна лінія з хвильовими числами у межах $1732 - 1727 \text{ см}^{-1}$, характерна для валентних коливань групи $C=O$. На спектрах гум ця лінія відсутня. Це підтверджує наявність групи $C=O$ у поліуретанах та, отже, її вплив на реологічні та електричні властивості у порівнянні з гумами.

Встановлено, що поліуретанові мастики різних виробників характеризуються показниками адгезії до сталі та бетону понад 0,6 МПа. Композиція «Х» має кращі показники адгезії у разі застосування без ґрунтовки та характеризується адгезією до сталі 0,51 МПа, що менше 0,6 МПа, проте це є допустимим. Адгезія всіх мастик до бетону знижується у водонасиченому стані на 30 – 61%, проте у дощову погоду максимальні температурні напруження у рейці не виникають і величини коефіцієнтів розм'якшення контакту мастики з бетоном 0,39 – 0,7 можна вважати припустимими.

Встановлено, що поліуретанові мастики забезпечують зниження віброшвидкості коливань плити підрейкової основи у порівнянні з колією на гумових підрейкових прокладках на 27%, збільшення електричного опору між рейкою і плитою – у 3,9 раз. Це підтверджує припущення про те, що високій

здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а високому електричному опору – висока електронегативність цих груп.

Встановлено, що залежність тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів та водоцементного відношення має екстремальний характер. Для досліджених матеріалів забезпечення відповідності коефіцієнту розсунення зерен крупного, дрібного заповнювачів та водоцементного відношення оптимальним величинам, відповідно, $\alpha_{\text{опт}} = 1,30$, $\mu_{\text{опт}} = 1,27$, $V/C_{\text{опт}} = 0,23$ і товщини прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача 20 мкм у бетоні класу C40/50 забезпечило максимальні показники фізико-механічних властивостей бетону, у т.ч. підвищення його тріщиностійкості в умовах динамічних впливів за показниками сумарної енергії руйнування у порівнянні з бетоном з $\mu = 1,51$ (C20/25) у 14,9 раз, а з $\mu = 1,36$ (C32/40) – у 2,1 раз. Для уточнених експериментально оптимальних величин структурних характеристик $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $V/C_{\text{опт}}$ визначено склади бетону.

У п'ятому розділі наведено результати впровадження результатів досліджень. Розроблено нове пружне рейкове скріплення для трамвайних колій SRS-T. На скріплення подано заявку на видачу патенту на винахід та розроблено Технічні умови України на комплект його елементів.

Результати досліджень впроваджено під час реконструкції трамвайних ліній м. Харкова, Дніпра, Києва у двох конструкціях колії, інтегрованої у дорожнє покриття – зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит та зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити. Впроваджені бетони та вироби забезпечили зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні. Розроблено технічні умови України на прирейкові вкладиші та елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії, отримано патенти на корисну модель на плити залізобетонні

підрейкових основ та їх арматурні каркаси. Економічний ефект обумовлений збільшенням міжремонтного терміну, протягом якого колія зберігається у справному стані, складає 2317 тис. грн. Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності руху. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі в Українському державному університеті залізничного транспорту.

Ключові слова: трамвайна колія, поліуретан, бетон, вібрація, електричні впливи, тріщини, захист.

Abstract

Palant, Olena Valentynivna. Concretes and fabricated products for tram tracks with high resistance to dynamic, electrical and temperature impacts. – 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, 2019. The dissertation defense will take place at the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2019.

The dissertation considers the improvement of materials and parts of the tram track to reduce vibration, electrical impacts, temperature stresses in rails and crack formation in concrete.

In the introduction, the relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose and objectives of the study are stated, and the scientific hypothesis, novelty and practical significance of the obtained results are presented. Information about the validation of principal results of the dissertation, the number of publications, the composition and the volume of the work are also given.

In Section One, on the basis of the analysis of the features of arrangement and operation of the tram lines, it is established that the conventional track structures have some defects, such as vibration and noise, electric corrosion damages, thermal rail

stressing, crack formation in concrete rail seats, derailment of trams. It is noted that the majority of the most heavily damaged sections of the track and derailment points are located close to water streams, railways and subways, which can be sources of leakage currents and excess electric charges.

Modern track designs are characterized by lower vibration and noise levels, as well as lower damage rate, but the continuous welded rails are prone to thermal stressing. Rail stressing in summer and the rupture of the weld joints in winter are caused by significant thermal stresses that occur when the track operation conditions are violated. It is established that the design of the “silent” track with webless rails is vulnerable to thermal rail stressing.

The studies previously performed at the Ukrainian State University of Railway Transport under the guidance of Prof. A.M. Plugin have shown that leakage currents from the rails and excess electric charges of both anthropogenic and natural origin are an intense destructive factor affecting the DC-electrified rail tracks and their structures.

Theoretical research enabled to develop the understanding of impact of leakage currents and excess electric charges of both anthropogenic and natural origin on the tram track structure. Excess electric charges on track structures contribute to the occurrence and development of damages causing groundwater surge due to electro-osmosis, dilution of clayey soil due to electrostatic repulsion of its particles according to the dispersed system stability theory, which promotes the formation of expulsions and dips; deteriorates mechanical properties of steel and concrete, contributing to the destruction of road surface, cleavages, breaks, ruptures, wear and tear and rail stressing.

In order to decelerate the development of track breakdowns and other damages, to increase the time between repairs, and to prevent derailment, measures should be taken during the repair and reconstruction to prevent the watering of the bases and to reduce vibration and electrical influences.

Reduction of vibration and noise should be ensured by using vibration dumping materials and electrical impacts can be controlled by increasing the electrical

resistance between the rails and the rail seats and soil bases, i.e. using materials with higher electrical resistance.

As a result of the analytical review of publications and studies concerning the structure, rheological, physico-mechanical, electrical properties of polymeric materials, rubbers and heavy concretes, a working hypothesis was developed assuming that the maximum use of polyurethanes with good vibration dumping properties and electrical resistance, use of elastic rail mounting to the rail seats, concretes of the optimum composition with increased dynamic strength and reduced linear thermal expansion coefficient in concrete of tramway track structures is required to reduce vibration, electrical impacts, thermal stresses, and crack formation.

In Section Two, characteristics of the principal materials and research methods are given. Two-component polyurethane mastics with appropriate primers EdilonCorkelast®, IcositC340/45F, composition “X” (Kharkiv) were used as filling mastics for vibration and electricity insulation of the tramway structures with insulated rail. Heavy concrete of C20/25, C32/40, C35/45, and C40/50 classes was used for the manufacture of products of rail seats and rail liners, as well as samples of their concrete. Quartz crushed stone, quartz sand and ground pulverized quartz were used instead of crushed granite for making railside filling. Carbon spring steel 60C2A (55C2A), PA6-L-SV-30 polyamide, SKU-7L polyurethane are used for parts of the developed elastic rail mounting.

The physico-mechanical properties of concrete were determined using standard methods. Original research methods have been developed to study the adhesion of polymers, vibration parameters of structures and electrical resistance of materials and fabricated products of the tram track, crack resistance of concrete under dynamic impacts.

The presence in the polyurethane polymer of the functional groups with double bonds was identified by analyzing infrared absorption spectra obtained with a Bruker Alpha IR Fourier spectrometer using the reflection imaging.

In Section Three, theoretical research on development of methods of protection against vibration and electrical impacts from tram tracks, reduction of temperature stresses and prevention of crack formation in them is conducted.

It is established that high vibration damping capacity of polyurethane is promoted by lateral electrostatic repulsion between $C=O$ functional groups with double bonds of urethane groups, while the increase of vibration insulating properties of tram track structure can be achieved by manufacture of railside filling, insulator bushes, anchors, filling mastics of polyurethanes of different rigidity that have high vibration absorption capacity.

The concept of the impact of leakage currents and excess electric charges of both anthropogenic and natural origin on the tram track structure was developed. The following is established: the joint action of alternating and direct leakage currents in the actual operating conditions of the waterlogged structures much more intensively destroys these structures; operated water wells cause the distribution of electric charges and potentials on the ground due to the occurrence of macropotential of the current, macroelectrokinetic potential and removal of cations from the soil; movement of trams causes pulsating unidirectional electric potentials and corresponding excess charges on the tram track structure, in addition to the corrosion effects on concrete and reinforced concrete and promoting crack formation in the concrete, negative excess charges, which accumulate on rail seats, can cause derailment on affected tracks due to electrostatic forces.

Polyurethane was found to have higher electrical resistance and ability to prevent the accumulation of excess electrical charges than rubber due to the electronegativity of $C=O$ functional groups with double bonds. These groups provide a negative charge of the surfaces of the pore space, which prevents the transfer of electric charge carriers – anions (due to repulsion) and cations (due to adsorption) – through it.

It was found that substitution crushed granite with quartz aggregate and partial substitution of cement with ground pulverized quartz in heavy concrete can cause a reduction of the linear thermal expansion coefficient of concrete by up to 3.8 times

from 10×10^{-6} to $2.65 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, while gluing liners made of such concrete to the tram rail web can result in reduction of thermal stresses in the rail by 10 – 32%, vibration velocity of oscillations of the rail seat – by 27% from 0.85 to 0.62 mm/s.

It is established that the dependences of the crack resistance of concrete under dynamic impacts from the structural characteristics of concrete – coefficients of displacement of coarse α and fine μ aggregate grains, cement particles (clinker relics) η and water-cement ratio W/C should be extreme with maximum values of crack resistance in case of optimal values of these structural characteristics α_{opt} , μ_{opt} , η_{opt} , W/C_{opt} . For the investigate materials, these values are 1.25, 1.74, 1.13 and 0.32, respectively.

In Section Four, the results of experimental studies to verify hypothesis and develop methods of protection against vibration and electrical impacts from tram tracks, reduction of thermal stresses and prevention of crack formation in them are presented.

IR spectra of polyurethanes and rubbers were analyzed to find out that the spectra of all investigated polyurethanes had an intense line with wave numbers within the range $1732 - 1727 \text{ cm}^{-1}$, which is characteristic for the valence vibrations of the $C=O$ group. This line is absent on the spectra of rubber. This confirms the presence of the $C=O$ group in the polyurethanes and, therefore, its effect on the rheological and electrical properties compared to rubbers.

Polyurethane mastics of different manufacturers are established to have indicators of adhesion to steel and concrete over 0.6 MPa. Composition “X” has better adhesion when applied without primer and its adhesion to steel is 0.51 MPa, which is below 0.6 MPa, although is still acceptable. Adhesion of all mastics to concrete decreases in the water-saturated state by 30 – 61%, however, in rainy weather the maximum temperature stresses do not occur in the rail and the contact softening coefficients of mastic with concrete 0.39 – 0.7 can be considered acceptable.

Polyurethane mastics have been found to provide a reduction in the vibration velocity of the rail seat slab by 27% as compared to the track on rubber rail seats, and to increase of electrical resistance between the rail and the slab by 3.9 times. This

confirms the assumption that the high vibration damping capacity of polyurethane is promoted by electrostatic repulsion between $C=O$ functional groups with double bonds between urethane groups, while high electrical resistance is facilitated by high electronegativity of these groups.

It is established that the dependence of the crack resistance of concrete under dynamic impacts from the coefficients of displacement of coarse α and fine μ aggregate grains and water-cement ratio is extreme. For the investigated materials, ensuring compliance of the coefficient of displacement of coarse, fine aggregate grains and water-cement ratio with the optimal values, respectively, $\alpha_{opt} = 1.30$, $\mu_{opt} = 1.27$, $W/C_{opt} = 0.23$ and the thickness of the layer of cement stone between the fine aggregate grains of 20 μm in C40/50 concrete provided maximum performance of the physical and mechanical properties of the concrete, including increase of its crack resistance under dynamic impacts in terms of total fracture energy as compared to concrete with $\mu = 1.51$ (C20/25) – 14,9 times, and with $\mu = 1.36$ (C32/40) – 2.1 time. Concrete compositions are determined for the experimentally verified optimal values of the structural characteristics of α_{opt} , μ_{opt} , W/C_{opt} .

In Section Five, results of implementation of the research results are presented. New elastic rail mounting for SRS-T tram tracks was developed. A patent for invention for the mounting was filed and the Specifications of Ukraine for a set of its elements were developed.

The research results were implemented during the reconstruction of the tram lines in Kharkiv, Dnipro, and Kiev in two track designs integrated into the road surface – with a precast rail seat of reinforced concrete slabs and a combined seat made of mountable reinforced concrete blocks and an in-situ concrete slab. Introduced materials and parts have provided for reduction of vibration, electrical impacts, thermal stresses in rails, and crack formation in concrete. The Specifications of Ukraine for railside filling and supporting elements for reinforced concrete combined base of the tram track were developed, patents for utility model of a reinforced concrete slab of rail seats and their reinforcing cages were obtained. The economic effect due to the prolongation of the period between repairs, during which

the track is maintained in proper condition, is UAH 2,317,000. Social effect is achieved by preventing injury to people getting off the tram, reducing vibration and noise, and increasing the comfort of movement. The research results are used in the educational process at the Ukrainian State University of Railway Transport.

Keywords: tram track, polyurethane, concrete, vibration, electrical impacts, cracks, protection.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України

1. Палант О.В. Спільний руйнівний вплив постійного та перемінного струму витоку на обводнені конструкції. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Зб. Наук. праць Луцького нац. техн. ун-ту.* 2018. Вип. 10. С. 106–112.

2. Палант О.В., Савченко О.М., Плугін Д.А., Плугін А.А. Зниження електричних і вібраційних впливів від рейкового транспорту. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Зб. наук. праць Придніпровської держ. акад. буд. та арх.* 2018. Вип. 104. – С. 194–199. *Особистий внесок:* визначено параметри вібрації та електричного опору у натурних умовах, визначено величини віброшвидкості та віброприскорення.

3. Плугин А.Н., Палант Е.В., Плугин Д.А., Плугин Ал.А., Борзяк О.С. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ».* 2018. Вип. 35. С. 25–28. *Особистий внесок:* розроблено схеми деформування структурного елементу поліуретану, обґрунтовано вплив функціональних груп C=O на реологічні та електричні властивості поліуретану.

4. Плугин Д.А., Савченко О.М., Палант О.В. Электро- та віброізоляційні матеріали на залізниці. Можливості їх виготовлення в Україні *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. тр-ту.* 2017. Вип. 169. С. 11–18. *Особистий внесок:* виконано аналітичний огляд існуючих електро- та віброізоляційних матеріалів, визначено їх придатність для конструкцій колії.

5. Шуба Т., Чистяк В., Перестук В., Єлякіна О., Забіяка О.А., Плуґін А.А. Досвід застосування нових конструкцій безбаластного залізничного полотна у Польщі та оцінка перспектив їх застосування в Україні. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. тр-ту*. 2011. Вип. 122. С. 201–221. *Особистий внесок*: виконано аналіз стану трамвайних колій в Польщі, характеру їх пошкоджень та способів запобігання у нових конструкціях колії.

Публікації апробаційного характеру

6. Palant O., Plugin D., Plugin A., Lobiak A., Pluhin O. Use of liners made of concrete on quartz aggregates and polyurethane composition to reduce vibration, noise and improve the stability of tramway track. *Matec Web of Conferences*. V.230. 03014 (2018). 9 pp. DOI: 10.1051/matecconf/201823003014 (Scopus). *Особистий внесок*: досліджено залежність коефіцієнту лінійного температурного розширення бетону від вмісту кварцових заповнювачів і наповнювачів.

7. Plugin A.M., Pluhin O., Palant O., Konev O., Nykutytskyj A. Electric potentials and charges on the buildings and the area around the deep water wells. *Matec Web of Conference*. V.116, 01011 (2017). 7 pp. DOI: 10.1051/matecconf/201711601011 (Scopus). *Особистий внесок*: взято участь у вимірюванні електричних потенціалів на конструкціях будівлі та місцевості та аналізі результатів вимірювань.

8. Palant O.V., Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A. Reduction of electric and vibrational impacts of city tram to the structures and buildings. 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. P 3.03. Band 2. P. 1073–1079. *Особистий внесок*: визначено параметри вібрації та електричний опір в натурних умовах для традиційних і запропонованих конструкцій, виконано аналіз результатів вимірювань.

9. Палант О.В., Плуґін Д.А., Плуґін А.А., Лобяк О.В., Плуґін О.А. Застосування вкладишів з бетону на кварцових заповнювачах і поліуретанової композиції для зниження вібрації, шуму і підвищення стійкості трамвайної колії. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на

залізничному транспорті: 7 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 14-16.11.2018: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 208–209. *Особистий внесок*: досліджено залежність коефіцієнту лінійного температурного розширення бетону від вмісту кварцових заповнювачів і наповнювачів.

10. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Конєв О.А., Партала Н.М., Суханова Ю.А., Палант О.В. Фізико-механічні властивості прокладного шару безбаластного мостового полотна із просторово армованої полімерним волокнистим матеріалом цементної композиції. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 64–65. *Особистий внесок*: Прийнято участь у розробці методики експериментальних досліджень.

11. Палант О.В., Плугін А.А., Плугін Д.А. Досвід і перспективи улаштування трамвайних колій на суцільній залізобетонній основі з ізольованою рейкою у м. Харків. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 5 Міжнар. науково-техн. конфер., Харків, 23–24.04.2015 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 17. *Особистий внесок*: Узагальнено інформацію щодо виконаних у м. Харкові ремонтів трамвайних колій.

12. Плугін А.М., Плугін О.А., Палант О.В., Конєв О.А., Плугін А.А. Вплив електричних потенціалів від водозабірних свердловин на пошкодження конструкцій будівель. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 67. *Особистий внесок*: взято участь у вимірюванні електричних потенціалів на конструкціях будівлі та місцевості та аналізі результатів вимірювань.

13. Палант О.В., Плугін Д.А., Плугін А.А. Сучасні конструктивно-технологічні рішення підрейкових основ трамвайних колій, реалізовані у м. Харків. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези допов. 78-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 26-28.04.2016. Тези

доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (дод.). С. 80–81. *Особистий внесок*: Узагальнено інформацію, із аналізом конструктивних рішень, щодо виконаних ремонтів трамвайних колій.

14. Савченко О.М., Палант О.В., Пługін Д.А. Захист будівель та споруд від вібраційних коливань та струмів витоку: Аналіз методів електро- та віброізоляції рейкових колій. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 25–27.04.2017. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (дод.). С. 50–51. *Особистий внесок*: Виконано аналіз результатів вимірювань електричного опору, віброшвидкості та вібропереміщення різних конструкцій трамвайної колії.

Додаткові публікації та патенти

15. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Спосіб встановлення рейки в підрейковому каналі за допомогою кондуктору. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 3 (85). С. 245–248. *Особистий внесок*: виконано аналітичний огляд відомих способів встановлення та закріплення рейок, обрано придатні для встановлення у підрейкові канали.

16. Пługін Д.А., Пługін А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 4 (90). С. 250–254. *Особистий внесок*: визначено параметри вібрації та електричні потенціали в натурних умовах, виконано аналіз результатів вимірювань.

17. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов С.М., Пługін Д.А., Мойсеєва П.Є. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. тр-ту*. 2017. Вип. 169. С. 64–72. *Особистий внесок*: Прийнято участь у розробці методики досліджень та аналізі експериментальних даних.

18. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Конструкція деформаційних швів при монолітній підрейковій основі трамвайних колій.

Науковий вісник будівництва. 2016. № 3 (85). С. 242–245. *Особистий внесок*: Виконано аналітичний огляд існуючих конструкцій деформаційних швів, запропоновано заливання у шов еластичного полімерного матеріалу.

19. Арматурний каркас для залізобетонної плити підрейкової основи : пат. на кор. модель 88466 Україна. № u 2013 14609 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: визначено слабкі місця у бетоні плит і запропоновано встановити додаткові арматурні стержні.

20. Плита залізобетонна підрейкової основи : пат. на кор. модель 88467 Україна. № u 2013 14611 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: запропонована форма поперечного перерізу рейкового каналу.

21. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 88468 Україна. № u 2013 14615 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: визначено розташування у плитах отворів для стропування з урахуванням властивостей бетону.

22. Армована залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 89731 Україна. № u 2013 14618 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. 4 с. *Особистий внесок*: визначено слабкі місця у бетоні плит і запропоновано встановити додаткові арматурні стержні.

23. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 91916 Україна. № u 2014 00136 ; зявл. 09.01.2014 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. 4 с. *Особистий внесок*: визначено розташування у плитах закладних деталей з урахуванням властивостей бетону.

24. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на пром. зразок 29871 Україна. № s 2014 00125 ; зявл. 22.01.2014 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14. 6 с. *Особистий внесок*: запропонована форма поперечного перерізу рейкового каналу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ УЛАШТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАМВАЙНИХ ЛІНІЙ І ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ.....	29
1.1 Аналіз особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній...	29
1.1.1 Аналіз пошкоджень матеріалів і конструкцій трамвайних колій...	32
1.1.2 Аналіз даних про сходи трамваїв з рейок.....	43
1.2 Аналітичний огляд шляхів зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні.....	47
1.2.1 Вібрація та шумі захист від них.....	47
1.2.2 Вплив динамічних навантажень і замочування на ґрунти.....	51
1.2.3 Електричні впливи та захист від них.....	52
1.2.4 Властивості та призначення полімерних матеріалів.....	53
1.2.5 Вплив структури на фізико-механічні властивості бетону.....	53
1.2.6 Робоча гіпотеза щодо зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках, тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії.....	54
Висновки за розділом 1.....	55
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57
2.1 Матеріали.....	57
2.2 Методи досліджень.....	58
2.2.1 Визначення фізико-механічних властивостей бетону.....	58
2.2.2 Визначення адгезійних властивостей полімерних мастик.....	58
2.2.3 Визначення параметрів вібрації конструкцій трамвайної колії.....	62
2.2.4 Визначення електричного опору матеріалів і виробів трамвайної колії та електричних потенціалів на конструкціях і місцевості.....	63
2.2.5 Дослідження тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів.....	64
2.2.6 Дослідження залежностей властивостей матеріалу від його структурних характеристик.....	68
2.2.7 Фізико-хімічні дослідження.....	68

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБКИ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ.....	70
3.1 Розвиток теоретичних уявлень про механізми захисних властивостей гум та поліуретанів від вібраційних впливів.....	70
3.2 Розвиток теоретичних уявлень про механізм електричних впливів на конструкції трамвайних колій і захисту від них.....	77
3.2.1 Контактна мережа трамвайних ліній як джерело струмів витоку, електричних потенціалів, надлишкових електричних зарядів та електрокорозії.....	78
3.2.2 Спільний вплив постійного (з трамвайної колії) і перемінного (з високовольтної ЛЕП) струму витоку на накопичення надлишкових електричних зарядів і пошкодження конструкцій.....	82
3.2.3 Вплив водозабірних свердловин на електричні потенціали і надлишкові електричні заряди на конструкціях і поверхні землі.....	89
3.2.4 Надлишкові електричні заряди природного походження.....	93
3.2.5 Вплив надлишкових електричних зарядів на властивості матеріалів і пошкодження конструкцій трамвайних колій.....	107
3.3 Теоретичні дослідження із зниження температурних напружень в рейках трамвайних колій.....	118
3.4 Теоретичні передумови підбору складу бетону, тріщиностійкого в умовах електричних та динамічних впливів.....	125
Висновки за розділом 3.....	134
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБКИ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ.....	136
4.1 Дослідження поліуретанових мастик.....	136
4.1.1 Аналіз ІЧ-спектрів поглинання поліуретанів та гум.....	136
4.1.2 Адгезія поліуретанових мастик до металу та бетону.....	140
4.1.3 Показники вібрації та електричного опору трамвайної колії з ізольованою поліуретаном рейкою.....	141
4.2 Тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів.....	145
4.2.1 Склади бетону.....	145

4.2.2 Залежності міцності бетону від його структурних характеристик	147
4.2.3 Залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних (ударних) впливів від його структурних характеристик.....	152
4.2.4 Залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних (вібраційних) впливів від його структурних характеристик.....	160
4.2.5 Уточнення складів бетону для виробів і конструкцій підрейкових основ.....	169
Висновки за розділом 4.....	171
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ.....	173
5.1 Розробка рейкового скріплення для трамвайної колії з підвищеними показниками вібропоглинання та електричного опору.....	173
5.2 Розробка та впровадження конструкцій колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит.....	179
5.3 Розробка та впровадження конструкцій колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити.....	182
5.4 Економічний ефект від впровадження результатів досліджень.....	185
5.5 Застосування результатів досліджень у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту.....	186
Висновки за розділом 5.....	186
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	188
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	190
ДОДАТКИ.....	205
ДОДАТОК А.....	206
ДОДАТОК Б.....	218
ДОДАТОК В.....	226
ДОДАТОК Г.....	248
ДОДАТОК Д.....	282

ВСТУП

Безпосереднім прототипом міського трамваю була конка, яка з'явилась у 1830-х рр. Регулярне електрифіковане трамвайне сполучення вперше було запущено у 1881 р. у Німеччині в передмісті Берліну. З кінця ХІХ століття трамвай розповсюджується містами країн світу завдяки зручності, невисокій вартості, екологічній чистоті. Трамвайні колії будують ланковими із сталевих рейок, прикріплених до дерев'яних шпал костиллями. На вулицях центрів міст улаштовують інтегровані в проїжджу частину колії, в яких рейки укладають в одному рівні з нею, а шпали та баласт вкривають брусчаткою або буличим каменем (пізніше – асфальтобетоном, залізобетонними плитами) до цього ж рівня. На широких вулицях нових районів міст улаштовують окремі від проїжджої частини колії, аналогічні залізничним. Електрична напруга 600 В у електродвигуни трамваїв подається контактною мережею, одним із провідників якої є повітряний контактний провід, другим – рейки.

Проте трамваю притаманні й недоліки: він створює шум та вібрацію; постійні струми витоку з рейок спричиняють електрокорозію розташованих неподалік металевих і залізобетонних конструкцій і трубопроводів; дерев'яні шпали під негерметичним покриттям швидко гниють, що спричиняє розлади колії. Важливим недоліком було й те, що трамвай ускладнював рух автотранспорту, який ставав все більш масовим. Мабуть тому у 1930 – 70-ті роки у світі спостерігався занепад трамвая.

Проте до початку 1980-х років удосконалюється рухомий склад, з'являються нові конструктивно-технологічні рішення інфраструктури, які обумовили у містах Європи та Північної Америки ренесанс міського трамваю на якісно новому рівні. Ланкова колія замінюється безстиквою, дерев'яні шпали – залізобетонними, костильні скріплення – клемно-болтовими або пружними анкерними, гумові прокладки – полімерними. Це суттєво підвищило стабільність колії, міжремонтні терміни, але підвищило також шум та вібрацію.

Для центрів міст та перехресть впроваджуються інтегровані у дорожнє покриття трамвайні колії з ізольованими рейками на безбаластній

залізобетонній основі. Головки рейок в них розташовані в одному рівні з дорожнім покриттям, що забезпечується їх установленням у рейкові канали в залізобетонних плитах основи. Рейки встановлюються на безперервні гумові або полімерні підрейкові прокладки та прикріплюються до бетонних стінок каналів заливкою з органічної мастики, яка забезпечує ще й електричну ізоляцію. Це обумовлює істотне зниження шуму та вібрації, мінімізацію струмів витоку та перешкод для руху інших видів транспорту. На таких трамвайних коліях скоротилась кількість сходів трамваїв з них.

У пострадянських країнах період ренесансу трамваю та впровадження таких конструкцій почались пізніше – з кінця ХХ ст., очевидно, у зв'язку з набагато меншою кількістю автомобільного транспорту у СРСР.

Недоліком такої конструкції є висока витрата коштовної мастики, для економії якої у зазор між рейкою та стінкою каналу вкладаються пластикові труби або до шийки рейки приклеюються бетонні вкладиші (рис. 1.1). Характерною особливістю такої конструкції є відсутність механічного прикріплення рейок до основи. Рейку утримує в каналі тільки мастика, причому власне для рейки вона відіграє роль шпонки, а вертикальному та подовжньому переміщенню перешкоджає переважно її адгезія до поверхні бетону стінок каналів. В результаті безстикова трамвайна колія такої конструкції може бути нестійкою, особливо уразі застосування безшийкової рейки, про що свідчать випадки викидів колії від температурних напружень. Відзначаються також пошкодження залізобетонних підрейкових основ – шпал та плит, у т.ч. тріщини поблизу анкерів скріплень, електрокорозійні пошкодження від струмів витоку. Під час руху трамваїв періодично відбуваються сходи, що спричиняють крім матеріальних збитків травмування і навіть загибель людей. Причинами сходів звичайно вважають знос колії та рухомого складу, порушення швидкісного режиму через людський фактор, дорожньо-транспортні події. Разом з тим вплив електричних потенціалів та зарядів на сходи залишається недослідженим.

Дослідниками Українського державного університету залізничного транспорту під керівництвом проф. А.М. Плугіна доведено, що одними з

найбільш інтенсивних руйнівних факторів, що впливають на конструкції електрифікованих постійним струмом рейкових колій і їх споруд, є струми витоку з рейок і створювані ними надлишкові (понад рівноважних) електричні заряди, як позитивні, так і негативні. Крім того доведено, що високий надлишковий негативний заряд призводить до погіршення властивостей сталі та бетону. Були розроблені та впроваджені нові ефективні захисні матеріали і способи захисту від електричних впливів залізничних споруд – мостів, водопропускних труб, що забезпечили збільшення міжремонтних термінів.

У зв'язку з викладеним тема дисертації, присвячена удосконаленню матеріалів і деталей трамвайної колії для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень у рейках і тріщиноутворення в бетоні, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт: «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками (№ ДР 0115U000279); «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» (№ ДР 0113U001030); «Проведення досліджень з можливості застосування шпал залізобетонних попередньо напружених колії 1520 мм типу СБЗ зі скріпленнями проміжними пружними типу КПП-5 на ділянках підвищеної вантажонапруженості та розробка рекомендацій» (№ ДР 0116U003466); «Розробка технічних умов «Вкладиші К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії» (№ 6/9-2015); «Розробка технічних умов «Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії» (№ 6/4-2017); «Розробка технічних умов на комплект скріплення рейкового пружного SRS-T для трамвайної колії» (№ 6/33-2017).

Мета досліджень – удосконалення бетонів і виробів трамвайної колії для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні.

Завдання досліджень:

– аналіз особливостей улаштування та експлуатації, характерних пошкоджень та недоліків трамвайних колій, аналітичний огляд літературних джерел з питань зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні;

– дослідження впливу струмів витоку та надлишкових електричних зарядів на конструкції трамвайних колій;

– теоретичні та експериментальні дослідження здатності поліуретану поглинати вібрацію та опиратись електричним впливам;

– дослідження зі зниження вібрації і температурних напружень в рейках за рахунок застосування прирейкових вкладишів та управління властивостями бетону для них;

– теоретичні та експериментальні дослідження впливу структурних характеристик бетону на тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів;

– впровадження результатів досліджень під час розробки конструктивно-технологічних рішень та капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій.

Об’єкт досліджень – матеріали і деталі трамвайної колії із бетону та полімерів.

Предмет досліджень – властивості матеріалів і деталей трамвайної колії із бетону та полімерів, процеси, які обумовлюють вібраційні та електричні впливи від трамвайних колій, температурні напруження в рейках і тріщиноутворення в бетоні та забезпечують захист від цих впливів.

Методи досліджень: Фізико-механічні властивості бетону визначали стандартними методами. Адгезійні властивості полімерів, тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів, параметри вібрації конструкцій трамвайної

колії, електричний опір її матеріалів і деталей визначали за оригінальними методиками. Наявність у поліуретановому полімері функціональних груп з подвійними зв'язками визначали аналізом інфрачервоних спектрів поглинання за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker Alpha.

Достовірність отриманих результатів забезпечена застосуванням коректних надійних методів експериментальних досліджень – стандартних і оригінальних методів визначення фізико-механічних властивостей, вібраційних, електрометричних, фізико-хімічних досліджень, а також узгодженістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, експлуатаційних випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено, що заміна у важкому бетоні гранітного заповнювача кварцовим, а частини цементу – кварцовим наповнювачем обумовлює зниження коефіцієнта лінійного теплового розширення бетону до 3,8 разів від 10×10^{-6} до $2,65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а наклеювання на шийку трамвайної рейки вкладишів із такого бетону – зниження температурних напружень в рейці на 10-32%, віброшвидкості коливань підрейкової основи – на 27% від 0,85 до 0,62 мм/с.

2. Удосконалено уявлення про захисні властивості поліуретану від вібраційних та електричних впливів. Зокрема, встановлено, що високій здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє латеральне електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а високому електричному опору – висока електронегативність цих груп.

3. Набули подальшого розвитку:

– уявлення про вплив струмів витоку та надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження на конструкції трамвайних колій. Показано, що крім електрокорозійного впливу на бетон і залізобетон та сприяння тріщиноутворенню в бетоні негативні надлишкові електричні заряди, що накопичуються на підрейкових основах, за рахунок електростатичних сил можуть сприяти сходам рухомого складу на розладнаних ділянках колії;

– уявлення про залежність фізико-механічних властивостей важкого бетону від коефіцієнтів розсунення зерен крупного та дрібного заповнювачів. Зокрема, встановлено, що забезпечення відповідності коефіцієнту розсунення зерен дрібного заповнювача оптимальній величині $\mu_{\text{opt}} = 1,27$ і товщини прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача 20 мкм у бетоні класу С40/50 обумовлює підвищення тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів за показниками сумарної енергії руйнування у порівнянні з бетоном з $\mu = 1,51$ (С20/25) у 14,9 раз, а з $\mu = 1,36$ (С32/40) – у 2,1 раз.

Практична значимість отриманих результатів обумовлена розробкою та впровадженням в конструкції трамвайних колій, що реконструюються у м. Харкові, Дніпрі, Києві, бетону оптимального складу класу С40/50, прирейкових вкладишів із бетону зі зниженим коефіцієнтом лінійного температурного розширення (у конструкціях з ізольованою рейкою), оригінальних пружних рейкових скріплень з полімерними (поліуретановими) підрейковими прокладками та дюбелями, що у сукупності забезпечило зниження вібрації, електричних впливів і температурних напружень у трамвайних коліях, підвищення тріщиностійкості та довговічності конструкцій і безпеки руху.

Практична значність результатів підтверджується виготовленням матеріалів та виробів для конструкцій трамвайних колії згідно з розробленими за участю автора технічними умовами України «Вкладиші прирейкові К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії», «Скріплення рейкове пружне SRS-T для трамвайної колії», «Клема пружинна RC SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Вкладиш ізолюючий LI SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Прокладка амортизуюча RP SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Скоба притискна CB SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії», а також отриманням патентів на корисні моделі.

Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ з підготовки бакалаврів і магістрів зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна

інженерія, освітньої програми «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати отримані автором самостійно, а також у співавторстві. Критичний аналіз літературних та інших джерел з тематики дослідження, більшість фізико-механічних випробувань, електрометричних і фізико-хімічних досліджень, обробка та отримання експериментальних залежностей, а також розрахунки виконані автором особисто. Постановка завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези і нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником, експлуатаційні та деякі експериментальні дослідження і впровадження результатів досліджень – спільно зі співавторами публікацій, яким автор висловлює щирю подяку. Докладніше особистий внесок автора наведено у списку опублікованих праць.

Публікації: Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 24 наукових працях, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України [1-4, 6], в тому числі – 2 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз [2, 4]; 9 праць апробаційного характеру [7-15], з яких 2 – у виданнях, що індексуються НМБД Scopus [7, 8]; 4 додаткові публікації [5, 16-18]; 5 патентів України на корисну модель [19-23], 1 патент України на промисловий зразок [24].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на 75, 77 – 80 Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 2013, 2015 – 2018); 5 – 7 Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Transbud, Харків, 23-24.04.2015, 19-21.04.2017, 14-16.11.2018); Стародубовських читаннях – 2018 (Дніпро, ПДАБА, 20.04.2018); 20 Міжнародній конференції з будівельних матеріалів (20’Ibausil, Веймар, Німеччина, 12-14.09.2018).

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ УЛАШТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАМВАЙНИХ ЛІНІЙ, ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ

1.1 Аналіз особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній

Виконано аналіз особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній м. Харкова [26 – 28], стану трамвайних колій, виявлення місць, де найчастіше відбувались сходи трамваїв з рейок.

Традиційна конструкція трамвайних колій [26, 27] – ланкова або безстикова із сталевих рейок на дерев'яних або залізобетонних шпалах, укладених на щебеневиї баласт. До дерев'яних шпал рейки прикріплюють через сталеві підкладки костиллями – спеціальними цвяхами квадратного перерізу. Скріплення для залізобетонних шпал може бути з підкладками або без них і завжди містить гумові або полімерні нащпальні та підрейкові прокладки. Підкладки закріплюються до шпал закладними болтами, а рейки до підкладок – жорсткими або пружними клемами та клемними болтами. У безпідкладкових скріпленнях рейка закріплюється безпосередньо до шпали за допомогою пружних клем і закладених в бетон анкерів або полімерних дюбелів і шурупів.

На вулицях центрів міст улаштовують інтегровані в проїжджу частину колії, в яких рейки укладають в одному рівні з нею, а шпали та баласт вкривають асфальтобетоном, залізобетонними плитами, бетонною плиткою (рис. 1, *a*), раніше – брущаткою або буличним каменем до рівня головок рейок. На широких вулицях нових районів міст улаштовують окремі від проїжджої частини колії, аналогічні залізничним.

Трамвайні колії електрифіковані постійним струмом напругою 600 В, яка подається у електродвигуни трамваїв контактною мережею, одним із провідників якої є повітряний контактний провід, другим – рейки.

Традиційним конструкціям притаманні недоліки: створюють шум та вібрацію; постійні струми витоку з рейок спричиняють електрокорозію розташованих неподалік металевих і залізобетонних конструкцій і трубопроводів; дерев'яні шпали під негерметичним покриттям швидко гниють, що спричиняє розлади колії; нейнтегровані у дорожнє покриття колії ускладнюють рух автотранспорту.

З 1980-х років у світі впроваджуються нові конструктивно-технологічні рішення інтегрованих у дорожнє покриття трамвайних колій з ізольованими рейками на безбаластній залізобетонній основі (рис. 1.1) [6]. Головки рейок в них розташовані в одному рівні з дорожнім покриттям, що забезпечується їх установленням у рейкові канали в залізобетонних плитах основи (рис. 1.1, б). Рейки встановлюються на безперервні гумові або полімерні підрейкові прокладки та прикріплюються до бетонних стінок каналів заливкою з органічної мастики, яка забезпечує ще й електричну ізоляцію. Це обумовлює істотне зниження шуму та вібрації, мінімізацію струмів витоку та перешкод для руху інших видів транспорту. На таких трамвайних коліях скоротилась кількість сходів трамваїв з них.

Недоліком такої конструкції є висока витрата коштовної мастики, для економії якої у зазор між рейкою та стінкою каналу вкладаються пластикові труби або до шийки рейки приклеюються бетонні вкладиші (рис. 1.1, б). Характерною особливістю такої конструкції є відсутність механічного прикріплення рейок до основи. Рейку утримує в каналі тільки мастика, причому власне для рейки вона відіграє роль шпонки, а вертикальному та подовжньому переміщенню перешкоджає переважно її адгезія до поверхні бетону стінок каналів. В результаті безстикова трамвайна колія такої конструкції може бути нестійкою, особливо уразі застосування безшийкової рейки, про що свідчать випадки викидів колії від температурних напружень.

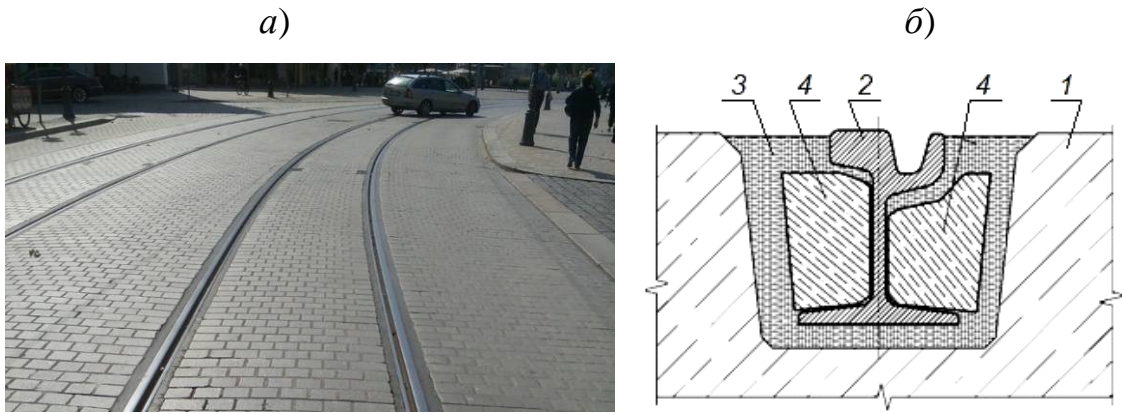


Рис. 1.1 Інтегрована у дорожнє покриття трамвайна колія з ізолюованою рейкою: *a* – у центрі м. Дрезден, Німеччина; *б*– схема розташування трамвайної рейки у рейковому каналі залізобетонної плити підрейкової основи, інтегрованої з дорожнім покриттям: *1* – залізобетонна плита; *2* –рейка; *3* – полімерна мастика (під подошвою рейки безперервна полімерна прокладка); *4* – бетонний прирейковий вкладиш

Відзначаються також пошкодження залізобетонних підрейкових основ – шпал та плит, у т.ч. тріщини поблизу анкерів скріплень, електрокорозійні пошкодження від струмів витоку. Під час руху трамваїв періодично відбуваються сходи, що спричиняють крім матеріальних збитків травмування і навіть загибель людей. Причинами сходів звичайно вважають знос колії та рухомого складу, порушення швидкісного режиму через людський фактор, дорожньо-транспортні події. Разом з тим вплив електричних потенціалів та зарядів на сходи залишається недослідженим.

Дослідниками Українського державного університету залізничного транспорту під керівництвом проф. А.М. Пługіна доведено, що одними з найбільш інтенсивних руйнівних факторів, що впливають на конструкції електрифікованих постійним струмом рейкових колій і їх споруд, є струми витоку з рейок і створювані ними надлишкові (понад рівноважних) електричні заряди, як позитивні, так і негативні [29 – 34]. Крім того доведено, що високий надлишковий негативний заряд призводить до погіршення властивостей сталі та бетону. Були розроблені та впроваджені нові ефективні захисні матеріали і

способи захисту від електричних впливів залізничних споруд – мостів, водопропускних труб, що забезпечили збільшення міжремонтних термінів.

1.1.1 Аналіз пошкоджень матеріалів і конструкцій трамвайних колій

Трамвайні колії в процесі експлуатації зазнають пошкоджень – розладів положення рейок за планом (в основному за шириною колії) та профілем (осідань та просідань), угону, зносу, тріщин, відколів рейок, пошкоджень шпал – гниття дерев'яних, тріщин та руйнування бетону залізобетонних тощо. Далі наведено аналіз лише тих пошкоджень, які можна вважати аномально великими або раптовими.

На рис. 1.2 наведені локальні руйнування дорожнього покриття із асфальтобетону, які спричиняють втрату ним водонепроникності.

Внаслідок втрати водонепроникності покриттям відбувається обводнення баласту і ґрунту під ним. Обводнення спричиняє гниття дерев'яних шпал, інтенсифікацію електрокорозії залізобетонних шпал та інших конструкцій, розладнання колії за планом та профілем (рис. 1.3), локальне розрідження ґрунтів основ під баластом, утворення виплесків та просідання колії, які часто спричиняють злами рейок (рис. 1.4). Розрідження ґрунту та його переміщення може спричинити також провали ґрунту під коліями та біля них (рис. 1.5).

Виконано аналіз розташування місць провалів, випадки яких були найбільш резонансними (рис. 1.6). Велика кількість провалів під трамвайними коліями або поруч було зафіксовано в крупних містах у 2015-2018 рр. (рис. 1.5):

а) м. Київ, вул. Тростянецька 7, 15.12.2016, діаметр 6 м, глибина 3,5 м, причина – винесення ґрунту у провал склепіння Новодарницького каналізаційного колектора $\varnothing 2,9$ м глибиною залягання 10 м [48];

б) м. Київ, перехрестя вул. Бульварно-Кудрявській та Дмитрівської, 24.02.2016, причина – прорив водопроводу $\varnothing 500$ мм [49];

в) м. Нижній Тагіл, перехрестя вул. Вагонобудівників і вул. Зорі, 07.07.2015, глибина 5 м [50];

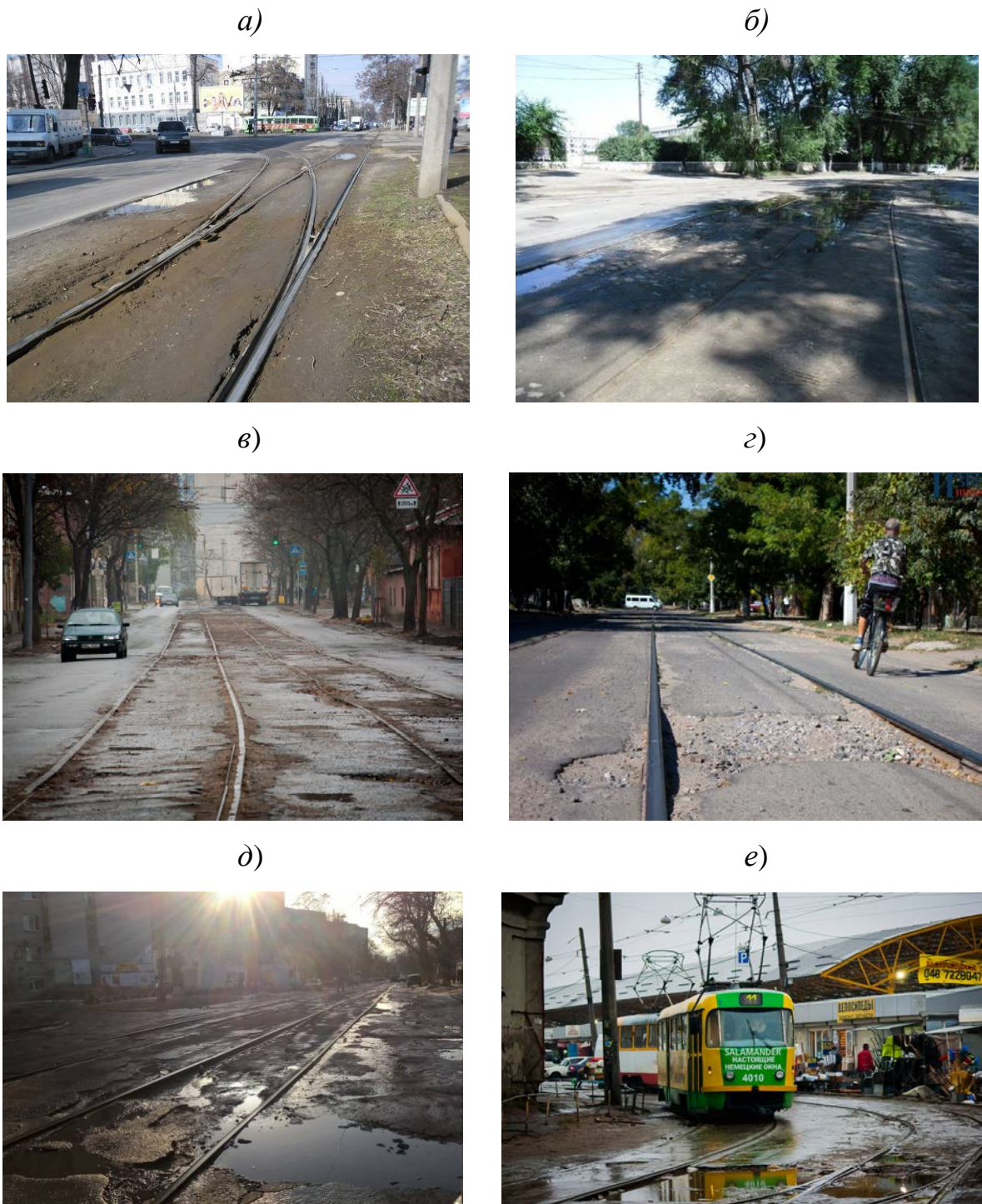


Рис. 1.2. Локальні руйнування дорожнього покриття із асфальтобетону, які спричиняють втрату ним водонепроникності; *а, б, в* – за [35]; *г* – за [36]; *д* – за [37]; *е* – за [38]

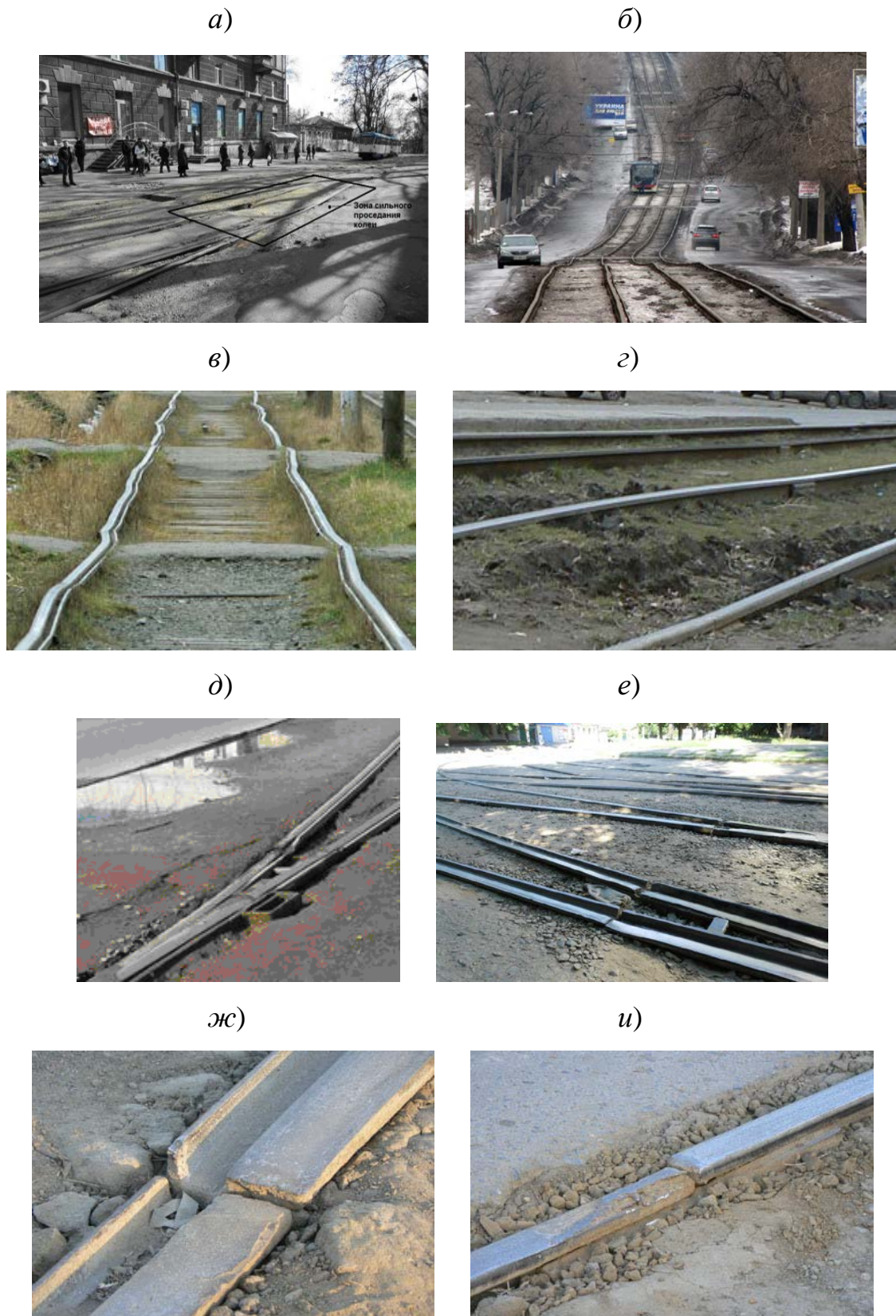


Рис. 1.3. Розладнання колії за планом та профілем: *a* – ділянка тривалого просідання колії у місці локального руйнування дорожнього покриття [39]; *б* – за [40]; *в* – за [41]; *д* – *и* – з утворенням сходинок у стиках [41], вм'ятини (*ж*) [42] та відколів головки рейки (*и*) [42] від падіння колеса зі сходинки

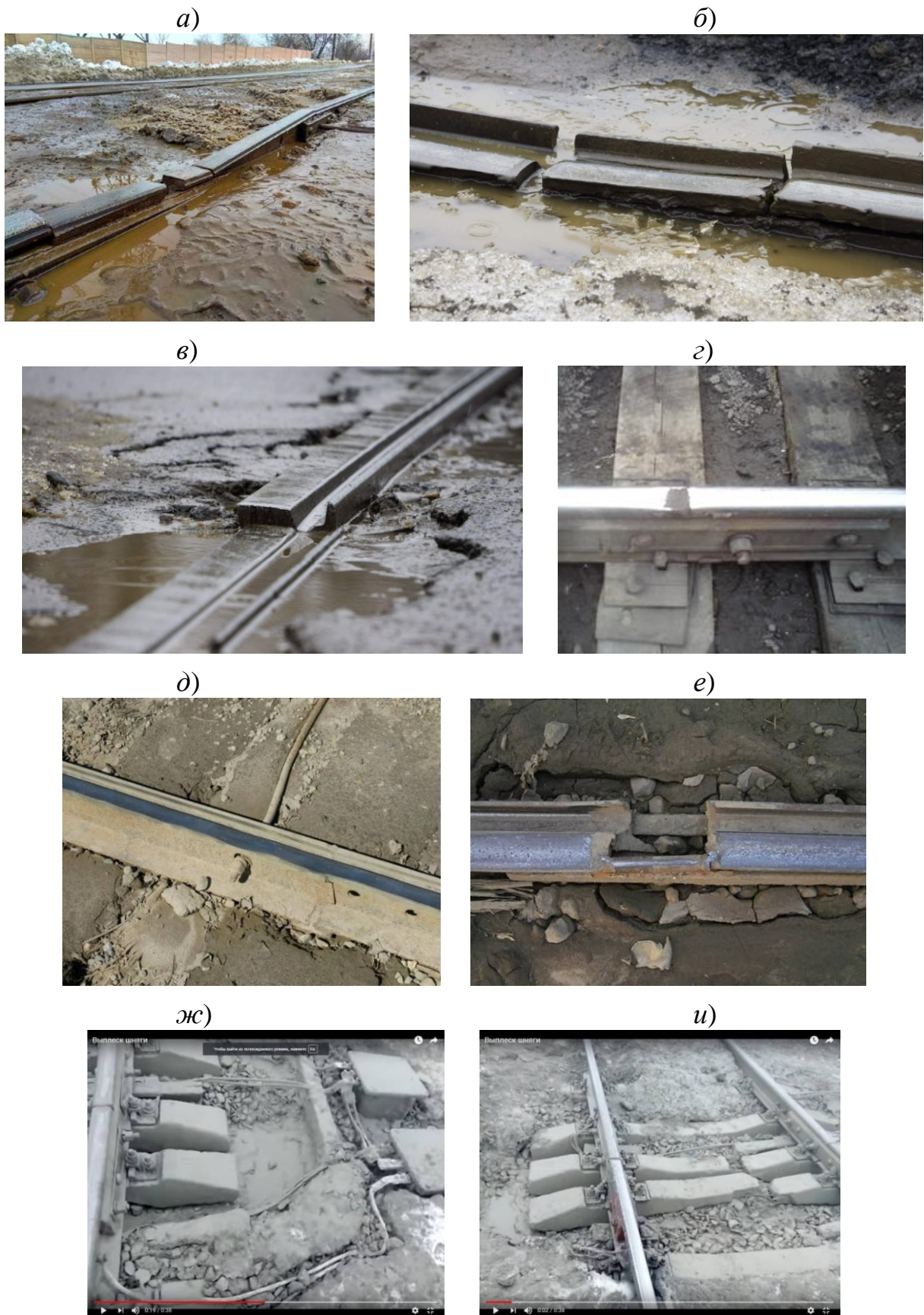


Рис. 1.4. Розрідження ґрунтів основ під баластом та утворення виплесків (*a – u*), просідання рейок (*a – в*), злами (*a, б*) та відколи (*e*) рейок: *a* – за [43]; *б, в* – за [44]; *г* – за [45]; *д, e* – за [46]; *ж, u* – за [47]



Рис. 1.5. Провали ґрунту під трамвайними коліями та біля них поруч (а – е) і автодорогами (ж, и): а – у м. Києві, [48]; б – у м. Києві [49]; в – у м. Нижній Тагіл [50]; г – у м. Уфа [51]; д – у м. Нижній Новгород [52]; е – у м. Одеса [53]; ж – у м. Нижній Новгород [54]; и – у с. Бутурліно близь м. Нижній Новгород [55]

- з) м. Уфа, перехрестя вул. Гірської і просп. Гагаріна, зупинка «Залізничний вокзал», 04.09.2017, причина – злива та винесення розрідженого ґрунту у провал склепіння каналізаційного колектора $\varnothing 500$ мм на довжині 1,5 м [51];
- д) м. Нижній Новгород, вул. Жовтневої Революції, 2017 р., провали багаторазові, супроводжувались осіданням денної поверхні, причина – поступове винесення ґрунту у тунель метрополітену [52];
- е) м. Одеса, вул. Пушкінська, 2018 р., раніше – Французький бульвар у 20 м від перехрестя з вул. Пироговська, вул. Колонтаївська [53];
- ж) м. Нижній Новгород, площа Залізничників (перехрестя вул. Жовтневої Революції з проспектом Леніна), 2017 р., раніше – вул. Народна, вул. Веденяпіна, просп. Леніна [54];
- и) сел. Бутурліно біля м. Нижній Новгород, 2013 р., діаметром 85 м глибиною 14 м, у провал потрапили 3 будинки [55].

Аналіз місць розташування провалів (рис. 1.6) показав, що у м. Київ (рис. 1.5, а, б, рис. 1.6, а) вони розташовані на відстані 3 – 4 км від р. Дніпро та менше 2 км від розвинених мереж залізничних колій, у м. Нижній Новгород (рис. 1.5, д, ж, рис. 1.6, б, в) – безпосередньо на узбережжі р. Волга та Ока та поблизу ліній метрополітену, у м. Уфа (рис. 1.5, з, рис. 1.6, з) – поблизу ріки та залізничного вокзалу.

На рис. 1.7, 1.8 наведені пошкодження, не пов'язані з обводненням ґрунтів: надмірне розкриття стиків та розрив зварних стиків (рис. 1.7), хвилеподібний знос рейок та пошкодження від боксування (рис. 1.8).

У безстиковій колії у разі порушення умов експлуатації можуть виникати значні температурні напруження, які взимку можуть спричинити розрив рейок (рис. 1.7, е – и), а влітку – викиди рейок. Особливо вразливою для викидів виявилась конструкція інтегрованої в дорожнє покриття «безшумної» колії ВКВ, розробленої в Угорщині наприкінці 1970-х – початку 1980-х рр.



Рис. 1.6. Місця розташування провалів під трамвайними коліями та поблизу від них: *a* – у м. Київ на перехресті вул. Бульварно-Кудрявської та Дмитрівської, на вул. Тросянецькій; *б* – у м. Нижній Новгород на вул. Жовтневої революції і на перехресті вул. Гірської і просп. Гагаріна; *в* – у м. Нижній Новгород на вул. Жовтневої революції біля ст. метрополітену; *з* – у м. Уфа біля залізничного вокзалу

Особливістю цієї конструкції є застосування безшійкових рейок, запресованих у рейкових каналах збірних залізобетонних плит (рис. 1.9) [56]. Її перевагами були порівняно висока швидкість укладання колії, а також стійкість до осідань, завдяки якій вона порівняно довго зберігається у проектному положенні. Такі колії довго експлуатувались у Будапешті, Празі, Брно тощо, а також у Москві, Тулі, Смоленську тощо. Проте, вони виявились недостатньо довговічними і ремонтпридатними. Замість передбачуваних 30 років фактична

довговічність, зокрема у Тулі, склала 5 – 10 років. Характерними пошкодженнями такої колії стали хвилеподібний знос (рис. 1.8, *в, г*) та викиди рейок, знос сталевого рейкового каналу та викришування бетону навколо нього, що не підлягає ремонту (рис. 1.10) [57].

На перший погляд причини всіх наведених на рис. 1.2 – 1.8 пошкоджень очевидні – обводнення баласту та ґрунтів, тиксотропність обводнених ґрунтів, яка проявляється у переході у рідкий стан під впливом вібрації, його винесення у підземні комунікації (рис. 1.3 – 1.5), механічний знос, угон рейок, температурні напруження в них (рис. 1.6 – 1.10). Проте роботами дослідників Українського державного університету залізничного транспорту під керівництвом проф. А.М. Плугіна доведено, що інтенсивним руйнівним фактором, що впливає на конструкції електрифікованих постійним струмом рейкових колій і їх споруд, є струми витоку з рейок і надлишкові електричні заряди від них та інші антропогенного та природного походження, як негативні, так і позитивні [30 – 34].

Тому більшості з наведених пошкоджень цей фактор, очевидно, сприяв, прискорюючи їх утворення та розвиток. Так, надлишковий заряд на поверхні та конструкціях колії (переважно негативний) обумовлює: підняття ґрунтових вод за рахунок електроосмосу, що підсилює обводнення, спричинене атмосферними водами (рис. 1.3, 1.4); розпушення глинистого ґрунту за рахунок електростатичного відштовхування його частинок згідно теорії стійкості дисперсних систем ДЛФО, що сприяє утворенню виплесків (рис. 1.4) та провалів (рис. 1.5); погіршує механічні властивості сталі та бетону, що сприяє руйнуванню дорожнього покриття (рис. 1.2), відколам (рис. 1.3, *ж, и*, 1.4, *е*, 1.5, *г*), зламам (рис. 1.4, *а, б*), розривам (рис. 1.6, *д, е, ж*), хвилеподібному зносу (рис. 1.7), викидам (рис. 1.10) рейок. Це підтверджується близькістю місць пошкоджень, у т.ч. провалів ґрунту (рис. 1.6) до залізничних ліній, ліній метрополітену, водотоків, отже, джерел струмів витоку і надлишкових електричних зарядів.



Рис. 1.7. Надмірне розкриття стиків (*a – д*) та розрив зварних стиків (*е – и*):
a, б – розкриття понад 20 мм, у т.ч. з відколом жолоба [41]; *в* – розкриття понад 50 мм, у т.ч. з відколом головки рейок [41]; *д* – розкриття з відколом головки рейки понад 200 мм [58]; *е – и* – розрив зварних стиків [59]



Рис. 1.8. Хвилеподібний знос рейки та пошкодження від боксування:
a – хвилеподібний знос по вертикалі [41]; *б* – хвилеподібний знос по горизонталі [60]; *в, г* – хвилеподібний знос в колії на залізобетонних плитах [57]; *д* – гальмівний повзун на колесі [61]; *е, ж* – пошкодження рейок від боксування [62 – 64]



Рис. 1.9. Закріплення безшийкової рейки у рейковому каналі залізобетонної плити «безшумної» колії ВКВ

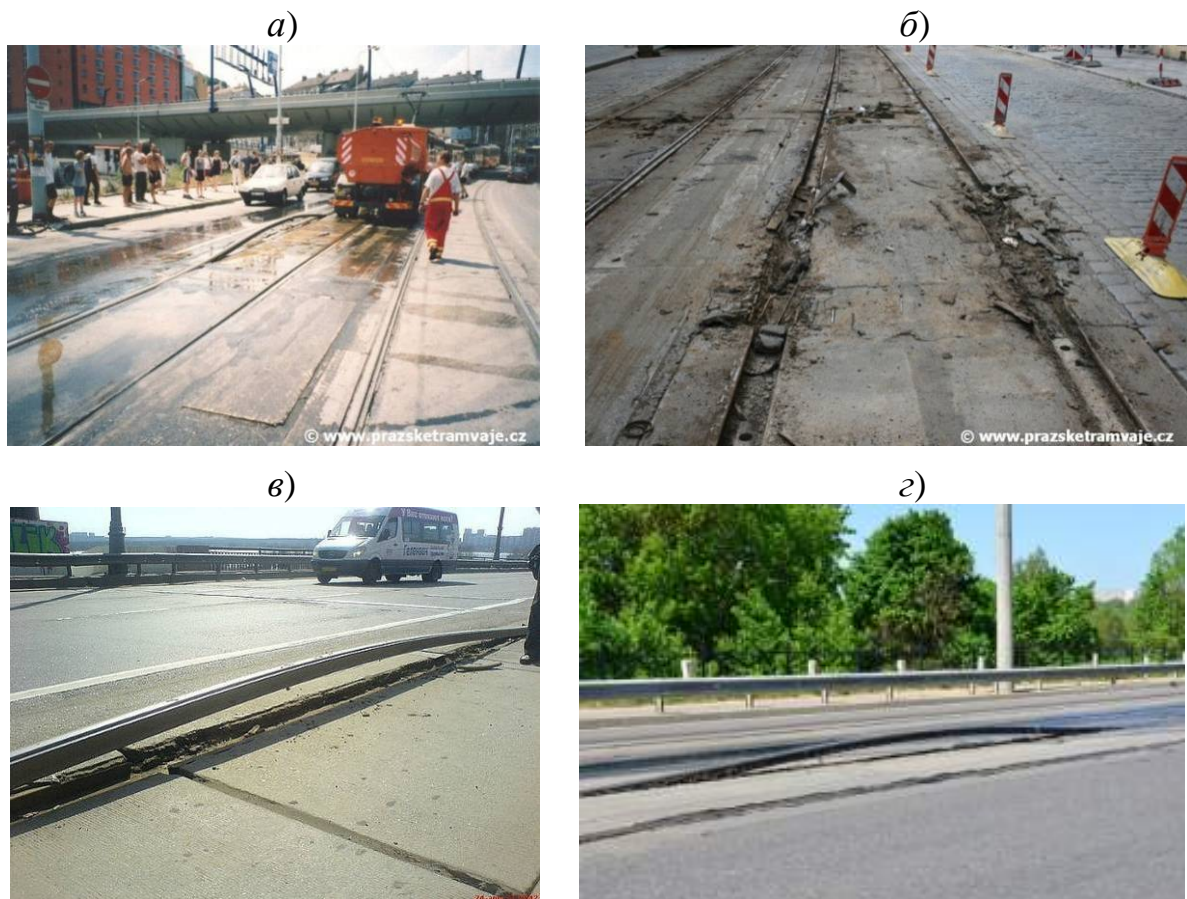


Рис. 1.10. Викиди рейки у безстиковій трамвайні колії з безшийковими рейками [56, 57]: *а, б* – у м. Прага, *б* – пошкодження плити після викиду рейки; *в* – у м. Москва, Строгинський міст; *г* – у м. Смоленськ, вул. Держинського

Таким чином, для уповільнення розладнань колії та утворення і розвитку інших пошкоджень, отже, збільшення міжремонтних термінів, під час ремонту і реконструкції колії необхідно впроваджувати заходи з попередження обводнення основ, зниження електричних впливів і вібрації.

1.1.2 Аналіз даних про сходи трамваїв з рейок

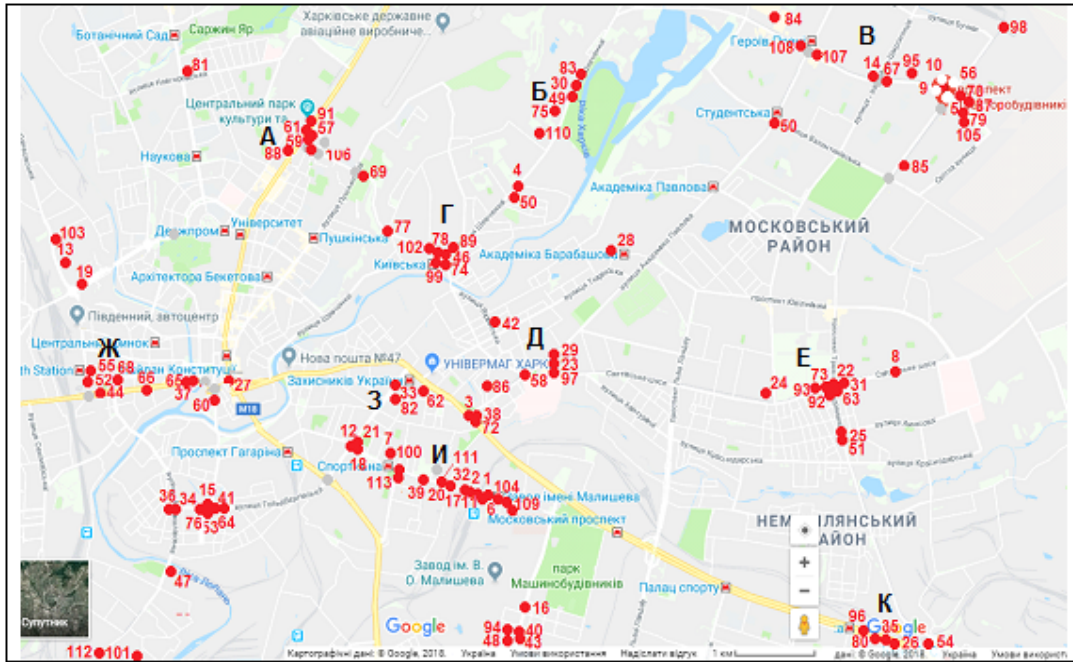
Було виконано узагальнення випадків сходів трамваїв з рейок у м. Харків за даними Департаменту інфраструктури Харківської міської ради та містах Європи з відкритих джерел ресурсів Internet. Результати узагальнення наведені у додатках А і Б. Випадки сходів трамваїв з рейок у м. Харкові у 2015 – 17 рр. нанесені на карту м. Харкова, що містить мережу трамвайних ліній (рис. 1.11).

Як видно з рис. 1.11, *а*, сходи трамваїв з рейок у м. Харків відбуваються нерівномірно. На мережі ліній трамваю можна виділити проблемні зони, де спостерігались максимальне розладнання колії, в основному просідання, та найчастіше відбувались сходи трамваїв з рейок. Такі зони відзначені на вулицях Героїв Праці, Гольдбергівська, Москалівська біля заводу ім. Шевченка, майданів Конституції та Пролетарський, біля Журавлівського гідропарку та парку ім. Горького, біля станцій метро «Київська», «Спортивна», «Завод ім. Малишева», біля залізничної станції Новожанове тощо.

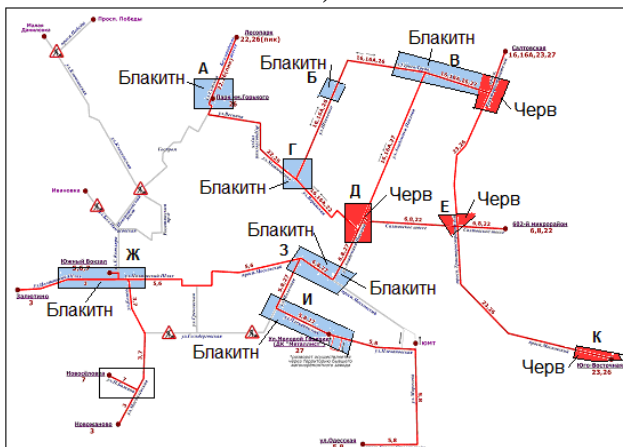
Причинами сходів звичайно вважають розладнання колії, особливо у кривих та стрілочних переводах, знос рухомого складу, людський фактор – помилки і неуважність водіїв, особливо порушення ними швидкісного режиму, дорожньо-транспортні події, зокрема, зіткнення трамваїв з іншими видами транспорту.

На вказаних ділянках експлуатувались трамвайні колії традиційних конструкцій в основному з протермінованими ремонтами, які перебували у незадовільному розладнаному за планом та профілем стані. Деяка активізація ремонтів спостерігалась перед Євро-2012.

а)



б)



в)

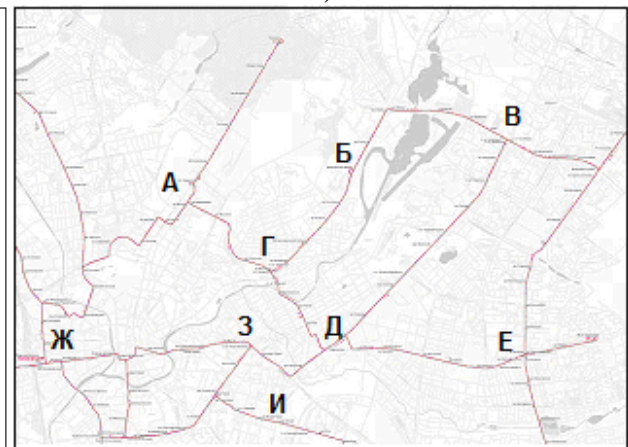


Рис. 1.11. Результати аналізу сходу трамваїв з рейок у м. Харків: а – схема трамвайних ліній м. Харків [28] та місця сходу трамваїв з рейок за даними табл. Б.1; б – місця частих сходів трамваїв з рейок; в – розташування місць частих сходів трамваїв з рейок відносно водоймищ та об'єктів інфраструктури

Капітальний ремонт колій тоді проводився за традиційними конструктивно-технологічними рішеннями і був виконаний на ділянках по вул. Героїв Праці (навпроти ТРЦ «Караван»), вул. Одеській тощо [65]. Вартість капітального ремонту 1 км колії коштувала тоді близько 3 млн. грн. Проте ремонти за традиційними конструктивно-технологічними рішеннями, очевидно, знизили інтенсивність сходів неістотно.

У мерії підтверджують також значний знос рухомого складу, 95% якого відпрацювала свій амортизаційний термін і вимагає відновлення технічного ресурсу [65]. Модернізація трамваїв власними силами в Салтівському трамвайному депо коштує близько 9 млн. грн. за одиницю [65].

Зіставлення місць сходів трамваїв з рейок з картою м. Харкова (рис. 1.11, *a*) дозволило згрупувати їх у 11 проблемних зон. Сім зон, виділених на рис. 1.11, *б* блакитним кольором, знаходяться в прибережних зонах рік та у місцях перетину трамвайних ліній (рис. 1.10, *в*). З них чотири розташовані біля залізничних колій і станцій (Харків-Пасажирський, Харків-Балашовський, Харків-Левада, Новожанове). Чотири зони, виділені червоним кольором, знаходяться у віддаленні від рік, проте під ними проходять лінії метрополітену мілкового закладення.

Більшість сходів трамваїв з рейок у таких містах, як Київ, Запоріжжя, Самара (Додаток А) також відбувається на узбережжі великих рік – Дніпра, Волги.

Схожі результати показав аналіз сходів трамваїв з рейок у містах Європи (додаток Б), де стан колій набагато кращий, ніж у м. Харкові, переважають сучасні конструкції колії, а кількість сходів є меншою, проте все ж таки досить істотною. На рис. 1.12 показані місця сходів у м. Прага. Як видно, сходи відбувались переважно в межах невеликої зони міста розміром 2 – 4 км навколо узбережжя нижньої частини закруту р. Влтава.

Отже, особливістю ділянок, де часто відбуваються сходи, є близькість більшості з них до узбереж рік, залізничних ліній і станцій, ліній метрополітену мілкового закладення, які згідно з результатами попередніх досліджень, виконаних в Українському державному університеті залізничного транспорту під керівництвом проф. А.М. Пługіна, можуть бути джерелами утворення надлишкових електричних зарядів природного і антропогенного походження [30 – 34]. У додатках А і Б наведені результати аналізу можливого впливу надлишкових електричних зарядів на сходи трамваїв. Аналіз показав, що у разі збігу місць, де накопичились надлишкові електричні заряди, з місцями

розладнаних колій, випадками порушення водіями швидкісного режиму у кривих тощо, ці заряди можуть сприяти сходам трамваїв з рейок.

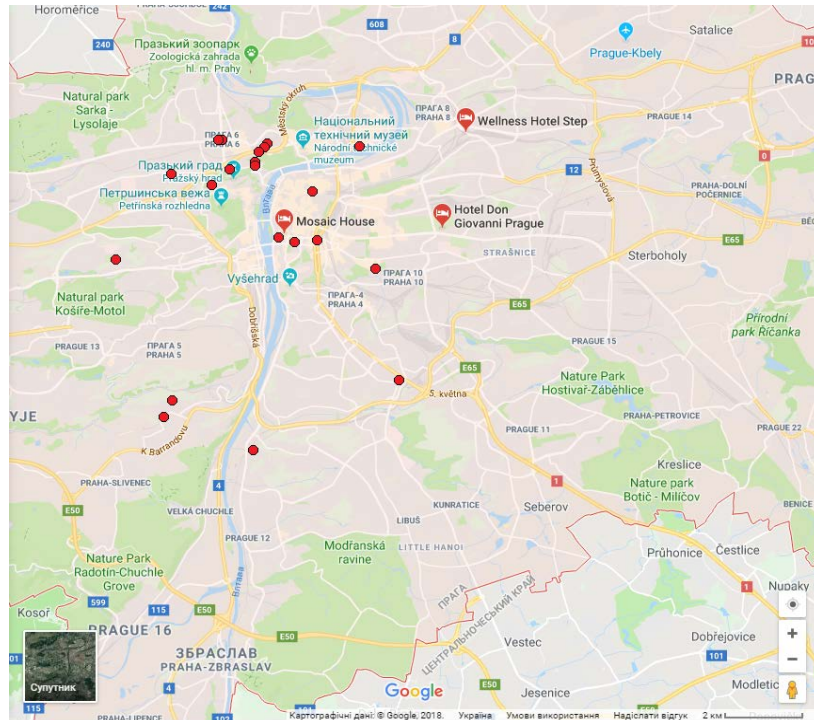


Рис. 1.12. Розташування місць сходів трамваїв з рейок у м. Прага. Червоний контур – кордон міста

Таким чином, запобігання накопиченню надлишкових електричних зарядів на конструкціях трамвайних колій, яке може бути досягнуте зниженням струмів витоку тощо, сприятиме зменшенню кількості сходів трамваїв з рейок. Зниження струмів витоку має забезпечуватись збільшенням електричного опору між рейками та підрейковими основами та ґрунтовими основами під ними, отже, застосуванням матеріалів, що мають більш високі показники електричного опору.

1.2 Аналітичний огляд шляхів зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні

1.2.1 Вібрація та шумі захист від них

Виконано аналітичний огляд робіт і досліджень, присвячених розповсюдженню та гасінню матеріалами віброколиваль – Нашифа А., Соломатова В.І., Сєдих О.О., Барштейна М.Ф., Коренева Б.Г., Рабиновича І.М., Harris С.[66 – 70] тощо.

За [68] і відповідно до ДБН В.2.3-18:2007 «Трамвайні і тролейбусні лінії. Загальні вимоги до проектування» [26] і СНиП 2.05.09-90 «Трамвайні і тролейбусний лінії» [27], швидкість звичайного трамвая на прямих ділянках повинна бути менше 24 км/год, а відстань від осі колії до житлових та громадських будівель на прямих ділянках має становити не менше 20 м. В дійсності ці вимоги часто не виконуються. Наприклад, вагони трамвая на прямих ділянках часто рухаються зі швидкістю 29 – 30 км/год, а будівлі розташовуються на відстані 6 – 10 м від трамвайних колій. Особливо небезпечні двовагонні та більше трамваї, які створюють широкий спектр резонансних частот – руйнівних для елементів конструкції будівель та шкідливих для здоров'я людей. Максимальні значення параметрів спостерігаються під час проходу трамваїв по стиках, особливо взимку за від'ємної температури, коли ґрунт замерзає і стає максимально жорстким [68]. В результаті підвищеної вібрації руйнуються стіни будівель, стелі, балкони, розбиваються віконні прорізи, просідають фундаменти, деформуються внутрішні комунікації, постійно вібрують меблі. Віброшвидкість є більш важливим показником з енергетичного впливу на житлові приміщення і людей, ніж віброприскорення, віброшвидкість нормована в санітарних нормах і повинна обов'язково замірятися.

Заміри віброметром, проведені в Дніпрі [39], показали, що в окремих місцях віброшвидкість, створювана трамваями, перевищує допустимі норми в 100 разів і досягає величини 0,30 м/с. Значення рівнів віброприскорення

перевищують допустимі санітарні норми в 3 рази і досягають величини $0,12 \text{ м/с}^2$. Вібропереміщення не нормуються, але досягають величини $0,01 \text{ мм}$.

Таким чином, експлуатація рухомого складу та трамвайних колій у багатьох містах, зокрема в Дніпрі, не відповідає вимогам ДБН В.2.3-18:2007 [26].

Згідно [73] звуки, що створюються шумом вулиці з пішохідним та автомобільним рухом, відповідають рівню шуму в 90 дБ , а нормовані рівні звуку в житлових квартирах прийняті для нічного часу 25 дБ . Отже, конструкції трамвайних колій повинні мати набагато більш високу вібро- і звукоізоляцію.

Для зниження вібрації та шуму застосовують віброізоляцію – спосіб зменшення коливань механічної системи, що ґрунтується на значному послабленні її зв'язків з іншими системами. Найбільш поширеними пристроями гасіння коливань в будівництві є динамічні та ударні гасителі, демпфери та обмежувачі [69]. Коливання фундаментів будинків і споруд, а отже й шпал в трамвайній колії, можуть не тільки завдати шкідливого впливу людям, але й порушувати структуру деяких ґрунтів (наприклад, викликати тиксотропні перетворення глинистих ґрунтів) [74].

Одним з ефективних способів захисту від вібрації і створюваного нею шуму, на наш погляд, є спосіб, розроблений О.О. Сєдих [68]. Його експериментальний проект передбачає виготовлення для будівлі віброзахисного пояса з гумової крихти фракції $50 - 100 \text{ мм}$, конструкція якого наведена на рис. 1.13. Для здійснення цього проекту виконують механізовані земляні роботи обсягом $20 - 60 \text{ м}^3$ ґрунту на 100 пог. м фасаду, що захищається.

Значне зменшення шуму і вібрації від трамвайних колій досягається за рахунок їх будівництва за новими сучасними технологіями, освоєними багатьма країнами, але освоєння яких в Україні і пострадянських країнах сильно затрималося. Різновидів нових технологій досить велика кількість, проте їх об'єднує загальний конструктивний принцип – обов'язкове застосування пружних рейкових вкладишів і впровадження безшпальних плитних або монолітних основ колій [4, 75]. Їх застосовують у вигляді

підрейкової і підшпальної прокладок, безперервної рейкової опори, оболонки рейки, підбаластого мату і переїзного настилу (рис. 1.14).

Застосування сучасних технологій знижує рівень шуму. Наприклад, технологія «Intertech», яка використовує комплексно практично всі елементи, зазначені на рис. 1.14, дозволяє знизити рівень шуму на 4,8 дБ [76].

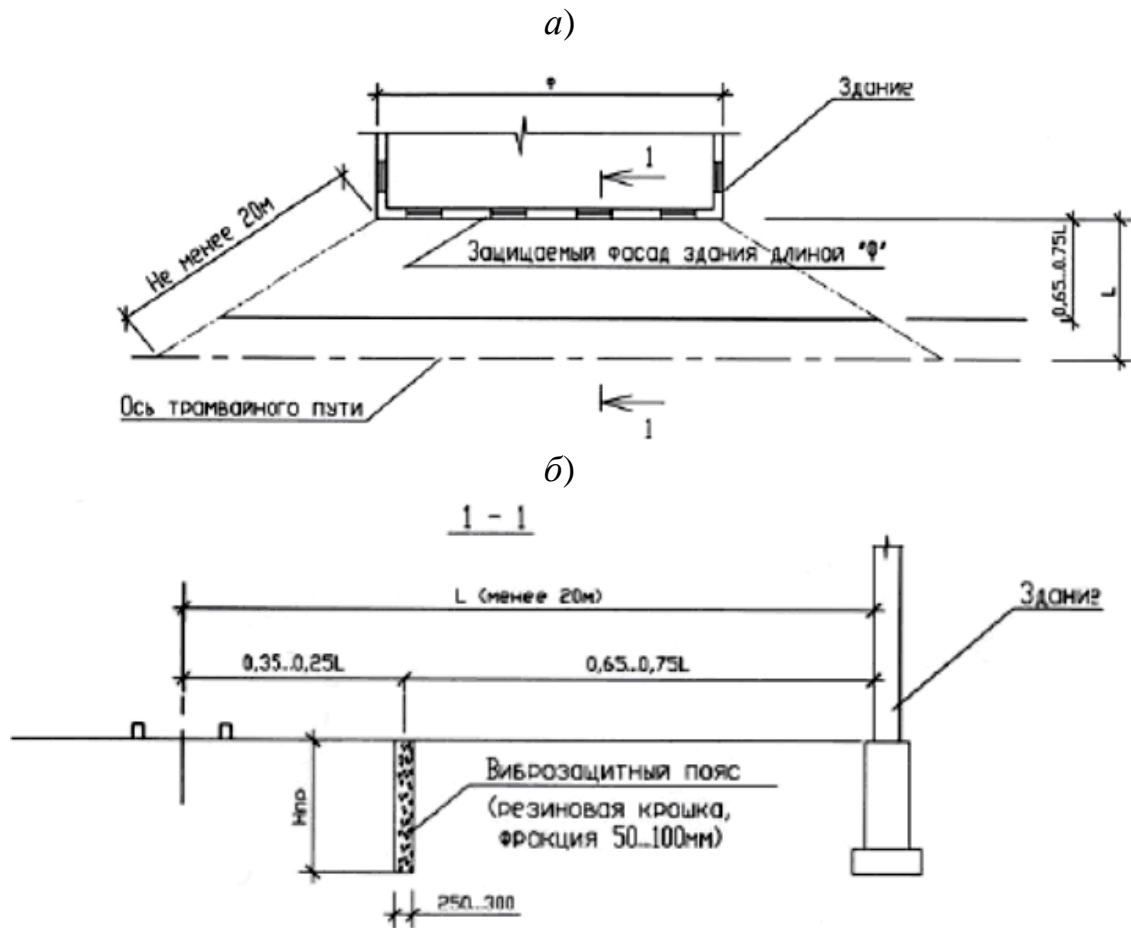


Рис. 1.13. Захист будівлі від вібрації, створеної трамваями [68]: *a* – фрагмент плану; *б* – переріз 1–1 з конструкцією віброзахисного поясу. $h_{пр}$ – нормативна глибина промерзання на ділянці будівництва

Таким чином, зниження вібрації та шуму від трамвайних колій досягається застосуванням масивних плитних підрейкових основ, ізолюванням рейок та підрейкових основ органічними вібропоглинаючими матеріалами, найкращими з яких є поліуретани, застосуванням пружних анкерних рейкових скріплень.

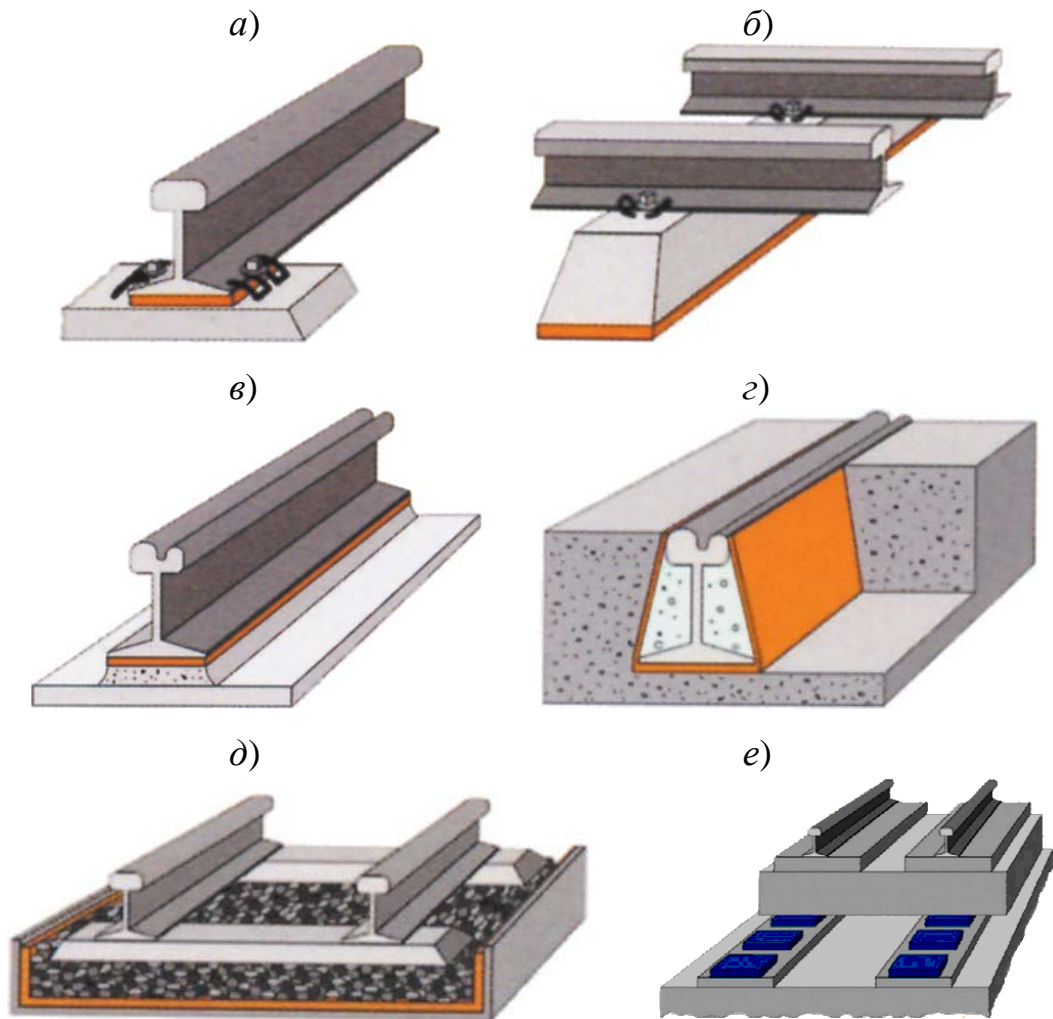


Рис. 1.14. Застосування віброізолюючих елементів у сучасних конструкціях трамвайних колій [4, 64]: *a* – підрейкових прокладок; *б* – підшпальних прокладок; *в* – безперервних рейкових опор; *г* – рейок в оболонці; *д* – підбаластових матів; *е* – пружних опор для колій на бетонних плитах



Рис. 1.15. Один з недоліків сучасних безшумних технологій – суцільне перекриття поверхні ґрунту між будівлями [76]

Проте анкери цих скріплень створюють в бетоні підрейкових основ високі контактні напруження від динамічних впливів, що часто призводить до утворення в бетоні тріщин і зниження довговічності конструкцій колії та вимагає застосування бетонів з підвищеною тріщиностійкістю в умовах динамічних впливів. Найбільш актуальним є застосування таких конструктивно-технологічних рішень саме у конструкціях колії, інтегрованих у дорожні покриття (рис. 1.15).

Проте, враховуючи необхідність захисту від електрокорозії і все ж таки значну кількість сходів на справних коліях таких конструкцій у містах Європи та припущення щодо можливого впливу на них надлишкових електричних зарядів та електростатичних сил (додаток Б) із конструктивно-технологічних рішень, наведених на рис. 1.14, необхідно обирати для розробки конструкцій колії ті, що забезпечують високий електричний опір між рейками та підрейковою та ґрунтовою основою.

1.2.2 Вплив динамічних навантажень і замочування на ґрунти

Виконано аналітичний огляд джерел, у яких міститься інформація щодо впливу реології ґрунтів на розповсюдження віброколивань та осідання основ споруд та шляхів – Кожушка В.П., Шатенка Л.М., Ухова С.Б., Титовича Н.А., Герасименко О.С. [78 – 83] тощо.

За [78] в містах широко поширені руйнуючі динамічні впливи на ґрунти та їх замочування. Основним джерелом таких вібраційних впливів є транспорт, в тому числі трамвайний. Рух транспорту спричиняє вібрацію, удари, поштовхи та інші коливальні впливи, які передаються на ґрунти під фундаментами будівель і споруд. Найбільш чутливі до таких дій:

- роздільно-зернисті ґрунти (піски, гравій, щебінь), що знаходяться в недоущільненому стані;
- ґрунти, які мають пухку тиксотропну структуру (водонасичені пухкі мули, сапропелі, пливуні, розріджені леси тощо), структурні зв'язки яких легко руйнуються від механічних впливів.

Найбільш руйнівною дія вібраційних та інших коливань на властивості ґрунтів є за частот 8 – 40 Гц, що відповідає вібрації від трамваїв на трамвайних коліях. Пружні коливання частинок ґрунту від вібрації трамваїв (і вантажних автомобілів) проникають у ґрунт на велику глибину – до 70 м. Величина коливань залежить в основному від швидкості руху і навантажень транспорту, а також характеру дорожніх покриттів [78].

На наш погляд, замочування на трамвайних коліях інтенсифікується у зонах накопичення надлишкових негативних зарядів у верхніх шарах ґрунтів за рахунок електроосмотичного перенесення води у ці зони. Замочування та набухання ґрунту під асфальтобетонним покриттям сприяє його швидкому руйнуванню від механічних впливів, вивітрювання, поперемінного заморожування та відтавання. Це обумовлює для збільшення міжремонтних термінів трамвайних колій забезпечувати запобігання обводнення ґрунтів під ними атмосферними та ґрунтовими водами конструктивними заходами – водонепроникними покриттями, підвищенням електричного опору (для запобігання електроосмосу).

1.2.3 Електричні впливи та захист від них

Виконано аналітичний огляд робіт і досліджень, присвячених механізму протікання і впливу струмів витоку і блукаючих струмів на металеві та залізобетонні конструкції – Котельникова О.В., Стрижевського І.В., Старосельського О.О., Бабушкіна В.І. [84 – 87] і бетон – Пługіна О.А., Борзяк О.С., Дудіна О.А., Несторенка С.Г., Касьянова В.В. [89 – 93].

Проте аналізовані роботи останніх авторів не враховували можливості накопичення в матеріалах і на конструкціях надлишкових електричних зарядів, створених цими струмами та іншими чинниками, та їх впливу на матеріали і конструкції. Тому розглянуто також роботи, у яких ці питання розглядалися, – Пługіна А.М., Пługіна А.А., Пługіна Д.А., Трикоз Л.В., Лютого В.А., Конєва О.А., Забіяки О.А. [29 – 34, 89, 92].

У цих роботах було встановлено, що електричні потенціали можуть впливати на міцність бетону, а в бетонних конструкціях обумовлювати виникнення внутрішніх напружень і утворення тріщин. У [32] відзначається вплив електричних потенціалів на стійкість укосів, схилів, земляного полотна. Встановлено закономірності поширення по місцевості та спорудах потенціалів від рейкових колій, у т.ч. їх конфігурації в плані, у [32, 33, 34, 89] – від поляризації ґрунтових масивів, зокрема від перенесення іонів, переважно катіонів, водотоками, фільтраційними, дифузійними, електроміграційними потоками, від вертикальної поляризації споруд і будівель.

У місцях з надлишковим негативним зарядом погіршуються фізико-механічні властивості бетону, арматури, рейок і металевих деталей рейкових скріплень. У сталі знижується модуль пружності, границі текучості та міцності.

У місцях з надлишковим негативним зарядом рейки стають більш пластичними, що сприяє пластичним деформаціям, зминанню їх головок, а в місцях з позитивним зарядом – крихкими, сприяючи крихкому руйнуванню.

1.2.4 Властивості та призначення полімерних матеріалів

Виконано аналітичний огляд робіт і досліджень, присвячених полімерним матеріалам і гумах, їх структурі, реологічним, фізико-механічним, електротехнічним властивостям, зокрема, робіт Виноградова Г.В., Малкіна А.Я., Нільсена Л., Гуля В.Є., Кулезньова В.Н., Попова Ю.В., Данченко Ю.М., Скрипинець А.В. [94 – 99] тощо. Встановлено, що із сучасних полімерних матеріалів для віброелектроізоляції трамвайних колії найбільш придатними за показниками фізико-механічних, реологічних, вібропоглинальних, електротехнічних властивостей є поліуретани. Більш детально результати цього аналізу наведені у п. 3.1.1.

1.2.5 Вплив структури на фізико-механічні властивості бетону

Виконано аналітичний огляд робіт і досліджень, присвячених впливу структури на фізико-механічні властивості бетону – Плугіна А.М.,

Плугіна А.А., Толмачова С.М., Калініна О.А., Мірошніченка С.В. [30, 100 – 102]. Цими дослідниками доведено, що фізико-механічні властивості важкого бетону – міцність на стиск та розтяг, а також показники довговічності – водонепроникність, морозостійкість, зносостійкість залежать від структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів і водоцементного відношення В/Ц. Ці залежності мають екстремальний характер з максимумами у разі забезпечення оптимальних величин структурних характеристик $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$ і В/Ц_{опт}, що використано авторами для розробки методик визначення оптимальних складів бетону з максимально можливими показниками фізико-механічних властивостей та довговічності [103 – 106]. Проте вплив цих характеристик на показники тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів залишився поза увагою авторів.

1.2.6 Робоча гіпотеза щодо зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках, тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії

За результатами аналізу особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній та аналітичного огляду робіт з тематики досліджень висунуто робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках, тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії необхідне максимальне застосування в них поліуретанів з високими віброізолюючими властивостями та електричним опором, пружних деталей прикріплення рейок до підрейкових основ, бетонів оптимального складу з підвищеною тріщиностійкістю в умовах динамічних впливів та зниженим коефіцієнтом лінійного теплового розширення.

Висновки за розділом 1

1. В результаті аналізу особливостей улаштування та експлуатації трамвайних ліній встановлено, що традиційним конструкціям колії притаманні недоліки – вібрація та шум, швидке накопичення пошкоджень, через які вони є недовговічними. Сучасні конструкції колії характеризуються меншими вібрацією та шумом, пошкоджуваністю, проте безстикова колія на них схильна до викидів рейок.

Пошкодженнями є розлади положення рейок за планом та профілем, угон, знос, тріщини, відколи рейок, пошкодження підрейкових основ – гниття дерев'яних шпал, тріщини та руйнування бетону залізобетонних шпал і плит тощо. Основною причиною пошкоджень є обводення баласту і ґрунту, яке спричиняє гниття деревини, інтенсифікацію електрокорозії залізобетону, розрідження ґрунтів основ та виплески, просідання колії, провали ґрунту, чому сприяє ще й вібрація.

Викиди рейок влітку та розрив зварних стиків взимку відбуваються від значних температурних напружень, що виникають у разі порушення умов експлуатації колії. Встановлено, що вразливою для викидів є конструкція інтегрованої в дорожнє покриття «безшумної» колії з безшийковими рейками.

2. Під час руху трамваїв періодично відбуваються їх сходи з рейок, причинами яких вважають розладнання та знос колії і рухомого складу, порушення швидкісного режиму через людський фактор, дорожньо-транспортні події. Відзначено близькість більшості найбільш пошкоджуваних ділянок та місць сходів до водотоків, ліній залізниць та метрополітенів.

3. Раніше виконаними в УкрДУЗТ під керівництвом проф. А.М. Плугіна дослідженнями доведено, що інтенсивним руйнівним фактором, що впливає на конструкції електрифікованих постійним струмом рейкових колій і їх споруд, є струми витоку з рейок і надлишкові електричні заряди від них та інші антропогенного та природного походження.

Надлишкові електричні заряди на поверхні та конструкціях колії сприяють утворенню та розвитку пошкоджень, обумовлюючи: підняття ґрунтових вод за

рахунок електроосмосу, що підсилює обводнення від атмосферних вод; розрідження глинистого ґрунту за рахунок електростатичного відштовхування його частинок згідно теорії стійкості дисперсних систем, що сприяє утворенню виплесків та провалів; погіршує механічні властивості сталі та бетону, що сприяє руйнуванню дорожнього покриття, відколам, зламам, розривам, зносу та викидам рейок. Це підтверджується близькістю найбільш пошкоджуваних ділянок до водотоків, ліній залізниць та метрополітену, що можуть бути джерелами струмів витоку і надлишкових електричних зарядів. У разі збігу місць, де накопичились надлишкові електричні заряди, з місцями розладнаних колій, випадками порушення водіями швидкісного режиму у кривих тощо, ці заряди можуть сприяти сходам трамваїв з рейок.

4. Для уповільнення розладнань колії та розвитку інших пошкоджень, збільшення міжремонтних термінів, а також запобігання сходів, під час ремонту і реконструкції колії необхідно впроваджувати заходи з попередження обводнення основ, зниження вібрації та електричних впливів.

Зниження вібрації та шуму має забезпечуватись застосуванням вібропоглинальних матеріалів, а електричних впливів – збільшенням електричного опору між рейками та підрейковими й ґрунтовими основами, отже, застосуванням матеріалів, що мають більш високий електричний опір.

5. В результаті аналітичного огляду робіт і досліджень, присвячених структурі, реологічним, фізико-механічним, електротехнічним властивостям полімерних матеріалів і гум, а також важких бетонів, розроблено робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що для зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень, тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії необхідне максимальне застосування в них поліуретанів з високими вібропоглинаючими властивостями та електричним опором, пружних деталей прикріплення рейок до підрейкових основ, бетонів оптимального складу з підвищеною динамічною міцністю та зниженим коефіцієнтом лінійного теплового розширення.

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали

Як віброелектроізолюючі заливні мастики для конструкцій трамвайної колії з ізолюваною рейкою застосовано двокомпонентні поліуретанові мастики з відповідними ґрунтовками:

- EdilonCorkelast® (Edilon Sedra B.V., Нідерланди);
- Icosit C340/45F (Sika AG, Швейцарія);
- Композиція «Х» (м. Харків).

Для виготовлення виробів підрейкових основ (плит, блоків) та прирейкових вкладишів, а також зразків їх бетону застосовано бетон класів С20/25, С32/40, С35/45, С40/50 із матеріалів:

- портландцемент ПЦ І-500Н і ПЦ ІІ/А-Ш-400ДСТУ Б В.2.7-46, виробництва ПрАТ «Євроцемент-Україна» (м. Балаклія Харківської обл.);
- щебінь гранітний ДСТУ Б В.2.7-75 фракції 5 – 10 і суміші фракцій 5 – 20 мм;
- пісок кварцовий ДСТУ Б В 2.7-32 з модулем крупності 1,9 і 2,5;
- добавки-суперпластифікатори полінафталінформальдегідного типу Поліпласт СП-1 (Росія) і полікарбоксилатного типу SikaPlast 2508 (Швейцарія);
- вода питна водопровідна ДСанПіН 2.2.4-400-10, ДСТУ 7525:2014.

Для виготовлення прирейкових вкладишів застосовували замість гранітного щебеню кварцовий щебінь фракції 5 – 10 мм, замість частини піску – кварц мелений пилоподібний ГОСТ 9077 (рис. 2.1).

Для деталей розроблюваного пружного рейкового скріплення застосовано:

- для клеми – вуглецеву пружинну сталь 60С2А (55С2А) ДСТУ 8429:2015;
- для дюбеля, ізолюючої втулки та підрейкової прокладки – поліамід ПА6-Л-СВ-30 та поліуретан СКУ-7Л.

Для ізолюючих втулок застосовані тільки склонаповнені полімери. Для підрейкових прокладок застосовані полімери твердістю за Шором 69 – 70А.



Рис. 2.1. Кварц мелений пилоподібний

2.2 Методи досліджень

Фізико-механічні властивості бетону визначали стандартними методами.

Для дослідження адгезійних властивостей полімерів, параметрів вібрації конструкцій та електричного опору матеріалів та виробів трамвайної колії, тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів розроблено оригінальні методики досліджень.

Наявність у поліуретановому полімері функціональних груп з подвійними зв'язками визначали фізико-хімічними методами досліджень.

2.2.1 Визначення фізико-механічних властивостей бетону

Міцність бетону на стиск f та розтяг при згині f_t визначали стандартними методами за ДСТУ Б В.2.7-214 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» випробуванням, відповідно, зразків-кубів з розміром ребра 100 мм та зразків-призм розміром $400 \times 100 \times 100$ мм у кількості 3 шт. кожного складу.

2.2.2 Визначення адгезійних властивостей полімерних мастик

Для визначення адгезії мастик до сталі та бетону розроблено оригінальну методику, згідно з якою випробування проводили на зразках, у яких шаром мастики склеювали дві сталеві пластини або два бетонних куба, оснащених стержнями для захвату у розривній машині (рис. 2.2, 2.3).

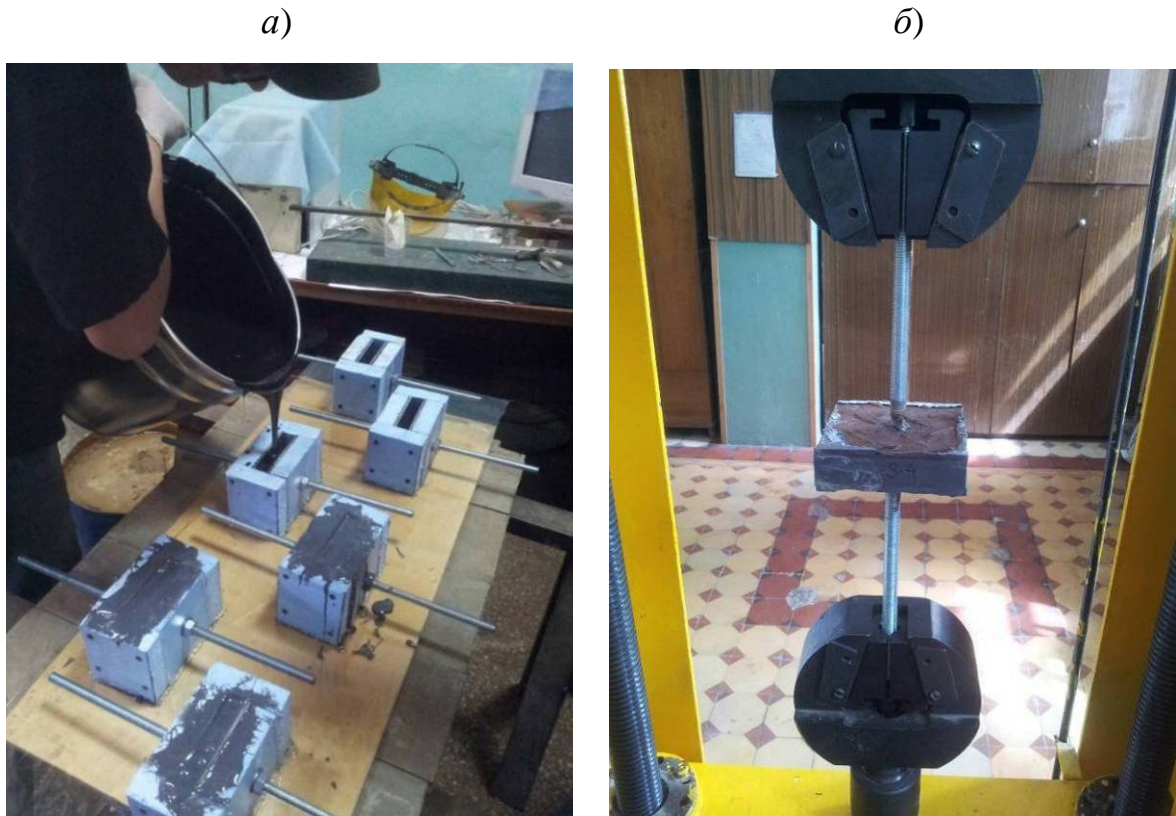


Рис. 2.2. Визначення адгезії поліуретанових мастик до сталі: *а* – виготовлення зразків – заливання мастики між сталевими пластинами зі стержнями для захвату у розривній машині, встановленими в опалубці із жорсткого пінополіуретану; *б* – випробування за допомогою розривної машини Р-5

Для визначення адгезії мастик до сталі шаром мастики товщиною 20 мм склеювали дві сталеві пластини розміром $100 \times 100 \times 3$ мм. З одного боку кожної з пластин перпендикулярно у її центрі попередньо приварювали стержень для закріплення зразка у захватах розривної машини. Зразки готували шляхом заливання суміші композиції у зазор між паралельно встановленими пластинами, обкладеними опалубкою із жорсткого пінополіуретану (рис. 2.2, *а*). До випробувань зразки втримували у кімнатних умовах протягом 28 діб. Для кожного випробування кожної композиції виготовляли по 3 однакових зразки. Зразки випробували за допомогою розривної машини Р-5 (рис. 2.2, *б*), фіксуючи одночасно силу та абсолютну деформацію (подовження) і доводячи зразок до відриву композиції від однієї з пластин.

Адгезійну міцність композиції до сталі для кожного зразка визначали як відношення руйнівної сили до площі сталевих пластин, середню величину міцності адгезії – як середнє арифметичне із трьох отриманих результатів. Після випробування кожного зразка аналізували характер відриву композиції від сталеві пластини з визначенням частки адгезійного руйнування у %.

Для визначення адгезії мастик до бетону шаром мастики товщиною 20 мм склеювали два бетонних куба з розміром ребра 100 мм, у кожний з яких під час їх формування були закладені стержні для захвату у розривній машині (рис. 2.3, а). Склад бетону приймали такий же, як і для плит підрейкової основи. Адгезію визначали у сухому та водонасиченому до постійної маси стані зразків. Зразки для визначення міцності адгезії готували шляхом заливання суміші композиції у зазор між паралельно встановленими на відстані 20 мм гранями бетонних кубів, обкладений опалубкою із жорсткого пінополіуретану (рис. 2.3, б, в). До випробувань зразки втримували у кімнатних умовах протягом 28 діб. Для кожного випробування кожної композиції виготовляли по 6 однакових зразків. Перед випробуванням три зразки із шести водонасичували до постійної маси.

Випробували три зразки у сухому і три зразки у водонасиченому стані за допомогою розривної машини Р-5 (рис. 2.3, г), фіксуючи одночасно силу та абсолютну деформацію (подовження) і доводячи зразок до відриву композиції від одного з бетонних кубів. Адгезійну міцність композиції до бетону визначали як відношення руйнівної сили до площі зразка, середню величину міцності адгезії у сухому стані f_6 і водонасиченому стані f_6^{BH} – як середнє арифметичне із відповідних трьох отриманих результатів.

Водостійкість контакту мастики з поверхнею бетону K_B визначали як відношення міцності адгезії у водонасиченому стані до міцності адгезії у сухому стані:

$$K_B = f_6^{BH}/f_6, \quad (2.1)$$

Після випробування зразків аналізували характер відриву композиції від поверхні бетону з визначенням частки адгезійного руйнування у %.

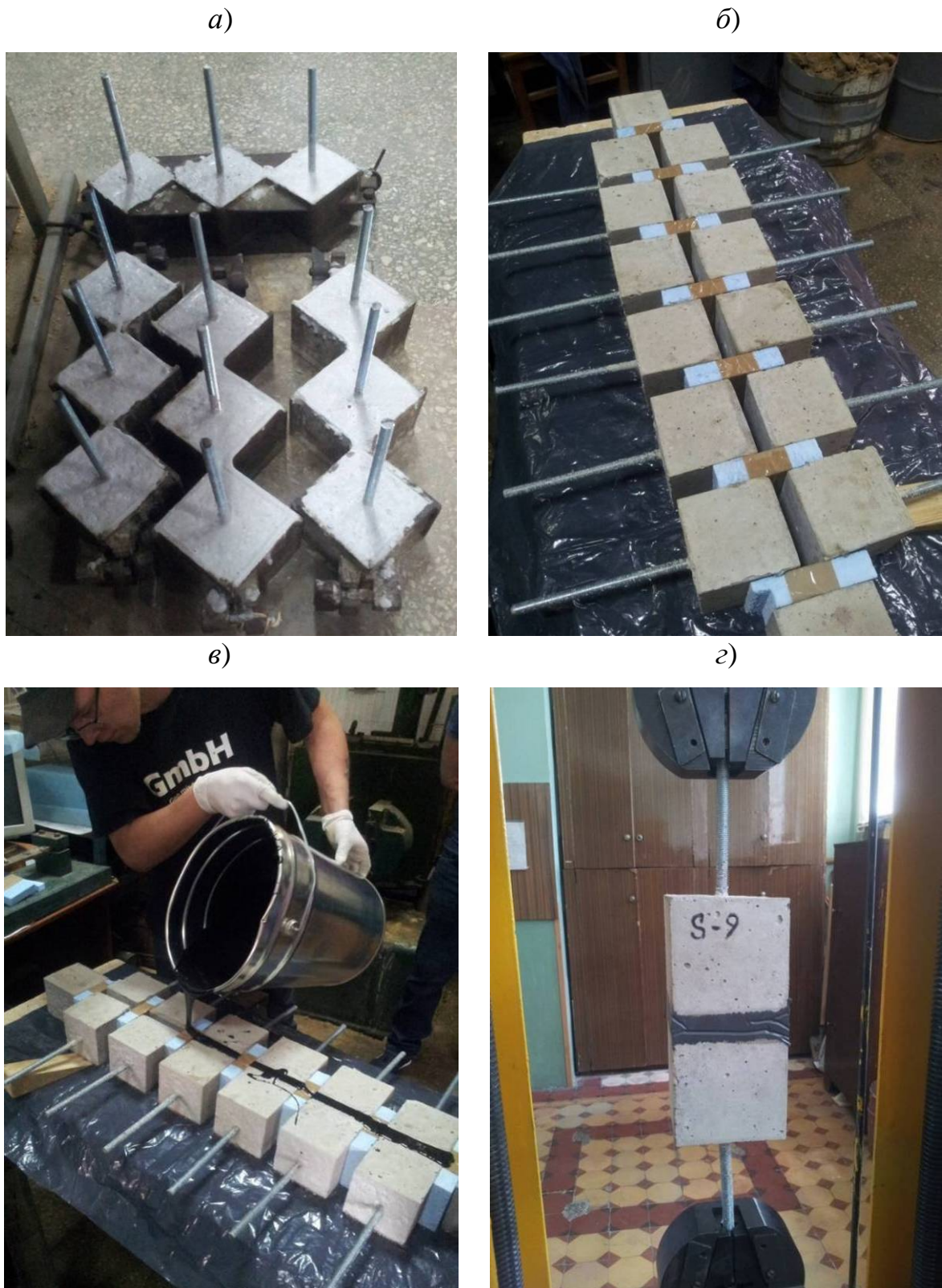


Рис. 2.3. Визначення адгезії поліуретанових мастик до бетону: *а* – виготовлення зразків бетону із випущеними стержнями для захвату у розривній машині; *б* – пари зразків бетону, підготовлення для заливання мастики; *в* – заливання мастики між зразками бетону; *г* – випробування за допомогою розривної машини Р-5

Вимірювання твердості полімерних матеріалів здійснювали за допомогою портативного приладу – твердоміра Шора.

2.2.3 Дослідження впливу віброізоляції конструкцій трамвайної колії на параметри вібрації

Дослідження впливу віброізоляції конструкцій трамвайної колії на параметри вібрації досліджували у натурних умовах. Параметри вібрації – вібропереміщення та віброшвидкість конструкцій трамвайної колії від проходження рухомого складу визначали за схемою рис. 2.4, *а* за допомогою віброаналізатора Вибран-2.0 (рис. 2.4, *б*).

Технічні характеристики віброаналізатора Вибран-2.0:

- діапазон вимірювань віброшвидкості – 0,1 – 300 мм/с;
- діапазон вимірювань вібропереміщення – 001 – 10 мм;
- діапазон робочих частот – 0,5 – 1000 Гц;

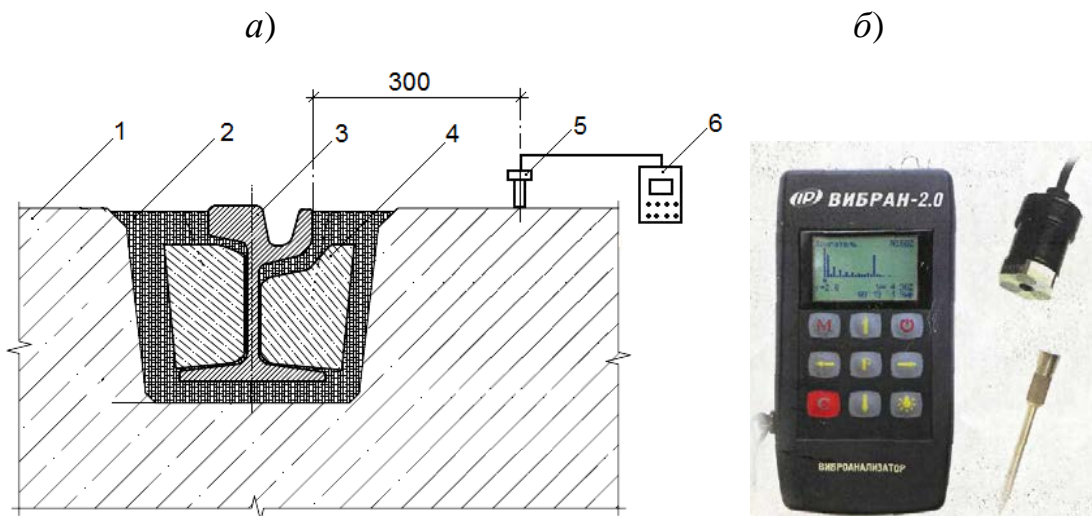


Рис. 2.4. Визначення параметрів вібрації конструкцій трамвайної колії: *а* – схема вимірювання вібрації: 1 – залізобетонна підрейкова основа; 2 – поліуретанова мастика; 3 – рейка; 4 – прирейковий вкладиш; 5 – вібродатчик; 6 – віброаналізатор; *б* – віброаналізатор Вибран-2.0 з вібродатчиками

2.2.4 Дослідження електричного опору матеріалів і виробів трамвайної колії та електричних потенціалів на конструкціях і місцевості

Електричний опір трамвайної колії визначали згідно з оригінальними методиками за схемою рис. 2.5, а за допомогою цифрового мультиметру Sanwa PC510 з вхідним опором 10 МОм (рис. 2.5, б) та спеціального електроду, у якому контакт з поверхнею бетону забезпечується пористою губкою, просоченою насиченим розчином мідного купоросу $CuSO_4 \times 5H_2O$ (рис. 2.5, в).

Аналогічним чином за допомогою цифрового мультиметру Sanwa PC 510 вимірювали електричні потенціали на рейках, поверхнях ґрунту і конструкцій.

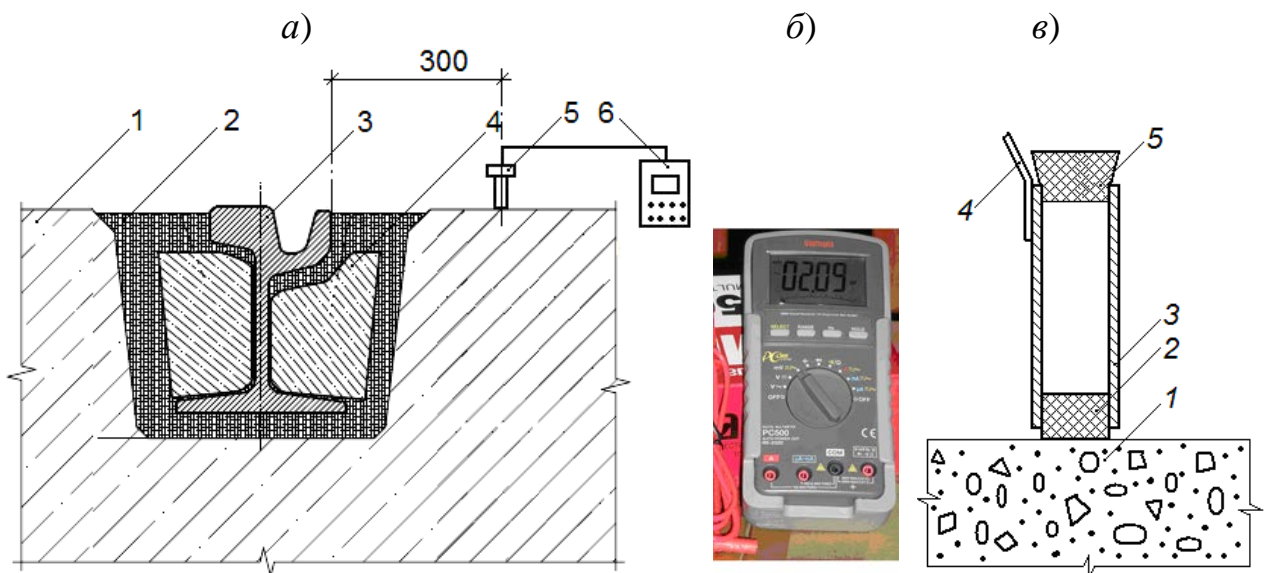


Рис. 2.5. Визначення електричного опору матеріалів та виробів трамвайної колії: а – схема вимірювання: 1 – залізобетонна підрейкова основа; 2 – поліуретанова мастика; 3 – рейка; 4 – прирейковий вкладиш; 5 – спеціальний електрод для контакту з бетоном; 6 – цифровий мультиметр; б – цифровий мультиметр Sanwa PC 510; в – спеціальний електрод: 1 – залізобетонна підрейкова основа; 2 – губка, просочена насиченим розчином мідного купоросу; 3 – корпус із неіржавіючої сталі; 4 – провід; 5 – гумова пробка

2.2.5 Дослідження тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів

Для дослідження тріщиностійкості бетону в умовах динамічних – ударних та вібраційних впливів розроблено оригінальні методики.

Тріщиностійкість бетону в умовах ударних впливів визначали за допомогою копра оригінальної конструкції (рис. 2.6, а, б) на зразках-кубах з розміром ребра 150 мм з встановленими в них анкерами від рейкового скріплення (рис. 2.6, в). Ударний вплив створювали на анкер ударним ножем за рахунок багаторазового скидання вантажу масою $m = 10$ кг з висоти $h = 0,4$ м. За показники тріщиностійкості приймали сумарну енергію ударного впливу E , витрачену на утворення первинної тріщини (рис. 2.6, в), первинного відколу, значних відколів та повного руйнування зразка:

$$E = Nmgh, \text{ кг} \times \text{м/с}^2 \times \text{м} = \text{Дж}, \quad (2.2)$$

де N – кількість ударів, витрачених на утворення первинної тріщини, первинного відколу, значних відколів або повного руйнування зразка;

g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Виготовляли та випробували по 2 зразки кожного складу.

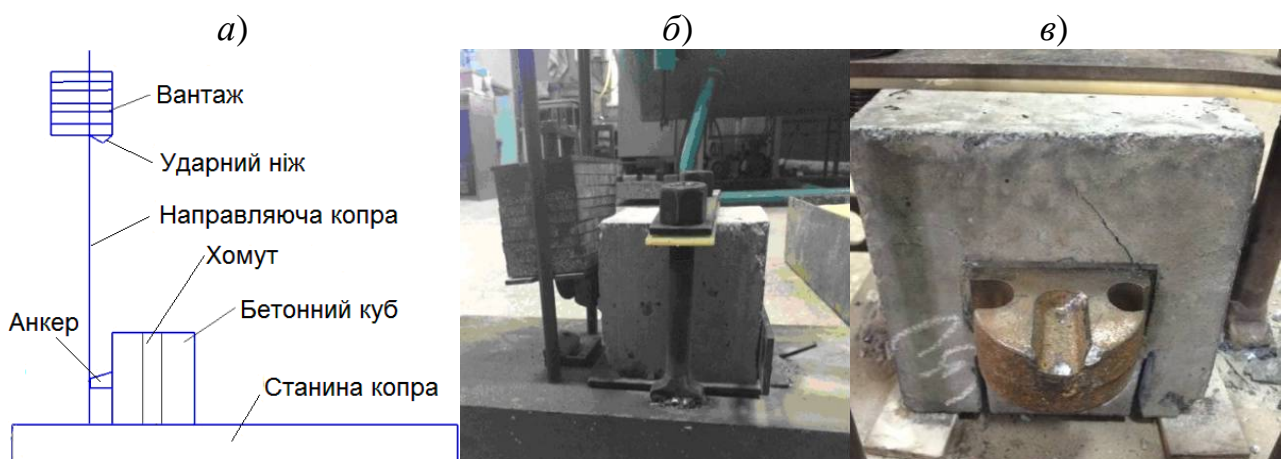


Рис. 2.6. Дослідження тріщиностійкості бетону в умовах динамічних (ударних) впливів: а – схема копра для створення ударних впливів; б – загальний вигляд копра; в – зразок бетону з анкером після випробування ударними впливами

Тріщиностійкість бетону в умовах вібраційних впливів визначали за допомогою випробувальної машини МУП-50, обладнаної пульсатором (рис. 2.7, а), на зразках – блоках підрейкової основи з рейковим скріпленням КПП-5 (рис. 2.7, б), по 2 зразки кожного складу бетону. Зразок встановлювали на площадку випробувальної машини (рис. 2.7, в) за схемою, наведеною на рис. 2.7, г під кутом 15° , як запропоновано проф. Е.І. Даниленком на основі розрахунків, виконаних у [109] (рис. 2.7, д), та збирали пару скріплень КПП-5 з фрагментом рейки. В нижньому із двох скріплень полімерну ізолюючу прокладку замінювали аналогічною за формою сталевую (рис. 2.7, б).

Навантаження здійснювали вертикально через рейку з частотою 8 Гц, діапазоном сили 100 – 235 кН, протягом 1,5 млн. циклів.

Результати вібраційного впливу на бетон оцінювали дослідженням кернів діаметром $d = 85$ мм, висвердлених із блоків кільцевим алмазним свердлом за допомогою свердлильного станка Norton (рис. 2.8, а). Із одного зразка-блока висвердлювали по два керни – із зони біля нижнього анкера, що піддавалась максимальному вібраційному впливу (на знімку рис. 2.8, б ліворуч) та із найбільш віддаленої зони, що впливу не зазнавала.

Керни досліджували методом люмінесцентної дефектоскопії (п. 2.2.7), після чого за допомогою каменерізного станка (рис. 2.9, в) розрізали на зразки-циліндри довжиною $l = 77 - 113$ мм та визначали їх міцність на розтяг при розколюванні згідно ДСТУ Б В.2.7-214 за допомогою гідравлічного преса П-10 (рис. 2.10). Міцність бетону на розтяг при розколюванні розраховували за формулою:

$$f'_{c,tn} = 0,64 \frac{P}{l \cdot d}, \quad (2.2)$$

де P – руйнівне навантаження, Н; 0,64 – коефіцієнт, використовуваний у разі навантаження зразка плитами (рис. 2.9); l – довжина зразка-циліндра, мм; d – діаметр зразка-циліндра, мм.

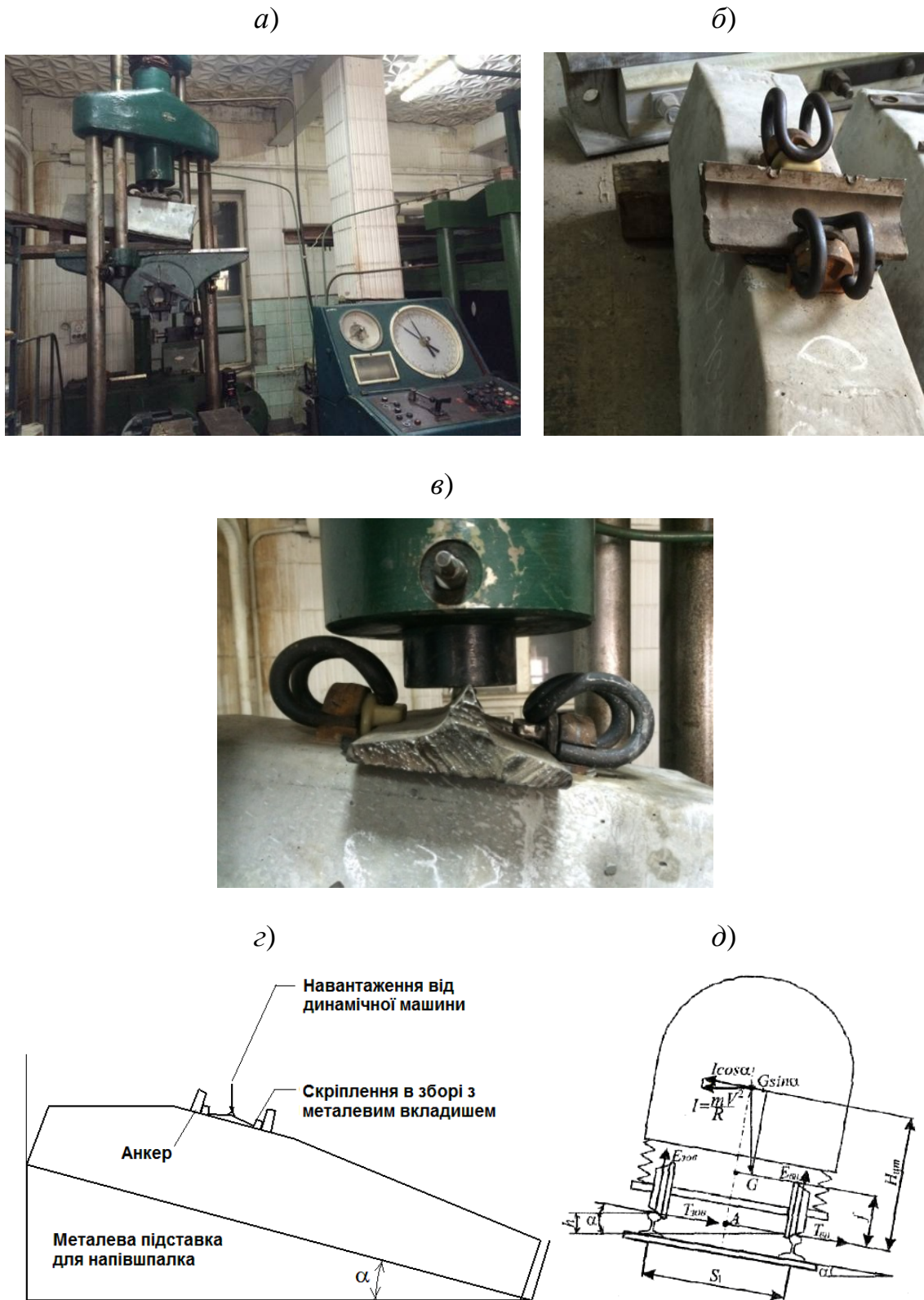


Рис. 2.7. Дослідження тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів: а, б – зразок – блок підрейкової основи, встановлений у випробувальній машині МУП-50 на металевій підставці; в – схема розташування зразка – блока під час динамічного випробування; г – схема нахилу рухомого складу у кривій [109]

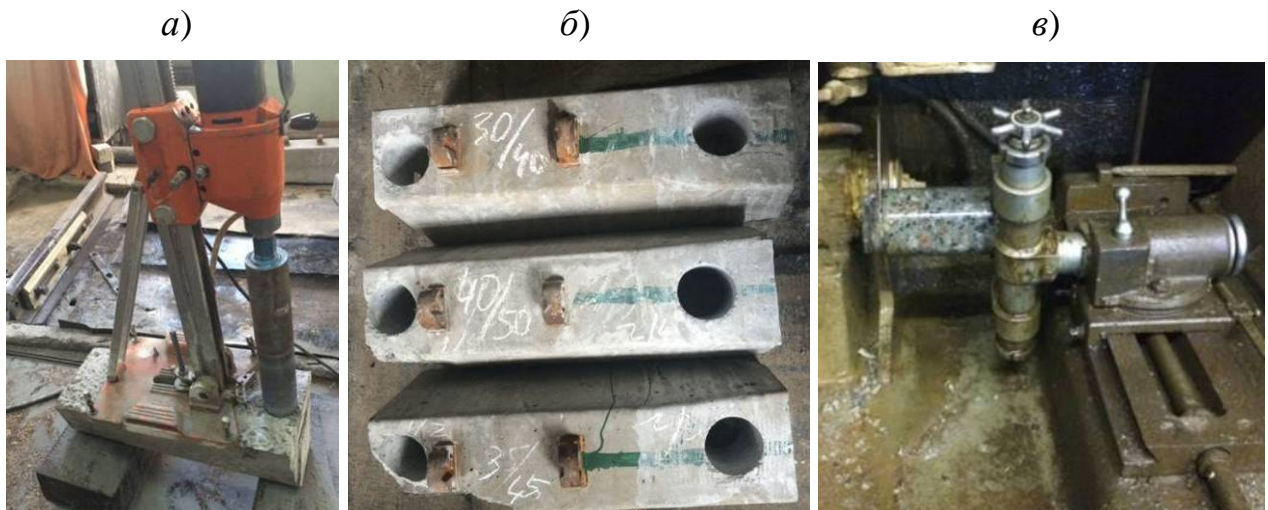


Рис. 2.8. Підготування зразків для дослідження наслідків динамічного впливу на бетон: *а* – висвердлювання кернів із зразків – блоків підрейкової основи за допомогою свердлильної машини Norton; *б* – зразки – блоки після динамічного випробування та висвердлювання кернів; *в* – розрізання кернів на зразки-циліндри за допомогою каменерізного станка

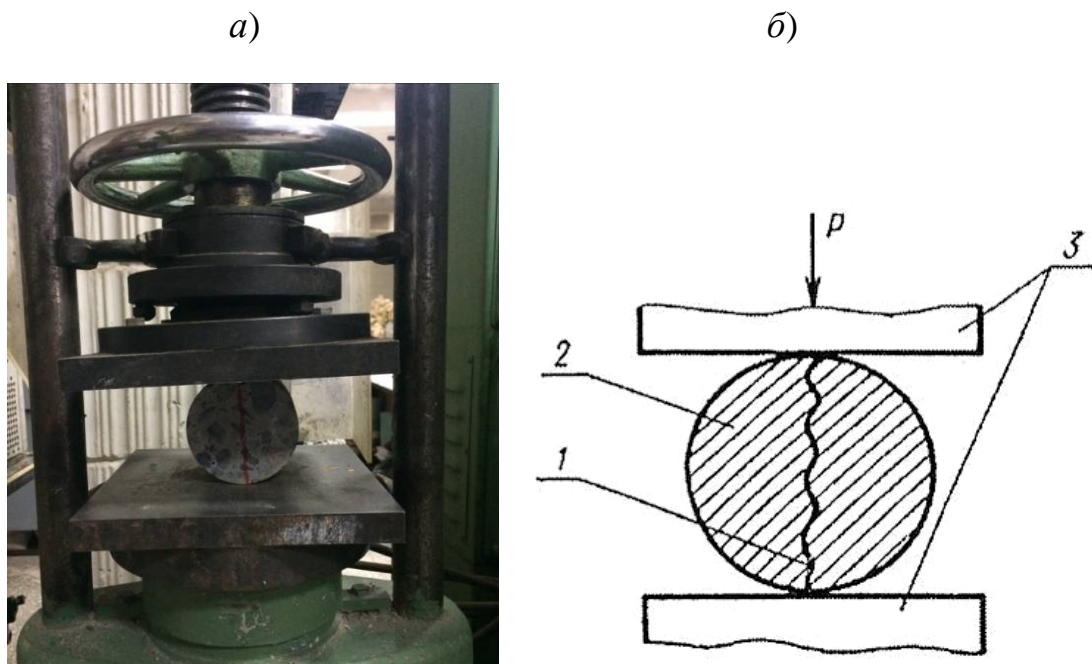


Рис. 2.9. Визначення міцності бетону на розтяг при розколюванні зразків-циліндрів за допомогою гідравлічного преса П-10 (*а*) і схема випробування (*б*): *1* – площість руйнування; *2* – зразок-циліндр; *3* – плити преса

2.2.6 Дослідження залежностей властивостей матеріалу від його структурних характеристик

Залежності властивостей матеріалу від його структурних характеристик, наприклад, міцності f від коефіцієнту розсунення зерен піску μ , досліджували за допомогою програми «Майстер діаграм» електронних таблиць Microsoft Excel. Для цього будували графіки (точкові діаграми) залежностей, піддавали їх апроксимації методом найменших квадратів шляхом побудови ліній тренду та отриманням рівнянь регресії вигляду $y = f(x)$. Достовірність отриманих залежностей оцінювали за величинами коефіцієнту кореляції (величина «достовірності апроксимації R^2 » майстра діаграм є коефіцієнтом детермінації – квадратом коефіцієнта кореляції R^2) за шкалою Чеддока (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Характеристики кореляції між фактором x і результатом за шкалою Чеддока

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

2.2.7 Фізико-хімічні дослідження

Наслідки динамічного (вібраційного) впливу на бетон досліджували методом люмінесцентної дефектоскопії. Перед дослідженням на циліндричні поверхні кернів наносили розчин люмінофору. Дослідження проводили за допомогою джерела ультрафіолетового світла та світового мікроскопу МБС-2 (рис. 2.10). Досліджували керни, висвердлені із зони, що піддавалась максимальному вібраційному впливу (на знімку рис. 2.8, б ліворуч) та, для порівняння, із найбільш віддаленої зони, що впливу не зазнавала. Дослідження

полягало в огляді циліндричних поверхонь кернів, виявленні та підрахунку тріщин у них і співставленні наявності та кількості тріщин у кернах, що піддались максимальному вібраційному впливу з кернами, що впливу не зазнавали, а також між кернами із бетону різних класів за міцністю на стиск та з різними коефіцієнтами розсунення зерен дрібного заповнювача μ .



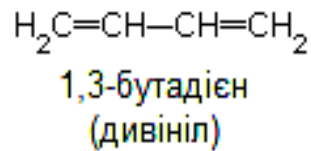
Рис. 2.10. Мікроскоп світловий бінокулярний МБС-2

Наявність у поліуретанах та гумах функціональних груп з подвійними зв'язками визначали аналізом інфрачервоних спектрів поглинання, отриманих за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker Alpha зйомкою на відбивання.

ІЧ-спектри знімали в області хвильових чисел $480 - 4000 \text{ cm}^{-1}$.

такі молекули розпрямляються, виріб із каучуку від цього подовжується. Після зняття навантаження ланки молекули внаслідок внутрішнього теплового руху повертаються у вихідний згорнутий стан, і розміри виробу із каучуку скорочуються.

Елементарні одиниці синтетичного каучуку також є вуглеводнями – бутадієном (дивінілом):



Сировиною для отримання бутадієну служить етиловий спирт. Під час полімеризації бутадієну утворюється бутадієновий синтетичний каучук.

Крім полібутадієнового каучуку (СКБ), виробляють сополімерні каучуки – продукти спільної полімеризації (кополімеризації) бутадієну з іншими ненасиченими сполуками, наприклад, зі стиролом (бутадієн-стирольні каучуки СКС) або з акрилонітрилом (бутадієн-нітрильні каучуки СКН, рис. 3.2).

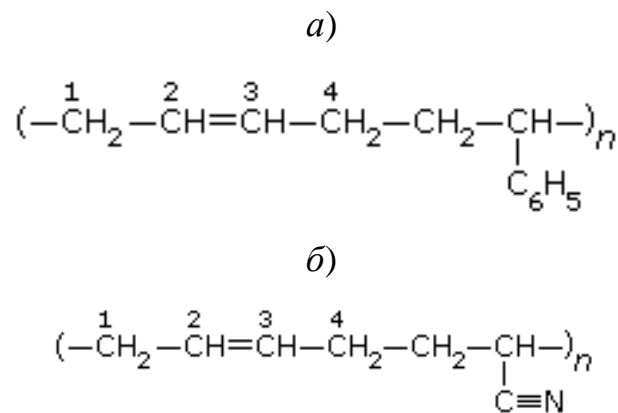


Рис. 3.2. Структурні формули каучуків: а – бутадієн-стирольний; б – бутадієн-нітрильний

Характерним для бутадієн-нітрильних каучуків є найбільш полярна серед полімерів нітрильна функціональна група $\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$.

Бутадієн-стирольний каучук відрізняється підвищеною зносостійкістю і застосовується у виробництві автомобільних шин, конвеєрних стрічок, гумового взуття. Бутадієн-нітрильні каучуки – бензо- і маслостійкі, тому використовуються, наприклад, у виробництві сальників.

Гуму виробляють шляхом вулканізації з суміші каучуку з сіркою, наповнювачами (найважливішим є сажа) та іншими речовинами. З цієї суміші формують, нагріваючи, вироби. При цьому атоми сірки приєднуються до подвійних зв'язків макромолекул каучуку і «зшивають» їх, утворюючи дисульфідні «мостики» $-S-S-$. В результаті утворюється макромолекула з просторовою структурою (рис. 3.3).

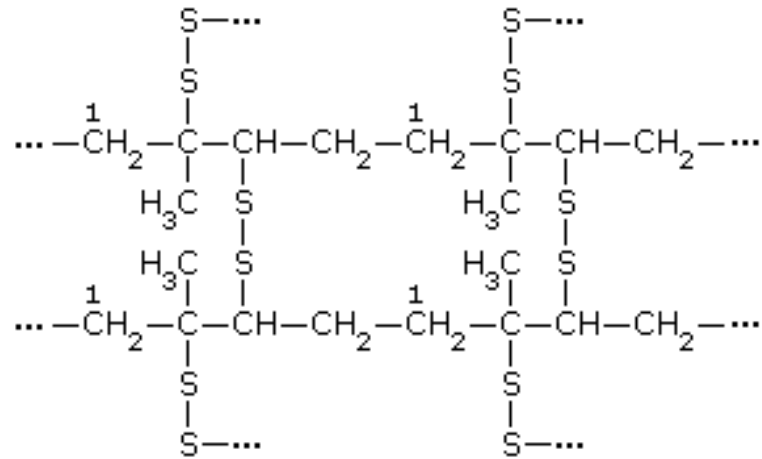


Рис. 3.3. Структурна формула гуми

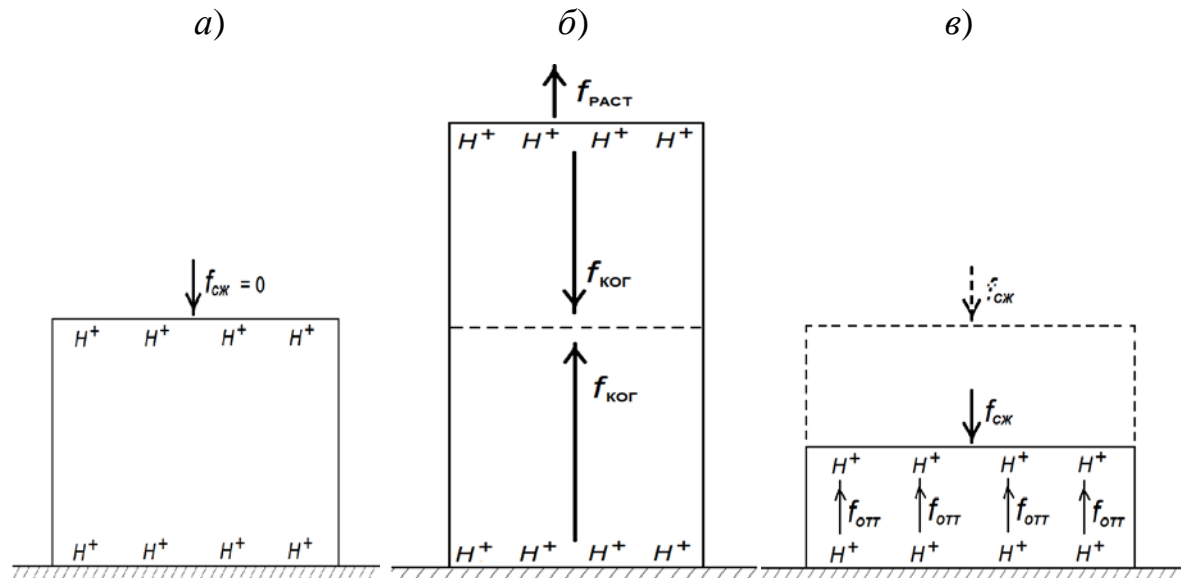
Існуючі уявлення про механізм деформативних властивостей гуми, за суттю, є констатуючими та механізму деформації не розкривають. За таким уявленням неможливо встановити взаємозв'язок реологічних властивостей гуми з її структурою та електроповерхневими властивостями. На наш погляд механізм реологічних (деформативних) властивостей гуми полягає в наступному.

Полімерні матеріали містять різні функціональні групи, що у більшості є дипольними (табл. 3.1). За рахунок рідко розташованих дисульфідних зв'язків у просторовій макромолекулі гуми (рис. 3.3) утворюються порожнини, внутрішня поверхня яких покрита дипольними групами, поверненими іоном водню H^+ всередину порожнини.

Дипольні моменти зв'язків у полімерах [111]

Зв'язок	Дипольний момент, D	Полярність зв'язку
$C-H$	0,2	0,04
$C-Cl$	2,05	0,25
$C-N$	0,4	0,06
$C-O$	0,9	0,13
$C=O$	2,5	0,42

Під час розтягу гуми протони на стінках її порожнин, нормальних до осі розтягуючої сили, зближуються, і виникає сила відштовхування між цими стінками, що дорівнює силі розтягу. Після припинення розтягу стінки повертаються у вихідний стан. Під час стиску гуми відбувається те ж саме – стінки порожнин, паралельні до стискаючого зусилля, зближуються, та між їх протонами також виникає відштовхування. Після припинення стиску стінки також повертаються у вихідний стан. Такий механізм обумовлює те, що за деформативністю гума ближче до пружного тіла Гука (рис. 3.7, *a*), ніж до еластичного тіла Кельвіна (рис. 3.7, *b*), для якого характерна пружна післядія і висока здатність поглинати вібрацію (рис. 3.5) [112, 113].

Рис. 3.4. Схема деформування гуми: *a* – вихідний стан; *b* – розтяг; *в* – стиск

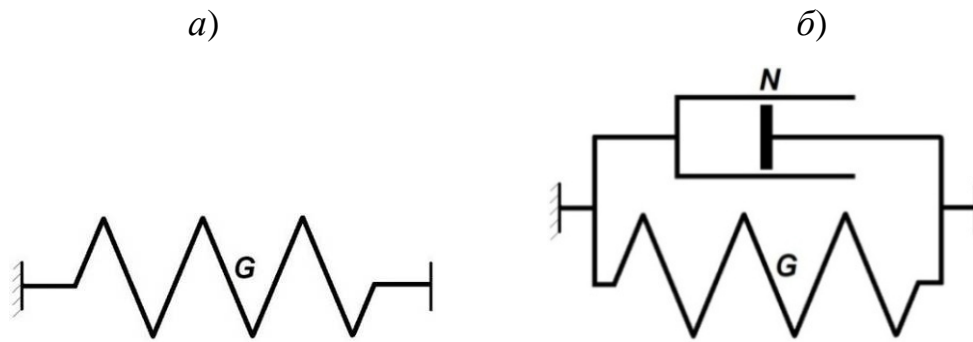


Рис. 3.5. Реологічні моделі: *a* – пружного тіла Гука; *б* – еластичного тіла Кельвіна, що складається із простих реологічних тіл Гука (G) і Ньютона (N)

Структура поліуретану за В.С. Ліпатовим [114] має вигляд, наведений на рис. 3.6, *a* і складається із двох фаз – твердої у вигляді глобул і м'якої у вигляді тонких вигнутих волокон (рис. 3.6, *a, б*). Як видно із рис. 3.6, *a*, структура поліуретану відповідає структурі дисперсної системи з твердою дисперсною фазою та дисперсійним середовищем, яке завдяки побудові з гнучких волокон можна вважати в'язким. Таке уявлення структури підтверджується електронно-мікроскопічними знімками поліуретану (рис. 3.6, *б, в*). Така структура обумовлює відповідність реологічних властивостей поліуретану моделі еластичного тіла Кельвіна (рис. 3.5, *б*), яке характеризується деформаціями пружної післядії та здатністю до поглинання вібрації [112, 113].

Структура макромолекули поліуретану має вигляд, представлений на рис. 3.7. Як видно із рис. 3.7, макромолекули поліуретану на відзнаку від гуми містять функціональні групи $C=O$ з подвійним зв'язком. Ці групи характеризуються значним дипольним моментом 2,5 D (табл. 3.1) і повернуті негативним полюсом назовні від макромолекули, створюючи великий негативний поверхневий заряд на ній. Наявність груп $C=O$ на поверхнях структурних елементів (глобул, волокон) визначає додаткову відмінність реологічних властивостей поліуретану від реологічних властивостей гуми, зокрема, більш складну реологічну модель складової G моделі Кельвіна (рис. 3.5, *б*), ніж тіло Гука.

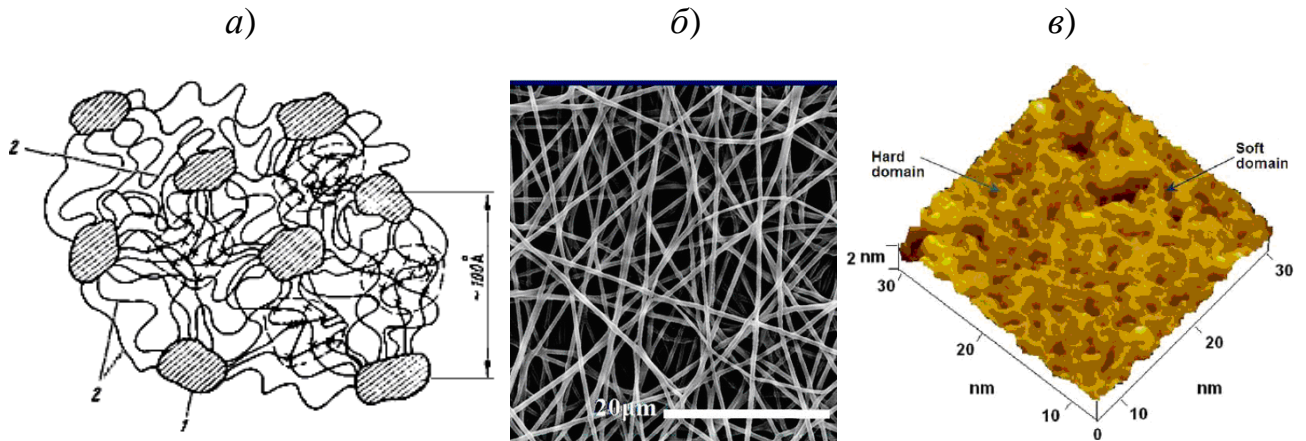


Рис. 3.6. Уретановий полімер: *a* – модель мікродоменної структури поліуретану за В.С. Іпатовим [114]: 1 – вихідні жорстколанцюгові домени, 2 – гнучколанцюгова матриця; *б* – м'яка тонковолоконна фаза, скануючий електронний мікроскоп [115]; *в* – тримірне зображення термополіуретану, отримане за допомогою атомного силового мікроскопу [116]

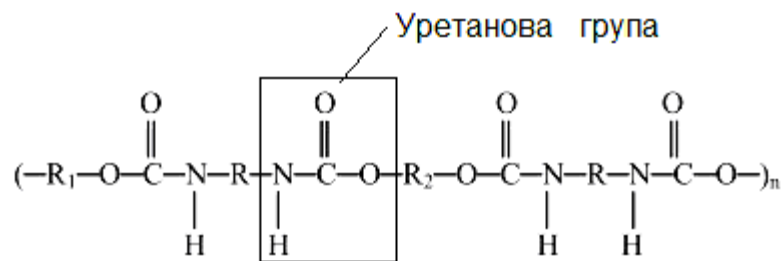


Рис. 3.7. Структурна формула поліуретану

Під час стискання структурного елемента (рис. 3.8, *a, б*) його поверхневі паралельно орієнтовані диполі $C=O$ разом із атомами всередині елемента за рахунок електростатичного латерального відштовхування забезпечують його пружні властивості під час стиску. Ці властивості можуть бути змодельовані простими реологічними тілами Гука (рис. 3.9, *a*). Після зняття навантаження електростатичні латеральні сили відштовхування сприяють швидкому поверненню структурного елемента у вихідний стан.

По мірі розтягу структурного елемента (рис. 3.8, *в*) латеральне відштовхування між його диполями $C=O$ слабшає. Тому під час розтягу структурного елемента його деформування відбувається також як для пружної деформації, проте опір їй менший за величиною, ніж для стиску (рис. 3.8, *б*).

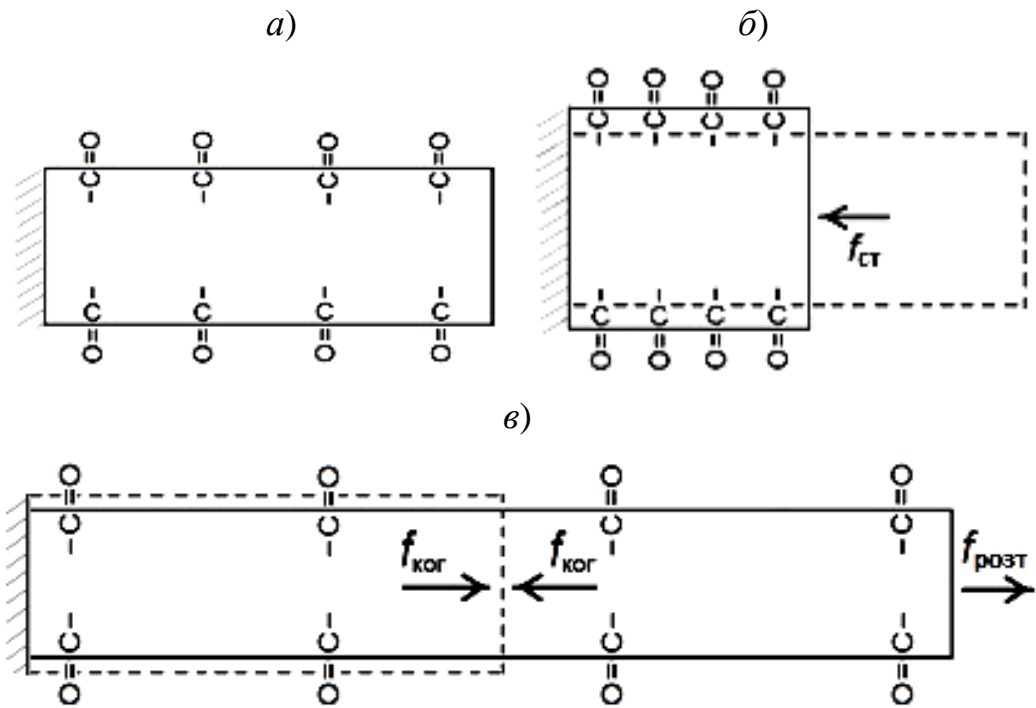


Рис. 3.8. Схема деформування структурного елемента поліуретану (волокна, глобули): *a* – вихідний стан; *б* – стиск; *в* – розтяг; $f_{ст}$ – стискаюча сила; $f_{розт}$ – розтягувальна сила; $f_{ког}$ – сили когезії

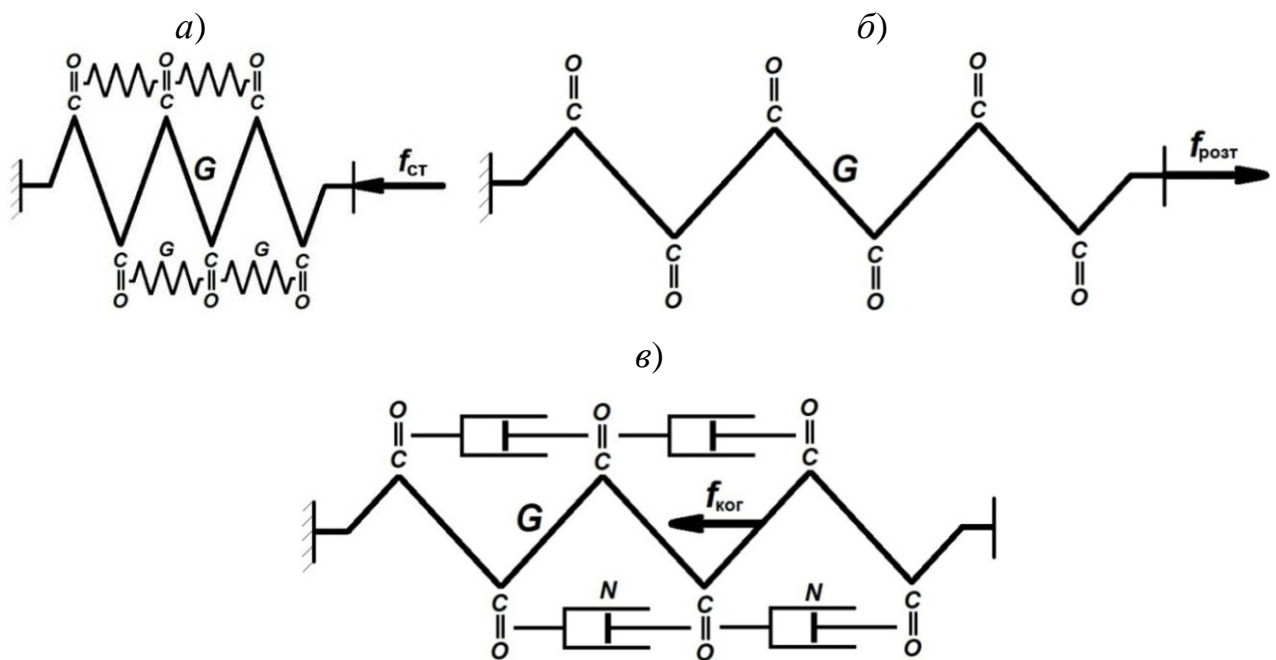


Рис. 3.9. Реологічні моделі деформування структурного елемента поліуретану (глобули, волокна): *a* – стиск; *б* – розтяг; *в* – зворотна деформація після зняття розтягувального навантаження; G – реологічне тіло Гука; N – реологічне тіло Ньютона; $f_{ст}$ – стискаюча сила; $f_{розт}$ – розтягувальна сила; $f_{ког}$ – сили когезії

Після зняття навантаження структурний елемент під дією когезійних сил намагається повернутись у вихідний стан, проте по мірі цього латеральне відштовхування між диполями $C=O$ збільшується і повернення у вихідний стан уповільнюється. Це може бути змодельоване сполученням простих реологічних тіл Гука і Ньютона (рис. 3.9, *в*). В сукупності це відповідає деформації під час стиску та розтягу структурного елементу, близької до пружної, і деформації пружної післядії під час повернення у вихідний стан після розтягу, що й обумовлює більшу еластичність і здатність до поглинання вібрації у поліуретану у порівнянні з гумою.

Таким чином, встановлено, що високій здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє латеральне електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а підвищення віброізоляційних властивостей конструкцій трамвайної колії може досягатись за рахунок виготовлення підрейкових прокладок, ізолюючих втулок, дюбелів, заливних мастик із поліуретанів різної жорсткості, що мають високу вібропоглинальну здатність.

3.2 Розвиток теоретичних уявлень про механізм електричних впливів на конструкції трамвайних колій і захисту від них

Електричні впливи на конструкції трамвайної колії за [29 – 34, 89, 92] – це впливи безпосередньо струмів витоку та блукаючих струмів і впливи від надлишкових електричних зарядів. Струми витоку з трамвайних колій обумовлені особливостями улаштування контактної мережі та стікають з рейкової колії через підрейкові основи у ґрунт, спричиняючи електрокорозію розташованих неподалік металевих і залізобетонних конструкцій і трубопроводів, а також електрокорозійне вилуговування бетону.

Особливості конструкції трамвайних колій та їх виконання із матеріалів, що фактично є дисперсними системами з водним дисперсійним середовищем, обумовлює можливість накопичення в них надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження, яке полягає у макрополяризації

елементів колії (залізобетонних підрейкових основ, ґрунтових основ тощо) по товщині, а у найбільшому ступені – по її довжині.

Згідно [29 – 34, 89, 92] надлишкові електричні заряди антропогенного походження утворюються від струмів витоку та блукаючих струмів, носієм яких у бетоні та ґрунті є переважно катіони, від винесення штучно створеними водотоками із бетону і ґрунту катіонів у водотоки тощо. Надлишкові електричні заряди природного походження згідно [29 – 34, 89, 92] утворюються від електричного поля Землі, від винесення атмосферними і ґрунтовими водами із бетону і ґрунту катіонів у природні водотоки (згідно схемі кругообігу води в природі) тощо.

3.2.1 Контактна мережа трамвайних ліній як джерело струмів витоку, електричних потенціалів і надлишкових електричних зарядів та електрокорозії

Як відомо, трамвайна мережа пострадянських країн живиться постійним струмом з напруженням 600 В. Згідно [117] електропостачання трамваїв буває двох типів: централізоване і децентралізоване. У разі централізованого електропостачання одна потужна підстанція виробляє живлення прилеглої до неї великої контактної мережі, розбитої на ділянки, розташовані на різній відстані від підстанції. У разі децентралізованого електропостачання кожна ділянка мережі живиться від двох або однієї підстанцій невеликої потужності. На лінії біля підстанції розташовується ізолятор, який розділяє її на дві ділянки. Це більш надійний спосіб, тому що у разі виходу підстанції з ладу залишається можливість живлення аварійної ділянки від сусідньої.

На рис. 3.10 наведена схема електропостачання трамвая (і тролейбуса). Для живлення контактної мережі електрика зазнає ряд перетворень: на електростанції (1) виробляється електроенергія і передається на підстанцію (2), яка підвищує напругу і передає змінний електричний струм високовольтними лініями електропередачі ЛЕП (3) на велику відстань. У місті знижуюча підстанція (4) знижує напруження до 6 або 10 кВ. Кабельними лініями (5) струм

з такою напругою надходить на тягові підстанції (6), в яких відбувається перетворення змінного струму в постійний з напругою 600 В. Від тягових підстанцій живиться контактна мережа міського електричного транспорту (8, 9) [118].

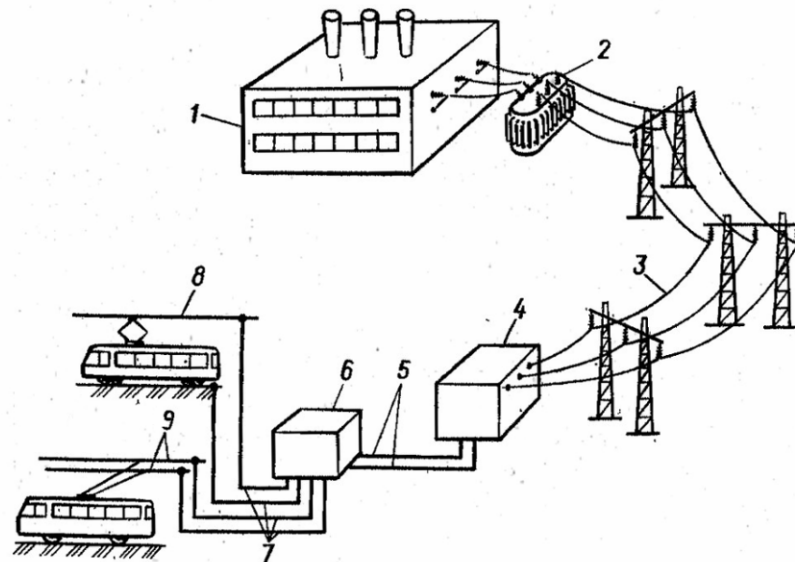


Рис. 3.10. Схема електропостачання міського електричного транспорту

Для трамваїв використовується повітряна контактна мережа в один провід. У схемі живлення контактний провід з'єднується зазвичай з плюсом (+) джерела постійного струму, а мінус (-) з'єднується з рейками, які виконують роль зворотного проводу (рис. 3.11) [118]. У місці знаходження трамвая на рейки передається постійний потенціал. При цьому з трамвайної колії у ґрунт стікають струми витоку, що обумовлено невисокою електроізоляцією колії від землі і порушеннями контактів в стиках. Струми, які натікають на підземні споруди (наприклад, трубопроводи, що тягнуться на значні відстані від трамвайної колії) і проходять ними, є блукаючими струмами.

Струми витоку є небезпечними, за [118] викликають електрокорозію рейок, металевих деталей скріплень, розташованих біля колій конструкцій і споруд, у зв'язку з чим мають вживатись заходи щодо їх обмеження.

Разом з тим потенціал на рейках і струми витоку призводять до поляризації ґрунту уздовж трамвайної колії і поруч розташованих будівель і споруд, створюють в них небезпечні зони надлишкового негативного заряду.

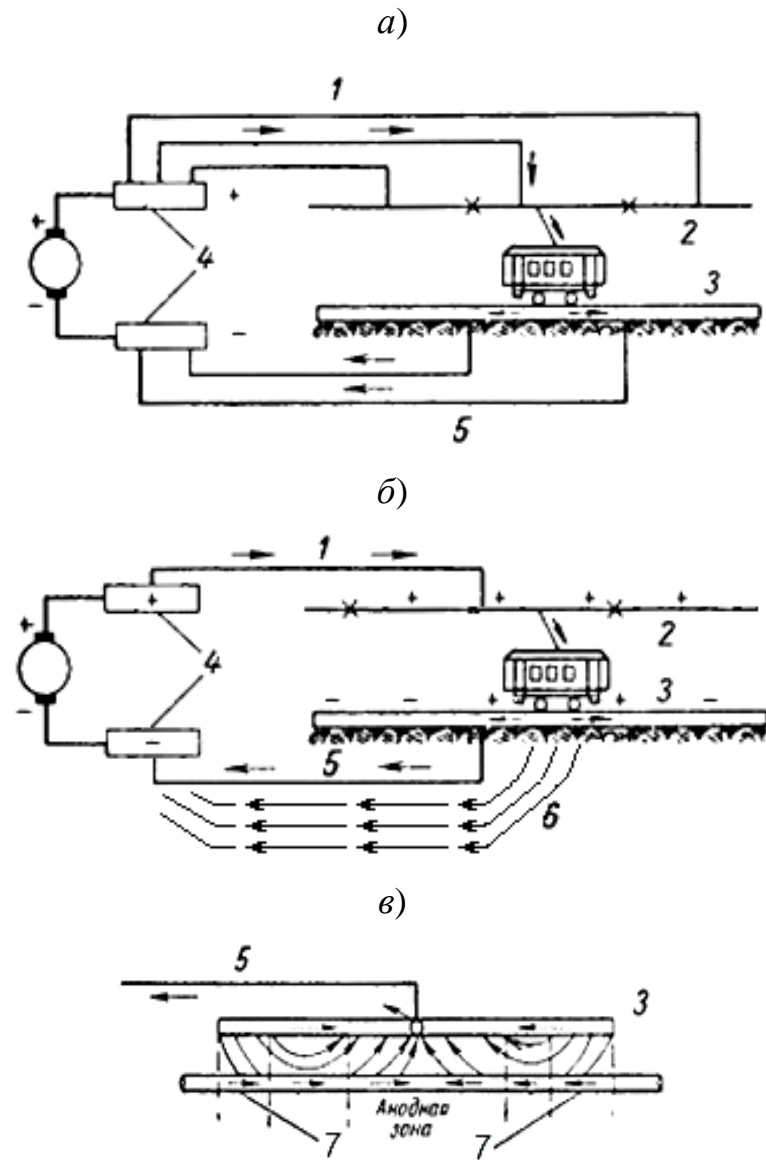


Рис. 3.11. Схема живлення трамваю (а), стікання у ґрунт струмів витоку (б) і натікання на підземні трубопроводи блукаючих струмів: 1 – живлячі лінії; 2 – контактний провід; 3 – рейка; 4 – шини; 5 – відсмоктувальна лінія; 6 – струми витоку; 7 – катодна зона трубопроводу, на яку натікають блукаючі струми (електрокорозії піддається анодна зона)

Вимірювання потенціалів на рейках трамвайної колії, як і залізничної, показують досить високі потенціали – десятки вольт. Однак виміряні потенціали на віддалених на кілька десятків метрів поверхні ґрунту і конструкціях будівель і споруд значно менші – частки і одиниці В. Створюється враження, що потенціал рейок, струми витоку і надлишкові заряди слабо розповсюджуються в ґрунтах і конструкціях, у зв'язку з чим вони

не є небезпечними, крім корозії металевих конструкцій колії і споруд на ньому. Припустимо, що така невисока величина потенціалу є виміряною, а не реально існуючою всередині конструкцій та ґрунту.

З урахуванням [32] дано обґрунтування цієї реальної величини потенціалу. Виміряна величина $E_{\text{ВИМ}}$, або напруженість електричного поля від заряду в середовищі, є різницею зовнішнього потенціалу E_0 та потенціалу поляризації $E_{\text{ПОЛ}}$ ґрунту (конструкції тощо):

$$E_{\text{ВИМ}} = E_0 - E_{\text{ПОЛ}}, \text{ В/м.} \quad (3.1)$$

Відносна діелектрична проникність, що є зменшенням сили взаємодії між зарядами в середовищі у порівнянні з вакуумом:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_0 - E_{\text{ПОЛ}}}, \quad (3.2)$$

$$\varepsilon \cdot E_0 - \varepsilon \cdot E_{\text{ПОЛ}} = E_0, \quad (3.3)$$

$$E_0 = \varepsilon \cdot (E_0 - E_{\text{ПОЛ}}). \quad (3.4)$$

Отже, електричне поле в межах зони поляризації під впливом електричного поля, створеного надлишковим зарядом, так само є виміряною величиною, помноженою на діелектричну проникність води та її частку в ґрунті. У зв'язку з цим виміряні величини електричних потенціалів (і напруженості) у верхньому шарі ґрунту, у водоймах або повітрі над землею в дійсності більші в кілька десятків до ста разів. Зокрема, зазвичай вимірювані величини напруги близько 1 В насправді близькі 100 В, і поле від цієї напруги відповідає надлишковому заряду і навпаки.

Надлишковий негативний заряд, відповідний зміряному потенціалу 0,67 В (на свердловині), або реальному близько 67 В, міститься в об'ємі 1 м^3 , тобто об'ємна густина надлишкового заряду 67 Кл/м^3 , а поверхневий надлишковий заряд (для площі 1 м^2 на висоті 1 м, за визначенням напруженості поля Землі) – $67 \text{ Кл/м}^3 \times 1 \text{ м} = 67 \text{ Кл/м}^2$.

3.2.2 Спільний вплив постійного (з трамвайної колії) і перемінного (з високовольтної ЛЕП) струму витоку на накопичення надлишкових електричних зарядів і пошкодження конструкцій

Виконано аналіз причин руйнування облицювання набережної р. Харків у м. Харкові, відремонтованої у 2012 – 13 рр. Особливістю умов експлуатації конструкцій набережної є можливий спільний вплив постійних (від трамвая) і перемінних (від високовольтної ЛЕП) струмів витоку, блукаючих струмів, електричних полів та потенціалів (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Трамвайні колії та опора високовольтної ЛЕП на колишній зупинці трамваю «Міст Чигирина»

У [31, 91] зроблено висновки, що пошкодженню облицювання з вивалом гранітних каменів сприяли перемінні струми витоку з опор високовольтної ЛЕП. Проте поза увагою [31, 91] залишився можливий вплив постійних струмів витоку, електричних потенціалів та надлишкових зарядів, а також вібрації від трамвайної колії. На рис. 3.13 наведено пошкоджені ділянки конструкцій набережної. Як видно, місця руйнування облицювання знаходились біля опор ЛЕП, у зв'язку з чим і був зроблений раніше висновок про їхню причетність до руйнувань.

Очевидно, що струм витоку від рейок трамвайної колії тривалий час переносив позитивний заряд (в основному катіони Na^+ по капілярах ґрунту) і Ca^{2+} (по капілярах розчину облицювання), які виносились у водотік.

а)



б)



в)



Рис. 3.13. Пошкодження облицювання набережної правого берегу р. Харків: а – біля Харківського мосту (облицювання розібране перед ремонтом); б – біля мосту Чигирина; в – там же, збільшене зображення

Перенесення катіонів Ca^{2+} у водотік в кінцевому випадку призвело до накопичення у розчині облицювання надлишкового негативного заряду, а у воді біля облицювання – позитивного (рис. 3.14). Після досягнення надлишковим негативним зарядом певної величини у розчині та у зазорі між ним та каменями облицювання виникла відштовхуюча сила, що сприяла розшаруванню розчину, відшаруванню від нього та випадіння каменів із облицювання.

Після ремонту облицювання у 2012 – 2013 рр. помітно інтенсифікувалось пошкодження облицювання набережної на протилежному лівому берегу ріки Харків на ділянці довжиною близько 55 м (рис. 3.15).

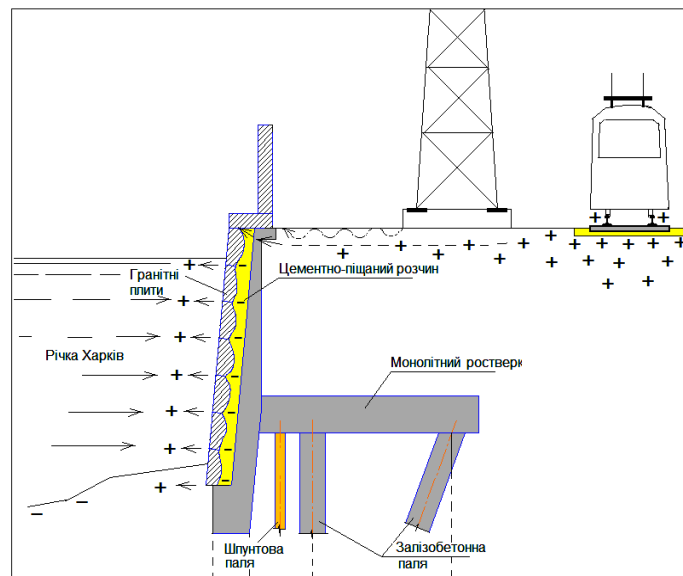


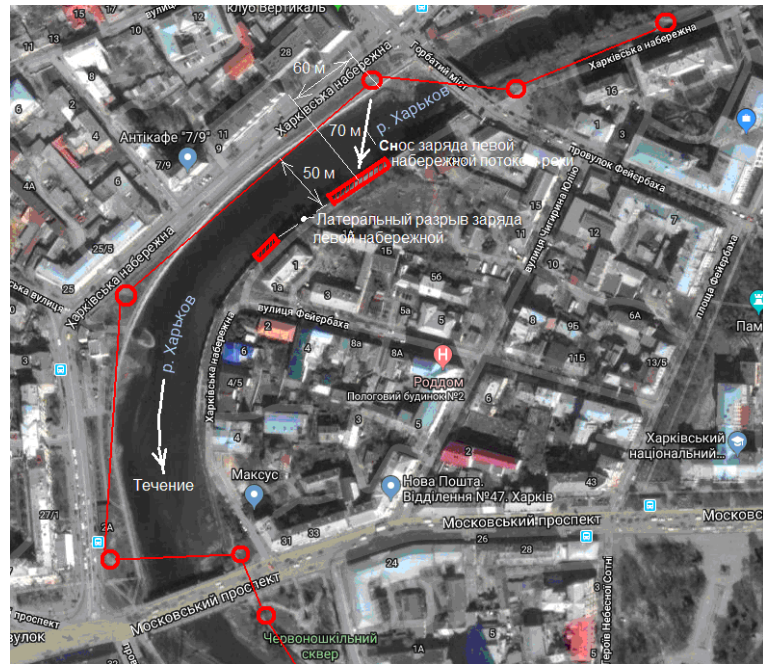
Рис. 3.14. Конструкція облицювання набережної і розподіл надлишкових зарядів, обумовлених струмами витoku з рейок трамвайної колії та з опори ЛЕП

Таким пошкодженням сприяло, як і на правому березі, накопичення надлишкового негативного заряду в цементно-піщаному розчині облицювальних плит (рис. 3.16, *з*). Горизонтальні довгі шви на рис. 3.15, *в* – результат вилугування цементно-піщаного розчину електрофорезом. Праворуч на рис. 3.15, *в* видно і руйнування розчину під плитами, оголення іржавої арматури.

Це свідчить про те, що причиною руйнування облицювання лівого берега є поляризація води ріки з утворенням надлишкового позитивного заряду у облицювання правого берега і негативного – у лівого. При цьому зону негативного заряду знесло течією води ріки ще у часи трамвайного руху (рис. 3.16, *б*). Це обумовило поступове вилугування розчину під облицюванням на лівій стороні, сильне зниження його міцності і придбання розчином великого надлишкового негативного заряду (рис. 3.16, *в, з*).

Виконаємо розрахунок довжини перенесення надлишкового негативного заряду у облицюванні лівого берега ріки. Зсув надлишкового негативного заряду здійснювався потоком води ріки, при цьому негативний заряд вздовж лівого берега рухався за течією, а макродиполь розтягувався.

а)



б)



в)



Рис. 3.15. Пошкодження облицювання набережної лівого берегу р. Харків:
 а – розташування місць пошкоджень; б, в – випадіння каменів облицювання

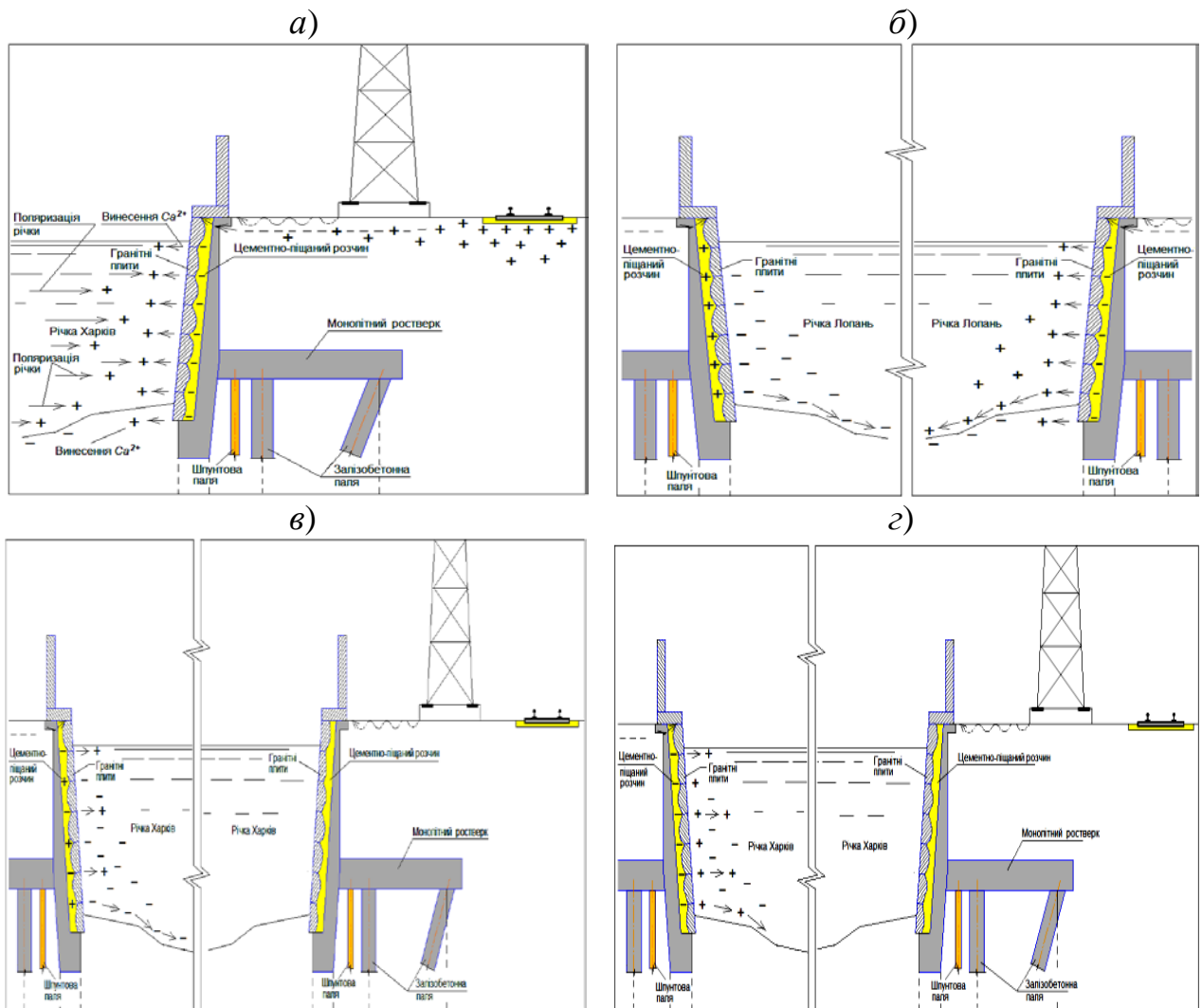


Рис. 3.16. Схема впливу струмів витoku механізму процесу руйнування облицювання на лівому березі після закриття трамвайної лінії: *a* – залишкова поляризація набережної правого берега; *б* – поляризація водоймища; *в* – початок вилугування розчину з облицювання набережної лівого берега; *г* – вилугування розчину з облицювання лівої набережної перед її руйнуванням

Сила, що перешкоджала розтягуванню макродиполя:

$$f_{\text{ПР}} = \frac{\Delta E \cdot \Delta Q}{\sin(45^\circ)}, \quad (3.5)$$

Надлишковий негативний заряд у лівому облицюванні рухається течією ріки, розтягуючи макродиполь відповідно до рівняння стаціонарного потоку:

$$f_{\text{ДВ}} + f_{\text{ТР}} = 0, \quad (3.6)$$

відповідно,

$$f_{ДВ} = -f_{ПР}, \quad (3.7)$$

або:

$$f_{ТР} = \eta_B \cdot 1 \cdot L \frac{V}{\delta} \cdot \sin(45^\circ), \quad (3.8)$$

де: η_B – в'язкість води ($0,001 \text{ Н с/м}^2$); 1 – ширина потоку надлишкового заряду в обсязі 1 м^3 (за визначенням напруженості електричного поля Землі); V – середня швидкість течії річки, м; δ – відстань між рухомими шарами води з надлишковими зарядами, м; 45° – граничний кут нахилу макродиполя.

Рівняння рівності сил, при якому зупиниться потік надлишкового негативного заряду у лівій набережній:

$$\eta_B \cdot 1 \cdot L \frac{V}{\delta} = \frac{E \cdot Q}{\sin 45^\circ} \quad (3.9)$$

З цього рівняння рівноважна довжина між зарядами макродиполя:

$$L = \frac{E \cdot Q \cdot \delta}{\eta_B \cdot V \cdot \sin 45^\circ} \quad (\text{м}) \quad (3.10)$$

Прийmemo $\Delta E = 100 \text{ В/м} = 100 \text{ Кл/м}^2$. Відповідно, δ визначається з рівняння:

$$n = \frac{\Delta Q}{e} \left(\frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} \right) = \frac{100}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} = 3,1 \cdot 10^{18}, \quad (3.11)$$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{1}{3,1 \cdot 10^{18}}} = 0,32 \cdot 10^{-18} = 0,69 \cdot 10^{-6} (\text{м}) = 0,69 (\text{мкм}),$$

Підставимо в (3.10) $\Delta E = 100 \text{ В/м}$, $\Delta Q = 100 \text{ Кл/м}^2$, $V = 0,2 \text{ м/с}$ (за даними для ріки Харків) та інші величини:

$$L = \frac{100 \cdot 100 \cdot 0,69 \cdot 10^{-6}}{0,001 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 0,71} \left(\frac{\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{м}} \cdot \text{м} = \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м} \right) =$$

$$= \frac{6900 \cdot 10^{-6}}{10^{-4} \cdot 1,42} = 49 (\text{м})$$

що близько до дійсного зміщення надлишкового негативного заряду на лівому облицюванні 70 м (рис. 3.15). Очевидно, величина надлишкового

негативного заряду була трохи більша, наприклад, $120 \text{ (Кл/м}^3\text{)} = 120 \text{ (В/м)}$), загальна напруженість електричного поля ($E = -130 + (-)120 = -250 \text{ В/м}$). При цьому L стає 70 м.

Виконаний розрахунок підтвердив реальність описаного механізму руйнування облицювань річки Харків від струмів витоку з рейок трамвайної лінії і опори ЛЕП, а також реальність виникнення надлишкового негативного заряду, що породжується цим струмом.

Раніше надлишок катіонів у правій набережній перешкоджав винесенню катіонів з лівої набережної. Тепер, зі зняттям трамвая, ця перешкода зникла, почався винос катіонів з-під облицювання лівої набережної, розчин під кам'яними плитами і в швах між ними вилужився, в ньому накопичився надлишковий негативний заряд, який витиснув плити раптово, як тільки сила витиснення перевищила когезію розчину.

Зруйновані ділянки облицювання якраз перебували під зупинками трамваю міст Чигирин і Харківський міст. Разом з тим уздовж річки на протилежному боці облицювання було пошкоджено лише незначно. Отже, руйнування облицювання сталося під спільною дією змінного струму витоку з опори ЛЕП 110 кВ і постійного струму витоку з рейок трамвайної лінії. Постійний струм витоку з рейок трамвайної лінії створював циклічно надлишковий негативний заряд в ґрунті набережної, а також в розчині і бетоні облицювання. Змінний струм витоку з ЛЕП поступово призводив до розчинення портландиту і еtringіту цементного каменю, створював таким шляхом надлишковий негативний заряд, розріджував ґрунт і викликав утворення тріщин в облицюванні. Постійний потенціал на рейках і надлишковий негативний заряд на дні ріки, що утворюється, як відомо, через вимивання з його пор і капілярів катіонів Na^+ потоком води, викликав направлений макроелектроосмос і макроелектрофорез частинок через шви облицювання в річку.

Таким чином, показано, що спільна дія змінних і постійних струмів витоку в реальних умовах експлуатації обводнених конструкцій набагато інтенсивніше

руйнує ці конструкції. Ймовірно, нове облицювання буде служити набагато довше, ніж старе, тому що з набережної прибрано трамвайну колію.

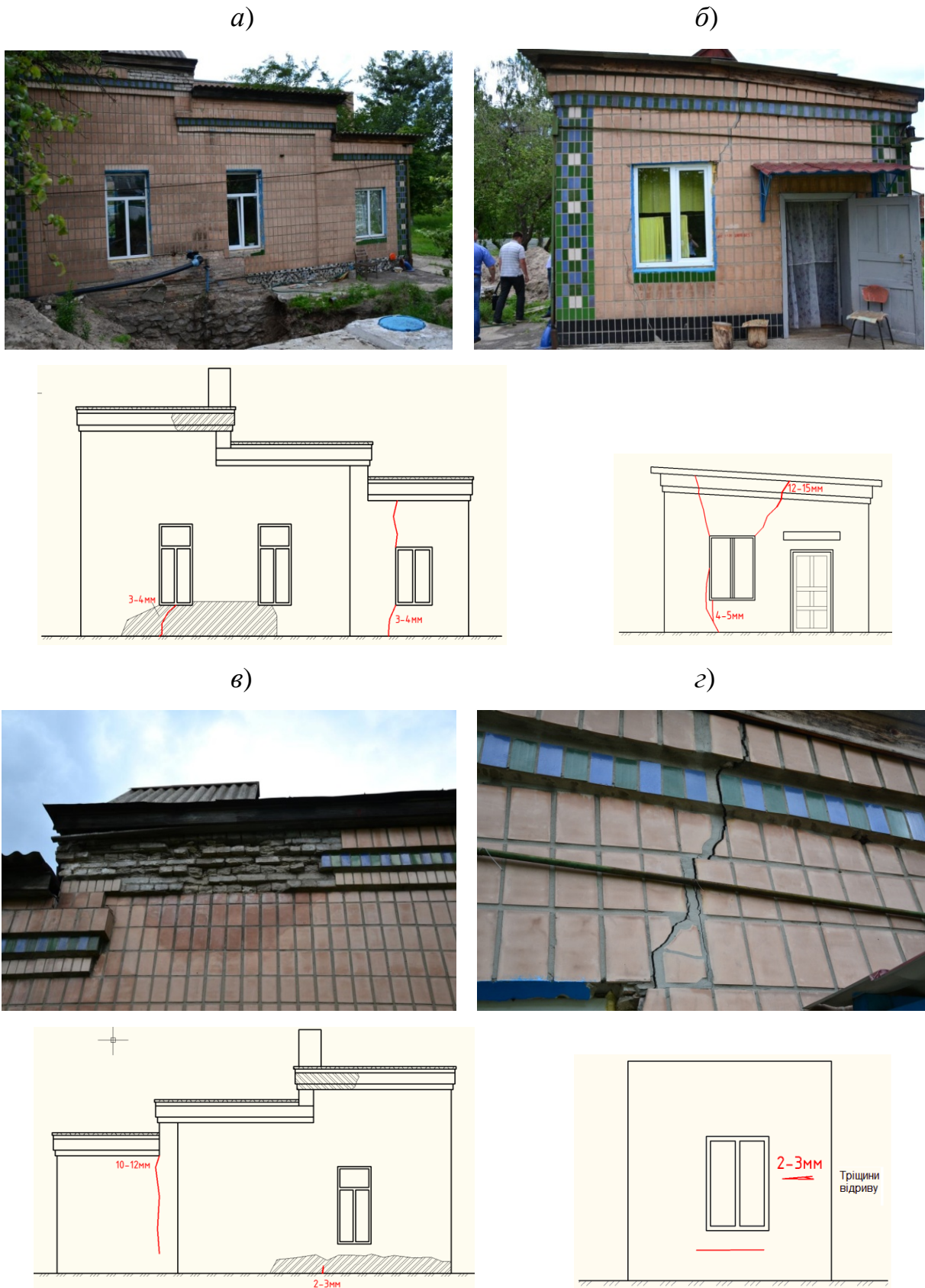
3.2.3 Вплив водозабірних свердловин на електричні потенціали і надлишкові електричні заряди на поверхні землі

Залізниця мають розвинену інфраструктуру водопостачання, створену ще за часів паровозної тяги. За спостереженнями працівників залізниць в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них, пошкодження, зокрема, тріщини в будинках, розвиваються швидше, ніж зазвичай [8].

Фактором, що прискорює пошкодження, є надлишкові негативні заряди і потенціали, що виникають від функціонування водозабірних свердловин (рис. 3.17). Не виключена також можливість впливу на пошкодження, наведені на рис. 3.17, постійних струмів витоку з електрифікованих залізничних колій, розташованих неподалік.

Виконано дослідження закономірностей поширення електричних потенціалів (і зарядів) навколо водозабірної свердловини з пошкодженою будівлею на ст. Основа Південної залізниці, м. Харків [8, 13]. Глибина свердловини – 766 м, дебіт – 984 м³/добу. Найближча залізнична колія, електрифікована постійним струмом, розташована на відстані 100 м від свердловини. Фотознімки фасадів і карти пошкоджень наведені на рис. 3.17. Як видно, основними пошкодженнями є тріщини в стінах і поверхневе руйнування облицювання та кладки стін.

Виміряні величини електричних потенціалів наведені на рис. 3.18. Вони складають: на поверхні цоколя будівлі $+(0,55 - 0,67)$ В, на поверхні землі на відстані 29 – 62 м від свердловини $-(0,39 - 0,4)$ В.



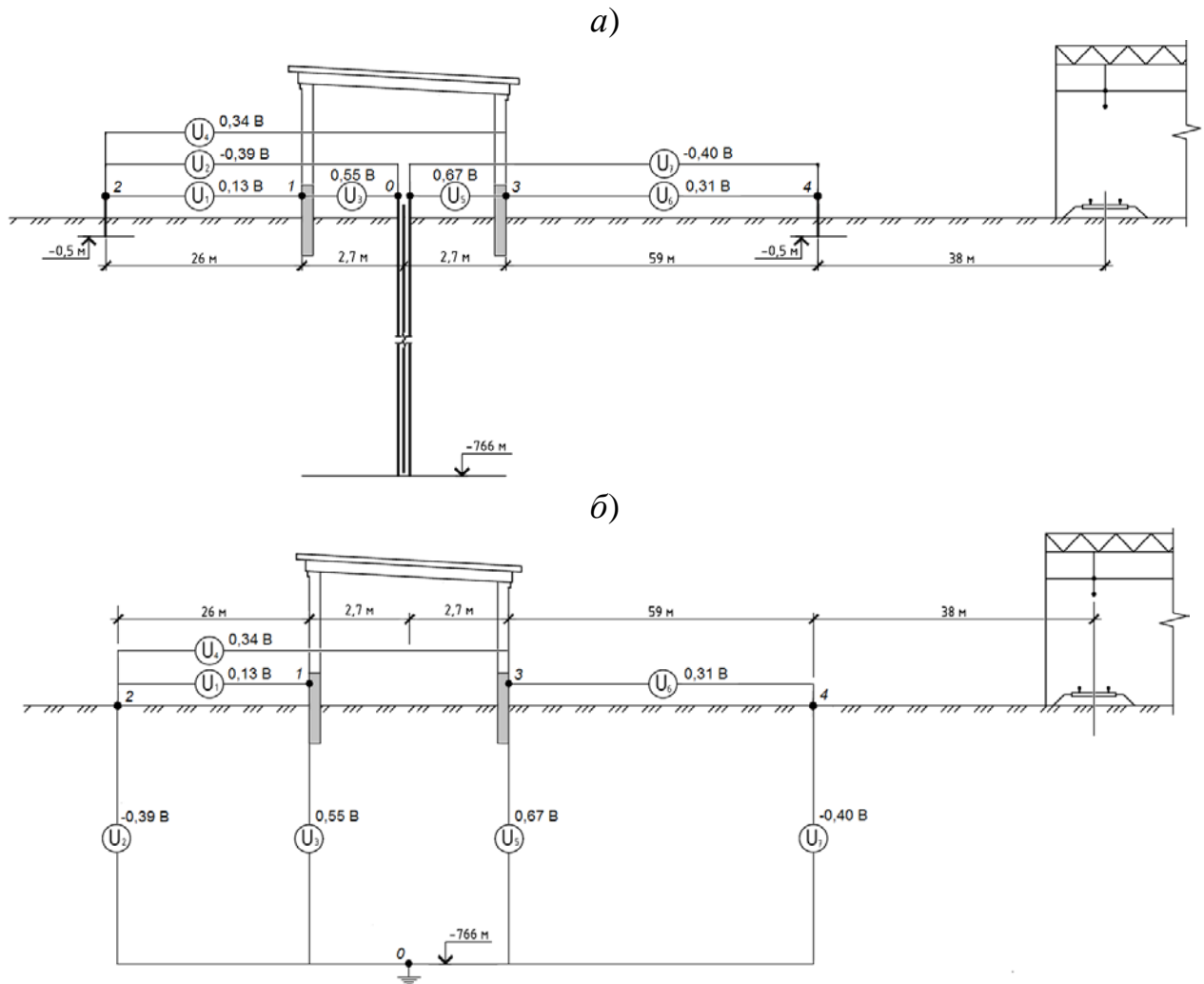


Рис. 3.18 Схема і результати вимірювання електричних потенціалів навколо водозабірної свердловини: а – фактична; б – приведена

Вплив на величину потенціалів від проходження залізничного рухомого складу з електричною тягою, а також включення і відключення насосу не виявлено. Виявлені електричні потенціали у верхніх шарах ґрунту, що змінюються від позитивних величин $+(0,55 - 0,67)$ В біля свердловини до негативних $-(0,39 - 0,4)$ В.

Механізм виникнення цих потенціалів і, відповідно, надлишкових електричних зарядів обумовлений тим, що під час забору води у водонасиченому ґрунті, що оточує свердловину, виникає макропотенціал течії [13]. Під його дією з ґрунту вимиваються протиіони (ПРІ) подвійних електричних шарів (ПЕШ) його частинок – катіони, головним чином Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , які далі виносяться відкачуваною водою.

У частинок ґрунту залишається надлишковий негативний заряд, обумовлений їх потенціалвизначальними іонами (ПВІ) OH^- , а верхні шари ґрунту, що оточують свердловину, набувають надлишковий негативний заряд, зона якого згодом розширюється. Під впливом цих потенціалів поляризувались фундаменти і стіни будівлі позитивним полюсом в фундаментах і нижній частині стін, і негативним – у верхній.

Надлишковий негативний заряд передбачає набухання ґрунту в основі будівлі насосної станції. Це призводило до значних неоднорідних деформацій основи та фундаменту і, відповідно, утворення тріщин в стінах. Характер спостережуваних тріщин (розширюються до верху), рис. 3.17, підтверджує набухання ґрунтів посередині довжини фундаментів.

Згідно рис. 3.18 верхня частина фундаментів має позитивний потенціал щодо ґрунту на глибині. Він призводить до виносу катіонів Ca^{2+} з бетону, розчину кладки стін і фундаментів в ґрунт, їх стіканню з верхньої частини стін вниз (рис. 3.19) і виникнення різниці потенціалів між верхньою і нижньою частиною стін.

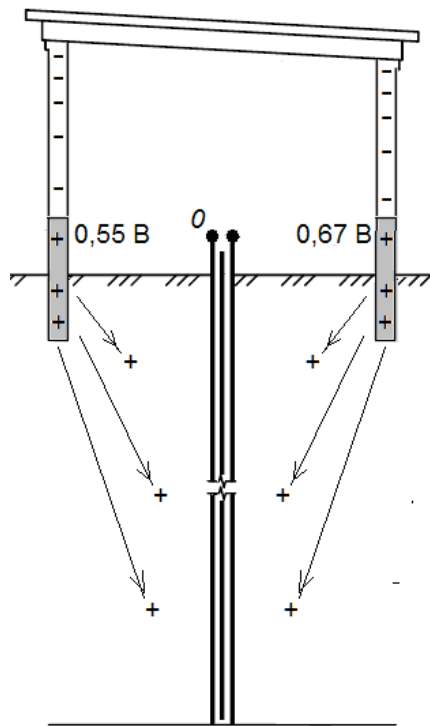


Рис. 3.19. Схема виносу катіонів Ca^{2+} з фундаментів і стін будівлі

Це, у свою чергу, обумовлює макроелектроосмос води до верху стін і їх зволоження. При зміні погоди від дощової до спекотної це призводить до поперемінного зволоження і висушування облицювання, кладки і їх спостереженого пошкодження (рис. 3.17, в).

Для запобігання таких пошкоджень в будівлях слід виконувати якісну горизонтальну гідроізоляцію не тільки на рівні верху цоколя, але і на рівні вимощення. Рекомендується досліджувати можливість шунтування обсадних труб і конструкцій будівель.

Таким чином, дослідженням встановлено, що експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення макропотенціалу течії, макроелектрокінетичного потенціалу і виносу з ґрунту катіонів. Ці заряди і потенціали можуть спричиняти нерівномірні деформації основ і фундаментів, тріщини і пошкодження в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них.

3.2.4 Надлишкові електричні заряди природного походження

Надлишкові електричні заряди природного походження утворюються від електричного поля Землі. За рахунок різниці температур між ядром (максимальна 6000°C) і денною поверхнею (середня 14°C) із ядра (радіус 3500 км, склад 85,5% Fe) [119] крізь мантію відбувається термодифузія електронів до підшови земної кори, де їх подальша взаємодія з вільною водою призводить до утворення гідроксильних іонів (рис. 3.20). Іони OH^- далі дифундують до денної поверхні (радіус Землі 6371 км), накопичуючись і обумовлюючи її негативний заряд. Експериментально визначувана природна напруженість електричного поля біля поверхні Землі в середньому складає близько -130 В/м [120] (за іншими джерелами -150 В/м [121]), проте в різних місцевостях може коливатись від -1000 до $+200 \text{ В/м}$, що і є проявом надлишкових електричних зарядів.

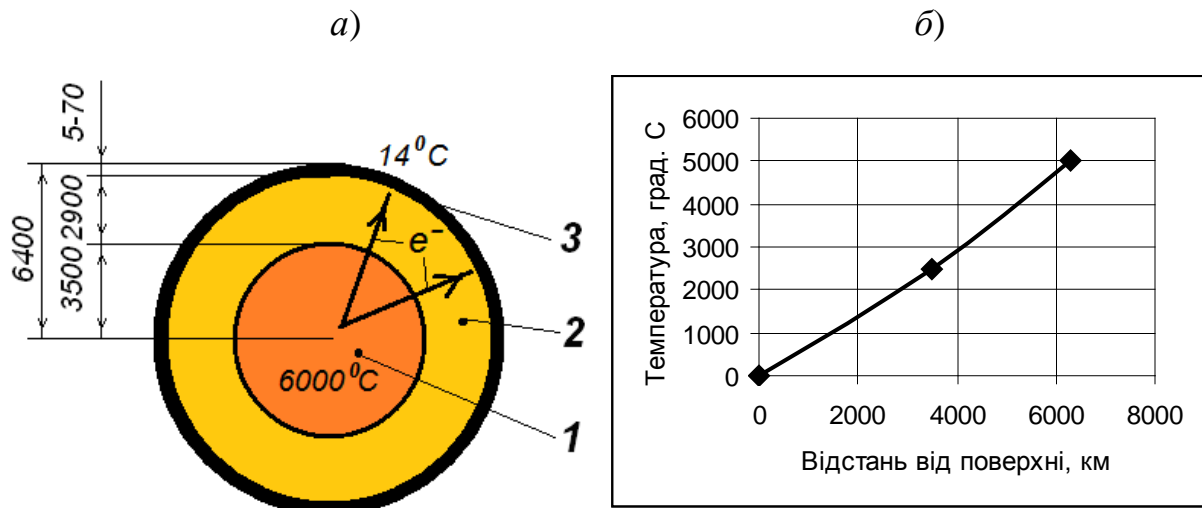


Рис. 3.20. Схема утворення електричного поля Землі (а)
і розподіл температури по глибині Землі (б)

Поверхня Землі має дуже великий негативний електричний заряд близько $0,57 \times 10^5$ Кл. Відповідний йому позитивний заряд міститься й в іоносфері, в шарі товщиною кілька десятків кілометрів. Різниця потенціалів між поверхнею Землі та іоносферою становить 200 – 250 кВ.

За [122] електричне поле Землі не схоже на поле зарядженої кулі, а скоріше нагадує поле в сферичному конденсаторі. Принцип вимірювання напруженості цього електричного поля відображають прості схеми, зображені на рис. 3.21. У схемі рис. 3.21, а використані дві металеві пластини. Нижня пластина площею S розташована на невеликій відстані від поверхні Землі і заземлена через гальванометр. Верхня пластина з'єднана із Землею і може обертатися навколо вертикальної осі. Спочатку верхня пластина займає положення I. Потім її повертають, і вона повністю закриває нижню пластину, положення II. За час повороту через гальванометр проходить заряд Q .

У початковому положенні I поле над нижньою пластиною рівно полю Землі E_3 . Отже, поверхнева щільність заряду на нижній пластині дорівнює

$$\sigma = \varepsilon_0 E_3 \quad (3.12)$$

а повний заряд пластини:

$$Q_{\text{пл}} = \sigma_{\text{пл}} S = \varepsilon_0 E_3 S \quad (3.13)$$

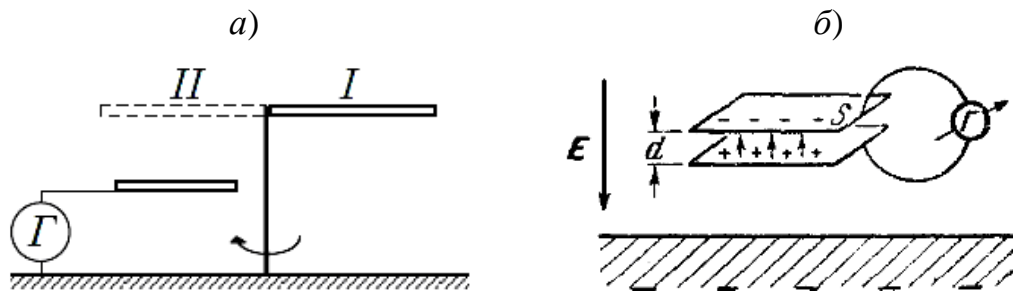


Рис. 3.21. Схеми приладів для вимірювання напруженості електричного поля Землі: *a* – за [123]; *б* – за [122]

При перекиванні нижньої пластини верхньою (положення II), через гальванометр потече заряд

$$Q = Q_{\text{пл}} = \epsilon_0 E_3 S, \quad (3.14)$$

відповідно до якого напруженість поля Землі визначиться виразом:

$$E_3 = Q / (\epsilon_0 S) \quad (3.15)$$

Для наочності виконаємо розрахунок. Прийmemo для цього $S = 1,2 \text{ м}^2$ і $Q = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ і підставимо їх у вираз (3.15):

$$E_3 = 2,1 \cdot 10^{-9} / (9,81 \cdot 10^{-12} \cdot 1,2 \text{ м}^2) = 0,21 \cdot 10^3 = 210 \text{ (Кл/м}^2\text{)},$$

що можна порівняти з вказаною вище експериментальною середньою напруженістю електричного поля Землі.

Вимірювання напруженості електричного поля у пострадянських країнах виконуються за допомогою приладу «Поле-2», розробленого ще у 1970-х рр. В інших розвинених країнах застосовують більш досконалі прилади EFS1001, CS110, EFM550 и EFM-100 [124].

Напруженість атмосферного електричного поля (АЕП) згідно [123] різна по сезонах року. Взимку напруженість становить в середньому -260 В/м , влітку -100 В/м . На зміну напруженості поля впливає погода (дощ, сніг, туман), атмосферний тиск. З появою туману електричне поле атмосфери збільшується у 2 – 5 разів. Особливо сильні зміни електричного поля атмосфери відбуваються під час грози, при цьому напруженість поля досягає значень від -2000 до $+1800 \text{ В/м}$ [123]. У середніх широтах напруженість електричного поля дещо

більша і зменшується в напрямку до полюса і екватора, а також у міру підняття вгору.

Численні спостереження показують, що опади всіх видів несуть електричні заряди, при цьому більші краплі несуть і більший заряд. Загальна сума позитивних зарядів в опадах виявляється більше суми негативних. Знак заряду залежить від тієї частини хмари, в якій утворилася крапля, при цьому знак може змінюватися при падінні краплі. Число позитивно заряджених крапель в середньому в 1,7 рази більше числа негативно заряджених крапель. Краплі, що знаходяться в електричному полі атмосфери, поляризовані, у верхній їх частині один знак заряду, а в нижній інший, рівний йому за абсолютною величиною. При зіткненні великих і дрібних крапель може відбуватися обмін зарядами, тому вони мають різні знаки зарядів. При падінні поляризована крапля також може захоплювати іони переважно одного знака.

Крім того в різних частинах хмари об'ємні заряди зазвичай мають різні знаки (рис. 3.22).

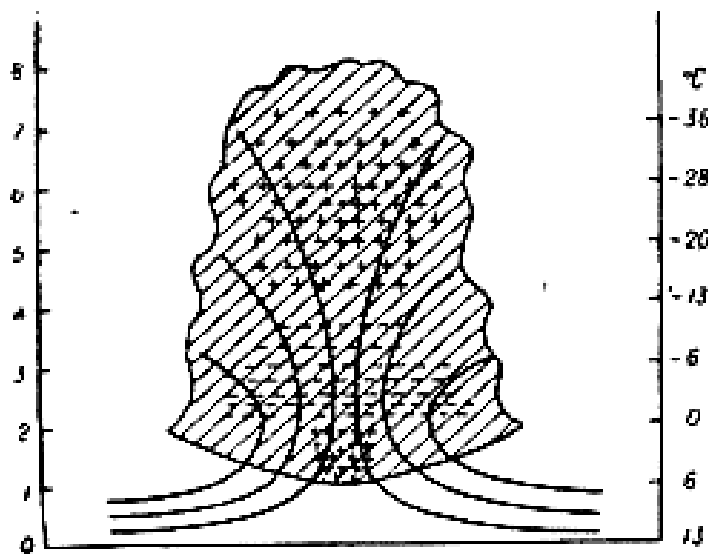


Рис. 3.22. Розподіл зарядів у хмарі [76].

У верхній частині грозової хмари вище ізотерми -10°C , де волога знаходиться у вигляді крижаних кристалів, відбувається електризація дрібних крижаних кристалів, вони набувають позитивний заряд. Більші кристали опускаються вниз, набуваючи в середній частині хмари негативний заряд. За

температури вище 0°C в нижній частині хмари вони тануть, під впливом висхідних струмів можуть руйнуватися і здобувати позитивний заряд.

Згідно з уявленнями про макроелектрокінетичні перенесення [125] змінення напруженості електричного поля Землі може виникати за рахунок виносу катіонів з ґрунтів суші водними потоками великих річок, хвиль морів і океанів з виникненням надлишкового позитивного макрозаряду на широкій смузі суші біля узбережжя і в воді і рівного йому негативного макрозаряду на суші далеко від узбережжя - поверхневий (вздовж поверхні земної кори).

Виникнення надлишкових електричних потенціалів і відповідних їм надлишкових зарядів може відбуватись також на границі лісу з містом або іншим населеним пунктом. Це обумовлено закриттям більшої частини території міста будинками, спорудами і дорогами, що різко зменшує випаровування води з поверхні землі кори в цьому місці, послаблює капілярне підняття води до поверхні, змінюючи умови протікання вертикального макроелектрокапілярного перенесення і створюючи електричне поле (макродиполь) між містом і оточуючим лісом.

Прикладом потужності впливу надлишкових макрозарядів є описані раніше катастрофічні явища – коливання залізобетонного Волгоградського моста, коливання і руйнування вантового Катомського моста у США тощо.

Реальність великих потенціалів (а тому і надлишкових зарядів) підтверджується вимірами величини напруженості атмосферного електричного поля в районі Калузької кільцевої структури [126]. У цій роботі виміряні величини напруженості атмосферного електричного поля в районі Калузької кільцевої структури за профілями I і II еманацийних і електричних досліджень. Результуючі графіки зміни напруженості АЕП представлені на рис. 3.23.

При цьому у [126] виявлені практично прямі залежності напруженості поля від наступних факторів:

– напруженість поля E зменшується до 0 в зоні знаходження вапняків і доломіту. Їх електроповерхневі потенціали, на відміну від інших ґрунтів, є позитивними, що і визначає падіння негативного АЕП до 0;

– максимальні значення напруженості поля (по 4 на кожному профілі) обумовлені розташуванням профілів в зоні кільцевих розломів. У цих зонах відбувається максимальний вихід носіїв позитивного заряду (катіонів) від ядра Землі до поверхні земної кори.

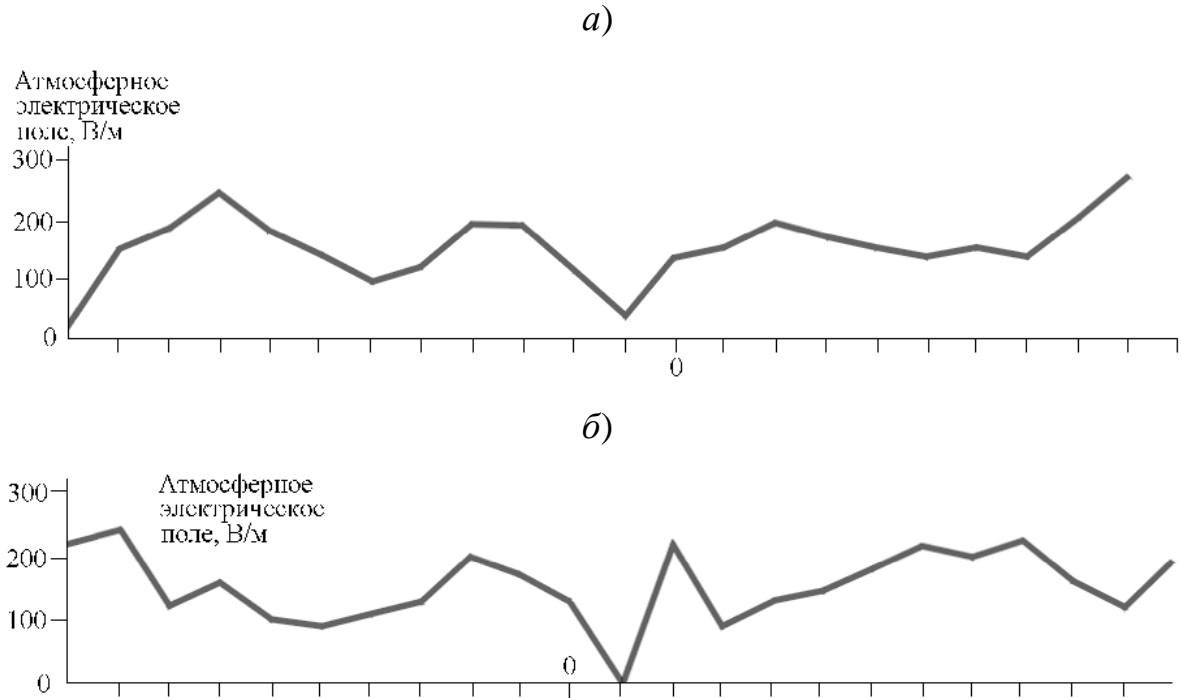


Рис. 3.23. Розподіл напруженості електричного поля на поверхні геологічного розрізу Калузької кільцевої структури: *а* – за профілем I–I; *б* – за профілем II–II [126]

Аналогічні (до 700 В/м) величини напруженості АЕП з високим ступенем повторюваності спостерігалися автором [127] на територіях підземних газосховищ (ПСГ) над штучними газовими родовищами поряд з водозабірними станціями, до 400, 900, 600 В/м, відповідно, вранці, вдень та увечері, при цьому фонова величина складала 90 – 110 В/м.

На рис. 3.24 представлені тимчасові варіації АЕП у гирла свердловини, у яку проводилось 30-хвилинне закачування 30 м³ води на глибину 50 м з утворенням гідророзриву. Приблизно на 20-й хвилині закачування спостерігався різкий спад АЕП з подальшою зміною його знаку до –150 В/м.

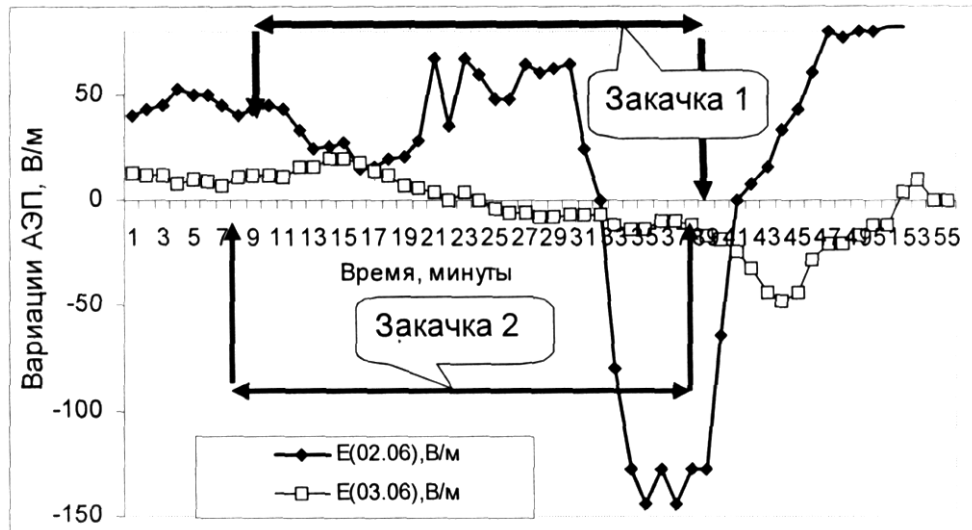


Рис. 3.24. Варіації АЕП у гирла нагнітальної свердловини в ході 1 і 2 циклів закачування 30 м^3 флюїду в ґрунт на глибину 50 м [127]

Це АЕП, за суттю, є локальним електричним полем, створеним надлишковими зарядами, що виникають під час буріння нагнітальної свердловини. Величина такого поля фіксувалася за допомогою флюксметра «Поле-2» [128].

Ще одним локальним джерелом виникнення надлишкових електричних потенціалів і відповідних їм надлишкових зарядів Землі є природне постійне електричне поле, що утворюється в земній корі, досліджуване геофізикою [129]. Це електричне поле утворюється внаслідок окисно-відновних (ОВ), фільтраційних і дифузійно-адсорбційних (ДА) процесів.

Електричне поле ОВ-походження виникає від розподілу зарядів у ході окислення речовини (тіла), в яке входять мінерали з електронною провідністю (сульфіди, графіт, вугілля-антрацит). Частина цих тіл, що розташована ближче до поверхні, окислюється (вихід електронів з кристалічної решітки, при цьому в тілі виникає надлишок позитивного заряду), а в нижній – відновлення (поглинання електронів) і виникнення негативного заряду.

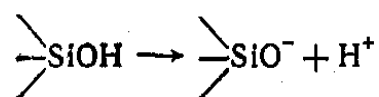
Дифузійно-адсорбційний потенціал виникає в нафтогазових та гідрогеологічних свердловинах за рахунок дифузії іонів електролітів з пластових вод у промивну рідину і навпаки.

Електричний потенціал фільтраційного походження виникає за рахунок поділу зарядів під час фільтрації води через пори ґрунтів і тріщини скельних порід. Фільтраційне поле виникає також в напірних водоносних шарах. При цьому, згідно з положеннями геофізики, катіони кристалічної решітки силікатів, що мають менший розмір, ніж аніони, виходять на поверхню пор, до них притягуються полярні молекули води негативним полюсом до стінки пори, утворюючи шари сильно зв'язаної, а з віддаленням від поверхні – пухко зв'язаної води. Потік рідини зрушує пухко зв'язану воду уздовж пори, при цьому на виході з пори виникає надлишок катіонів, а на вході – їх дефіцит, тобто відбувається стійкий поділ зарядів і поле, що існує тривалий час. У колоїдній хімії це явище називається потенціал течії [112], а у макроколоїдній хімії – макропотенціал течії [130].

Електричне поле дифузійно-адсорбційного (ДА) походження виникає у водонасиченому пористому середовищі за рахунок різної рухливості іонів електроліту різного знаку та, відповідно, поділу зарядів на вході й виході з пор.

Крім дифузії в середовищі відбувається адсорбція аніонів, що притягуються до ПЕШ. Для виникнення ДА-поля в середині пори має бути достатній простір для незв'язаної (вільної) води.

Як видно з розглянутого опису механізму виникнення ПЕШ і фільтраційного електричного поля силікатів, уявлення геофізики спрощені і, на наш погляд, недостатньо коректні. Більш коректні колоїдно-хімічні уявлення [112], згідно з якими ПЕШ на такій поверхні виникає за рахунок взаємодії з водою силанольних груп SiOH і полікремнієвої кислоти, яка дисоціює за кислотним типом:



При цьому протони H^+ (точніше H_3O^+) переходять у рідку фазу, утворюючи зовнішню обкладку ПЕШ. Загальна схема такого утворення ПЕШ має вигляд, наведений на рис. 3.25.

Природні електричні потенціали в геофізиці вимірюють за допомогою електричних методів. Одним з найбільш простих і широко застосовуваних є метод природного електричного поля (ЕП) [129].

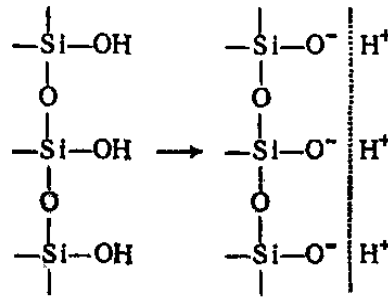


Рис. 3.25. Схема виникнення ПЕШ силікатів (SiO_2) згідно з колоїдно-хімічними уявленнями

На рис. 3.26 представлені схеми механізмів виникнення та вимірювання окисно-відновного (ОВ) і фільтраційного потенціалів [129]. Сутність цих механізмів цілком відображають викладені вище уявлення про електричні поля окислювально-відновного і фільтраційного походження.

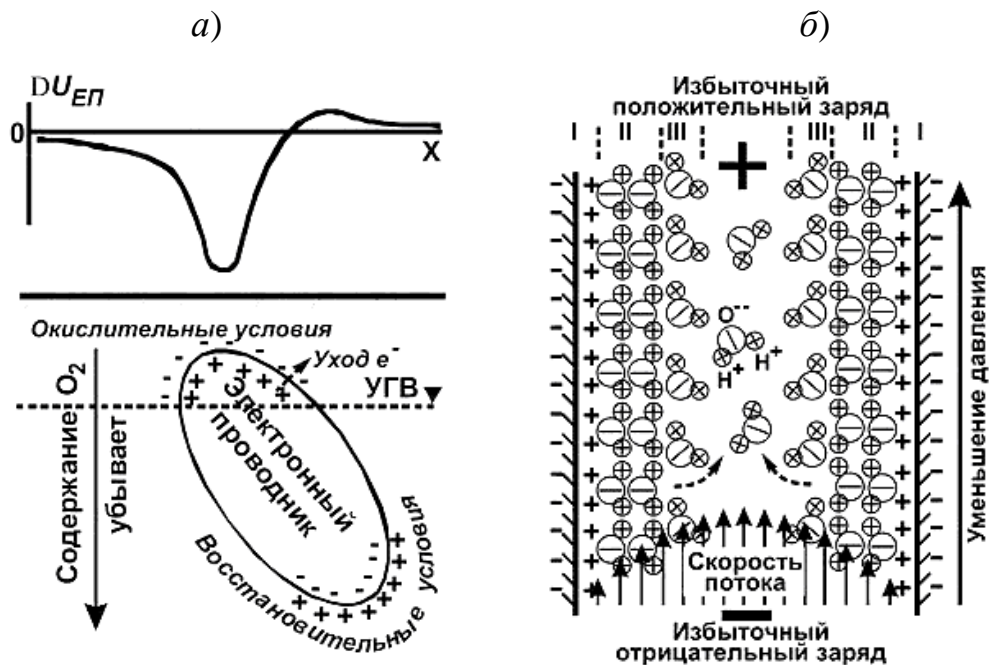


Рис. 3.26. Механізми утворення електричних потенціалів, полів і зарядів: *a* – окислювально-відновного (ОВ) потенціалу; *б* – фільтраційний: I – подвійний електричний шар, II – міцно зв'язана вода, III – пухко зв'язана вода

Метод ЕП зазвичай входить до складу комплексу геофізичних методів. Металеві електроди в методі ЕП не використовують через окислення останніх в ґрунті. Для заземлення використовують неполярізуючі електроди конструкції Вірго, рис. 3.10. Контакт з ґрунтом здійснюється через пористу стінку судини з електролітом. Вимірювач під'єднується до електрода через мідний стрижень, занурений в насичений розчин сульфату міді

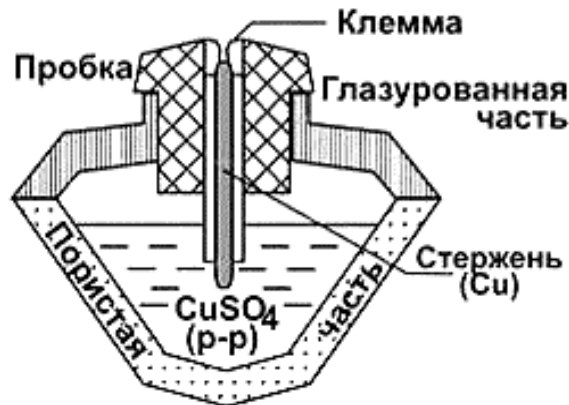


Рис. 3.27. Електрод ВІРГ, що не поляризується

З урахуванням цього і вищевикладених недоліків, стосовно надійності і довговічності трамвайних колій і матеріалів їх конструкцій уявлення геофізики про природне електричне поле, механізми його утворення не є достатньо коректними і повними, а методи вимірювання з використанням мідно-сульфатного електрода порівняння не відображують різницю потенціалів між рейкою, прилеглим ґрунтом, а також матеріалами конструкцій будівель і споруд.

При цьому недоліком геофізичних уявлень про природне електричне поле (ЕП) Землі є неврахування електричного поля, утвореного термодифузією електронів з ядра Землі. Крім того, недостатніми є уявлення про дифузійно-адсорбційний механізм утворення природного електричного поля, що використовує, по суті, електрокінетичні явища – потенціал течії і адсорбцію.

Як зазначалося, більш коректними і точними, у порівнянні з геофізичними, є уявлення колоїдної хімії, зокрема, її розділу про електроповерхневі явища

[112, 113]. У них ПЕШ представляється в основному за модифікованою теорією Гуї (рис. 3.28), у якій надаються математичні рівняння щільної і дифузійної частин ПЕШ. Потенціал течії, що бере участь в процесах перенесення води під її напором, представлений схемами рис. 3.29.

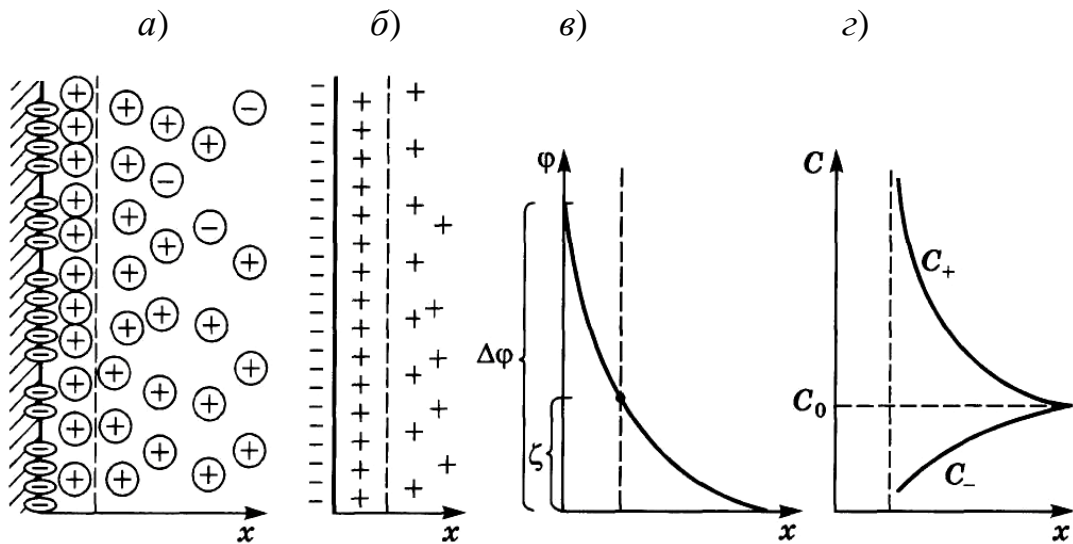


Рис. 3.28. Модель ПЕШ в модифікованій теорії Гуї: *а* – розподіл іонів; *б* – схема розподілу надлишкових іонів; *в* – розподіл потенціалу; *г* – концентрація іонів на різних відстанях від поверхні

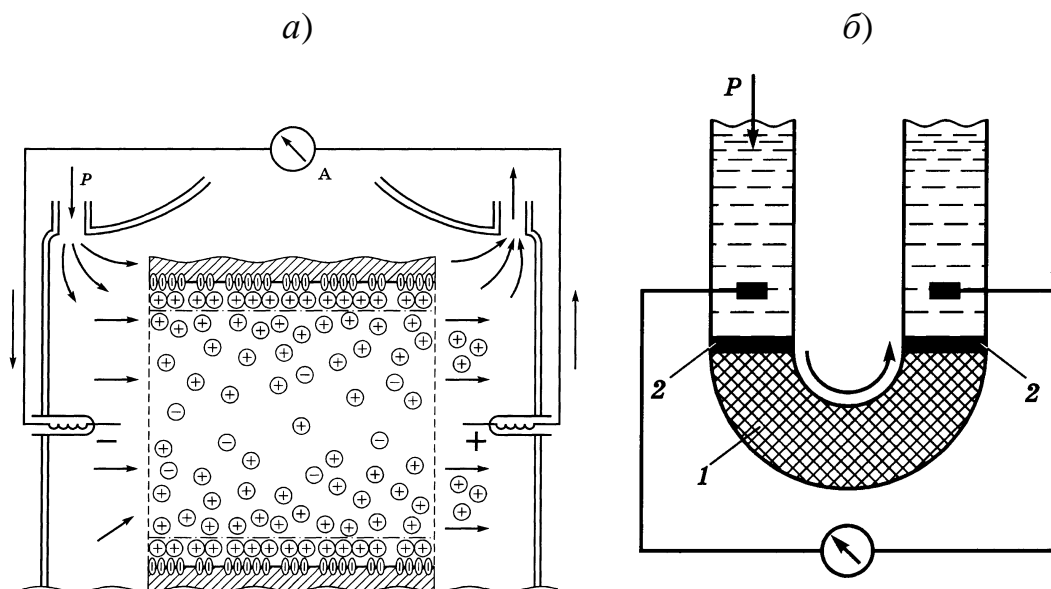


Рис. 3.29. Природа потенціалу течії через пори діафрагми або мембрани: *а* – схема виникнення потенціалу течії; *б* – схема вимірювання потенціалу течії: 1 – дисперсна система; 2 – мембрана [113]

Згідно зі схемою на рис. 3.29, б під час продавлювання води під дією зовнішнього тиску P через капіляр іони дифузного шару (в даному випадку катіони) захоплюються потоком води і переміщуються разом з ним уздовж капіляра. В результаті загальний потік протиіонів перевищує потік катіонів (однойменних з потенціалвизначальними іонами – негативними), і виникають струм і потенціал течії, відповідно, I та E .

Зазначена схема покладена в основу приладу для вимірювання електрокінетичного ζ -потенціалу методом потенціалу течії. Рівняння для ζ -потенціалу за цим методом має вигляд:

$$\zeta = 4\pi\eta kE/\varepsilon P \quad (3.16)$$

Як видно з (3.16), величина ζ -потенціалу визначається тиском P (в м.в.ст.) і виникає в результаті протікання водного розчину під дією електричного потенціалу E (В). Значення потенціалу течії E для капілярно-пористих тіл у водних розчинах електролітів зазвичай складають близько 100 В на 1 атм (10 м.в.ст.). Звичайно в лабораторних установках застосовується низький тиск (для неущкоджуваності випробовуваного зразка). Тому вимірювані величини ζ -потенціалів становлять частки вольт (десятки, незначно більше сотні мВ).

Розглянуте електрокінетичне явище – потенціал течії поширене і проявляється на будь-якій поверхні, що має ПЕШ, зокрема, при протіканні підземних природних вод через ґрунти і гірські породи. Спрощено, це використовують геофізики для розвідки корисних копалин методом природного поля, для картографії підземних вод, для знаходження шляхів просочування води через греблі [86].

Однак для ґрунтів в зоні трамвайних ліній методів ПС та еквівалентного їм методу макропотенціалу течії недостатньо. Крім цих явищ в ґрунтах зони трамвайних колій проявляються в не меншій мірі електроосмос и електрофорез, які для природних масштабів названі макроелектроосмос і макроелектрофорез, а також потенціал седиментації [84]. Для них вимірюваною характеристикою також є ζ -потенціал.

Електроосмос – переміщення дисперсійного середовища (рідкої фази) відносно нерухомої дисперсної фази під дією зовнішнього електричного поля (рис. 3.30). Рух дисперсійного середовища обумовлений тяжінням різнойменних зарядів. Коли ζ -потенціал негативний, то позитивно заряджені протиіони дифузного шару притягуються до негативного електроду. При цьому вони захоплюють за собою дисперсійне середовище. В результаті відбувається рух рідини, причому переміщення рідкого дисперсійного середовища щодо часток дисперсної фази відбувається за кордоном ковзання.

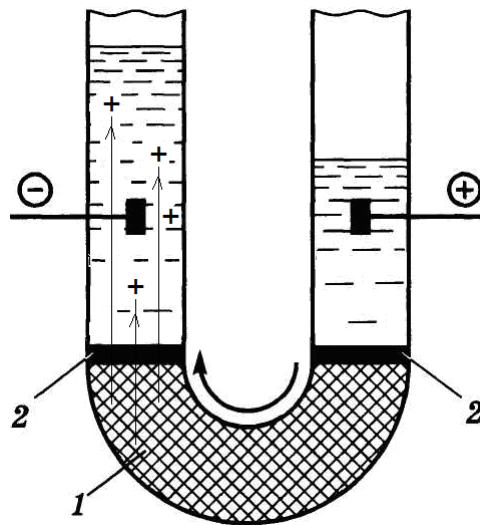


Рис. 3.30. Схема електроосмосу: 1 – товчений кварц; 2 – сітка [84]

Для ζ -потенціалу за цим методом рівняння мають вигляд:

– для площини

$$\zeta = \frac{4\pi\eta u_{EO}}{\varepsilon\varepsilon_0 E}; \quad (3.17)$$

– для капілярно-пористих тіл:

$$\zeta = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot k \cdot Q}{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot I}, \quad (3.18)$$

де k – електропровідність води (електроліту); Q – об'ємна швидкість протікання води; I – струм у вимірювальному ланцюзі.

Потенціал седиментації виникає при осіданні частинок дисперсної фази (наприклад, частинок кварцу) відносно нерухомого дисперсійного середовища

під дією власної сили тяжіння (рис. 3.31, *a*). Частинки рухаються разом із шаром ПВІ і адсорбційним шаром ПРІ відносно рідкого дисперсійного середовища, в результаті чого виникає різниця потенціалів (рис. 3.31, *a*).

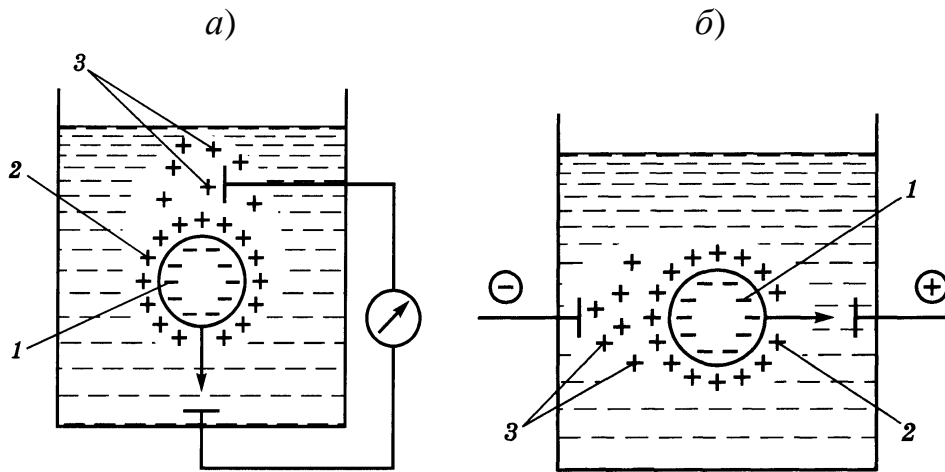


Рис. 3.31. Схеми електрокінетичних явищ: *a* – електрофорезу; *б* – потенціалу седиментації: 1 – заряджена частинка; 2 – протиіон адсорбційної частини ПЕШ; 3 – іони дифузійної частини ПЕШ

У природі також відбувається зміна величин і знаків ζ -потенціала за рахунок електролітного складу ґрунтової води. Так, збільшення в ґрунтовій воді (дисперсійному середовищі) одновалентних протиіонів призводить до стиснення дифузійної частини ПЕШ і зниження ζ -потенціалу. Коли всі протиіони знаходяться в адсорбційному шарі, відбувається повна компенсація ПВІ і ζ -потенціал стає рівним 0 (рис. 3.32, *a*).

Попадання в ґрунт багатовалентних катіонів, наприклад Al^{3+} , Fe^{3+} , може призводити до адсорбції протиіонів у зверх еквівалентній кількості. У цих умовах відбудеться перезарядка поверхні зерен і частинок ґрунту і знак ζ -потенціалу зміниться з негативного на позитивний (рис. 3.32, *б*). Таким чином, ζ -потенціал може бути негативним, позитивним і навіть рівним нулю.

Зазвичай в умовах експлуатації трамвайних ліній жодне з викладених електрокінетичних та інших явищ у чистому вигляді не існує, може лише переважати одне з них. Однак всі вони дають внесок в утворення надлишкових електричних зарядів на конструкціях трамвайної колії та місцевості навколо

них. У зв'язку з цим універсальним способом вимірювання є спосіб вимірювання електричного потенціалу на рейках і конструкціях, розроблений і застосований в УкрДУЗТ і покладений в основу методики п. 2.2.4, у якій запропоновано використати спеціальний електрод і високоомний мультиметр Sanwa PC510.

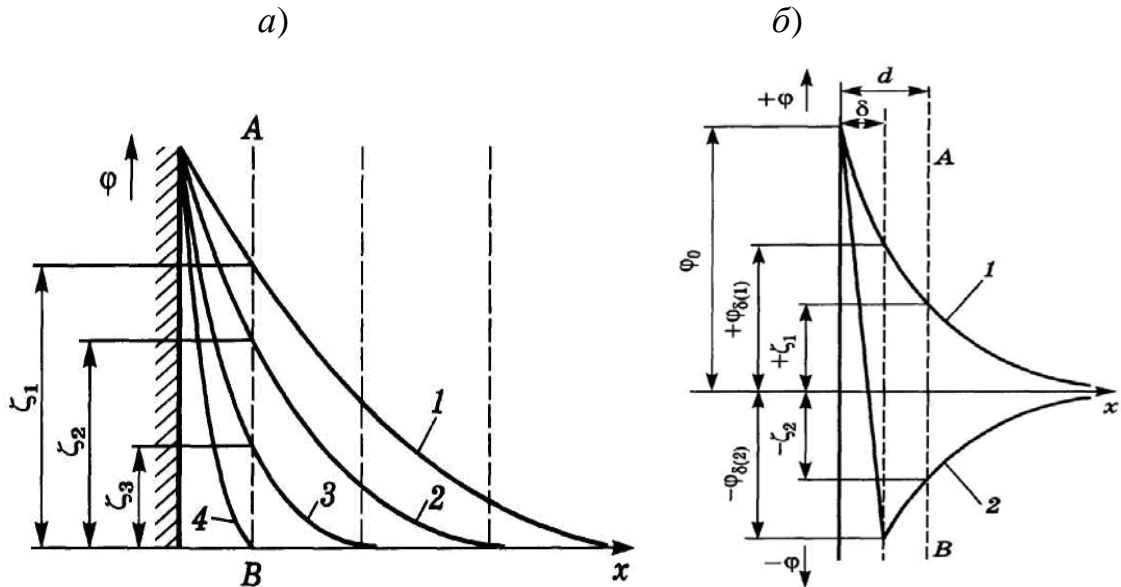


Рис. 3.32. Зміна товщини подвійного електричного шару і потенціалу під впливом індиферентного електроліту (а, кількість електроліту збільшується в порядку 1 – 4) та електроліту з сильно адсорбованими іонами (б, 1 – падіння потенціалу до перезарядження; 2 – після перезарядження)

3.2.5 Вплив надлишкових електричних зарядів на властивості матеріалів і пошкодження конструкцій трамвайних колій

З урахуванням нових припущень щодо впливу надлишкових електричних зарядів на властивості матеріалів і конструкції трамвайних колій виконано аналіз експериментальних результатів [33, 88, 89] з досліджень впливу електричних струмів і потенціалів на бетон. Дослідження проводили на зразках бетону – призмах розміром $400 \times 100 \times 100$ мм міцністю на стиск 20 МПа. Бічні грані зразків покривали водонепроникним епоксидно-кам'яновугільним покриттям (рис. 3.33). На верхню грань щільно встановлювали перфоровану пластину з нержавіючої сталі розміром 100×100 мм. Зразок встановлювали у

сталеву ємкість з проточною водопровідною водою і через верхню пластину і стінку ємкості підключали до джерела постійної напруги 30 В (до перфорованої пластини «плюс», до ємкості – «мінус»), яку подавали у пульсуючому режимі: увімкнено – 8 хв., вимкнено – 10 хв., що у середньому відповідає інтервалам руху трамваїв. Дослідження проводили протягом 25626 годин, що відповідає близько 3 – 5 років експлуатації трамвайної лінії.

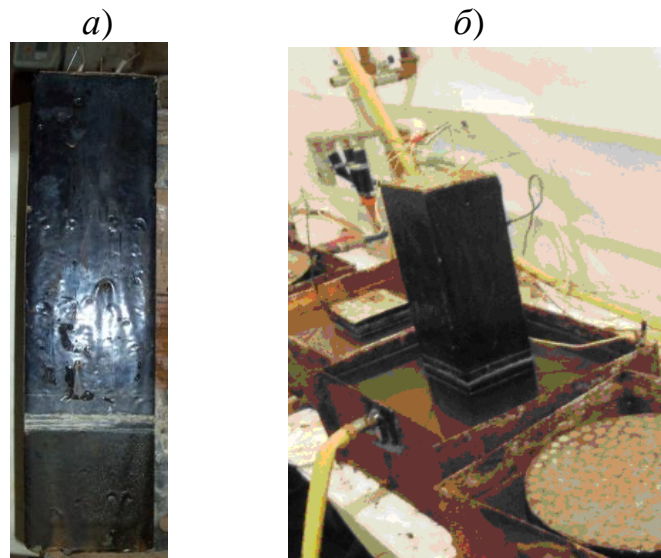


Рис. 3.33. Дослідження впливу електричного струму та потенціалу на бетон: *а* – зразок-призма з водонепроникним покриттям бічних граней після завершення дослідження (біла горизонтальна смужка – рівень води); *б* – зразок-призма в сталевій ємкості з проточною водою, підключений до джерела постійного струму

Результати впливу оцінювали за зміною міцності бетону на стиск і мікроскопічним дослідженням за допомогою світлового мікроскопу МБС-2.

В результаті досліджень встановлено, що міцність бетону зменшилась від вихідної 20 МПа до 6 – 9 МПа, причому найменшу міцність 6 МПа зразок мав у його нижній 1/3 частині, що підтверджує висновки [88 – 90] про електрокорозію бетону під впливом пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу.

Знімок та мікрознімки нижньої грані зразка наведені на рис. 3.34. За допомогою світлової мікроскопії у нижній грані зразка виявлено 3 тріщини розкриттям 0,03 – 0,07 мм, довжиною 20 – 30 мм (рис. 3.34, *б* – *г*). Це свідчить про можливість тріщиноутворення в бетоні конструкцій трамвайної колії під

впливом пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу та відповідного йому надлишкового електричного заряду від руху трамваїв.

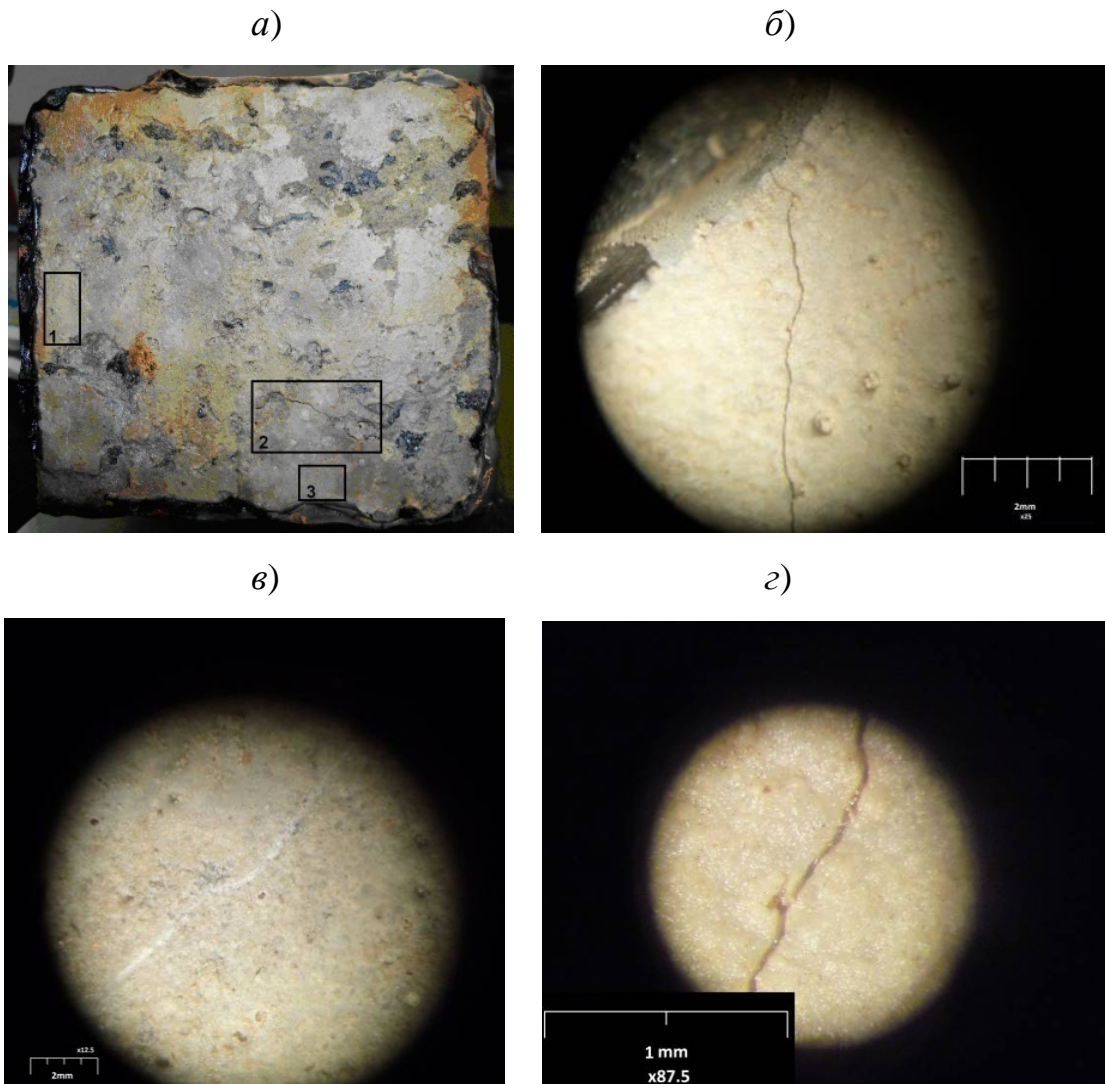


Рис. 3.34. Результати дослідження впливу електричних струму та потенціалу на бетон: *a* – нижня грань зразка з тріщинами у виділених нумерованими рамками місцях; *б* – фрагмент тріщини 1, $\times 25$; *в* – фрагмент тріщини 2, $\times 12,5$; *г* – фрагмент тріщини 3, $\times 87,5$

Виходячи з таких результатів уточнено також механізм накопичення надмірного негативного заряду у зразку і виникнення тріщини від його дії. Накопичення відбувалось двома шляхами:

– за рахунок перенесення катіонів Ca^{2+} по водонасиченим капілярам бетону в воду за механізмом електроосмосу, і далі до стінок ємкості, на яку подавався негативний потенціал. Циклічний вихід катіонів Ca^{2+} з водонасиченої нижньої

зони зразка приводив до поступового накопичення в цій зоні надлишкового негативного заряду (іонів OH^-) на стінках капілярів і до зниження концентрації розчину $Ca(OH)_2$ в них;

– за рахунок поступового розчинення портландиту $Ca(OH)_2$ через зменшення його концентрації в об'ємі капілярної води і додаткового збільшення надлишкового негативного заряду, зумовленого збільшенням частки гідросилікатного гелю в цементному камені і на стінках капілярів. Цей повільно протікаючий на початку експерименту процес поступово інтенсифікувався через збільшення пористості при розчиненні портландита. При цьому накопичувався надлишковий негативний заряд, створюючи напруження розтягу в нижній зоні зразка. Цій напрузі перешкоджав бетон верхньої частини, до якої подавався позитивний потенціал. Відповідно, виникла тріщина на рівні 1/3 від низу зразка.

Поступово зростаюча поляризація зразка за рахунок розглянутих процесів привела до виникнення протиполя, рівного полю від подаваного потенціалу. Напруженість поля, створюваного доданим потенціалом E_0 дорівнює:

$$E_0 = \frac{U}{h+1}. \quad (3.19)$$

У разі $U = 30$ В, $h = 0,1$ м, $l = 0,15$ м:

$$E_0 = \frac{30}{0,1+0,15} = 120 \text{ В/м},$$

що близько до реальних величин надлишкової напруженості електричного поля Землі, рис. 3.6, 3.7 і, отже, напруженості реального надлишкового негативного потенціалу на бетонних фундаментах поблизу розташованих будинків.

Максимальні виміряні величини на поверхні бетону будівель досягали 2 В [88]. Відповідно, реальна напруженість електричного поля всередині бетону (за виміряним потенціалом) становить приблизно:

$$E_{BH} = 1 \cdot 30 / 0,25 = 120 \text{ В/м},$$

де 30 – орієнтовна діелектрична проникність водонасиченого бетону; 0,25 – половина товщини конструкції, м.

Напруженість такого електричного поля відповідає густині надлишкового негативного заряду $\Delta q = 120 \text{ Кл/м}^2$, частина з якого накопичується на зернах щебеню. Надмірний заряд на зернах щебеню:

$$Q = \frac{120 \cdot 0,015^2}{1^3} = 0,027 \text{ Кл.},$$

де 0,015 – діаметр зерна щебеню (середнє значення фракції 10 – 20 мм)
 $d = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}$.

Механічне напруження розриву між зернами щебеню:

$$\sigma_p = \frac{120 \cdot 0,027}{0,0023^2} \cdot \frac{3,24}{0,0000053} = 611320 \text{ Н/м}^2 = 0,6 \text{ МПа},$$

де 0,0023 – діаметр зерна піску $d = 0,23 \text{ мм} = 0,0023 \text{ м}$.

Таке напруження 0,6 МПа є порівняним з міцністю бетону на розтяг, отже, в результаті багаторазового впливу (через декілька років експлуатації) може бути причиною утворення тріщин в бетоні. Очевидно, тріщини почнуть виникати між суміжними зернами щебеню, зливаючись в одну загальну.

Виходячи з викладеного, для запобігання утворення тріщин в бетоні конструкцій підрейкових основ необхідно запобігати виникненню електричних струмів в бетоні за іонним типом, отже, забезпечувати надійну електричну ізоляцію трамвайних рейок від підрейкових та ґрунтових основ.

Надлишкові електричні заряди можуть впливати також на викиди рейок із безстикової трамвайної колії з безшийковими рейками, дані про які узагальнено у п. 1.1.1 (рис. 1.10). Як зазначалося, такі трамвайні колії виявились недовговічними і не ремонтпридатними. Від цього конструктивно-технологічного рішення в Угорщині незабаром відмовились, причому пояснень причин і механізмів цього крім впливу температурних напружень виявити не вдалось. Припустимо вплив на це надлишкових електричних зарядів. Для виявлення механізму цього впливу розглянемо конструкцію вузла закріплення рейки у рейковому каналі (рис. 3.35).

У разі накопичення на ділянці трамвайної колії значного надмірного негативного заряду він зосереджується на верхній частині підрейкової основи

(за рахунок поляризації плити) та під сталевим жолобом (рис. 3.35). Це призводить до макроелектроосмотичного підйому ґрунтових вод, водонасиченню та ослаблення ґрунту і появи плинності сталі.

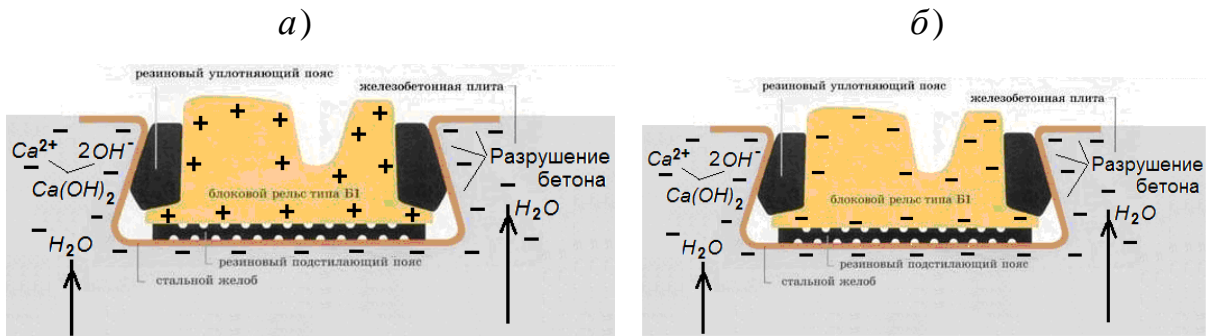


Рис. 3.35. Схема закріплення рейки у плиті, накопичення в ній надлишкового негативного заряду, ослаблення сталевого жолоба, вилугування і руйнування бетону: *a* – під час проходження трамвая; *б* – за відсутності трамвая

В умовах водонасичення бетону і високого надлишкового негативного заряду розчиняється портландит $Ca(OH_2)$, вилугується, послаблюється і руйнується бетон. Високий негативний заряд переходить також на рейку, і за відсутності на ній трамваю рейка набуває високий надлишковий негативний заряд. Відповідно, збільшується ймовірність викиду рейки і сходу трамвая.

У сучасних конструкціях трамвайних колій у країнах Європи від безшійкових рейок та встановлення у рейковий канал сталевого жолобу відмовились, у зазор між рейкою та рейковим каналом почали заливати полімерну мастику. Такі конструкції виявились позбавлені розглянутих пошкоджень і викидів. Це обумовлено тим, що в умовах високого надлишкового негативного заряду рейка з шийкою поляризується, в її підшву зміщується надлишковий позитивний заряд, а в головку – негативний, шийка залишається практично електронейтральною. Саме це разом з відсутністю сталевого жолоба та наявністю полімерної заливки виключає скупчення великого надлишкового негативного заряду біля вузла закріплення рейки і зменшує, проте не виключає повністю зазначені пошкодження.

Дослідимо також можливий вплив надлишкових електричних зарядів на сході трамваїв з рейок. Сила взаємодії між тілами з надлишковим однойменним зарядом, за визначенням напруженості, не враховує діелектричну проникність цього тіла і дорівнює:

$$F_{\text{ЕЛ}} = E \cdot Q = E \cdot E \cdot 1^2 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н} \right). \quad (3.20)$$

Для напруженості 67 В/м в тілі з площею поверхні 1 м² на висоті 1 м (об'єм 1 м³), ця сила тяжіння або відштовхування дорівнюватиме:

$$F = 67^2 = 4489 \text{ Н} = 4,5 \text{ кН}.$$

Для трамвая з площею поверхні $10 \times 2 \times 4 + 2 \times 2 \times 2 = 86 \text{ м}^2$ така сила є перекидаючою або притискаючою його до колії: $\approx 86 \cdot 4,5 = 387 \text{ кН}$.

У кривих трамвай піддається дії відцентрової сили:

$$F_{\text{ВЦ}} = mv^2/R \text{ (кг} \cdot (\text{км/год})^2/\text{м)}. \quad (3.21)$$

Виразимо км/год у м/с:

$$1 \text{ км/год} = 1000/3600 \text{ (м/с)} = 0,28 \text{ м/с},$$

з урахуванням чого одиницю виміру відцентрової сили представимо як:

$$F_{\text{ВЦ}} = \text{кг} \cdot 0,28^2 \cdot (\text{м/с})^2/\text{м} = 0,078 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 \cdot \text{м}/\text{м} = 0,078 \text{ кгс}.$$

У разі ваги вагону трамваю 28000 кг (20 тс трамвай і 8 тс – пасажери), швидкості 30 км/год (8,3 м/с) і радіусі кривої 50 м відцентрова сила дорівнює:

$$F_{\text{ВЦ}} = 0,078 \cdot 28000 \cdot 30^2/50 = 39300 \text{ кгс} \approx 390 \text{ кН}.$$

Якщо ця електрична сила є горизонтальною, то у разі прийнятих швидкостей трамвая і надлишкового заряду вона може сприяти сходу трамвая з рейок.

Як бачимо, горизонтальна електрична сила порівнянна з відцентровою у кривих і здатна сприяти сходу трамвая з рейок не тільки у кривих, але й на прямих ділянках колії від бічних коливань вагону.

Дослідимо також можливий вплив надлишкових електричних зарядів на утворення тріщин у попередньо напружених залізобетонних шпалах. Головною діючою силою виникнення тріщин у шпалах є, безумовно, коливання рейки від колеса (рис. 3.36), особливо над стиками (рис. 3.36, б).

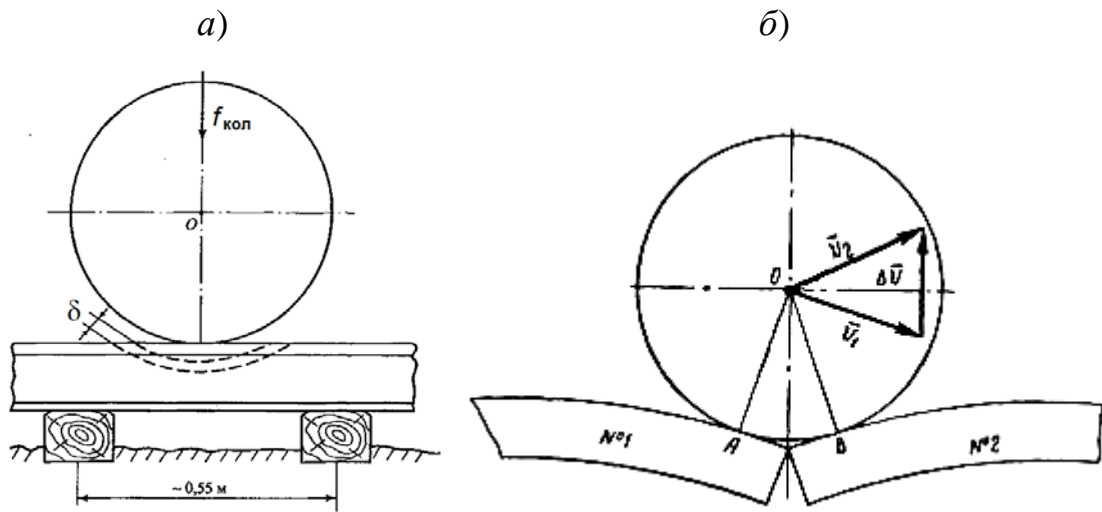


Рис. 3.36. Пружна деформація рейки [131]: а – під колесом; б – над стиком

Крім того на виникнення тріщин у шпалі значний вплив надають анкери скріплень, які створюють високу концентрацію напружень в бетоні в зоні ребер анкерів (рис. 3.37). На них діють бокові коливання від коліс та, як вказувалось, бічні ударні навантаження при вході вагона в криву.

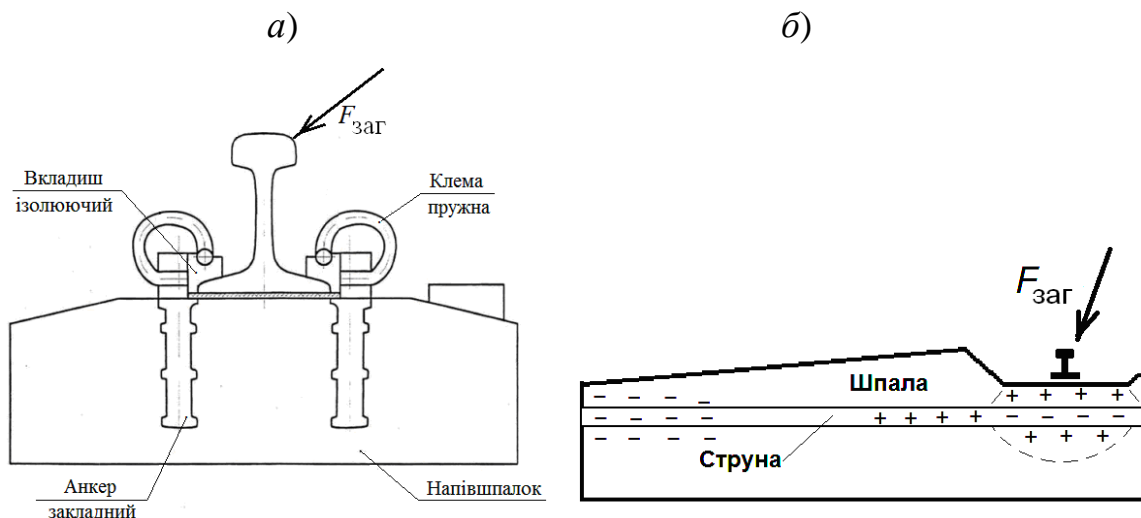


Рис. 3.37. Схема навантаження на рейку (а) і механізму утворення тріщин на кінцях шпалі від циклічного стиснення бетону під подошвою рейки (б)

На утворення тріщин у торцях шпал вплив мають і колоїдно-хімічні процеси, обумовлені циклічним стисненням локальної зони бетону безпосередньо під рейкою. Таке стиснення призводить до періодичного збільшення концентрації катіонів Ca^{2+} в дифузійній частині ПЕШ капілярів бетону та відповідному збільшенню негативного заряду в поверхневому шарі

арматурних дротин (за механізмом відображення). Вони поляризуються в поздовжньому напрямку, так що на їх кінцях і в бетоні виникає негативний заряд, відповідні сили розтягування, зниження міцності бетону та його адгезії до арматури. Подібне ослаблення адгезії бетону відбувається й на анкері. Такий періодичний довгостроковий вплив динамічних навантажень призводить до утворення тріщин, а також відколів бетону. Це свідчить про неоднорідність динамічної витривалості бетону шпал, яка в умовах високого надлишкового негативного заряду буде призводити до їх руйнування.

Як зазначалось, на трамвайній колії може накопичитись надлишковий негативний заряд, що досягає значної величини. Цей заряд передається на вагон трамваю, який поляризується негативним полюсом до атмосфери і позитивним до землі. В результаті цього виникає електростатична сила, що впливає на утворений макродиполь і складається з вагою вагона з пасажирями. Оцінимо результуючу вагу вагона на ділянці колії, що має надлишковий негативний заряд, наприклад, $Q = 130 \text{ Кл/м}^2$ і відповідне йому електричне поле поруч з колією $E = 130 \text{ В/м}$.

Площа вагона трамваю, яка зазначено вище, складає 86 м^2 . За такої площі електростатична сила, що додається до ваги і діє на рейки, складе

$$F_p = \frac{130}{1^3} \cdot \frac{130 \cdot 86}{2} \left(\frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{м}^3} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \text{Н} \right) \approx 730000 \text{ Н} = 730 \text{ кН}$$

або навантаження на вісь

$$F_{\text{вісь}} = \frac{730}{4} \approx 180 \text{ кН},$$

а на шпалу під рейкою

$$F_{\text{шп}} = \frac{180}{2} = 90 \text{ кН}.$$

Навантаження від ваги трамвая $R_{\text{ТР}} = 280 \text{ кН}$ на шпалу під рейкою $R_{\text{шп.р}} = 280/(4 \cdot 2) = 35 \text{ кН}$. Загальне навантаження на шпалу від рейки: $F_{\text{заг.шп}} = 90 + 35 = 125 \text{ кН}$ (250 кН на вісь). Величина такого навантаження відповідає навантаженню від залізничного потягу.

Окрім того надлишковий негативний заряд накопичується у самій шпалі, зокрема на її кінці. В результаті тут виникає електрична сила поперечного розтягнення, яка згідно з формулою (3.20) за надлишкової напруженості близько $E = 100 \text{ В/м}$, відповідно, надлишкового заряду 100 Кл/м^2 і площі поверхні 1 м^2 дорівнює:

$$F = 100^2 = 10000 \text{ Н} = 10 \text{ кН.}$$

Для торця шпали з площею поверхні по поздовжній вісі рівної для верхнього шару товщиною в одно зерно щебеню приблизно $50 \cdot 2 = 100 \text{ см}^2$. Така сила є розриваючою (розтягуючою) для прошарку між двома суміжними зернами щебеню. Відповідне розтягуюче напруження у цьому прошарку дорівнює:

$$\sigma_p = \frac{10000}{100} = 100 \left(\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2} \right) = 10 \text{ МПа ,}$$

що значно перевищують міцність бетону шпал на розтяг, і призводить до виникнення тріщин.

На відміну від не попередньо напруженого бетону, зокрема випробуваного для прирейкових вкладишів на ударне навантаження, бетон в струнобетонній залізничній шпалі підданий обтисненню попереднього напруження арматурою для виключення розтягувальних напружень. При цьому в зоні передачі напруження натягнуті та витончені цим струни повертаються на кінці шпали до вихідного діаметра, утворюючи конус розклинення і створюючи цим високе напруження обтиску бетону (рис. 3.38, а).

Крім того, в торці шпали накопичується надлишковий негативний заряд, обумовлений струмом витоку і виносом під його впливом катіонів Ca^{2+} з цементного каменю (вилуговування, рис. 3.38, б). Сили відштовхування між надлишковими однойменними негативними зарядами також викликають утворення тріщин в торці шпали.

Виходячи з викладеного розробка додаткових заходів із зниження струмів витоку і запобігання накопиченню надлишкових електричних зарядів, підвищення стійкості колії до викидів та запобігання сходів продовжує

залишатись актуальним завданням, дослідження з розв'язання якого наведені далі.

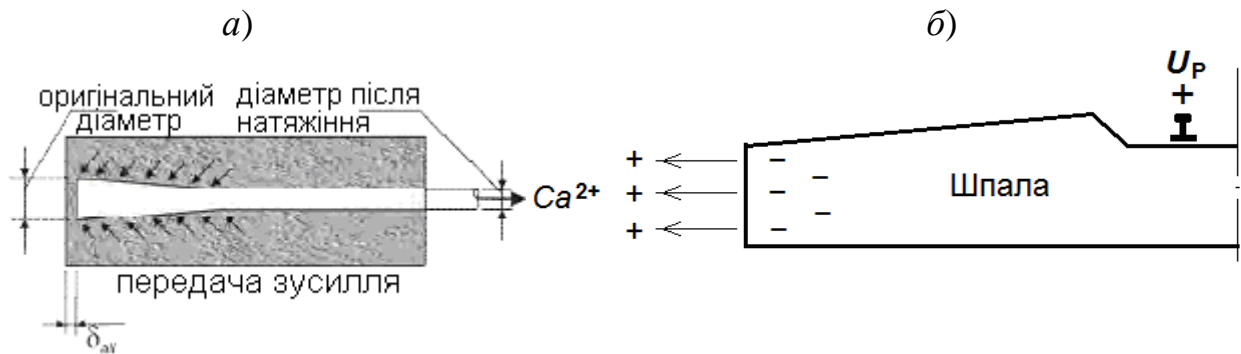


Рис. 3.38. Схеми впливів, що сприяють утворенню тріщин в попередньо напружених залізобетонних шпалах: а – створення конуса розклинювання на довжині зони передачі напружень на бетон [132]; б – винесення катіонів Ca^{2+} з цементного каменю бетону шпали під впливом позитивного потенціалу на рейці

Саме поліуретан у порівнянні з гумою забезпечить максимальний електричний опір і здатність запобігати накопиченню надлишкового негативного заряду ізолюючих елементів і деталей за рахунок наявності в ньому груп $C=O$ з високою електронегативністю (рис. 3,7). Ці групи забезпечують негативний заряд поверхонь порового простору, який запобігає перенесенню крізь нього носіїв електричного заряду – аніонів (за рахунок відштовхування) та катіонів (за рахунок адсорбції). Таким чином, поліуретан характеризується найбільшими здатністю гасити вібрацію за рахунок електростатичного відштовхування між групами $C=O$ з подвійними зв'язками та високим електричним опором і здатністю запобігати накопиченню надлишкових електричних зарядів за рахунок електронегативності цих груп.

3.3 Теоретичні дослідження із зниження температурних напружень в рейках трамвайних колій

Згідно [109, 133] рейка довжиною L , температура якої перевищує нормальну на Δt , повинна вільно (без напруження) подовжитися на величину ΔL (за відсутності сил, що перешкоджають подовженню):

$$\Delta L = \alpha_L \cdot L \cdot \Delta t. \quad (3.22)$$

При цьому відносна деформація складатиме:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha_L \cdot \Delta t, \quad (3.23)$$

де α_L – коефіцієнт лінійного температурного розширення КЛТР (відносна зміна довжини на 1 градус Кельвіна) сталі, $11,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Для підвищення температури на 40°C , $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ відносна деформація складе:

$$\varepsilon = 13 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 5,2 \cdot 10^{-4}$$

Відповідно, теплове напруження стиснення в рейці складе:

$$\sigma_T = 5,2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 = 104 \text{ МПа.}$$

Деформація трамвайної рейкової пліти довжиною $L_p = 1000 \text{ м}$ складе:

$$\Delta L = 5,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 0,52 \text{ м.}$$

Проте подовженню рейки як у безстиковій, так і у ланковій колії перешкоджають сила тертя в накладках стиків та сили опору підрейкових основ. В результаті в рейці виникає напруження та, відповідно, поздовжня сила. У безстиковій колії ця сила розподіляється по довжині пліти за схемою рис. 3.39.

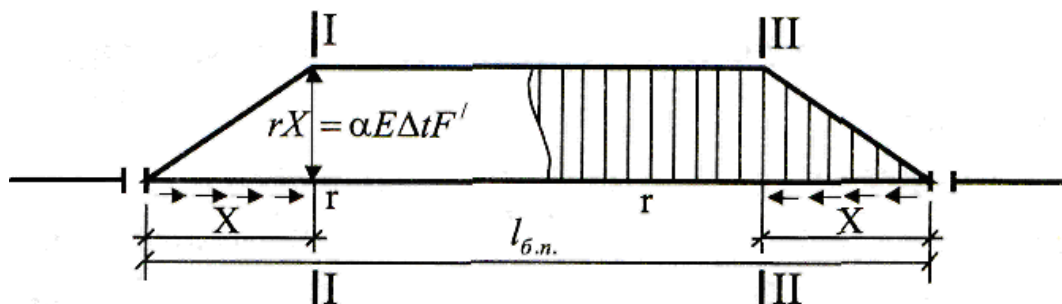


Рис. 3.39. Схема розподілу поздовжніх сил опору на кінцях рейкової пліти безстикової колії [109]

Максимальні сила і напруження в рейці виникають в межах довжини $l_{б.п.} - 2X$. Якщо річні температурні деформації рейок перевищують найбільші конструктивні зазори (21 мм для Р50 і 23 мм для Р65 і Р75), взимку зазори розтягуються і виникає небезпека зрізу стикових болтів, а влітку зазори змикаються і виникає торцевий тиск рейок одна на одну. При цьому в рейці можуть виникати значні стискаючі сили, які за несприятливих обставин можуть призвести до порушення стійкості колії – температурного викиду (рис. 1.10).

Припустимо, що надлишкові електричні заряди сприятимуть температурним напруженням, обумовлюючи виникнення власних напружень. Оскільки навколо електричних зарядів утворюється електричне поле відповідної напруженості E , силу $F_{ел}$, що діє в цьому полі на заряд з об'ємною густиною ΔQ , Кл/м³, можна виразити рівнянням:

$$F_{эл} = \Delta E \cdot \Delta Q = \Delta E \cdot \frac{\Delta E}{1^3} \cdot S_p \cdot L_p, \quad (3.24)$$

де ΔE – різниця між напруженістю електричного поля за наявності надлишкового електричного заряду та середньою напруженістю електричного поля на поверхні Землі -130 В/м; S_p – поперечний переріз трамвайної рейки, $82,3 \text{ см}^2 = 0,00823 \text{ м}^2$.

Для $\Delta E = 300$ В/м сила $F_{ел}$ складе:

$$F_{эл} = \frac{300^2}{1^2} \cdot 0,00823 \cdot 1000 = 739800 \text{ Н} = 740 \text{ кН}. \quad (3.25)$$

Напруження в рейці від цієї сили складе:

$$\sigma_{эл} = \frac{F_{эл}}{S_p} = \frac{740 \cdot 10^3}{0,00823} = 89,9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 90 \text{ МПа}. \quad (3.26)$$

Ця величина порівняна з величиною температурного напруження. Складаючись у спекотну погоду влітку теплове та від надлишкового негативного заряду напруження може досягати 190 МПа, що може призвести до викиду рейки. Отже, за певних обставин надлишкові електричні заряди, що накопичуються на конструкціях трамвайної колії, можуть сприяти температурним викидам рейок. Це обумовлює актуальність розробки заходів як

із запобігання накопиченню електричних зарядів (підвищенні електричного опору), так і зниження температурних напружень в рейках.

В конструкціях колії з ізолюваною рейкою для зниження витрати коштовної мастики застосовують бетонні прирейкові вкладиші (рис. 1.1, б). Монтаж вкладишів здійснюють шляхом їх приклеювання до шийки та підосви рейки водостійким полімерним клейовим складом, який здатний забезпечити незмінність проектного положення вкладишів на час заповнення рейкового жолоба і твердіння поліуретану. Крім того, прирейкові вкладиші збільшують вагу і жорсткість рейок, зменшують вібраційні коливання і шум за рахунок цього.

Вважаємо, що застосування такого вкладишу само по собі сприяє запобігання накопичення надлишкових електричних зарядів. Полімер, що залишається у зазорі за межами вкладиша (рис. 1.1, б), поляризується вертикальною складовою електричного поля Землі. Форма цієї частини полімеру при цьому передбачає розподіл заряду на дві основні складові з протилежними зарядами – верхня і нижня полиці в рівнях головки і підосви рейки. Проміжний вертикальний шар поліуретану між ними є перехідним, і напруженість поля в ньому і надмірне зарядження практично рівні 0. В результаті різко збільшується плече дипольного моменту на рейці з вкладишем і, відповідно, протиполе. Це додатково зменшує надлишковий негативний заряд на рейці з вкладишем.

Припущено також, що знизити температурні напруження у рейках дозволить застосування прирейкових вкладишів із бетону зі зниженим коефіцієнтом лінійного теплового розширення α_L . У цьому випадку за рахунок спільної роботи рейки та приклеєного до неї вкладиша як композиційного виробу температурна деформація рейки та відповідне термічне напруження в ній, яке може спричинити викид, набагато менші, ніж у рейки без вкладишів або зі вкладишами із звичайного важкого бетону. Для цього вкладишам необхідно забезпечити мінімально можливий коефіцієнт лінійного теплового розширення α_L , набагато менший, ніж у сталі. Оскільки в бетоні більшу

частину об'єму займають заповнювачі, необхідно застосувати заповнювачі з мінімальними значеннями α_L . У табл. 3.2 наведені значення коефіцієнтів лінійного теплового розширення α_L матеріалів конструкції трамвайної колії та їх складових.

У сталі та важкого бетону α_L близькі за значеннями, які дорівнюють, відповідно, 13×10^{-6} і $10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Близьким до цих значень є й α_L граніту $7,9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. У звичайному бетоні об'єм крупного заповнювача із граніту складає близько 50%, дрібного заповнювача із кварцу – 25%, цементного каменю – 25%. Якщо замінити у бетоні гранітний крупний заповнювач кварцовим, а 50% цементу кварцом меленим пилоподібним, об'єм зерен і частинок кварцу в бетоні може досягати $v_q = 87,5\%$. Кварц характеризується набагато меншими значеннями α_L $(0,77 - 1,4) \times 10^{-6}$, в середньому $1,09 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Припущено, що залежність α_L від v_q лінійна та отримано її графік (рис. 3.37) та рівняння:

$$\alpha_L = (-0,118 v_q + 12,97) \times 10^{-6}, \text{K}^{-1}. \quad (3.27)$$

Таблиця 3.2

Коефіцієнти лінійного теплового розширення α_L матеріалів трамвайної колії та їх складових [133]

Матеріал	α_L, K^{-1}
Сталь	$13 \cdot 10^{-6}$
Важкий бетон	$10 \cdot 10^{-6}$
Граніт	$7,9 \cdot 10^{-6}$
Кварц	$(0,77 - 1,4) \cdot 10^{-6}$
Поліуретан	$57,6 \cdot 10^{-6}$
Каучук твердий	$77 \cdot 10^{-6}$

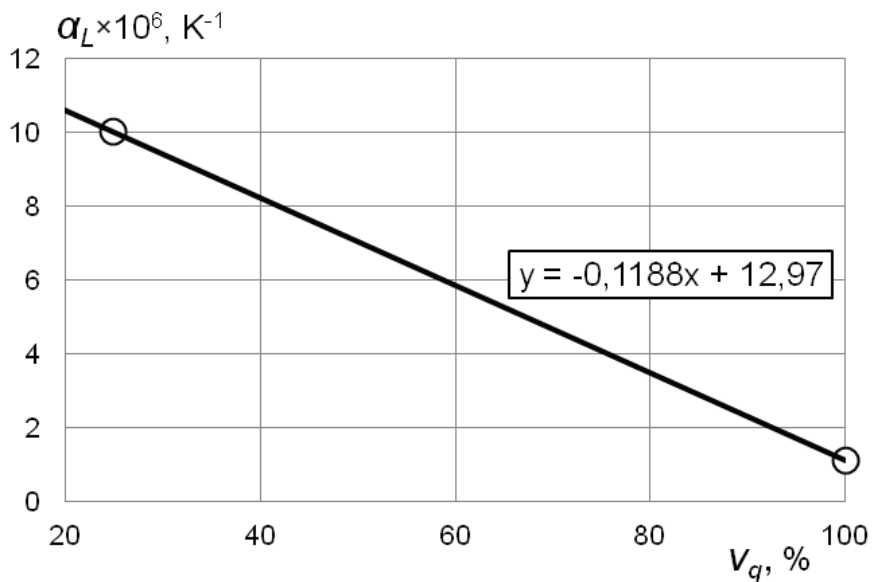


Рис. 3.40. Залежність коефіцієнту лінійного теплового розширення бетону α_L від об'ємного вмісту в ньому кварцових заповнювачів і наповнювачів V_q

Згідно з цією залежністю заміна у важкому бетоні гранітного заповнювача кварцовим, а частини цементу – кварцовим наповнювачем обумовлює зниження коефіцієнта лінійного температурного розширення бетону до 3,8 разів від 10×10^{-6} до $2,65 \times 10^{-6} K^{-1}$.

Зниження температурних напружень в рейці від наклеювання на неї бетонних вкладишів зі зниженим α_L досліджено шляхом розрахункового експерименту, виконаного на скінчено-елементній моделі рейки з жорстко зацемленими від подовжнього переміщення торцями за допомогою програмного комплексу Lira.

Характеристики скінчено-елементної моделі:

- довжина – 1 м, по кінцям рейки зв'язки (вздовж осі) із скінченою жорсткістю, на порядок більшою, ніж для всіх інших зв'язків (переміщення торців від нагріву на $80^\circ C$ не перевищує 0,02 мм);
- у поперечному напрямку по зовнішній границі моделі (плити) встановлені зв'язки скінченої жорсткості, що забезпечують переміщення границь при $80^\circ C$ не більш 0,028 мм у горизонтальних напрямках і не більше 0,003 мм вертикально вниз;
- бетон плити – С25/30, бетон вкладишів – С32/40, α_L вкладишів – $1,1 \times 10^{-6} K^{-1}$;

– нагрів рейки за висотою – рівномірний, іншого перерізу – за епюром від 100% (по контакту з рейкою) до 40% від температури рейки зверху вниз, вкладишів – від 90% (по контакту з рейкою) до 50% від температури рейки.

У складі розрахункового експерименту виконано аналіз напружено-деформованого стану рейки від підвищення температури на 20 і 80°C.

Ізополя температурних напружень в рейках без вкладишів і з вкладишами від підвищення температури на 20 і на 80°C представлені на рис. 3.41 – 3.43, результати аналізу – у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати аналізу напружено-деформованого стану рейки
без вкладишів і зі вкладишами при нагріві

Нагрів від вихідної температури (температури закріплення)	Напруження	Зона перерізу рейки	Величина напружень в рейці, МПа		Ефект від вкладишів–зниження напруження, %
			без вкладишів*	зі вкладишами	
на 20°C	головні стискаючі N3	шийка	57,4	40,7–52,5	12–32
		головка		42,0–54,4	10–30
		max		54,4	10
	еквівалентні		60,1	50,4	12
на 80°C	головні стискаючі N3	шийка	240	163–195	18–32
		головка		175–217	10–27
		max		217	10
	еквівалентні		230	202	12

*напруження у перерізі рейки розподілені рівномірно, мастика не впливає на розподіл напружень за довжиною та висотою рейки

Як бачимо із рис. 3.41 – 3.43, величина стискаючих напружень в рейці без вкладишів досягає 240 МПа, а в рейках із вкладишами складає у шийці – 163 – 195, у головці – 175 – 217 МПа. Таким чином, наклеювання на шийку трамвайної рейки вкладишів із такого бетону обумовлює зниження температурних напружень в ній на 10 – 32%, що суттєво сприятиме запобіганню викидів рейок.

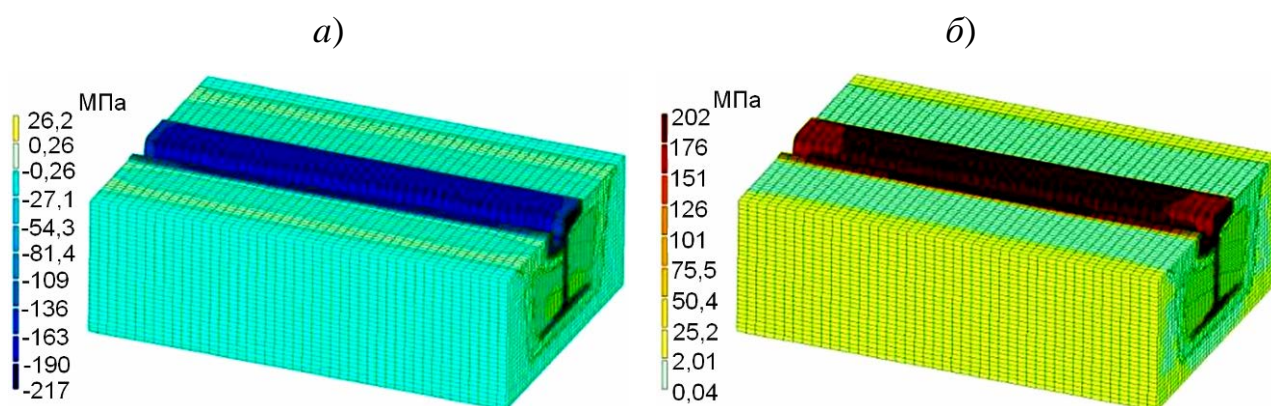


Рис. 3.41. Ізополя напружень у рейці з вкладишами від підвищення температури на 80°C : *a* – головних; *б* – еквівалентних

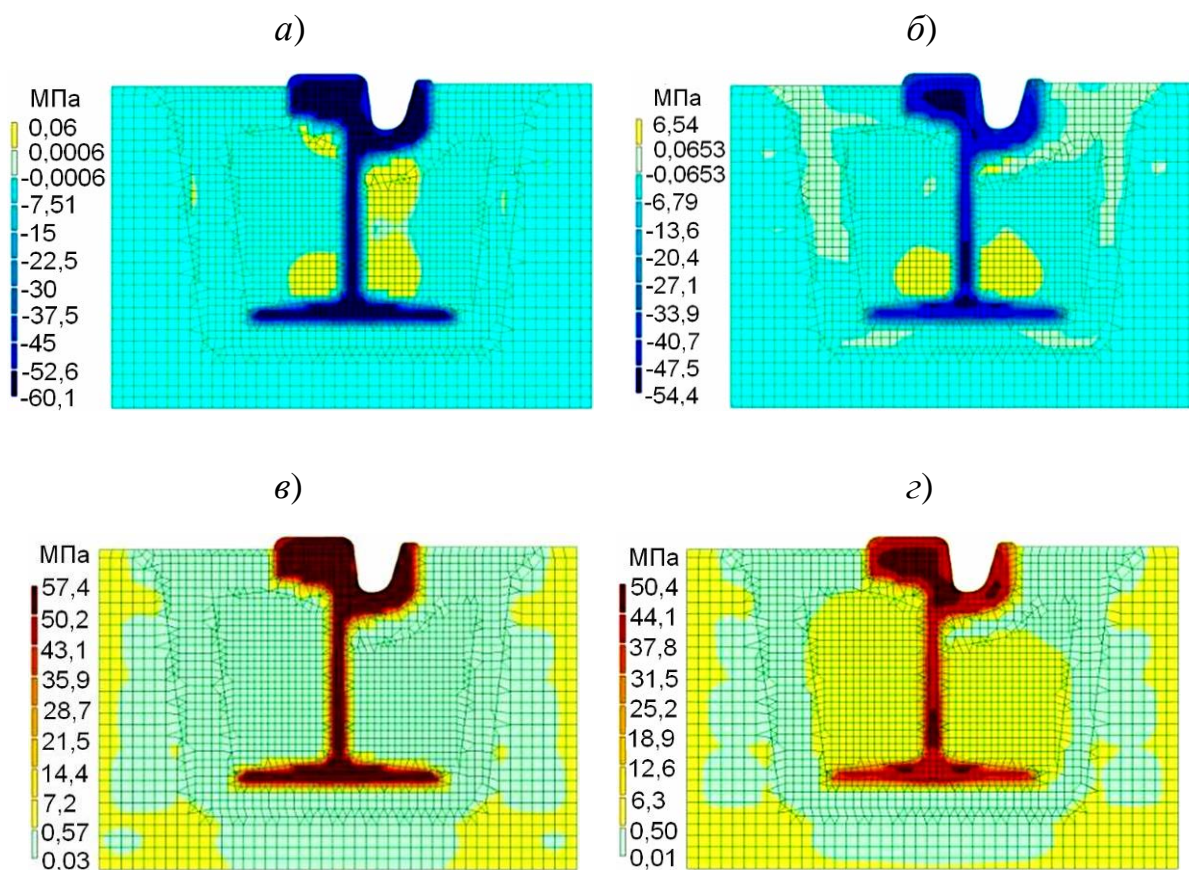


Рис. 3.42. Ізополя напружень від підвищення температури на 20°C : *a*, *б* – головних; *в*, *г* – еквівалентних; *a*, *в* – в рейці без вкладишів; *б*, *г* – в рейці зі вкладишами

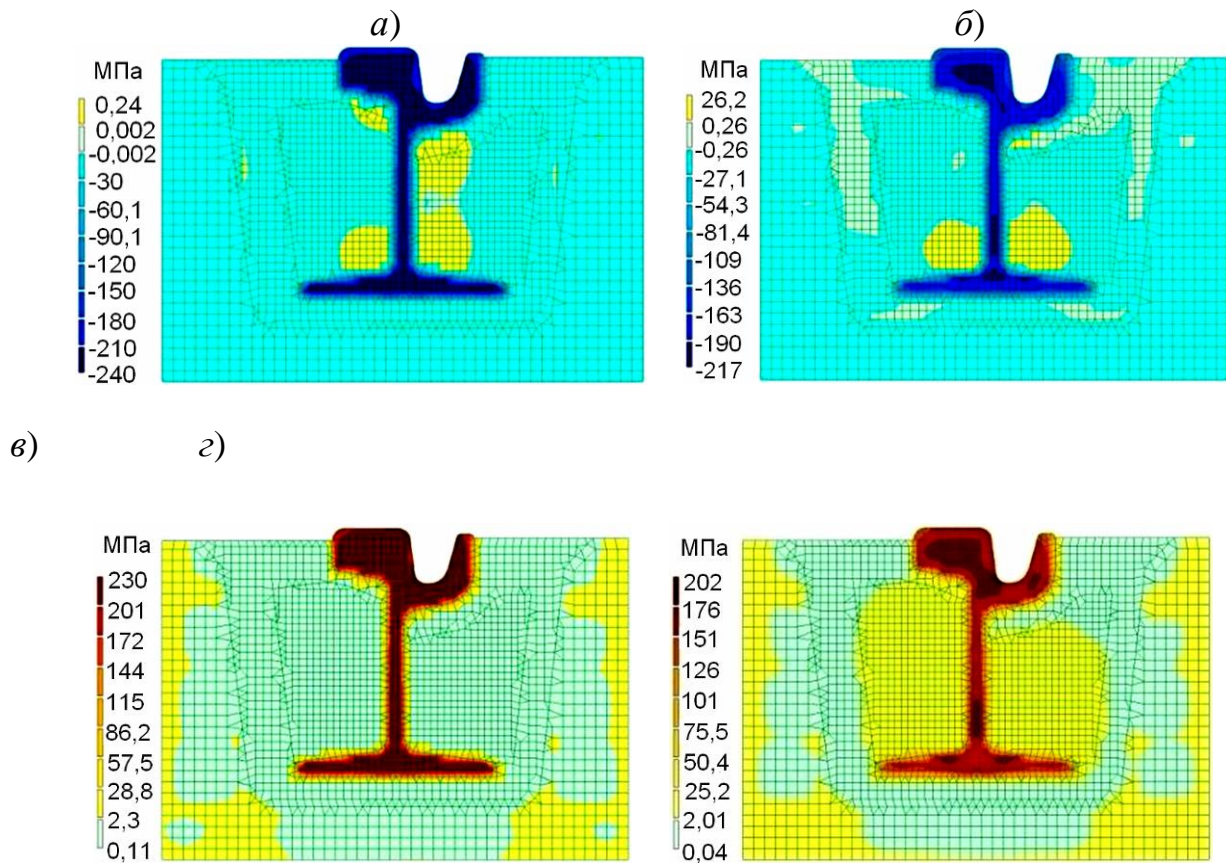


Рис. 3.43. Ізополя напружень від підвищення температури на 80°C: *а, б* – головних; *в, г* – еквівалентних; *а, в* – в рейці без вкладишів; *б, г* – в рейці зі вкладишами

3.4 Теоретичні передумови підбору складу бетону, тріщиностійкого в умовах електричних та динамічних впливів

У [100 – 102, 134] доведено, що такі властивості бетону, як міцність, водонепроникність, тріщиностійкість в умовах статичного навантаження залежать від структурних характеристик бетону на макро-, мезо- та мікрорівнях структури – коефіцієнтів розсунення зерен крупного α і дрібного μ заповнювачів та водоцементного відношення В/Ц. Як величину, альтернативну В/Ц та, одночасно, пов'язану з нею, у [134] запропоновано застосовувати коефіцієнт розсунення частинок цементу (клінкерних реліктів) продуктами гідратації η .

Ці залежності мають екстремальний характер, часто хвилеподібний з декількома максимумами, які забезпечуються у разі відповідності фактичних

значень α , μ , η і В/Ц їх оптимальним величинам $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$ і В/Ц_{опт}. Оптимальні величини $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$ за [100 – 102, 134] визначаються рівняннями:

$$\alpha_{\text{опт}} = 2,1 \cdot (1 + n_{\text{п}} d_{\text{п}} / d_{\text{щ}})^3 - 1,1; \quad (3.28)$$

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \cdot (1 + n_{\text{ц}} d_{\text{ц}} / d_{\text{п}})^3 - 1,1; \quad (3.29)$$

$$\eta_{\text{опт}} = 2,1 \cdot (1 + \delta_{\text{пт}} / d_{\text{ц}})^3 - 1,1, \quad (3.30)$$

де $d_{\text{щ}}$, $d_{\text{п}}$ і $d_{\text{ц}}$ – середні розміри зерен великого та дрібного заповнювачів і частинок цементу, відповідно, мм або мкм; $n_{\text{п}}$, $n_{\text{ц}}$ – кількість рядів щільно упакованих зерен дрібного заповнювача та частинок цементу, відповідно, між зернами великого та дрібного заповнювача; $\delta_{\text{пт}}$ – товщина найбільш щільного прошарку продуктів гідратації цементу між клінкерними реліктами, мкм.

В/Ц_{опт} залежить від мінерального складу цементу, застосовуваних добавок суперпластифікаторів та їх витрати, знаходиться у межах 0,3 – 0,35 і найбільш коректно може бути визначене експериментально [101, 102].

У розвиток робочої гіпотези припущено, що забезпечення оптимальних величин структурних характеристик бетону $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$ і В/Ц_{опт} забезпечить для бетону підрейкових основ та прирейкових вкладишів максимальну тріщиностійкість в умовах динамічних впливів. У разі забезпечення $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$ і В/Ц_{опт} в прошарках між зернами крупного та дрібного заповнювачів, частинками цементу та наповнювача утворюються найбільш щільні структури частинок підлеглих структурних рівнів та максимальна кількість міцних електрогетерогенних контактів (рис. 3.44). Навпаки, у разі значного відхилення фактичної величини коефіцієнту розсунення від оптимальної саме у прошарках між зернами заповнювачів і частинками цементу та наповнювача (рис. 3.44, а) навіть за високих витрат цементу утворюються розущільнені зони з незначною кількістю електрогетерогенних контактів, з яких швидко розпочнеться утворення тріщин від динамічних навантажень.

Отже, для забезпечення такої структури зазначених прошарків середні розміри зерен і частинок, що розташовуються у них, мають узгоджуватись з їх

товщиною. Характеристики, за якими можливо визначити середні розміри зазначених зерен і частинок, наведені на рис. 3.45. Для піску середній розмір його зерен залежить від модуля крупності (рис. 3.45, *a*). Як бачимо, у випадку модуля крупності 1,9 середній розмір зерен піску складає 0,37 мм.

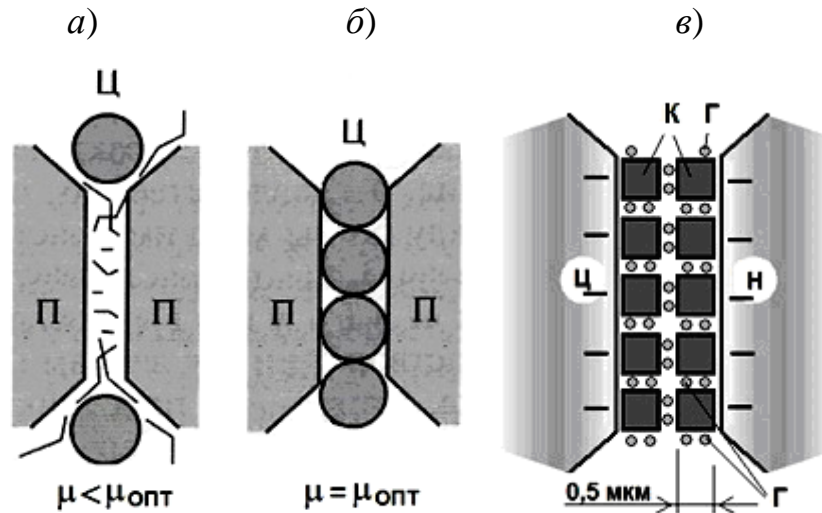


Рис. 3.44. Структура прошарків між зернами дрібного заповнювача (*a*, *б*) і частинками цементу та наповнювача (*в*): *a* – неоптимальна, що не забезпечує тріщиностійкості; *б*, *в* – оптимальні, що забезпечують тріщиностійкість; П – зерна дрібного заповнювача; Ц – частинки цементу; Н – частинки наповнювача; К – кристалогідрати портландиту та еtringіту; Г – глобули гідросилікатного гелю

Портландцемент є поліфракційним порошком. На рис. 3.45, *б* наведено гістограму та диференційну криву розподілу частинок цементу з вказаними радіусами за фракціями. Як бачимо, у цементі наявні фракції з середніми розмірами 5, 10, 30 і 50 мкм. Оскільки фракція з середніми розмірами 5 мкм в основному є трикальцієвим алюмінатом, що розчиняється повністю з утворенням гідроалюмінатів кальцію та еtringіту, призначення $\mu_{\text{опт}}$ за їх розмірами обумовить утворення прошарку, що відповідає рис. 3.44, *a* і не забезпечить задовільної тріщиностійкості цементного каменю та бетону.

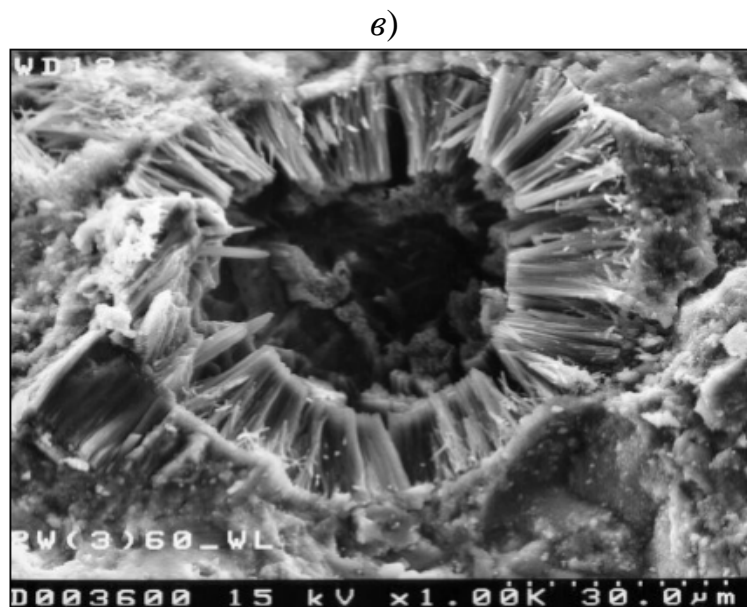
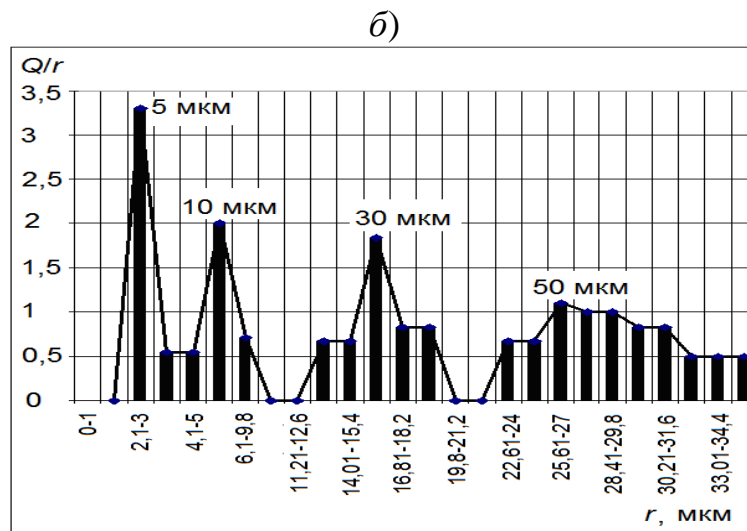
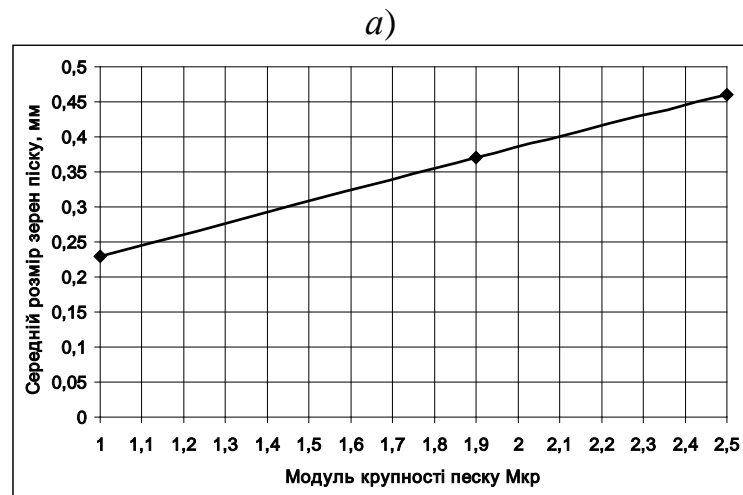


Рис. 3.45. Характеристики, що визначають середні розміри: *a* – зерен піску (залежність середнього розміру зерен від модуля крупності піску); *б* – частинок цементу (гістограма розподілу частинок цементу за розмірами); *в* – електронний мікрознімок кристалогідратів еtringіту у повітряній порі цементного каменю [135]

У складі фракцій 30 і 50 мкм найбільша кількість менш активного двокальцієвого силікату, що в основному залишається у вигляді клінкерних реліктів, тому саме одна із цих фракцій швидше за все має утворити структуру прошарку, близьку рис. 3.44, б, і забезпечить кращі показники тріщиностійкості. Проте у сучасних високоактивних цементах ПЦ І-500Н-Р кількість фракції 50 мкм набагато менша, ніж наведено на рис. 3.45, б. Тому $\mu_{\text{опт}}$ доцільно призначити з розрахунку середнього розміру частинок цементу 30 мкм, уточнивши значення $\mu_{\text{опт}}$ експериментально.

Із кристалогідратних продуктів гідратації портландцементу найбільш масовим є портландит, проте, для динамічної міцності, вважаємо, більш важливим є еtringіт, голкоподібні кристали якого (рис. 3.45, в) здатні виконувати роль мікродисперсного армування цементного каменю та утворювати гнучкі електрогетерогенні контакти з частинками клінкерних реліктів та зернами заповнювачів, отже, сприяти підвищенню тріщиностійкості цементного каменю та бетону. Тому водоцементне відношення має призначатись таким, щоб забезпечувати структуру прошарку між частинками клінкерних реліктів, що максимально відповідатиме схемі рис. 3.44, в.

Розмір кристалогідратів еtringіту згідно [136] складає 0,3 – 0,7 мкм, в середньому 0,5 мкм. Якщо припустити, що найбільш щільна структура прошарку продуктів гідратації між клінкерними реліктами з максимальною кількістю електрогетерогенних контактів складатиметься із двох рядів кристалів еtringіту, які зросли назустріч один одному від поверхонь частинок цементу або зерен заповнювачів (рис. 3.44, в), $\delta_{\text{пт}}$ у (3.30) може бути прийнятим $2 \times 0,5 = 1$ мкм. Електрогетерогенні контакти при цьому утворюються між позитивно зарядженими кристалогідратами і негативно зарядженими поверхнями зерен заповнювачів, кварцового наповнювача, частинок клінкерних реліктів і глобул гідросилікатного гелю.

Оптимальні величини коефіцієнтів розсушення зерен заповнювачів і частинок цементу, визначені за (3.28 – 3.30), наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати визначення оптимальних величин коефіцієнтів розсунення зерен заповнювачів $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, частинок цементу і наповнювача $\eta_{\text{опт}}$

Середні розміри зерен і частинок d , товщини прошарку продуктів гідратації $\delta_{\text{пг}}$					Оптимальні величини коефіцієнтів розсунення		
$d_{\text{ш}}^1$, мм	$d_{\text{п}}^2$, мм	$d_{\text{ц}}$, мм	$d_{\text{ц}}$, мкм	$\delta_{\text{пг}}$, мкм	$\alpha_{\text{опт}}$	$\mu_{\text{опт}}$	$\eta_{\text{опт}}$
7,5	0,23	0,01	10	1	1,20	1,29	1,70
7,5	0,23	0,03	30	1	1,20	1,93	1,22
7,5	0,23	0,05	50	1	1,20	2,69	1,13
7,5	0,47	0,01	10	1	1,42	1,14	1,70
7,5	0,47	0,03	30	1	1,42	1,43	1,22
7,5	0,47	0,05	50	1	1,42	1,74	1,13
12,5	0,23	0,01	10	1	1,12	1,29	1,70
12,5	0,23	0,03	30	1	1,12	1,93	1,22
12,5	0,23	0,05	50	1	1,12	2,69	1,13
12,5	0,47	0,01	10	1	1,25	1,14	1,70
12,5	0,47	0,03	30	1	1,25	1,43	1,22
12,5	0,47	0,05	50	1	1,25	1,74	1,13
10	0,47	0,02	20	1	1,31	1,28	1,22

$^1d_{\text{ш}} = 7,5$ мм для фракції 5 – 10 мм, $d_{\text{ш}} = 12,5$ мм для суміші фракцій 5 – 20 мм;

$^2d_{\text{п}} = 0,23$ мм для дрібного заповнювача з модулем крупності не більше 1,5;

$d_{\text{п}} = 0,47$ мм для дрібного заповнювача з модулем крупності близько 2

У разі визначення оптимальних величин коефіцієнтів розсунення експериментально відповідну їм товщину прошарку δ можливо визначити за рівнянням [134]:

$$\delta = d_n \left(\sqrt[3]{\frac{\mu + 1,1}{2,1}} - 1 \right) \quad (3.31)$$

Для середнього розміру зерен піску $d_{\text{п}}$ 0,23, 0,47 і 0,94 мм ця залежність матиме вигляд, представлений на рис. 3.46.

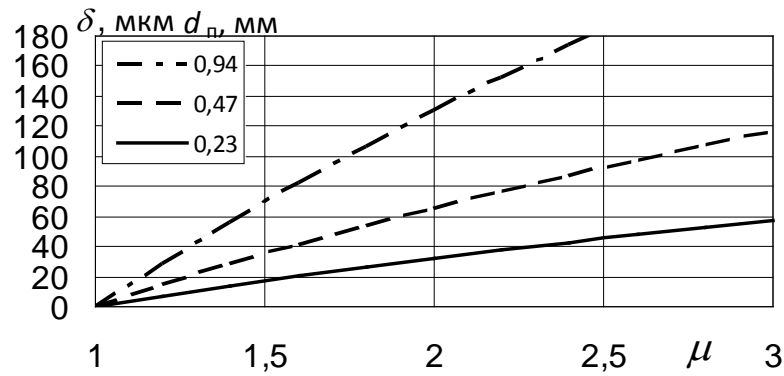


Рис. 3.46. Залежність товщини прошарку δ цементного тіста (каменю) між зернами крупного заповнювача з середнім розміром d_p 0,23, 0,47 і 0,94 мм від коефіцієнту їх розсунення μ

V/C_{opt} , як було вказано, може бути визначене експериментально. У [136] запропоновано визначати його за реологічними характеристиками цементної суспензії з добавкою суперпластифікатором, наприклад, аналізом залежності його умовної в'язкості за віскозиметром ВЗ-1 від V/C (рис. 3.44). V/C_{opt} відповідатиме точці, у якій залежність має найбільшу кривизну і дорівнює для дослідженого цементу 0,32.

Ці залежності та величини мають застосовуватись для підбору складу бетону підвищеної тріщиностійкості в умовах динамічних впливів для конструкцій підрейкових основ, а також для прирейкових вкладишів.

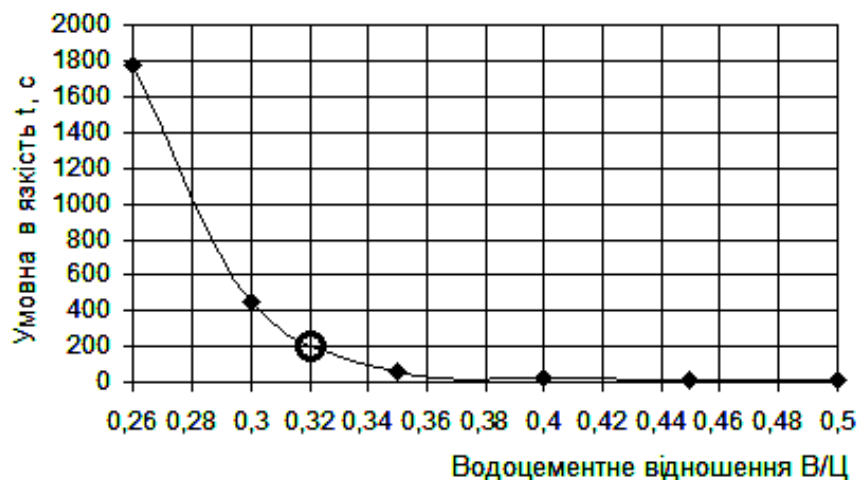


Рис. 3.47. Залежність умовної в'язкості цементної суспензії за віскозиметром ВЗ-1 t, c тіста від його водоцементного відношення V/C

Виконаємо аналіз складів бетону, які застосовуються для виробництва залізобетонних шпал заводами залізобетонних шпал України. Склади бетону, фактичні та оптимальні величин коефіцієнтів розсунення за даними [101] наведені у табл. 3.5.

Фактичні величини коефіцієнтів розсунення зерен крупного та дрібного заповнювача для відомого складу бетону, підбраного іншими методами, можуть бути визначені за формулами [103]:

$$\alpha = \frac{\frac{Ц}{\rho^ц} + \frac{П}{\rho^п} + \frac{В}{\rho^в}}{\frac{Щ}{\rho_n^щ} \cdot \text{Пус}^щ}; \quad \mu = \frac{\frac{Ц}{\rho^ц} + \frac{В}{\rho^в}}{\frac{П}{\rho_n^п} \cdot \text{Пус}^п}, \quad (3.32)$$

де Ц, В, П, Щ – витрата на 1 м³ бетону цементу, води, дрібного та крупного заповнювачів, відповідно; $\rho^ц$, $\rho^п$, $\rho^щ$ – істинна густина цементу, великого та дрібного заповнювачів, відповідно, 3100, 2650, 2650 кг/м³; $\rho^в$ – густина води, 1000 кг/м³; $\rho_n^щ$, $\rho_n^п$ – насипна густина крупного та дрібного заповнювачів, відповідно, 1470, 1450 кг/м³; Пус^щ, Пус^п – пустотність крупного та дрібного заповнювачів, відповідно, 0,44, 0,45; В/Ц – водоцементне відношення.

Таблиця 3.5

Узагальнені склади бетонів, що застосовуються заводами залізобетонних шпал України для виробництва шпал та їх структурні характеристики

Завод ЗБШ	Витрата матеріалів, кг/м ³				Розміри зерен, мм		Коефіцієнти розсунення зерен заповнювачів			
	Щ	П	Ц	В	d _п	d _щ	α	α _{опт}	μ	μ _{опт}
Київський ДЗБШ	1212	702	450	148	0,23	15	1,65	1,10	1,49	2,69
Кременчуцький ЗБШ	1306	646	407	148	0,23	15	1,48	1,10	1,65	2,69
Коростенський ЗБШ	1237	648	448	146	0,47	15	1,60	1,20	1,65	1,74
Гніванський ЗСЗБ	1237	648	448	146	0,47	15	1,60	1,20	1,25	1,74
	1248	661	438	147			1,58		1,51	

Як видно із табл. 3.5, для всіх заводів ЗБШ фактично застосовувані коефіцієнти розсунення зерен крупного заповнювача α у 1,3 – 1,5 рази

перевищували оптимальні величини $\alpha_{\text{опт}}$, а коефіцієнтів розсунення дрібних заповнювачів μ були у 1,05 – 1,88 рази менші, ніж оптимальні величини $\mu_{\text{опт}}$. Випадок $\mu \ll \mu_{\text{опт}}$ свідчить про формування між зернами дрібних заповнювачів прошарків цементного каменю, що відповідають схемі рис. 3.44, *а*. Це було однією з причин частого утворення тріщин у попередньо напружених залізобетонних шпалах, що експлуатуються на залізницях України (рис. 3.48).

Вплив на тріщиностійкість має також неоднорідність заповнювачів, особливо крупного, за розмірами зерен, насипною густиною, пустотністю, яка спричиняє суттєві коливання фактичних величин α і μ в одній партії бетону та окремих шпалах. Ця неоднорідність обумовлена особливостями технології приготування бетонної суміші у вертикальних бетонозмішувальних вузлах з проходженням заповнювачами накопичувальних бункерів (рис. 3.49), які, як правило, оснащені вібраторами для полегшення руху заповнювачів у них.

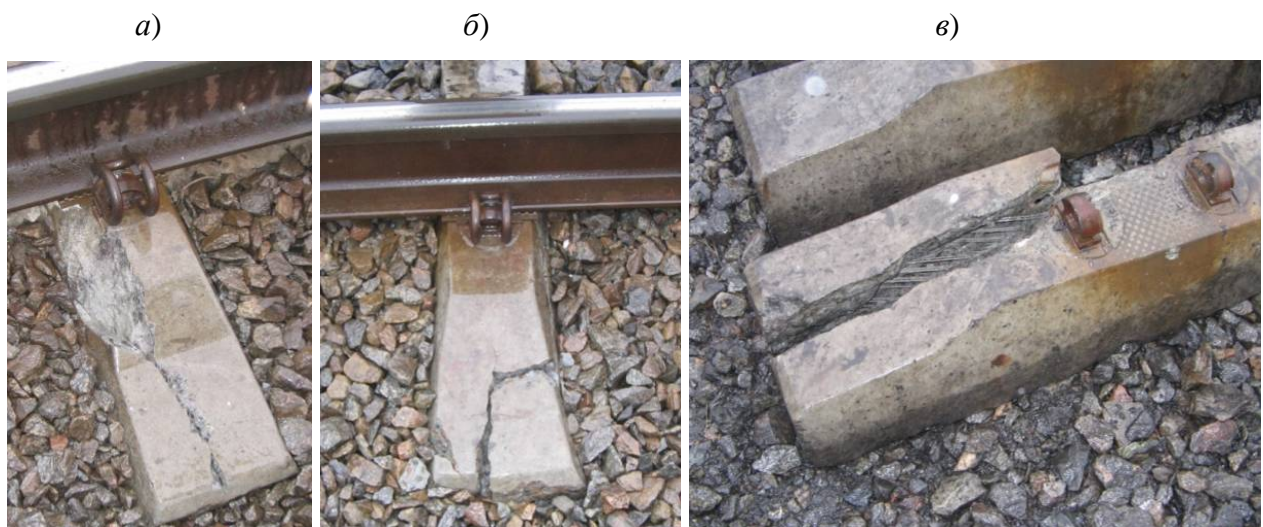


Рис. 3.48. Тріщини та відколи у залізобетонних шпалах на 324 – 338 км ділянки Балаклея – Савинці Південної залізниці (2008 р.)

Щебінь та крупний пісок, особливо у суху погоду, у таких бункерах розшаровуються за рахунок переміщення униз дрібніших зерен крізь порожнечу між більш крупними зернами. В результаті розшарування насипна густина щебеню з первинною насипною густиною 1500 кг/м^3 у верхній частині бункера може знизитись до 1400 кг/м^3 , а у нижній підвищитись до 1600 кг/м^3 .

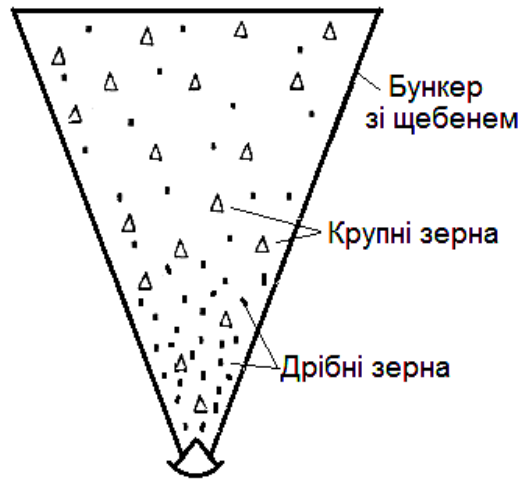


Рис. 3.49. Схема розшарування крупного заповнювача у накопичувальному бункері бетонозмішувального вузла

Висновки за розділом 3

1. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що високій здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє латеральне електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а підвищення віброізоляційних властивостей конструкцій трамвайної колії може досягатись за рахунок виготовлення підрейкових прокладок, ізолюючих втулок, дюбелів, заливних мастик із поліуретанів різної жорсткості, що мають високу вібропоглинальну здатність.

2. В результаті теоретичних досліджень розвинуто уявлення про вплив струмів витоку та надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження на конструкції трамвайних колій. Встановлено наступне: спільна дія змінних і постійних струмів витоку в реальних умовах експлуатації обводнених конструкцій набагато інтенсивніше руйнує ці конструкції; експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення макропотенціалу течії, макроелектрокінетичного потенціалу і виносу з ґрунту катіонів; крім електрокорозійного впливу на бетон і залізобетон та сприяння тріщиноутворенню в бетоні негативні надлишкові електричні заряди, що

накопичуються на підрейкових основах, за рахунок електростатичних сил можуть сприяти сходам рухомого складу на розладнаних ділянках колії.

3. Встановлено, що поліуретан характеризується більшим, ніж гума, електричним опором і здатністю запобігати накопиченню надлишкових електричних зарядів за рахунок електронегативності наявних в ньому функціональних груп $C=O$ з подвійними зв'язками. Ці групи забезпечують негативний заряд поверхонь порового простору, який запобігає перенесенню крізь нього носіїв електричного заряду – аніонів (за рахунок відштовхування) та катіонів (за рахунок адсорбції).

4. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що заміна у важкому бетоні гранітного заповнювача кварцовим, а частини цементу – кварцом меленим пилоподібним обумовлює зниження коефіцієнта лінійного теплового розширення бетону до 3,8 разів від 10×10^{-6} до $2,65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а наклеювання на шийку трамвайної рейки вкладишів із такого бетону – зниження температурних напружень в рейці на 10 – 32%, віброшвидкості коливань підрейкової основи – на 27% від 0,85 до 0,62 мм/с.

5. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів, частинок цементу (клінкерних реліктів) η та водоцементного відношення V/C повинні мати екстремальний характер з максимальними показниками тріщиностійкості за оптимальних величин цих структурних характеристик $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$, $V/C_{\text{опт}}$. Для досліджуваних матеріалів їх значення складають 1,25, 1,74, 1,13 і 0,32, відповідно.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З РОЗРОБКИ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ

Експериментальні дослідження проведені для підтвердження гіпотез та розробки способів захисту від вібраційних та електричних впливів від трамвайних колій, зниження температурних напружень та запобігання тріщиноутворення в них.

4.1 Дослідження поліуретанових мастик

4.1.1 Аналіз ІЧ-спектрів поглинання поліуретанів та гум

Для підтвердження висновків про вплив групи $C=O$ на реологічні властивості поліуретанів виконано аналіз ІЧ-спектрів поліуретанів і гум, які наведені на рис. 4.1 – 4.3.

За [137] валентні коливання групи $C=O$ визначаються лінією, що знаходиться в діапазоні хвильових чисел $1600 - 1800 \text{ см}^{-1}$. У [138] для амідів, різновидом яких є й уретани, цей діапазон уточнюється як $1650 - 1750 \text{ см}^{-1}$ та вказується, що ця лінія за інтенсивністю є сильною. Інтенсивна лінія в цьому діапазоні спостерігається в ІЧ-спектрах всіх досліджених поліуретанів, тоді як у спектрах гум вона відсутня (рис. 4.1 – 4.3, табл. 4.1). Це підтверджує наявність групи $C=O$ у поліуретанах та, отже, її вплив на реологічні та електричні властивості у порівнянні з гумами.

Відзначається також зниження інтенсивності ліній груп $C=O$ в поліуретанах з протягом часу у разі їх експлуатації в умовах інсоляції, що свідчить про розрив подвійних зв'язків, втрату цих груп та, отже, можливе погіршення реологічних та електричних властивостей.

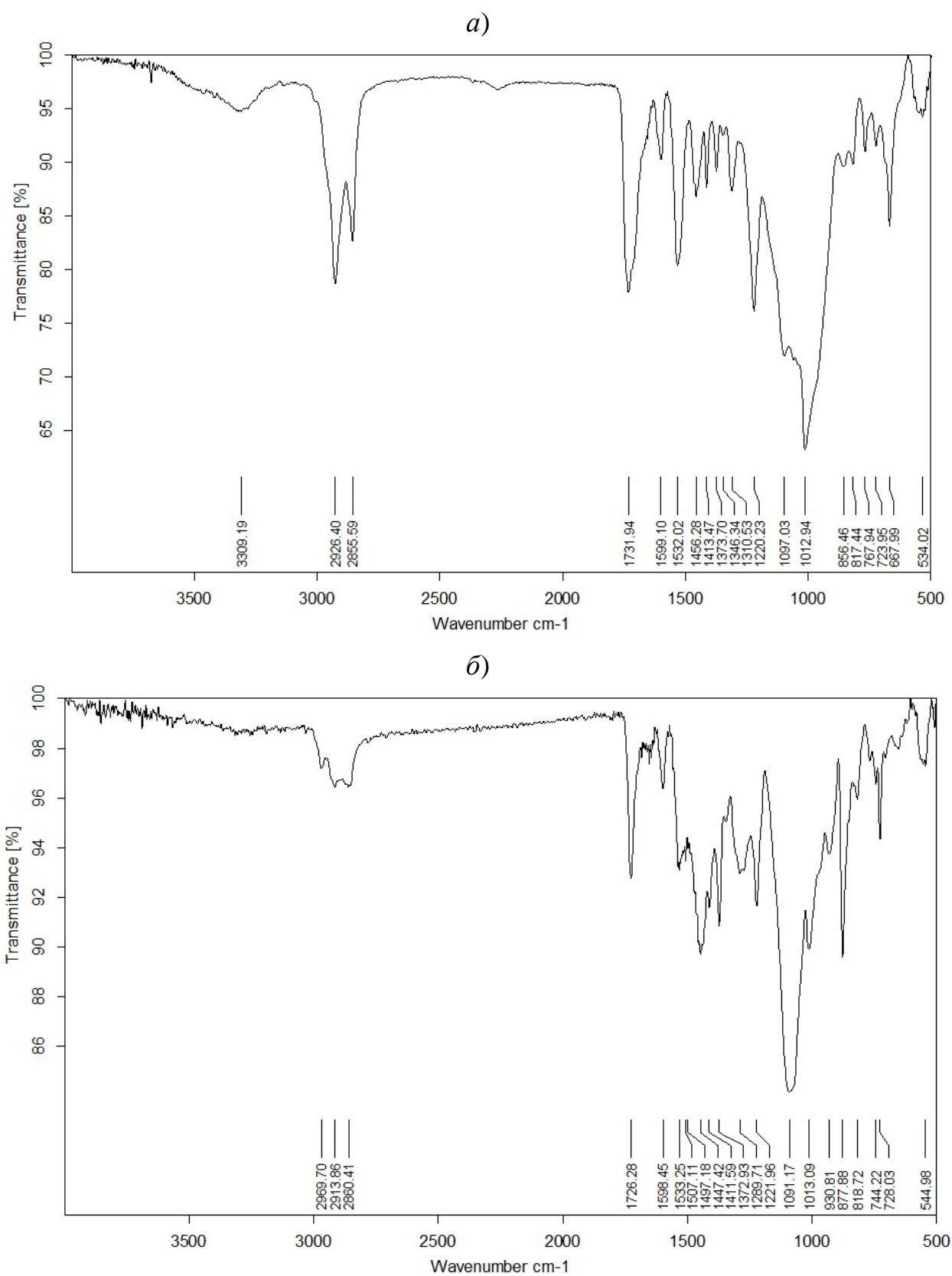


Рис. 4.1. ІЧ-спектри поліуретанів: *a* – Edilon Corkelast нового;
б – Edilon Corkelast після 6 років експлуатації

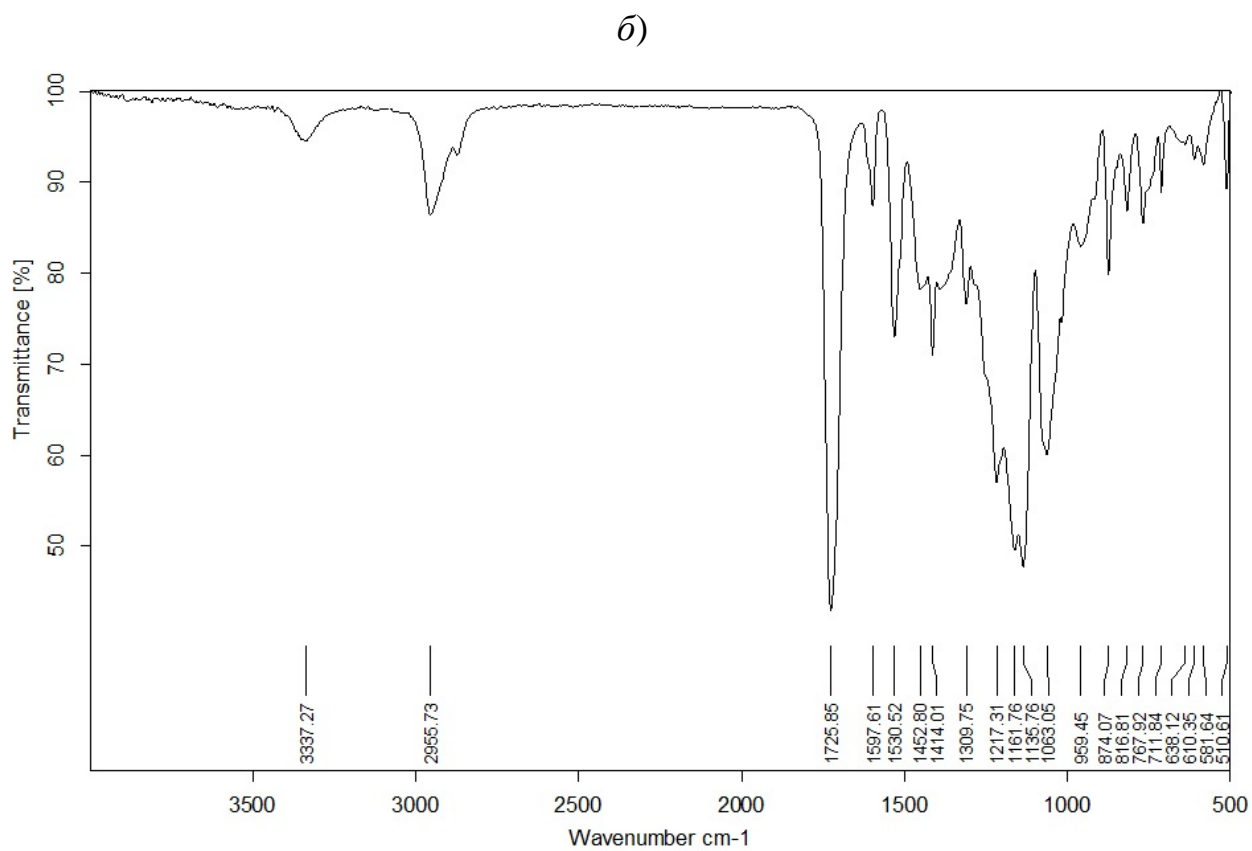
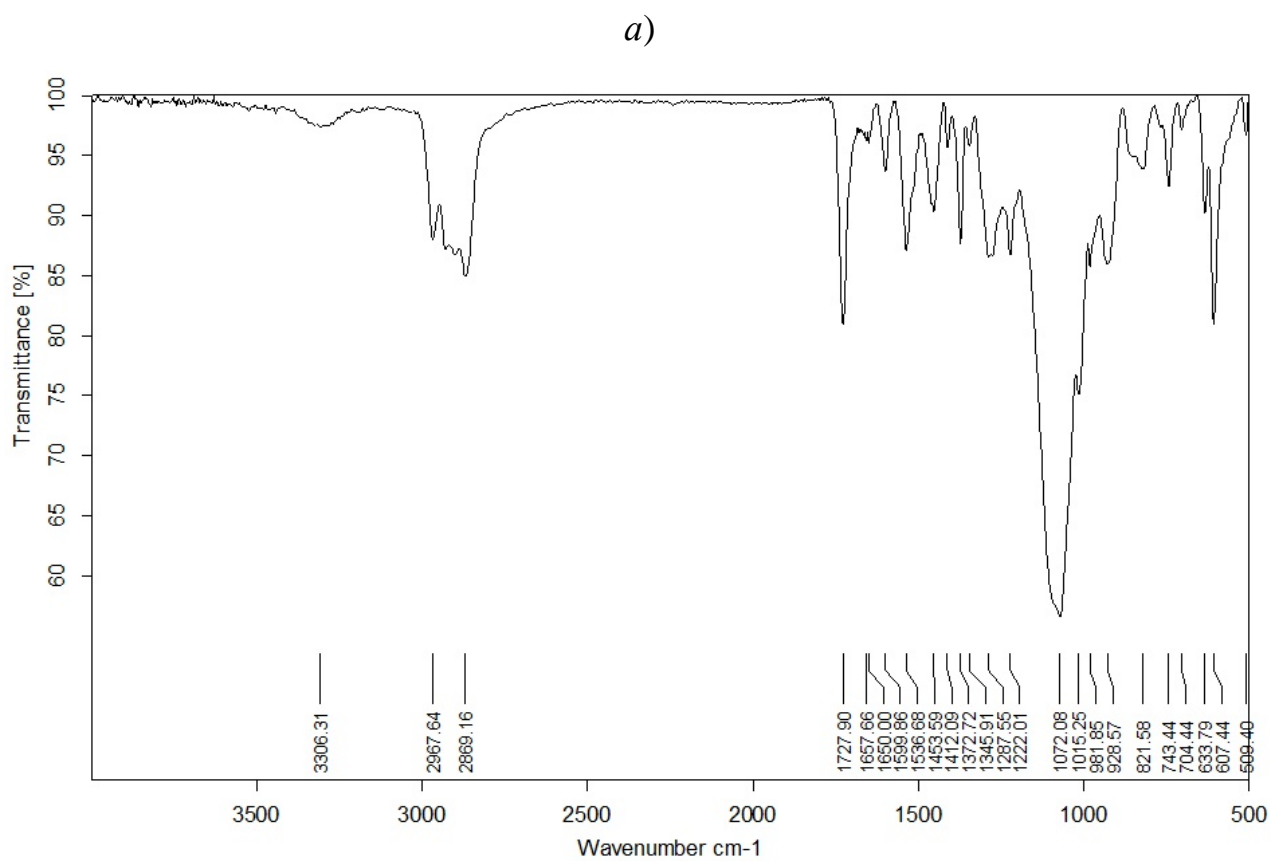
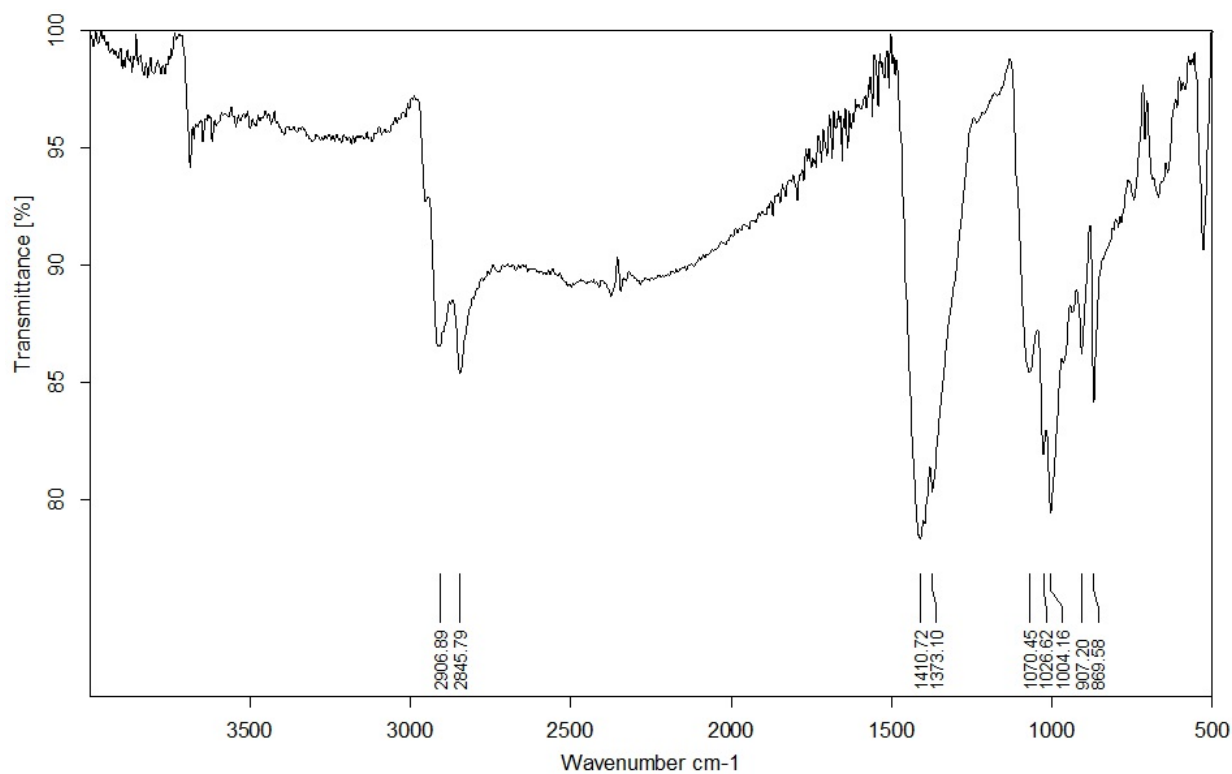


Рис. 4.2. ІЧ-спектри поліуретанів: а – Icosit C340/45F;

б – композиція «Х»

a)



б)

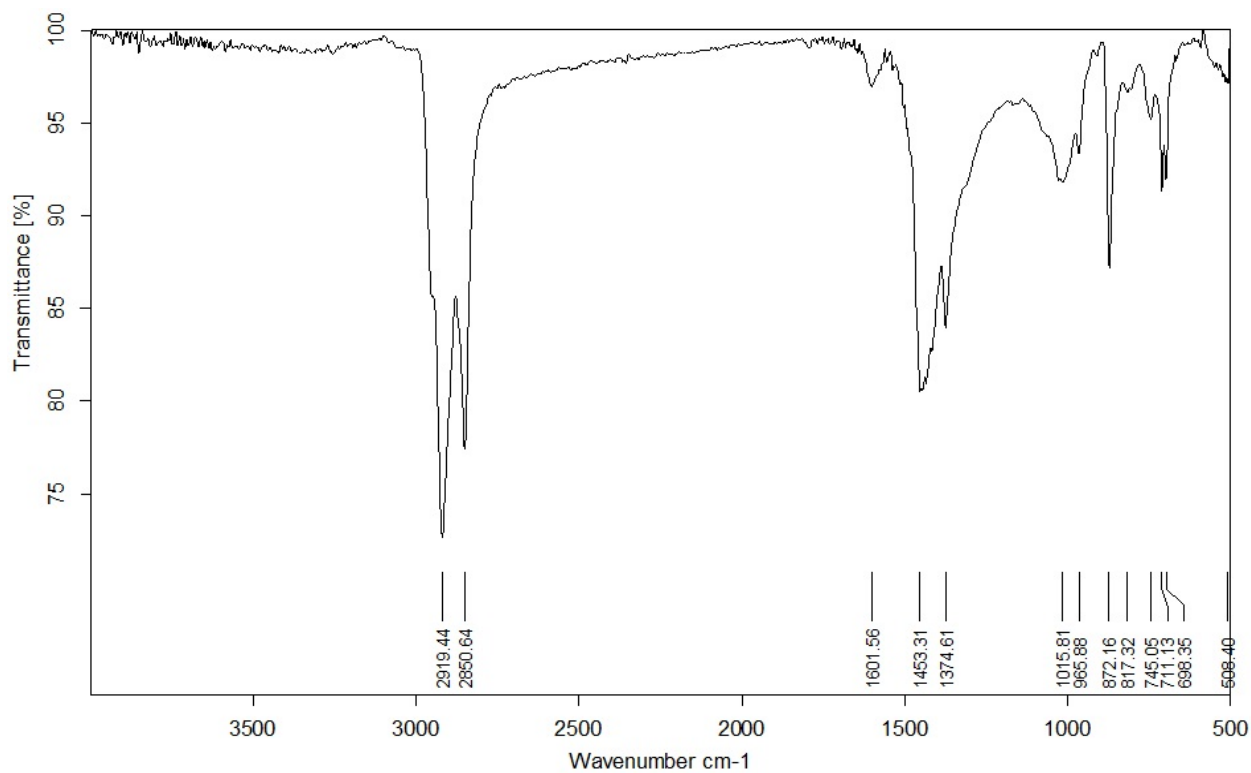


Рис. 4.3. ІЧ-спектри гум: *а* – підрейкової прокладки;
б – сирії (залівна маса трамвайних колій м. Вороцлав)

Таблиця 4.1

Характеристика ліній групи C=O у ІЧ-спектрах досліджених поліуретанів та гум

Зразок	Хвильове число лінії групи C=O, см ⁻¹	Інтенсивність поглинання, %
Поліуретан Edilon Corkelast	1732	23
Поліуретан Edilon Corkelast після 6 років експлуатації	1726	8
Поліуретан Icosit C340/45F	1728	20
Поліуретан «Композиція «Х»»	1726	55
Гума підрейкової прокладки	відсутня	
Гума сира	відсутня	

4.1.2 Адгезія поліуретанових мастик до металу та бетону

У трамвайній колії з рейками, ізольованими у рейкових каналах, під впливом термічних навантажень може відбутись викид рейки із каналу (п. 3.3). Перешкоджає викиду адгезія заливної мастики до бічних вертикальних поверхонь сталі та бетону (рис. 1.1, б). Припустимо, що адгезія на відрив, яка визначається за методикою п. 2.2.2, і границя міцності контакту на зсув близькі за величинами. Якщо привести напруження вириву рейки до міцності на відрив звичайних скріплень, це напруження дорівнюватиме:

$$\sigma_{\text{вир}} = \frac{12500}{2 \cdot 18 \cdot 54} = 6,4 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,6 \text{ МПа},$$

де 18 – висота рейки, см; 54 – відстань між шпалами за епюри 1840 шт./км, см

Отже, для запобігання викидів рейок від температурних напружень адгезія мастики до бетону має складати не менше 0,6 МПа. До сталі з урахуванням роботи мастики або мастики зі вкладишем (рис. 1.1, б) як шпонки, затисненої між головкою та підшовою рейки, допускаються дещо менші величини.

Адгезію поліуретанових мастик до поверхні сталі та бетону досліджували за оригінальною методикою, наведеною у п. 2.2.2. Результати дослідження у порівнянні з бітумно-полімерними мастиками наведені у табл. 4.2.

Результати дослідження адгезії поліуретанових мастик

Матеріал	Адгезія, МПа			Коефіцієнт розм'якшення (водостійкості)
	до сталі	до бетону		
		сухого	водонасиченого	
Edilon Corkelast	понад 0,8	понад 0,8		
Icosit C340/45F	0,88	0,61	0,24	0,39
Композиція «Х» без ґрунтовки	0,51	0,70	0,43	0,61
Композиція «Х» по ґрунтовці	0,45	0,23	0,16	0,70
Бітумно-полімерна мастика	0,7	0,34		

Із табл. 4.2 видно, що поліуретанові мастики різних виробників характеризуються показниками адгезії до сталі порівняними між собою та з бітумно-полімерними мастиками, показниками адгезії до бетону – також порівняними між собою та кращими, ніж модифікованих бітумних мастик. Композиція «Х» має кращі показники адгезії у разі застосування без ґрунтовки, що дозволяє її застосовувати без ґрунтовки (сприятиме зниженню вартості робіт). Композиція «Х» характеризується адгезією до сталі 0,51 МПа, що менше 0,6 МПа, проте, як було показано вище, це є допустимим. Адгезія всіх мастик до бетону знижується у водонасиченому стані на 30 – 61%, проте у дощову погоду максимальні температурні напруження у рейці не виникають і величини коефіцієнтів розм'якшення (водостійкості) контакту мастики з бетоном 0,39 – 0,7 можна вважати припустимими.

4.1.3 Показники вібрації та електричного опору трамвайної колії з ізолюваною поліуретаном рейкою

Показники вібрації та електричного опору трамвайної колії з ізолюваною поліуретаном рейкою та традиційної з гумовими прокладками досліджували за оригінальною методикою, наведеною у пп. 2.2.3, 2.2.4. Результати дослідження наведені у табл. 4.3 та на рис. 4.4.

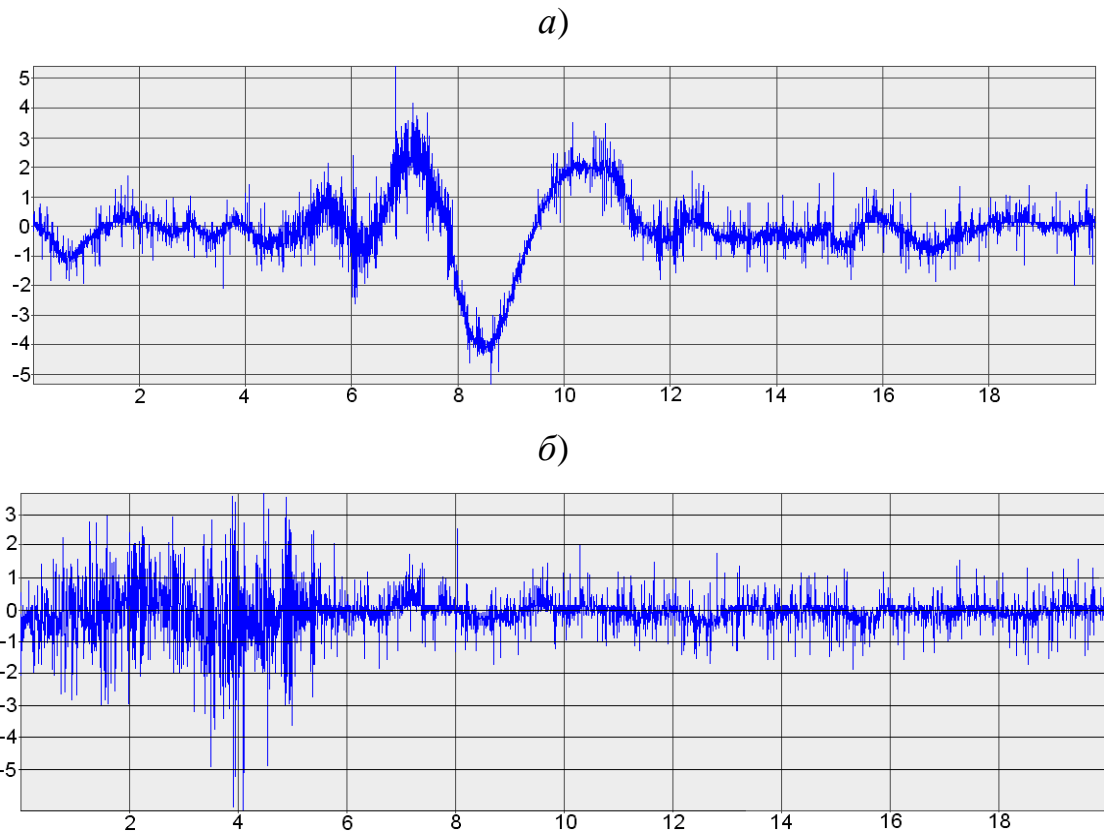


Рис. 4.4. Віброграма коливань залізобетонної плити під час руху трамваю колією: *а* – з ізолюваною Edilon Corkelast рейкою; *б* – традиційною з гумовими підрейковими прокладками

Таблиця 4.3

Результати дослідження в натурних умовах показників вібрації
та електричного опору трамвайної колії

Найменування показника	Один. вимір.	Величина для колії		Покращення показника, %
		з ізолюваною Edilon Corkelast рейкою	традиційної з гумовими прокладками	
Віброшвидкість	мм/с	0,62	0,85	27
Вібропереміщення	мм	0,22	0,27	19
Електричний опір в ланцюгах: – рейка – плита – рейка – ґрунт	МОм «	3,9 –	1 0,016	290 –

Відповідно отриманих віброграм й частотних спектрів, у т.ч. наведених на рис. 4.4, середньоквадратична віброшвидкість для колії традиційної конструкції

дорівнює $V_{\text{скз}} = 0,705$ мм/с ($V_{\text{МАХ}} = 7,05$ мм/с), при частоті ≈ 8 Гц, а переміщення $S = 0,259$ мм.

Середньоквадратичне значення віброшвидкості для колії ізольованою Edilon Corkelast рейкою – $V_{\text{скз}} = 0,482$ мм/с. Вібропереміщення $S = 0,058$ мм. Частота максимуму – 4 Гц.

Як видно з порівняння, колія з ізольованою поліуретановою мастикою рейкою має набагато меншу віброшвидкість, як середньоквадратичну, так і максимальну. У дБ, відповідно, $20 \text{ Lg}(9,7) = 106$ (замість 103).

Електричний опір в ланцюзі рейка – залізобетонна плита традиційної колії з гумовими прокладками: рейка – плита дорівнює 0,8 – 1,2 мОм; рейка – ґрунт – 16 кОм.

Віброшвидкість в дБ визначимо за формулою:

$$V_{\text{дБ}} = 20 \cdot \text{lg}10(V) + 86, \text{ мм/с.} \quad (4.1)$$

Підставимо в це рівняння $V \approx 0,705$ мм/с:

$$V_{\text{дБ}} = 20 \cdot \text{log}(0,705) + 86 = 20 \cdot (-0,15) + 86 = -3 + 86 = 83 \text{ мм/с.}$$

Визначимо максимальну віброшвидкість, підставивши $V \approx 7$ мм/с:

$$V_{\text{дБ}} = 20 \cdot \text{log}(7) + 86 = 20 \cdot (0,84) + 86 = -3 + 86 = 103 \text{ мм/с.}$$

Віброприскорення a в дБ визначимо за формулою:

$$a = 20 \cdot \text{lg}10(S) + 120, \text{ мм/с}^2. \quad (4.2)$$

Підставимо у (4.2) $S = 0,259$ мм:

$$a = 20 \cdot \text{lg}10(0,259) = 20 \cdot (-0,587) = -11,7 + 120 = 108 \text{ мм/с}^2.$$

Отримана величина віброшвидкості перевищує допустиме значення вібрації в житлових приміщеннях, палатах лікарень, санаторіїв від трамваїв, по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 санітарні норми. Допустимі величини виробничої вібрації, вібрації у приміщеннях житлових і громадських будівель наведені у табл. (4.4).

Для частоти 7 Гц допустиме значення вібрації (віброшвидкості у дБ) дорівнює 67 дБ, а виміряне 83 дБ (для середньоквадратичної швидкості) і 103 дБ (для максимальної швидкості).

Однак, виміряна величина визначена поряд з рейкою, і до найближчих будинків і будівель вона зменшується з відстанню. Так, при видаленні від осі тунелю метрополітену мілкового закладення (рис. 4.5), реальна віброшвидкість знизиться до $V_{\text{дБ}} = 67$ дБ на відстані 27 м, а зі більшої відстані – ще нижче.

Таблиця 4.4

Допустимі значення вібрації в житлових приміщеннях

Середньгеометричні частоти смуг, Гц	Допустимі значення по осях X_0, Y_0, Z_0			
	віброприскорення		віброшвидкості	
	$\text{м/с}^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	$\text{м/с} \cdot 10^{-4}$	дБ
2	4,0	72	3,2	76
4	4,5	73	1,8	71
8	5,6	75	1,1	67
16	11,0	81	1,1	67
31,5	22,0	87	1,1	67
63	45,0	93	1,1	67

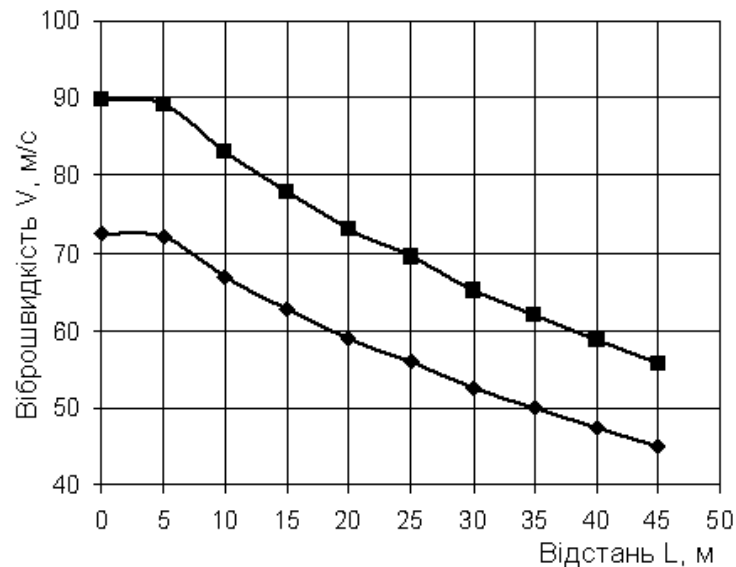


Рис. 4.5. Залежність величини збуджуваної вібрації від відстані до осі тунелю (в плані) при $f = 31,5$ Гц [139]: нижня крива – середньоквадратична швидкість; верхня крива – максимальна швидкість

Таким чином, вимірювання параметрів вібрації, виконані на дослідній ділянці трамвайної колії з удосконаленою конструкцією вбудованої рейки і спеціальними бетонними вкладишами показали їх набагато кращу вібропоглинальну здатність і захист найближчих будинків і споруд від вібрації, в порівнянні зі звичайними трамвайними коліями.

Встановлено також, що поліуретанові мастики забезпечують зниження віброшвидкості коливань плити підрейкової основи у порівнянні з колією на гумових підрейкових прокладках на 27%, збільшення електричного опору між рейкою і плитою – у 3,9 раз. Це підтверджує припущення про те, що високим здатності поліуретану поглинати вібрацію та електричному опору сприяє наявність у поліуретані груп $C=O$ з подвійними зв'язками.

За результатами експериментальних досліджень, викладених у п. 4.1.1 і 4.1.2 як двокомпонентні поліуретанові мастики для ізоляції рейок у рейкових каналах залізобетонних плит можуть бути використані всі досліджувані полімери: Edilon Corkelast, Icosit КС 340/45 F та композиція «Х» без ґрунтовки. Але за станом на 2018 р. Icosit КС 340/45 F та композиція «Х» без ґрунтовки були набагато дешевшими, ніж Edilon Corkelast.

4.2 Тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів

4.2.1 Склади бетону

Як було припущено, найбільша тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів може бути забезпечена призначенням оптимального складу бетону, отже, у якому фактичні коефіцієнти розсунення зерен заповнювачів α , μ та клінкерних реліктів η , а також В/Ц відповідають їх оптимальним величинам $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $\eta_{\text{опт}}$, В/Ц_{опт}. Ці характеристики для застосованих матеріалів (п. 2.1) визначені у п. 3.4 і наведені у табл. 3.4. Для експериментальних досліджень приймемо $\alpha_{\text{опт}} = 1,42$, $\mu_{\text{опт}} = 1,43$, $\eta_{\text{опт}} = 1,22$, В/Ц_{опт} = 0,32 (за рис. 3.47). Виконаємо розрахунок номінального оптимального складу бетону підвищеної стійкості в умовах динамічних та електричних впливів для залізобетонних підрейкових основ і прирейкових вкладишів за методикою, викладеною у [100 – 105] по мірі її удосконалення.

$$\rho_{\text{ц}} = \frac{1}{\frac{\alpha_{\text{опт}}}{\rho_{\text{н}}} \cdot \rho_{\text{ус}}^{\text{м}} + \frac{1}{\rho_{\text{ц}}}} = \frac{1}{\frac{1,42}{1470} \cdot 0,45 + \frac{1}{2650}} = 1232 \text{ кг/м}^3, \quad (4.3)$$

$$\Pi = \frac{1 - \frac{\text{Ш}}{\rho^{\text{ш}}}}{\frac{\mu_{\text{опт}}}{\rho_{\text{н}}^{\text{п}}} \cdot \text{Пус}^{\text{п}} + \frac{1}{\rho^{\text{п}}}} = \frac{1 - \frac{1232}{2650}}{\frac{1,43}{1450} \cdot 0,45 + \frac{1}{2650}} = 652 \text{ кг/м}^3. \quad (4.4)$$

Експериментально визначена витрата води за присутності добавки суперпластифікатора – сульфонафталінформальдегіду в кількості 0,3% від маси цементу – $V = 167 \text{ кг/м}^3$.

З урахуванням цього витрата цементу складе:

$$\text{Ц} = V/(V/\text{Ц}) = 167/0,32 = 522 \text{ кг/м}^3, \quad (4.5)$$

або за об'ємом:

$$V_{\text{цг}} = \frac{\text{Ц}}{\rho^{\text{п}}} = \frac{522}{3100} = 0,168 \text{ м}^3 / \text{м}^3. \quad (4.6)$$

Для прирейкових вкладишів зі зниженим коефіцієнтом лінійного температурного розширення частку цементу замінімо кварцовим наповнювачем. Прийемо їх об'єми однаковими, по $0,084 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Відповідно, їх витрати складуть:

$$\text{Ц} = 0,084 \cdot 3100 = 260 \text{ кг/м}^3; \quad \text{Н} = 0,084 \cdot 2650 = 223 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата добавки суперпластифікатора із розрахунку його дозування 0,2% від маси цементу складе для бетону без кварцового наповнювача:

$$\text{СП} = 0,2 \cdot 522 / 100 = 1,044 \text{ кг/м}^3,$$

з кварцовим наповнювачем:

$$\text{СП} = 0,2 \cdot 260 / 100 = 0,52 \text{ кг/м}^3.$$

Визначені номінальні оптимальні склади бетону для залізобетонних підрейкових основ і бетонних прирейкових вкладишів наведені у табл. 4.5.

Перевірка складу бетонних прирейкових вкладишів:

$$V = 1232/2650 + 652/2650 + 260/3100 + 223/2650 + 167/1000 = 1,0 \text{ м}^3.$$

Отже, склади визначені вірно.

Для експериментальної перевірки оптимальних складів, визначених розрахунковим шляхом, та дослідження залежності міцності бетону та показників його тріщиностійкості в умовах динамічних впливів від його структурних характеристик призначено експериментальні склади, у яких значення коефіцієнтів

розсунення зерен заповнювачів варіювали у межах: α – від 0,95 до 2,56, μ – від 0,95 до 2,18. Експериментальні склади бетону наведені у табл. 4.6.

Таблиця 4.5

Теоретично визначені номінальні оптимальні склади бетону
для залізобетонних підрейкових основ і бетонних прирейкових вкладишів

Призначення складу бетону	Структурні характеристики				Витрата матеріалів, кг/м ³					
	$\alpha_{\text{опт}}$	$\mu_{\text{опт}}$	В/Ц _{опт}	СП/Ц, %	Щ	П	Ц	Н	В	СП
Залізобетонні підрейкові основи та бетонні прирейкові вкладиші для ланкової колії	1,42	1,43	0,32	0,3	1232	652	522	–	167	1,56
Бетонні прирейкові вкла- диші для безстикової колії					1232*		260	223		0,78

* кварцовий щебінь

4.2.2 Залежності міцності бетону від його структурних характеристик

Результати дослідження залежності міцності бетону на стиск f та розтяг при згині f_t від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α , дрібного μ заповнювачів та В/Ц для складів, наведених у табл. 4.6, наведені у табл. 4.7, 4.8 і на рис. 4.6, 4.7. Як видно із рис. 4.6, 4.7 залежності f і f_t від α і μ мають екстремальний хвилеподібний характер, що відповідає [100, 102], і задовільно описуються поліномами 3 і 2 ступеня (табл. 4.8). Залежності f і f_t від В/Ц мають лінійний характер, що відповідає відомому рівнянню Беляєва:

$$f = 0,5A_1R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5), \quad (4.7)$$

де A_1 – коефіцієнт якості заповнювачів, $R_{\text{ц}}$ – активність цементу.

Із табл. 4.8 видно, що більш високу кореляцію мають залежності від структурних характеристик міцності бетону на стиск f , для яких екстремуми спостерігаються за величин $\alpha \approx 1,4$ і $\mu \approx 1,4$, що підтверджує правильність теоретично визначених величин $\alpha_{\text{опт}} = 1,42$ і $\mu_{\text{опт}} = 1,43$. Отже, для залізобетонних підрейкових основ і бетонних прирейкових вкладишів рекомендується застосовувати склади бетону, наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.6

Експериментальні номінальні склади бетону для дослідження залежності міцності бетону та показників його тріщиностійкості в умовах динамічних впливів від його структурних характеристик

№	Д		Витрата матеріалів, кг/м ³					Властивості матеріалів								Ж, с	Структурні характеристики ²		
	Тип	Д/Ц, %						Щ			П			Ц	В ¹		α	μ	В/Ц
			Щ	П	Ц	В ¹	Д	ρ, кг/м ³	ρ _н , кг/м ³	П _{ус}	ρ, кг/м ³	ρ _н , кг/м ³	П _{ус}	ρ, кг/м ³	ρ, кг/м ³				
1	–	–	900	1000	350	200	–	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		2,56	1,01	0,57
2	–	–	1100	800	350	189	–	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		1,83	1,22	0,54
3	–	–	1300	600	350	175	–	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		1,32	1,55	0,50
4	–	–	1500	400	350	161	–	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		0,95	2,21	0,46
5	ПК	1	900	1000	350	182	3,5	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		2,50	0,95	0,52
6	ПК	1	1100	800	350	175	3,5	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		1,79	1,16	0,50
7	ПК	1	1300	600	350	167	3,5	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		1,30	1,50	0,48
8	ПК	1	1500	400	350	158	3,5	2650	1470	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000		0,94	2,18	0,45
9 ³	НФ	0,2	1333	574	505	106	0,21	2650	1450	0,45	2650	1450	0,45	3100	1000	20	1,22	1,51	0,21
10 ⁴	–	–	1256	645	404	142	–	2730	1375	0,50	2530	1410	0,44	3100	1000	21	1,37	1,36	0,35
11 ⁴	–	–	1260	625	420	100	–	2730	1375	0,50	2530	1410	0,44	3100	1000	24	1,25	1,21	0,24
12 ⁴	–	–	1260	605	445	101	–	2730	1375	0,50	2530	1410	0,44	3100	1000	26	1,25	1,30	0,23

¹ Витрату води визначено експериментально для досягнення марки з рухливості бетонної суміші S1 (ОК = 1 – 4 см);

² α і μ визначено за рівняннями (3.31); ³ Склад призначено для виготовлення зразків у лабораторних умовах та опрацювання методик досліджень із розрахунку отримання класу С20/25; ⁴ Склади призначено за рекомендацією УкрДУЗТ Коростенським заводом залізобетонних шпал за умови забезпечення класу бетону одразу після пропарювання С32/40, С35/45 і С40/50, відповідно

Таблиця 4.7

Результати дослідження залежностей міцності бетону
природного твердіння від його структурних характеристик

№	Структурні характеристики			Міцність бетону, МПа,						
				на стиск f у віці, діб				на розтяг при згині f_t у віці, діб		
	α	μ	В/Ц	п/п	3	7	28	3	7	28
1	2,56	1,01	0,57		23,2	30,0	40,3	4,8	5,6	6,2
2	1,83	1,22	0,54		38,1	48,0	54,0	5,6	6,2	6,8
3	1,32	1,55	0,50		37,4	47,5	53,8	6,3	7,0	7,5
4	0,95	2,21	0,46		33,8	42,1	49,4	5,4	6,1	6,6
5	2,50	0,95	0,52		29,3	38,2	49,4	5,5	6,6	7,2
6	1,79	1,16	0,50		42,2	51,3	62,1	6,4	7,2	7,9
7	1,30	1,50	0,48		47,3	59,4	69,0	7,4	8,5	9,3
8	0,94	2,18	0,45		39,0	49,7	60,3	6,2	7,0	7,6
9	1,22	1,51	0,21	27,7						
10	1,37	1,36	0,35	43,6		49,8				
11	1,25	1,21	0,24	51,2		57,0				
12	1,25	1,30	0,23	58,5		63,4				

Таблиця 4.8

Характер отриманих залежностей міцності бетону
природного твердіння від його структурних характеристик

Залежність	Характер залежності	R^2	Кореляція за шкалою Чеддока	Оптимальна величина структурної характеристики
f від α	поліном 3 ступеня	0,73	висока	$\alpha \approx 1,4$
f від μ	поліном 3 ступеня	0,61	помітна	$\mu \approx 1,4$
f від В/Ц	пряма	0,50	помітна	–
f_t від α	поліном 3 ступеня	0,50	помітна	$\alpha \approx 1,4$
f_t від μ	поліном 2 ступеня	0,42	помірна	$\mu \approx 1,6$
f_t від В/Ц	пряма	0,28	слабка	–

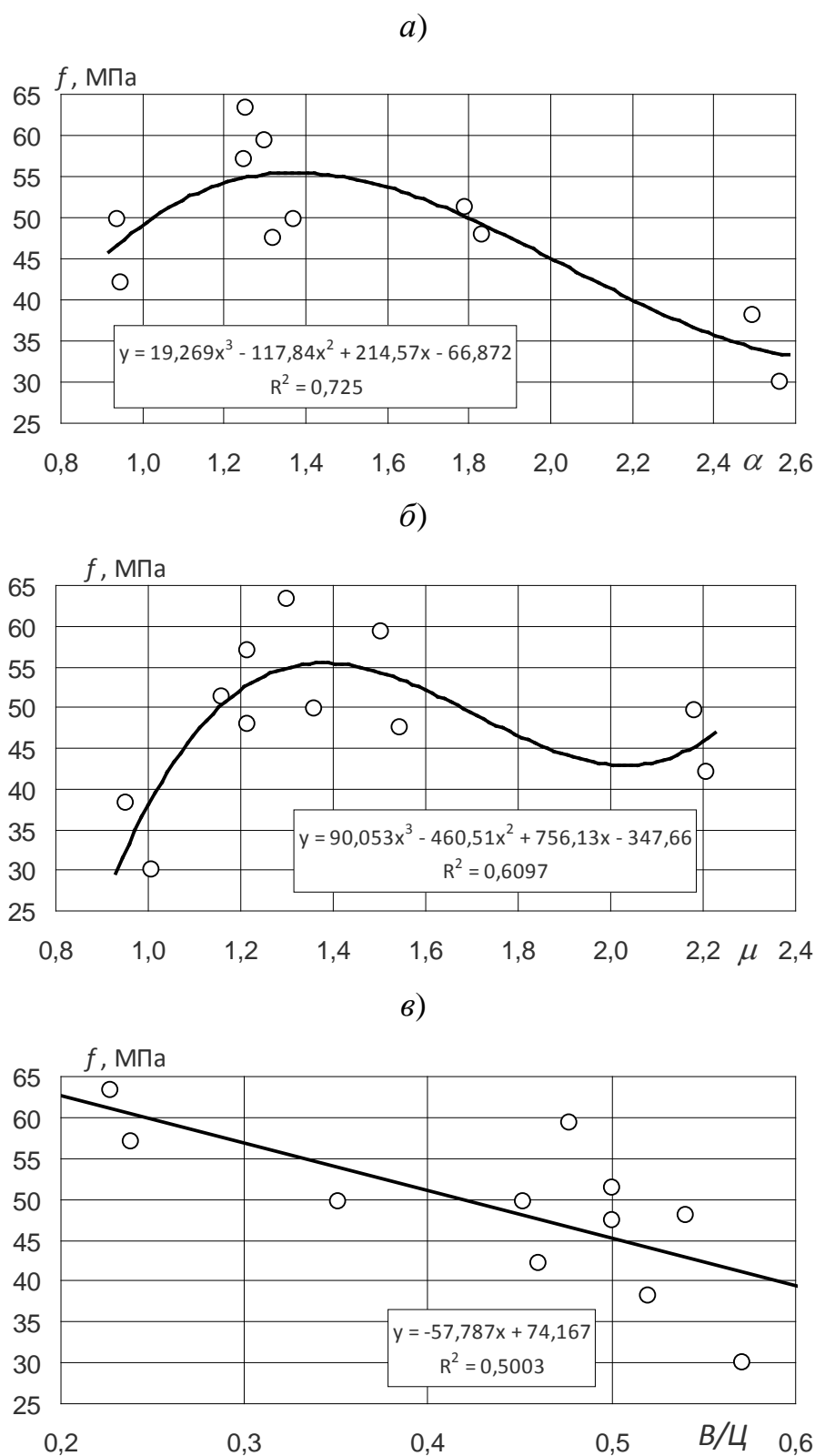


Рис. 4.6. Залежності міцності бетону на стиск f через 7 діб природного твердіння від коефіцієнту розсунення зерен крупного α (а), дрібного μ (б) заповнювачів і водоцементного відношення B/C (в)

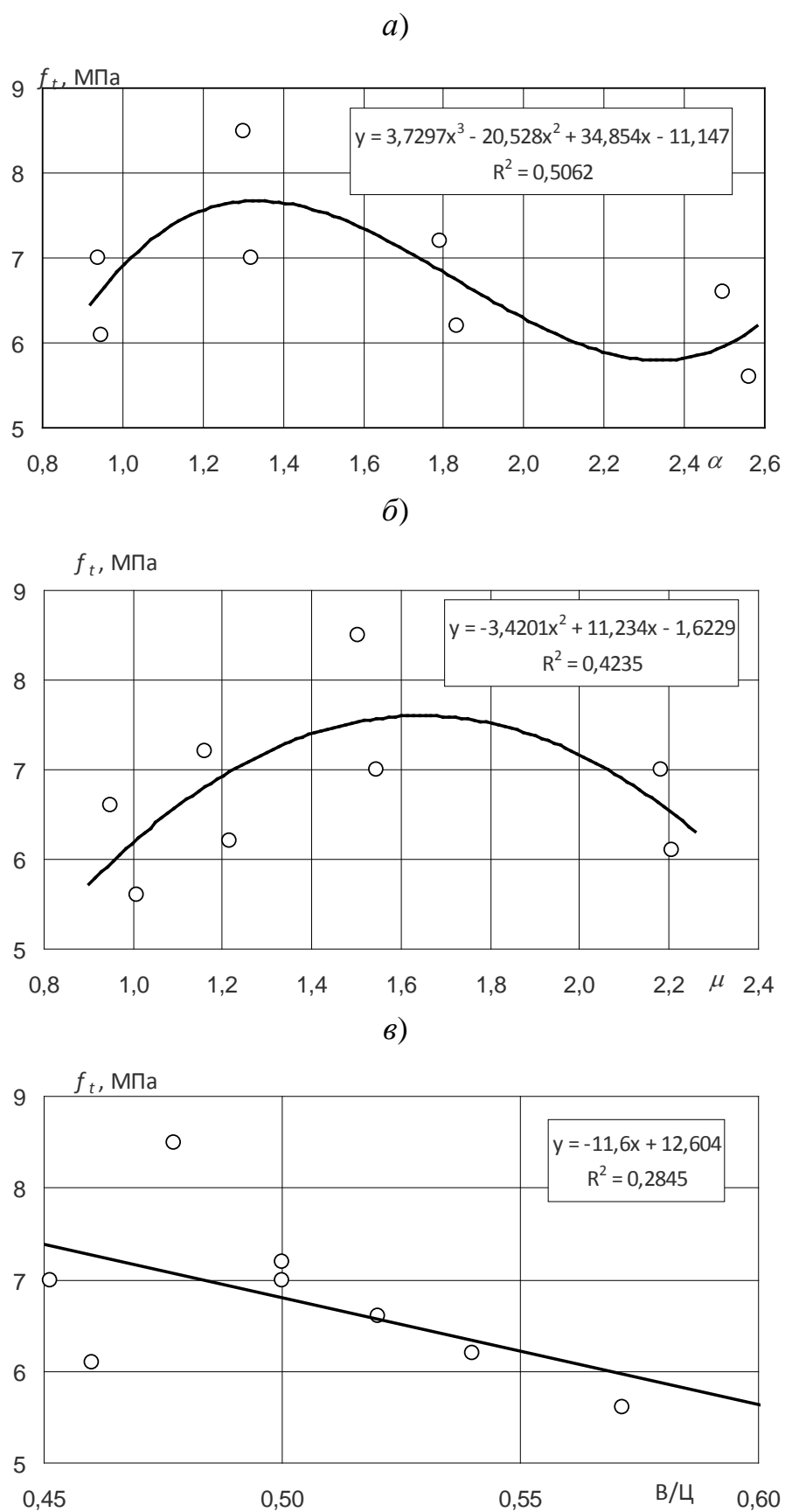


Рис. 4.7. Залежності міцності бетону на розтяг при згині f_t через 7 діб природного твердіння від коефіцієнту розсунення зерен крупного α (а), дрібного μ (б) заповнювачів і водоцементного відношення В/Ц (в)

4.2.3 Залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних (ударних) впливів від його структурних характеристик

Тріщиностійкість бетону в умовах динамічних (ударних) впливів від його структурних характеристик здійснювали за методикою, наведеною у п. 2.2.5.

Результати дослідження у вигляді залежності сумарної енергії ударних впливів E , витрачених на утворення первинної тріщини E_1 , первинного відколу E_2 , значних відколів E_3 і повного руйнування зразка E_4 від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α , дрібного μ заповнювачів та водоцементного відношення В/Ц наведені у табл. 4.9, 4.10 і на рис. 4.8 – 4.13. Зовнішній вигляд зразка із серії з найбільш характерним пошкодженням після проведення випробування наведений на рис. 4.14.

Таблиця 4.9

Результати дослідження тріщиностійкості бетону
в умовах динамічних (ударних) впливів

№	α	μ	В/Ц	Сумарна енергія ударних впливів E , Дж, витрачена на:			
				утворення первинної тріщини E_1	утворення первинного відколу E_2	значні відколи E_3	повне руйнування E_4
9	1,22	1,51	0,21	1,37	1,37	1,96	3,96
10	1,37	1,36	0,35	0,39	0,39	11,1	23,5
				0,39	1,57	23,7	32,0
11	1,25	1,21	0,24	0,59	1,73	11,5	25,5
				0,63	1,81	3,9	58,9
12	1,25	1,30	0,23	2,35	2,55	39,2	58,9
				0,27	1,06	58,9	58,9

Таблиця 4.10

Характер отриманих залежностей сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку первинної тріщини E_1 , первинного відколу E_2 , значних відколів E_3 та руйнування зразка E_4 від його структурних характеристик

Залежність	Характер залежності	Коефіцієнт детермінації R^2	Кореляція за шкалою Чеддока	Оптимальна величина структурної характеристики
E_1 від α	поліном 2 ступеня	0,12	слабка	$\alpha \approx 1,27$
E_2 від α	поліном 2 ступеня	0,33	помірна	$\alpha \approx 1,27$
E_3 від α	поліном 3 ступеня	0,43	помірна	$\alpha \approx 1,31$
E_4 від α	поліном 3 ступеня	0,77	висока	$\alpha \approx 1,30$
E_1 від μ	поліном 3 ступеня	0,36	помірна	$\mu \approx 1,27$
E_2 від μ	поліном 3 ступеня	0,33	помірна	$\mu \approx 1,26$
E_3 від μ	поліном 3 ступеня	0,89	висока	$\mu \approx 1,28$
E_4 від μ	поліном 3 ступеня	0,79	висока	$\mu \approx 1,27$
E_1 від В/Ц	пряма	0,22	слабка	–
E_2 від В/Ц	пряма	0,24	слабка	–
E_3 від В/Ц	пряма	0,02	відсутня	–
E_4 від В/Ц	пряма	0,02	відсутня	–

Як видно із рис. 4.8 – 4.11 сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку первинної тріщини E_1 , первинного відколу E_2 , значних відколів E_3 та руйнування зразка E_4 від α і μ мають екстремальний хвилеподібний характер, що відповідає [100 – 102], і задовільно описуються поліномами 2 і 3 ступеня (табл. 4.10). Залежності E від В/Ц близькі до лінійних, проте мають дуже слабку кореляцію.

Із табл. 4.10 видно, що більш високу кореляцію мають залежності від структурних характеристик сумарної енергії ударного впливу, витраченої на повне руйнування зразка E_4 , для яких екстремуми спостерігаються за величин $\alpha \approx 1,30$ і $\mu \approx 1,27$, що відрізняється від теоретично визначених оптимальних величин (для крупного заповнювача 5 – 20 мм з $d_{щ} = 12,5$ мм, $d_{п} = 0,47$ мм і $d_{ц} = 0,03$ мм). Це може бути пояснене коливаннями фракційного складу матеріалів на підприємствах (зразки – блоки були виготовлені на Коростенському ЗЗБШ). Так, розрахунок для $d_{щ} = 10$ мм, $d_{п} = 0,47$ мм і

$d_{ц} = 0,02$ мм (як для більш активного цементу) дає величини $\alpha_{опт} = 1,31$ і $\mu_{опт} = 1,28$, що практично повністю відповідає отриманим експериментальним даним. Отже, для залізобетонних підрейкових основ рекомендується здійснювати підбір складу бетону з урахуванням експериментально уточнених величин $\alpha_{опт} = 1,30$ і $\mu_{опт} = 1,27$.

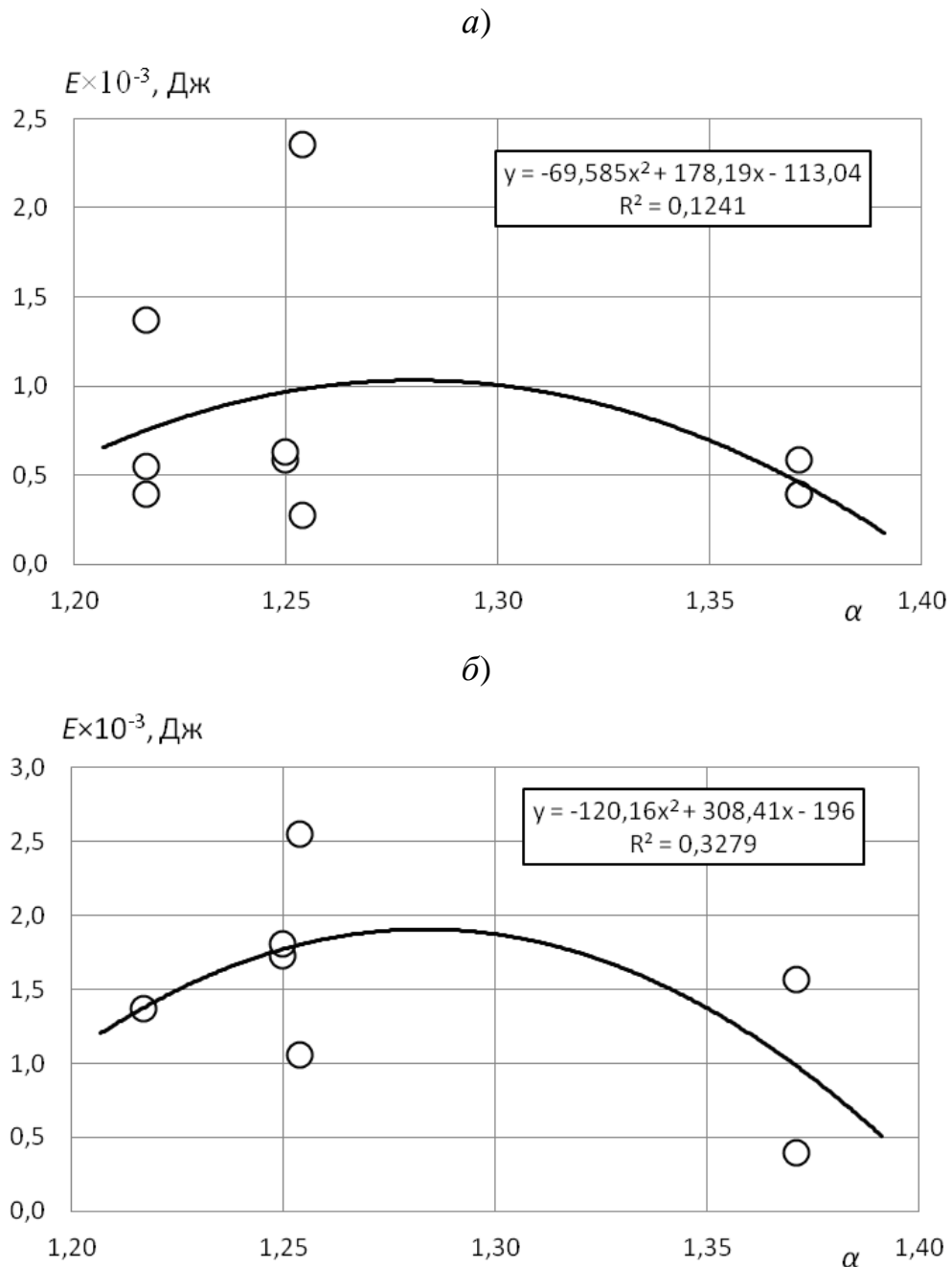


Рис. 4.8. Залежність сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку первинної тріщини E_1 (а) і первинного відколу E_2 (б) від коефіцієнту розсунення зерен крупного заповнювача α

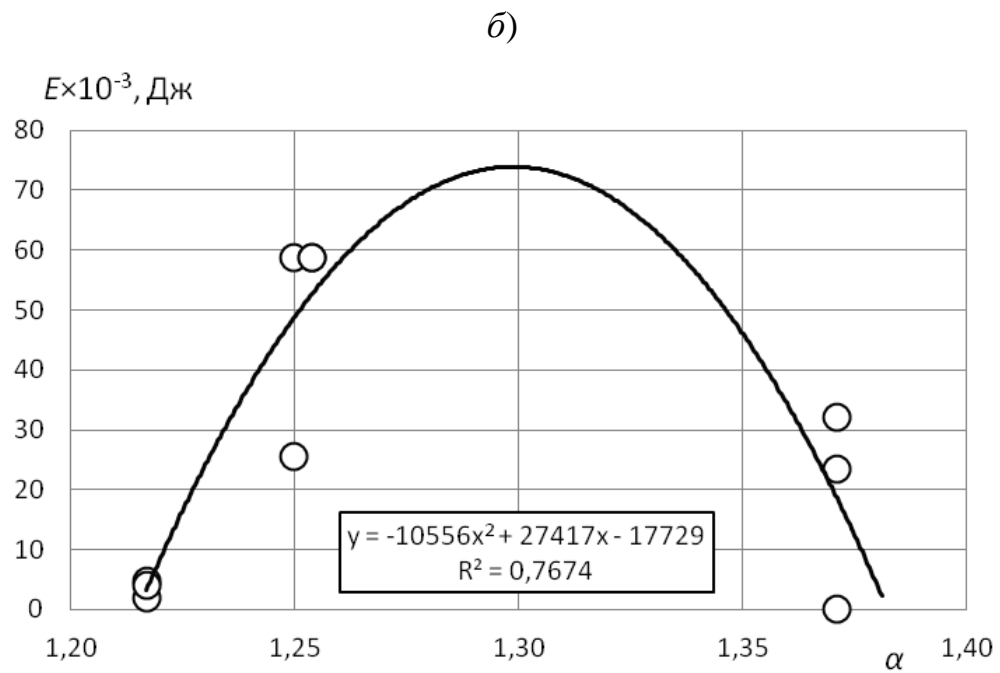
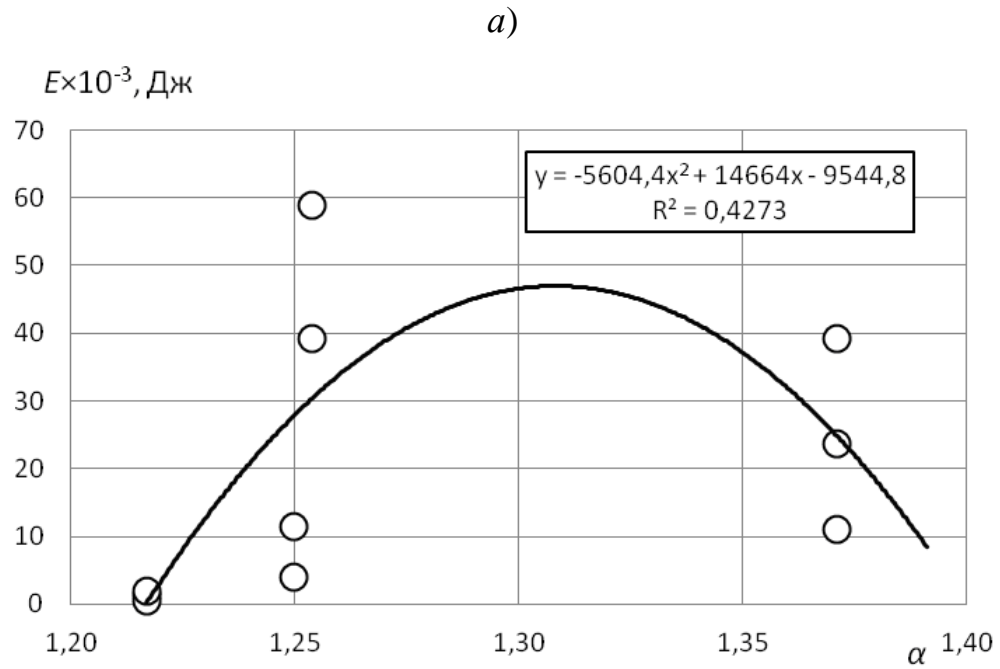


Рис. 4.9. Залежність сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку значних відколів E_3 (а) та його повне руйнування E_4 (б) від коефіцієнту розсунення зерен крупного заповнювача α

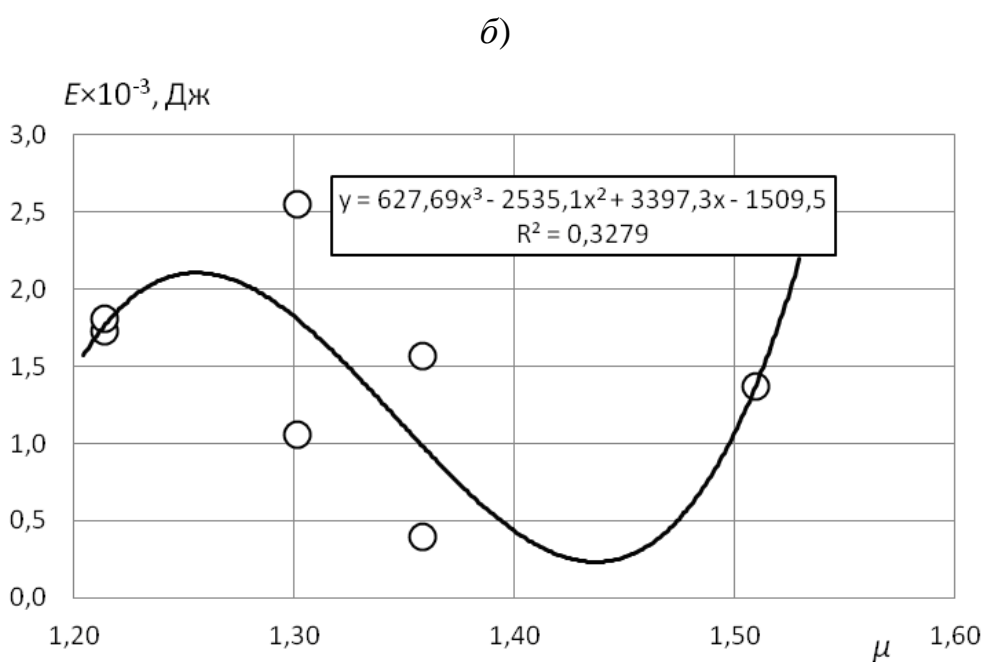
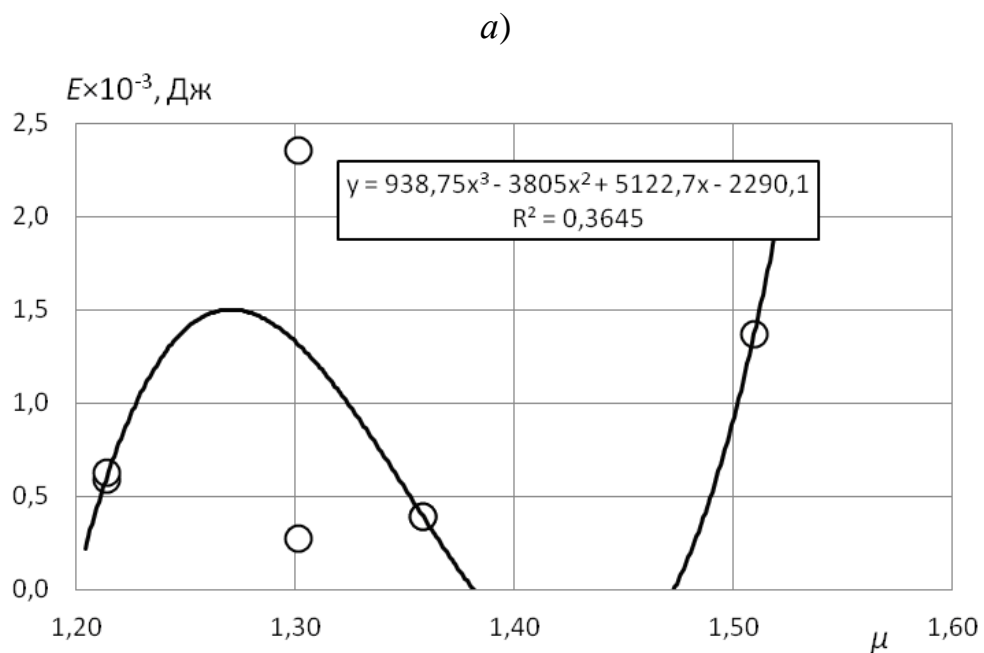


Рис. 4.10. Залежність сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку первинної тріщини E_1 (а) і первинного відколу E_2 (б) від коефіцієнту розсунення зерен дрібного заповнювача μ

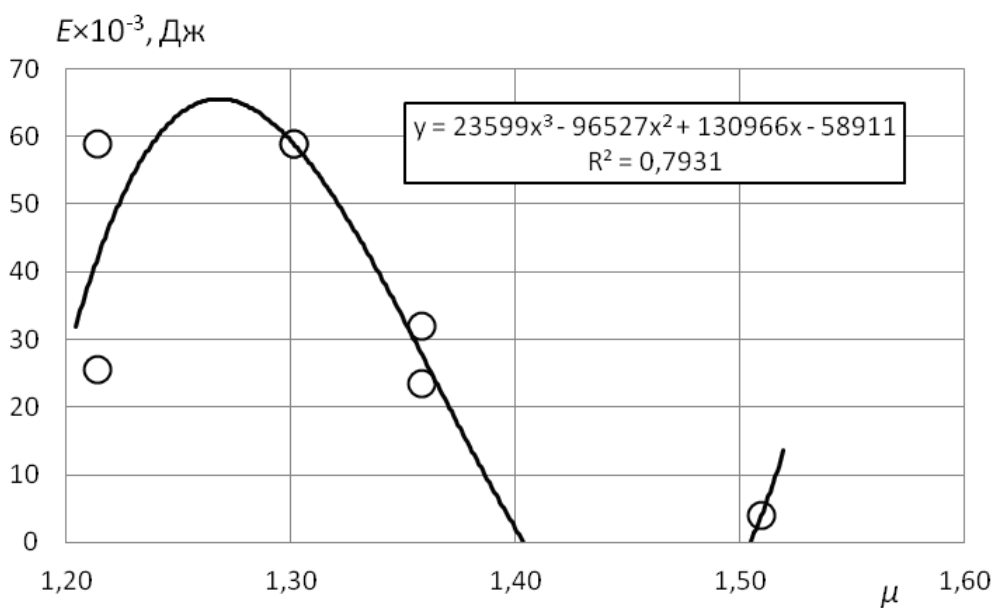
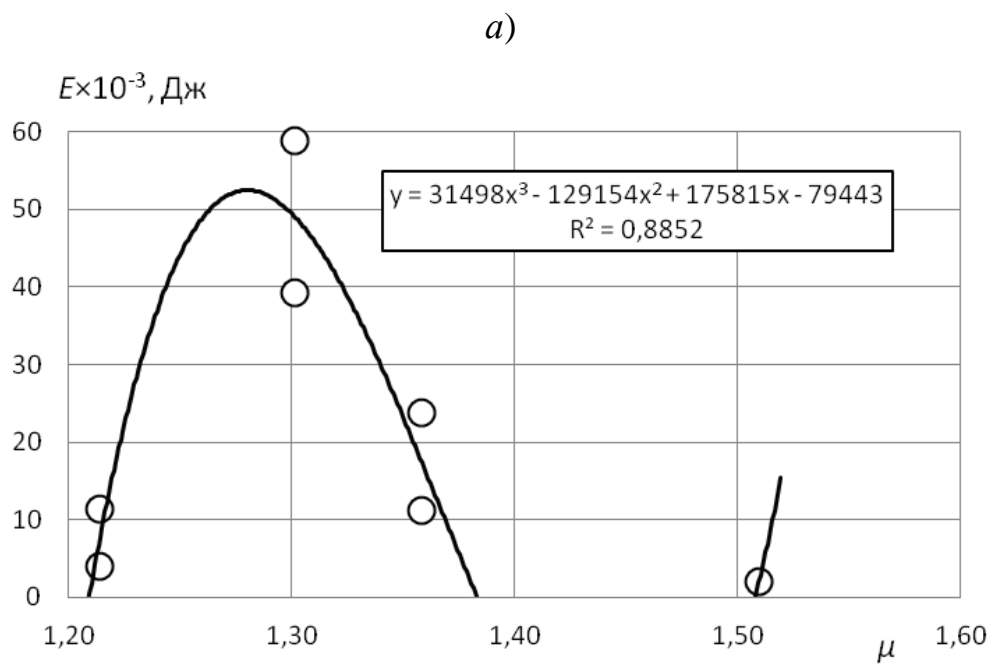


Рис. 4.11. Залежність сумарної енергії ударного впливу E , витраченої на утворення у зразку значних відколів E_3 (а) та його повне руйнування E_4 (б) від коефіцієнту розсунення зерен дрібного заповнювача μ

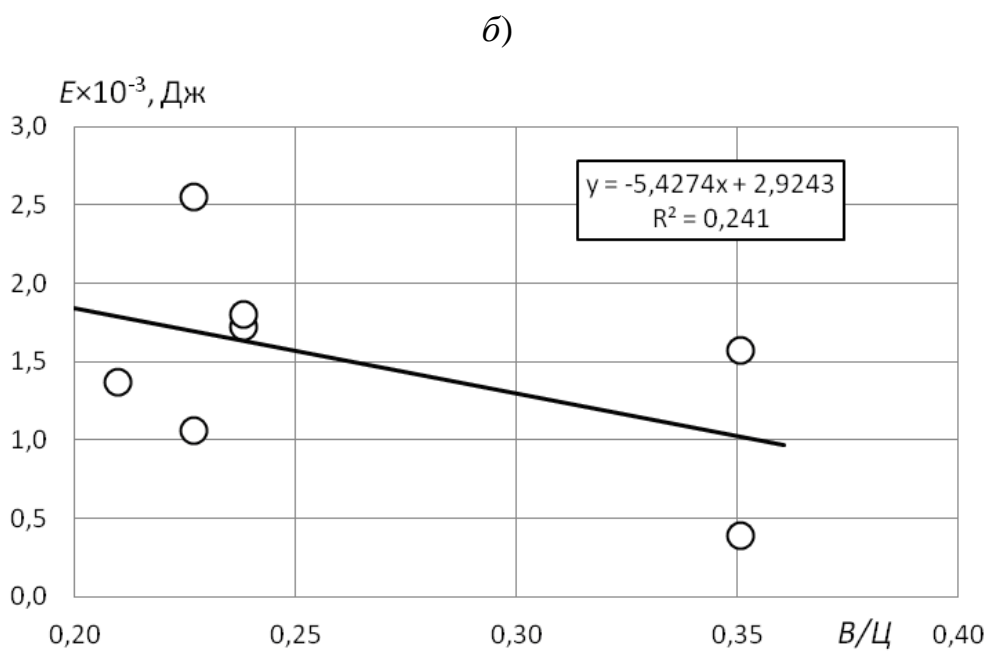
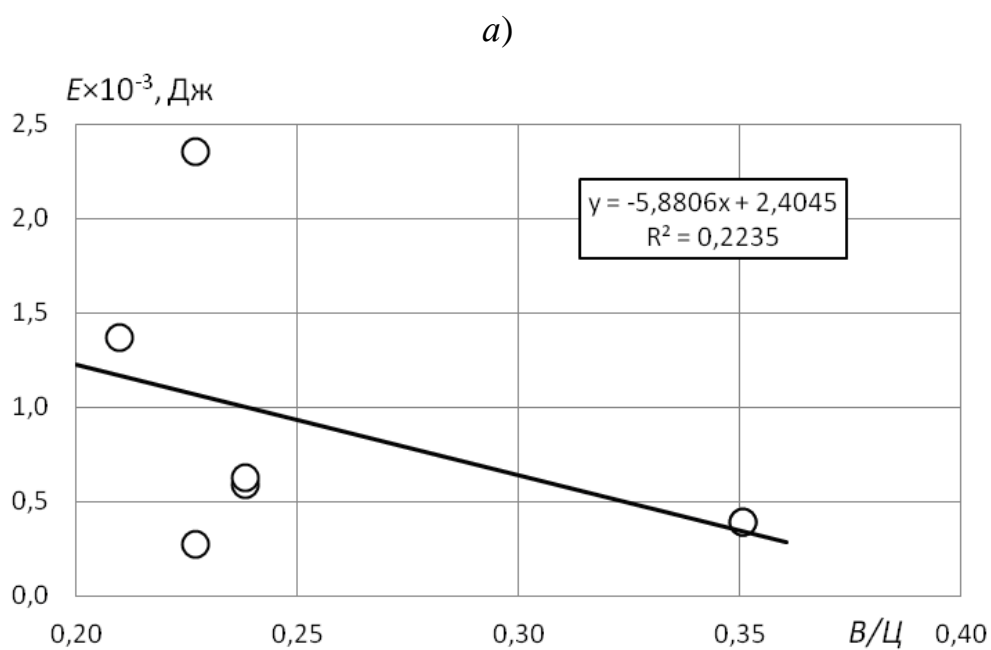


Рис. 4.12. Залежність сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку первинної тріщини E_1 (а) і первинного відколу E_2 (б) від водоцементного відношення B/C

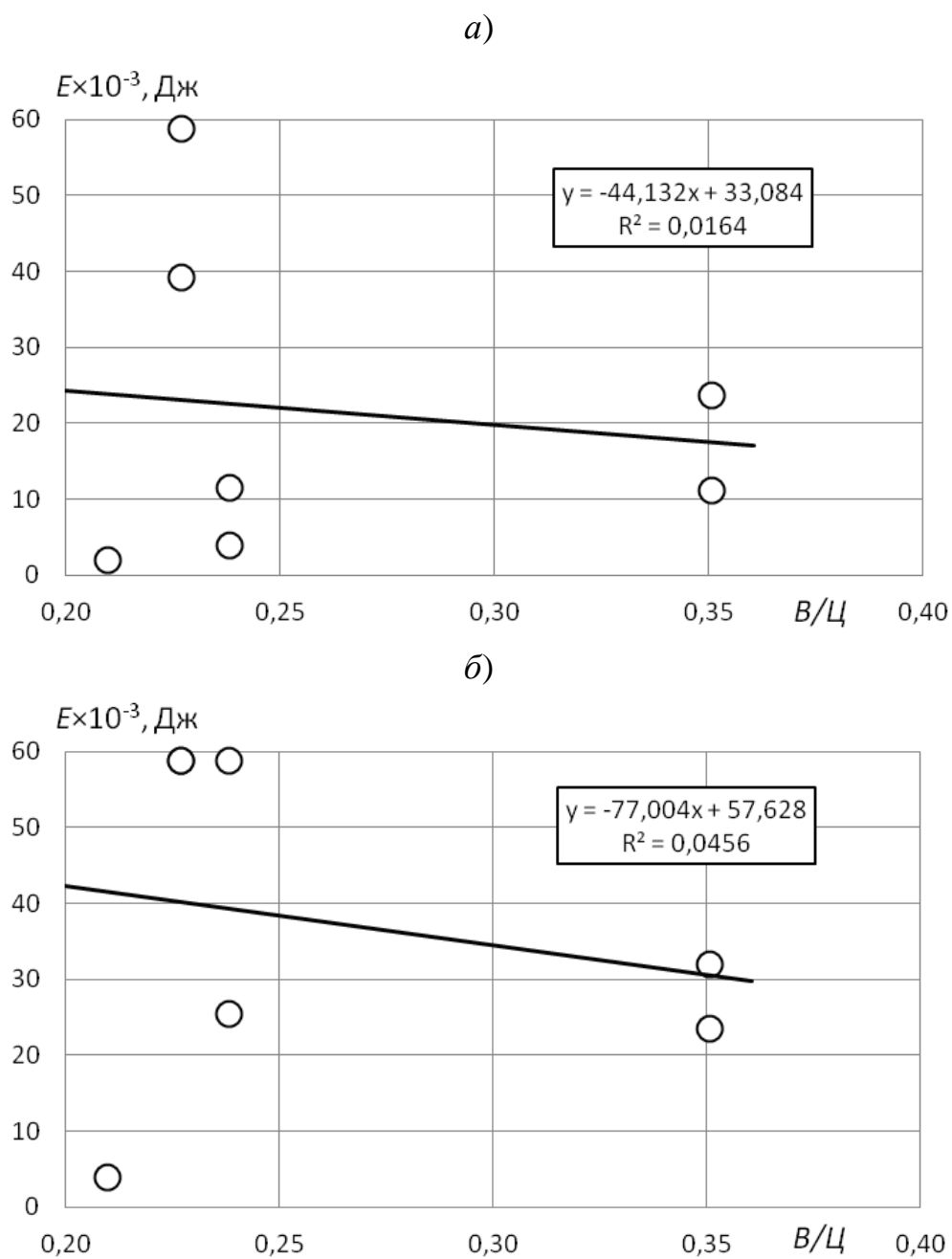


Рис. 4.13. Залежність сумарної енергії ударного впливу, витраченої на утворення у зразку значних відколів E_3 (а) та його повне руйнування E_4 (б) від водоцементного відношення В/Ц

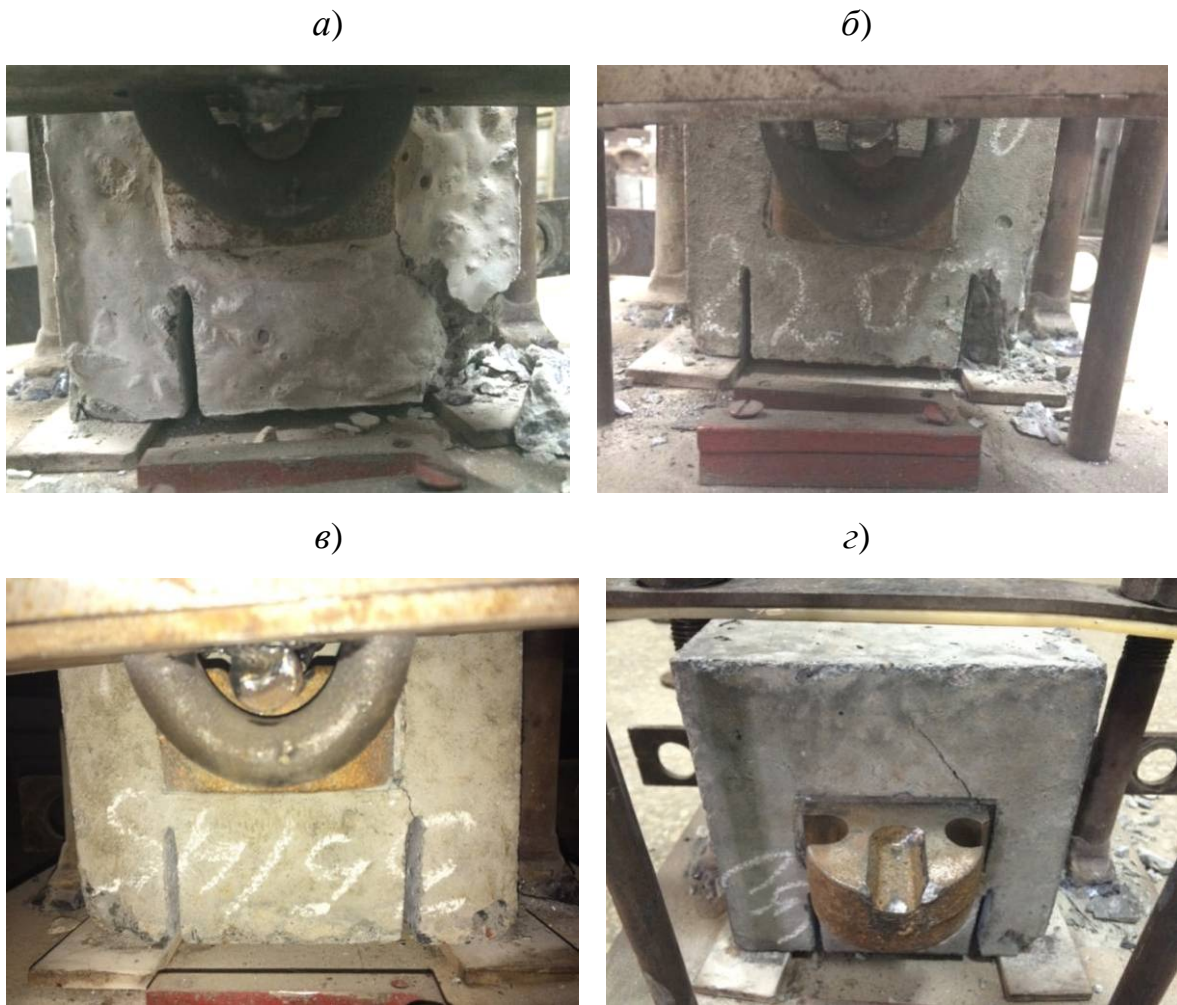


Рис. 4.14. Зразки після випробування на тріщиностійкість в умовах динамічного (ударного) впливу із бетону з коефіцієнтом розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів, відповідно: *a* – 1,37, 1,36; *б* – 1,25, 1,36; *в* – 1,25, 1,21; *з* – 1,25; 1,30

4.2.4 Залежності тріщиностійкості бетону в умовах динамічних (вібраційних) впливів від його структурних характеристик

Тріщиностійкість бетону в умовах динамічних (вібраційних) впливів від його структурних характеристик здійснювали за методикою, наведеною у п. 2.2.5.

Зразок – блок підрейкової основи з бетону з $\alpha = 1,37$, $\mu = 1,36$, В/Ц = 0,35 витримав первинне навантаження до максимальної величини і подальше динамічне 1,5 млн. циклів без видимих пошкоджень (рис. 4.15, *a*).

a)



б)



в)



г)



д)



Рис. 4.15. Зразки – блоки підрейкової основи після динамічних випробувань із бетону з коефіцієнтом розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювача, відповідно: a – 1,37, 1,36; $б$ – 1,25, 1,21; $в$ – 1,25; 1,30

У зразку – блоці з бетону з $\alpha = 1,25$, $\mu = 1,21$, $V/C = 0,24$ після досягнення максимального навантаження на вузол скріплення 225 кН до вмикання пульсатора утворилась тріщина (рис. 4.15, б), яка під час динамічного випробування зростала. Після 200 тис. циклів по цій тріщині відбулось відколювання бетону на боковій грані блоку до арматурних дротів (рис. 4.15, в) і випробування було припинене через зменшення площі завантаження.

У зразку – блоці з бетону з $\alpha = 1,25$, $\mu = 1,30$, $V/C = 0,23$ після досягнення первинного максимального навантаження до включення пульсатора також утворилась тріщина (рис. 4.15, г), яка під час динамічного випробування зростала. Після 200 тис. циклів по цій тріщині також відбулось відколювання бетону на боковій грані блоку, але менше, без досягнення арматури (рис. 4.15, д). Подальшого розвитку пошкоджень до досягнення 1,5 млн. циклів не спостерігалось.

Те, що частина зразків із бетону вищого класу (табл. 4.6) зазнала пошкоджень від статичного первинного навантаження, пояснюється впливом саме коефіцієнтів розсунення зерен заповнювачів, а також нерівною нижньою гранню – постіллю зразків. Отже, пошкодження, що спостерігались безпосередньо на зразках – блоках як критерії тріщиностійкості не розглядались.

Для оцінки динамічного (вібраційного) впливу на бетон з різними структурними характеристиками виконали дослідження його структури у зразках, що зазнали динамічного (вібраційного) впливу, методом люмінесцентної дефектоскопії (п. 2.2.6). Найбільш характерні знімки кернів бетону із зон блоків, що безпосередньо зазнавали динамічного впливу (біля анкерів) наведено на рис. 4.16.

На рис. 4.16 чітко видно більш темні частинки крупного заповнювача та більш світлу матрицю із цементно-піщаного розчину. Яскраво білі об'єкти у матриці та на її границі з зернами крупного заповнювача є: округлі – заповненими люмінофором порами; у вигляді смужок – також заповненими люмінофором тріщинами.

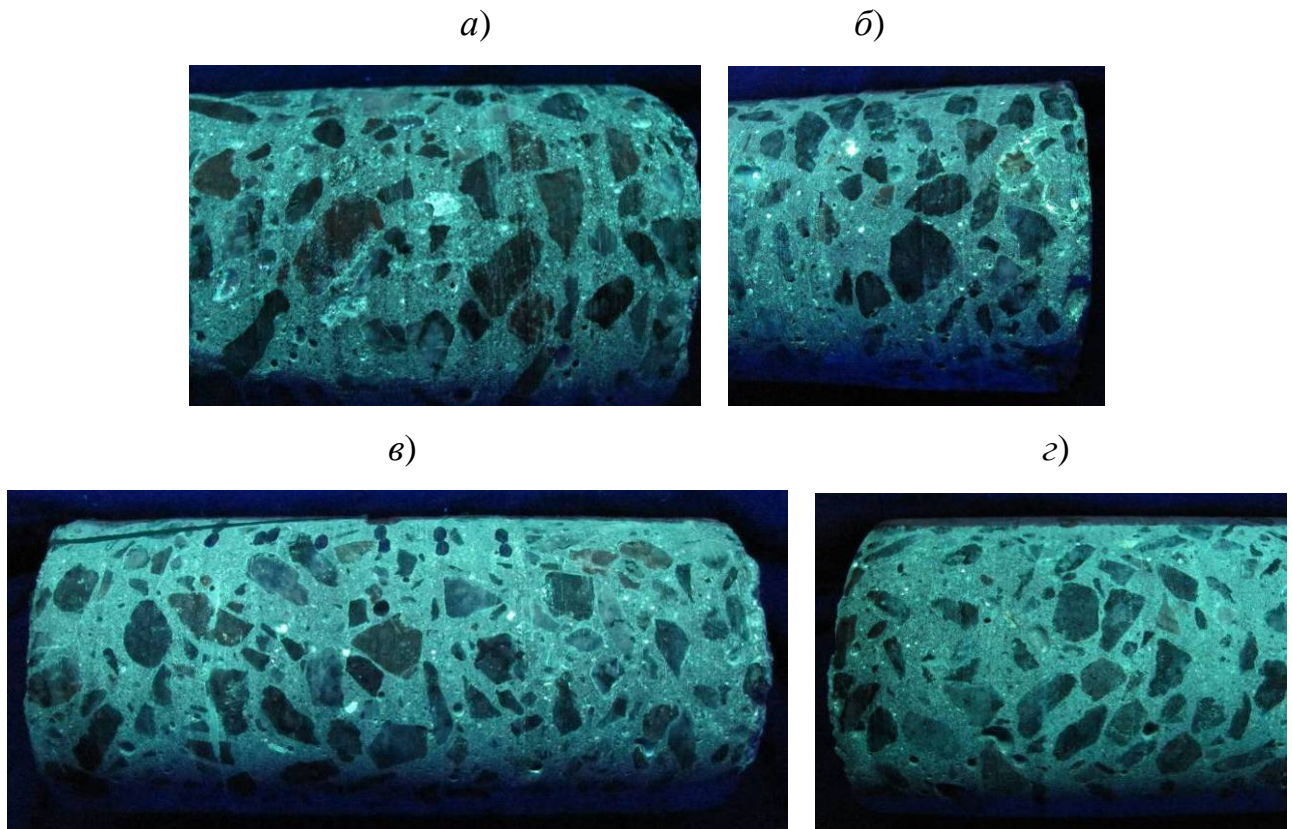


Рис. 4.16. Структура бетону із зон блоків, що зазнали динамічного впливу (біля анкерів), з коефіцієнтом розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювача, відповідно: *a, б* – 1,37, 1,36; *в* – 1,25, 1,21; *г* – 1,25; 1,30. Знімки оброблених люмінофором кернів в ультрафіолетовому світлі

Тріщини видно тільки на рис. 4.16, *a* у вигляді декількох ліній та на рис. 4.13, *б* у вигляді зосереджених у правій частині керну хвилястих ліній, у т.ч. на границях зерен крупного заповнювача, тобто у кернах із бетону з $\alpha = 1,37, 1,36$. Оскільки права частина цього керна і є зоною, що безпосередньо примикала до анкера, саме ці тріщини й утворились від динамічного впливу. Це дозволяє зробити висновок, що для бетону структура цементно-піщаного розчину з $\alpha = 1,37 > \alpha_{\text{опт}} = 1,30$ і $\mu = 1,37 > \mu_{\text{опт}} = 1,27$.

Тріщин на кернах бетону з $\alpha = 1,25, \mu = 1,21$ (рис. 4.16, *в*) і $\alpha = 1,25; \mu = 1,30$ (рис. 4.16, *г*) не спостерігається, що у другому випадку свідчить про близькість значень структурних характеристик до оптимальних $\alpha_{\text{опт}} = 1,30$ і $\mu_{\text{опт}} = 1,27$.

Для оцінки динамічного (вібраційного) впливу на бетон з різними структурними характеристиками визначили міцність бетону на розтяг при розколюванні циліндрів після цього впливу за методикою, наведеною у п. 2.2.5. Виготовлені з кернів зразки-циліндри наведені на рис. 4.17, *а*, зразок після випробування розколюванням – на рис. 4.17, *б*. Результати випробування наведені у табл. 4.11, 4.12 і на рис. 4.18 – 4.20.

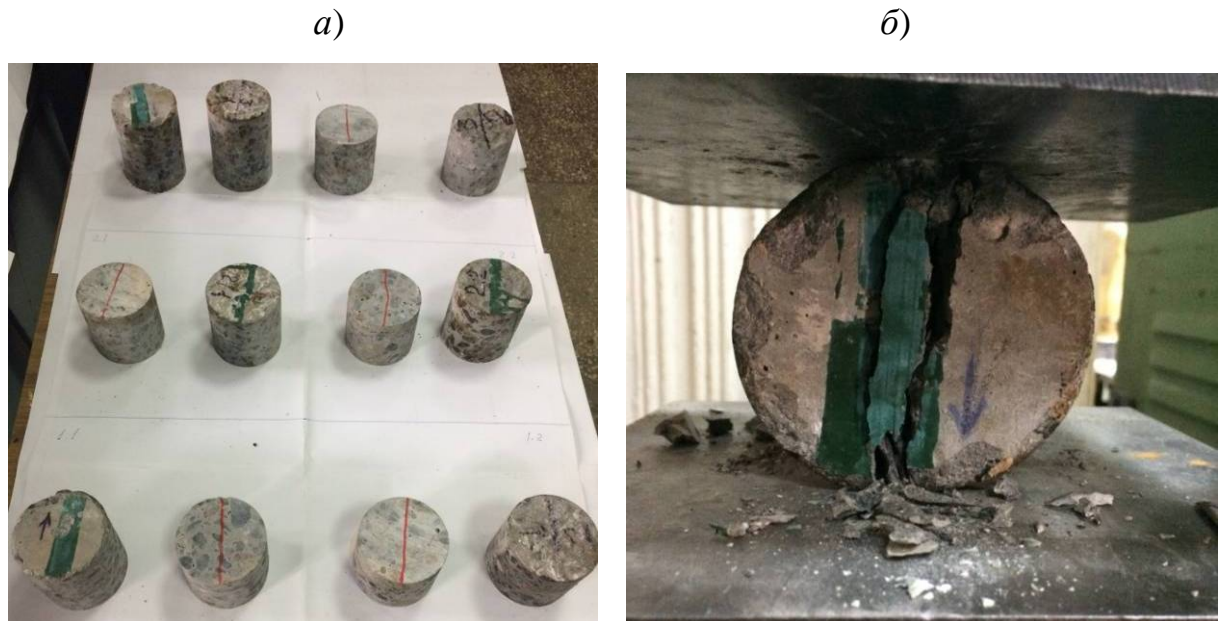


Рис. 4.17. Визначення міцності на розтяг розколюванням циліндрів: *а* – підготовлені для випробування зразки-циліндри; *б* – зразок-циліндр після розколювання

Таблиця 4.11

Міцність бетону на розтяг при розколюванні циліндрів після динамічного впливу

№	Клас бетону	α	μ	В/Ц	Міцність на розтяг f_t , МПа, після динамічного впливу		Втрата міцності від динамічного впливу, %
					мінімального	максимального (біля анкера)	
1	С32/40	1,37	1,36	0,35	3,43	3,33	10,1
					3,67	3,06	
2	С35/45	1,25	1,21	0,24	4,41	3,22	10,3
					2,57	3,04	
3	С40/50	1,25	1,30	0,23	4,28	3,66	7,1
					3,80	3,85	

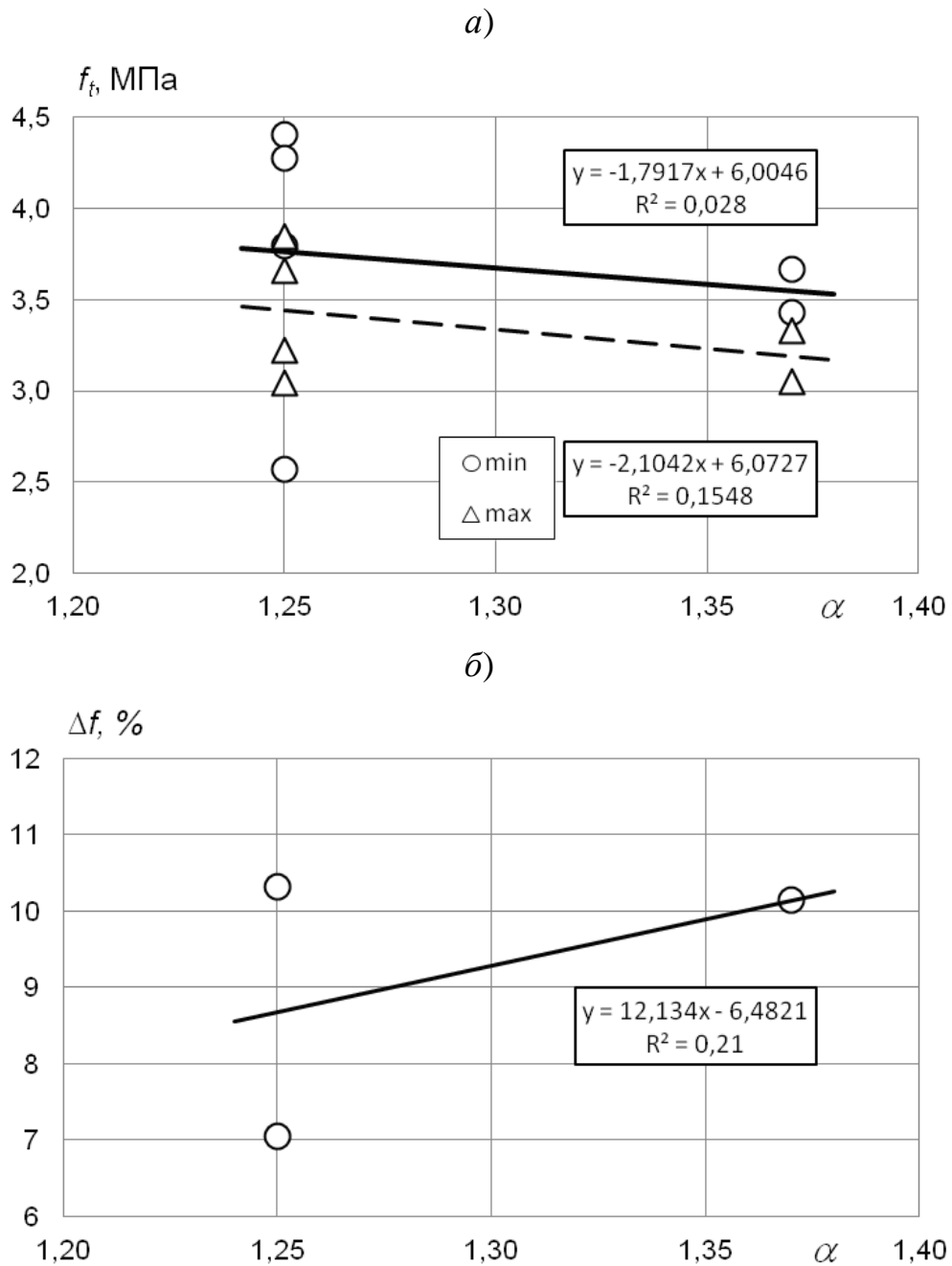


Рис. 4.18. Залежність міцності бетону на розтяг при розколюванні циліндрів f_t після мінімального (min) та максимального (біля анкера, max) динамічного впливу (a) та втрати міцності після динамічного впливу Δf (б) від коефіцієнту розсунення зерен крупного заповнювача α

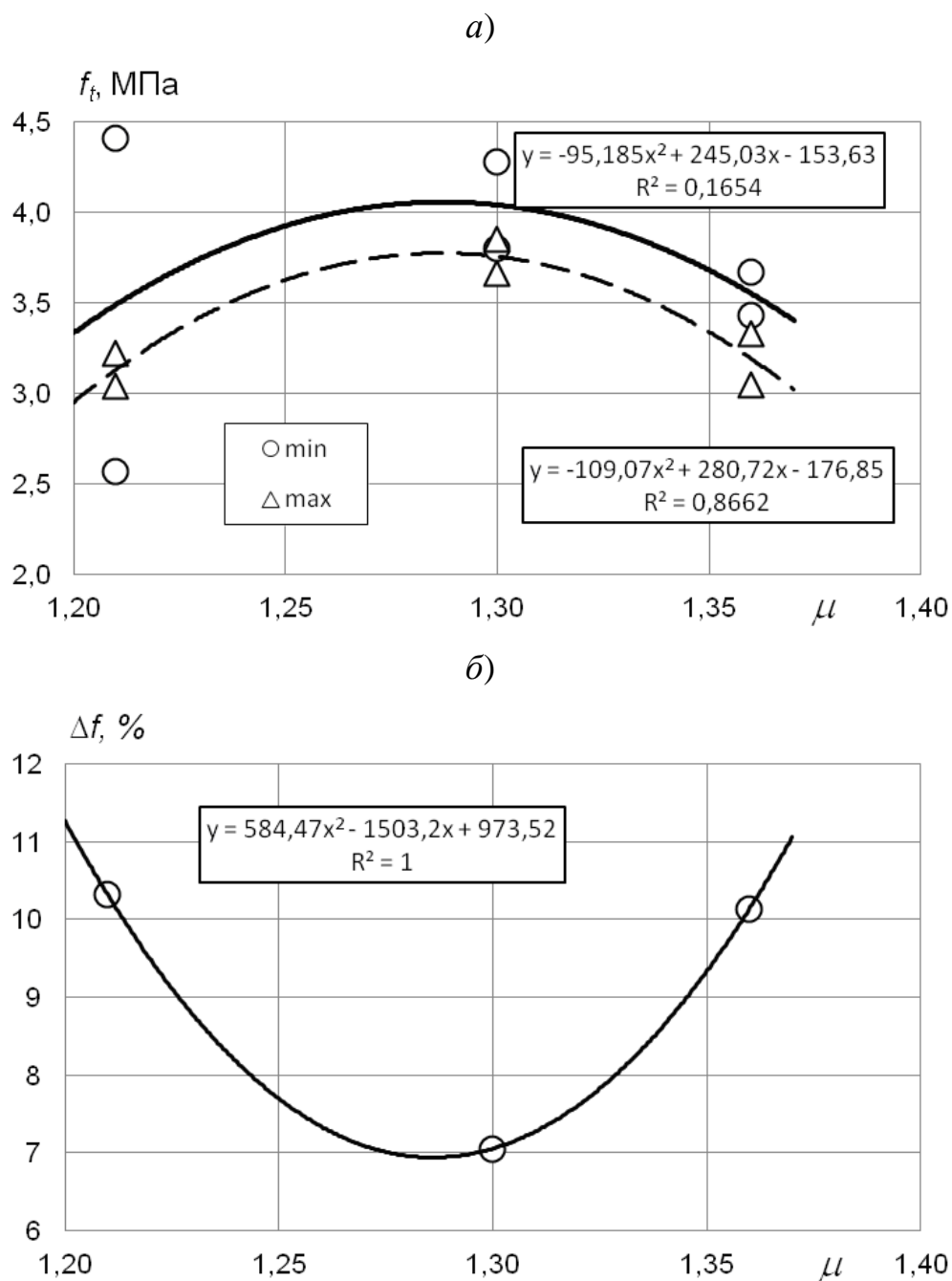


Рис. 4.19. Залежність міцності бетону на розтяг при розколюванні циліндрів f_t після мінімального (min) та максимального (біля анкера, max) динамічного впливу (a) та втрати міцності після динамічного впливу Δf (б) від коефіцієнту розсунення зерен дрібного заповнювача μ

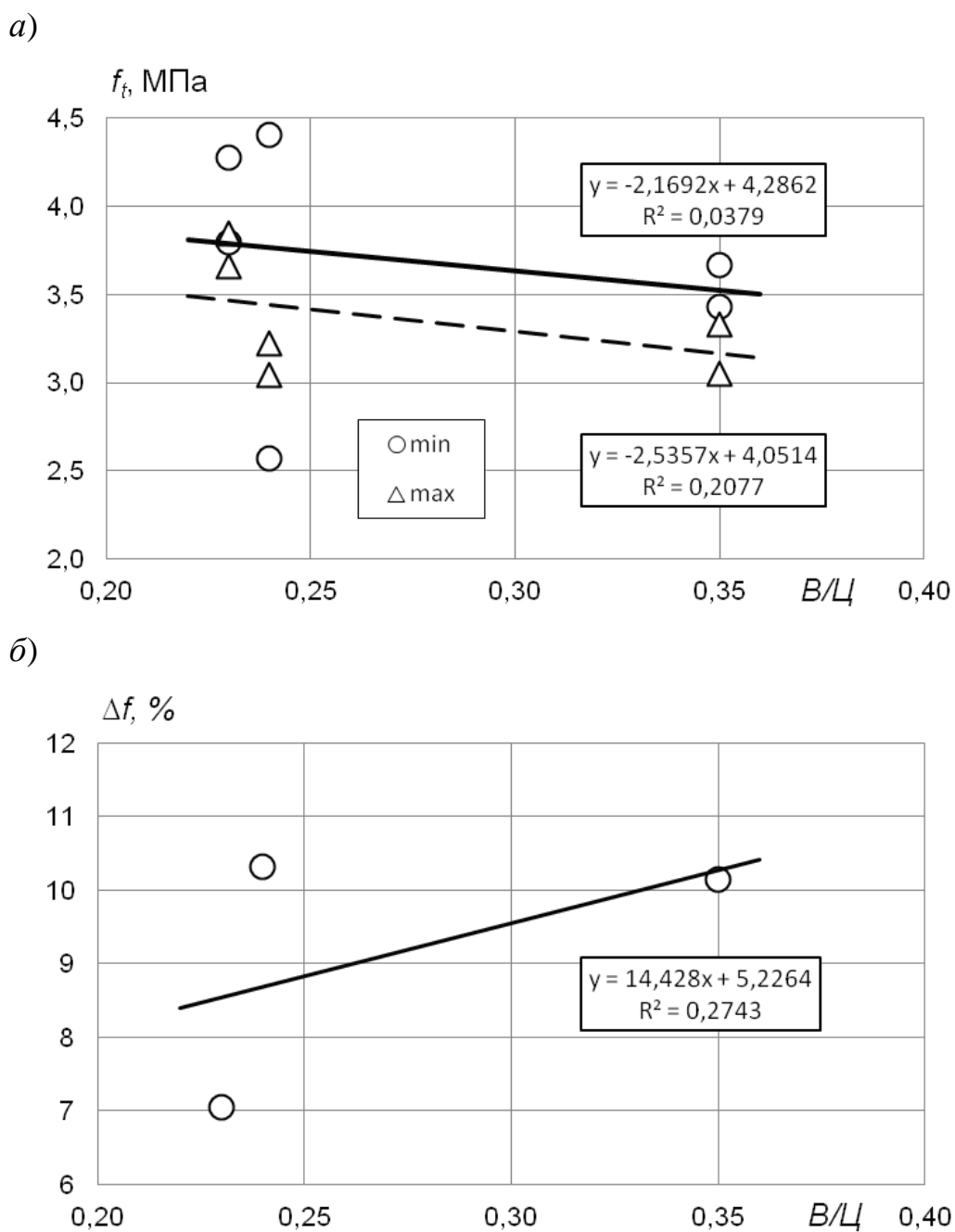


Рис. 4.20. Залежність міцності бетону на розтяг при розколюванні циліндрів f_t після мінімального (min) та максимального (біля анкера, max) динамічного впливу (a) та втрати міцності після динамічного впливу Δf (б) від водоцементного відношення B/Ц

Таблиця 4.12

Характер отриманих залежностей міцності бетону на розтяг при розколюванні циліндрів f_t після мінімального (min) та максимального (біля анкера, max) динамічного впливу та втрати міцності після динамічного впливу Δf від його структурних характеристик

Залежність	Характер залежності	Коефіцієнт детермінації R^2	Кореляція за шкалою Чеддока	Оптимальна величина структурної характеристики
f_t від α (min)	пряма	0,03	відсутня	–
f_t від α (max)	пряма	0,15	слабка	–
Δf від α	пряма	0,43	помірна	–
f_t від μ (min)	поліном 2 ступеня	0,17	висока	$\mu \approx 1,28$
f_t від μ (max)	поліном 2 ступеня	0,87	висока	$\mu \approx 1,28$
Δf від μ	поліном 2 ступеня	1,00	функціональна	$\mu \approx 1,28$
f_t від В/Ц (min)	пряма	0,04	відсутня	–
f_t від В/Ц (max)	пряма	0,21	слабка	–
Δf від В/Ц	пряма	0,27	слабка	–

Як видно із рис. 4.18, 4.20, залежності f_t і Δf від α і В/Ц апроксимуються лінійними рівняннями, проте зі слабкою кореляцією, що обумовлене недостатньою кількістю значень за абсцисою. В цілому f_t збільшується, а Δf зменшується зі зниженням В/Ц, що відповідає закону водоцементного відношення.

Залежність f_t і Δf від μ апроксимується поліномом 2 ступеня з високою кореляцією, отже має екстремальний характер, що відповідає [100 – 102], з максимумом за $\mu \approx 1,28$, що близько до уточненої у п. 4.2.3 оптимальної величини $\mu_{\text{опт}} = 1,27$. Ці результати узгоджуються також з результатами люмінесцентної дефектоскопії та підтверджують зроблені у п. 4.2.3 висновки.

Отже, що бетон з $\mu \approx 1,28$ зазнає мінімального впливу та його міцність на розтяг знижується не більше, ніж на 7%, тоді як у бетоні з $\mu = 1,21$ та 1,36 за рахунок формування недостатньо щільної структури прошарків цементного каменю між зернами піску (рис. 3.44, а) та утворення мікротріщин (рис. 4.11, а) після динамічного впливу міцність знизилась на понад 10%.

Таким чином підтверджено, що максимальна тріщиностійкість бетону в умовах динамічних впливів забезпечується за рахунок забезпечення оптимальних величин структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен крупного заповнювача $\alpha_{\text{опт}}$ та, особливо, дрібного заповнювача $\mu_{\text{опт}}$, а також можливо низького водоцементного відношення В/Ц. Для досліджених цементу та заповнювачів оптимальні величини структурних характеристик склали $\alpha_{\text{опт}} = 1,30$, $\mu_{\text{опт}} = 1,27$, $\text{В/Ц}_{\text{опт}} = 0,23$. Зазначеному μ згідно рівнянню (3.29) і графіку рис. 3.46 відповідає товщина прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача 20 мкм. Оптимальні величини структурних характеристик забезпечують відповідність міцності бетону вимогам до класу С40/50 (табл. 4.6).

Результати досліджень залежностей міцності та тріщиностійкості в умовах динамічних (ударних та вібраційних) впливів від структурних характеристик практично повністю співпали, що свідчить про достовірність отриманих результатів. Утворення тріщин біля анкерів під час досліджень свідчить про доцільність надання переваги у трамвайних коліях безанкерним типам рейкових скріплень, конструкція яких виключає значні контактні напруження у бетоні. Це створило передумови для розробки нового типу рейкового скріплення для трамвайних колій.

4.2.5 Уточнення складів бетону для виробів і конструкцій підрейкових основ

В результаті проведених досліджень підтверджено правильність призначення складів бетону підрейкових основ та прирейкових вкладишів із крупного заповнювача – гранітного та кварцового щебеню фракції 5 – 10 мм, наведених у табл. 4.6.

Для крупного заповнювача суміші фракцій 5 – 20 мм та високоактивних цементів ПЦ І-500Н-Р уточнено оптимальні величини структурних характеристик, які склали $\alpha_{\text{опт}} = 1,30$, $\mu_{\text{опт}} = 1,27$, $\text{В/Ц}_{\text{опт}} = 0,23$. Склад бетону з урахуванням цих величин за рівняннями (4.3 – 4.5) складе:

$$\text{Щ} = \frac{1}{\frac{1,3}{1375} \cdot 0,5 + \frac{1}{2730}} = 1192 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{П} = \frac{1 - \frac{1192}{2730}}{\frac{1,27}{1410} \cdot 0,44 + \frac{1}{2530}} = 712 \text{ кг/м}^3$$

Експериментально визначена витрата води за табл. 4.6 – 100 кг/м³.

Витрата цементу складе:

$$\text{Ц} = \text{В}/(\text{В}/\text{Ц}) = 100/0,23 = 435 \text{ кг/м}^3.$$

Уточнені експериментально номінальні оптимальні склади бетону для залізобетонних підрейкових основ і бетонних прирейкових вкладишів наведені у табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Уточнені експериментально номінальні оптимальні склади бетону для залізобетонних підрейкових основ і бетонних прирейкових вкладишів

Призначення складу бетону	Характеристика матеріалів	Структурні характеристики				Витрата матеріалів, кг/м ³					
		$\alpha_{\text{опт}}$	$\mu_{\text{опт}}$	$\text{В}/\text{Ц}_{\text{опт}}$	$\text{СП}/\text{Ц}, \%$	Щ	П	Ц	Н	В	СП
Залізобетонні підрейкові основи та бетонні прирейкові вкладиші для ланкової колії	Гранітний щебінь 5–10 мм	1,42	1,43	0,32	0,3	1232	652	522	–	167	1,56
						1232		260	223		0,78
Бетонні прирейкові вкладиші для безстикової колії	Кварцовий щебінь 5–10 мм					1232		260	223		0,78
Залізобетонні підрейкові основи	Гранітний щебінь 5–20 мм; високо-активний портландцемент ПЦ І-500Н-Р	1,30	1,27	0,23	0,3	1192	712	435	–	100	1,31

Висновки за розділом 4

1. Виконано аналіз ІЧ-спектрів поліуретанів та гум, в результаті якого встановлено, що для спектрів всіх досліджених поліуретанів характерна інтенсивна лінія з хвильовими числами у межах $1732 - 1727 \text{ см}^{-1}$, характерна для валентних коливань групи $C=O$. На спектрах гум ця лінія відсутня. Це підтверджує наявність групи $C=O$ у поліуретанах та, отже, її вплив на реологічні та електричні властивості у порівнянні з гумами. Відзначено також зниження інтенсивності ліній груп $C=O$ в поліуретанах з протягом часу у разі їх експлуатації в умовах інсоляції, що свідчить про розрив подвійних зв'язків, втрату цих груп та, отже, можливе погіршення реологічних та електричних властивостей.

2. Встановлено, що адгезія полімерної мастики до бетону та рейки в конструкціях трамвайної колії з ізолюваною рейкою має складати не менше 0,6 МПа.

3. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що поліуретанові мастики різних виробників характеризуються показниками адгезії до сталі понад 0,6 МПа, порівняними між собою та з бітумно-полімерними мастиками, показниками адгезії до бетону – також понад 0,6 МПа, порівняними між собою та кращими, ніж модифікованих бітумних мастик. Композиція «Х» має кращі показники адгезії у разі застосування без ґрунтовки, що дозволяє її застосовувати без ґрунтовки (сприятиме зниженню вартості робіт). Композиція «Х» характеризується адгезією до сталі 0,51 МПа, що менше 0,6 МПа, проте це є допустимим.

4. Адгезія всіх мастик до бетону знижується у водонасиченому стані на 30 – 61%, проте у дощову погоду максимальні температурні напруження у рейці не виникають і величини коефіцієнтів розм'якшення (водостійкості) контакту мастики з бетоном 0,39 – 0,7 можна вважати припустимими.

5. Встановлено, що поліуретанові мастики забезпечують зниження віброшвидкості коливань плити підрейкової основи у порівнянні з колією на гумових підрейкових прокладках на 27%, збільшення електричного опору між рейкою і плитою – у 3,9 раз. Це підтверджує припущення про те, що високим

здатності поліуретану поглинати вібрацію та електричному опору сприяє електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а високому електричному опору – висока електронегативність цих груп.

6. За результатами експериментальних досліджень як двокомпонентні поліуретанові мастики для ізоляції рейок у рейкових каналах залізобетонних плит можуть бути використані всі досліджені мастики: Edilon Corkelast, Icosit КС 340/45 F та композиція «Х» без ґрунтовки. Але за станом на 2018 р. Icosit КС 340/45 F та композиція «Х» без ґрунтовки були набагато дешевшими, ніж Edilon Corkelast.

7. Для дослідження залежностей показників тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α , дрібного μ заповнювачів і водоцементного відношення В/Ц призначено експериментальні склади, у яких значення μ варіювали у межах: α – від 0,95 до 2,56, μ – від 0,95 до 2,21, В/Ц – від 0,21 до 0,57.

8. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що залежність тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів та водоцементного відношення має екстремальний характер. Для досліджених матеріалів забезпечення відповідності коефіцієнту розсунення зерен крупного, дрібного заповнювачів та водоцементного відношення оптимальним величинам, відповідно, $\alpha_{\text{опт}} = 1,30$, $\mu_{\text{опт}} = 1,27$, $В/Ц_{\text{опт}} = 0,23$ і товщини прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача 20 мкм у бетоні класу С40/50 забезпечило максимальні показники фізико-механічних властивостей бетону, у т.ч. підвищення його тріщиностійкості в умовах динамічних впливів за показниками сумарної енергії руйнування у порівнянні з бетоном з $\mu = 1,51$ (С20/25) у 14,9 раз, а з $\mu = 1,36$ (С32/40) – у 2,1 раз.

9. Для уточнених експериментально оптимальних величин структурних характеристик $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$, $В/Ц_{\text{опт}}$ визначено склади бетону.

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ

Результати досліджень впроваджені під час реконструкції трамвайних ліній на вулицях центральних частин м. Харкова, м. Дніпра, м. Києва. Акти впровадження наведені у додатку В.

Запропоновано дві конструкції колії з рейкою, інтегрованою у дорожнє покриття: 1) зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит; 2) зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити. Ці конструкції за рахунок застосування удосконалених матеріалів та деталей забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні у порівнянні із традиційними конструкціями колії.

Конструкція зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит передбачає закріплення та ізоляцію рейки у рейковому каналі поліуретановою мастикою (рис. 1.1, 5.6). Для економії мастики, зниження віброколивань і температурних напружень передбачено застосувати бетонні прирейкові вкладиші.

Конструкція зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити на відзнаку від першої конструкції передбачає механічне закріплення рейки рейковими скріпленнями (рис. 5.3, 5.7, 5.8).

5.1 Розробка рейкового скріплення для трамвайної колії з підвищеними показниками вібропоглинання та електричного опору

Для конструкції колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити розроблено оригінальне рейкове скріплення, яке забезпечуватиме зниження вібраційних та електричних

впливів від трамвайних колій, зниження тріщиноутворення у залізобетонних конструкціях колії та підвищення їх довговічності.

У промисловості широко використовуються суміщені пружинні віброізолятори з еластомерним демпфером (вкладишем) наприклад, наведений на рис. 5.1 [140]. Перевага таких ізоляторів полягає в тому, що вони забезпечують значно більш високу звуко- і віброізоляцію важкого устаткування [141]. Таке сполучення пружних та еластомерних деталей запропоновано застосувати для розробки рейкового скріплення для трамвайної колії. Крім того, таке сполучення надає можливість забезпечити високий електричний опір у потенційних колах струмів витоку.



Рис. 5.1. Пружний віброізолятор з еластомерним демпфером

За прототип нового трамвайного скріплення прийнято анкерне пружне рейкове скріплення УС-1 (PRS-1) [142], розроблене в УкрДУЗТ. 17-річна дослідна експлуатація 25-метрової ділянки залізничної колії з цим скріпленням на 249 км ПК1 діл. Основа – Букине, непарної (головна колія ст. Основа між стрілочними переводами №№ 550 і 572, пропущений тоннаж на 01.01.2019 – 514,8 млн. т. брутто) показала його надійність (рис. 5.2) [143]. Жодне зі скріплень не вийшло з ладу, забезпечивши повну відсутність розладів колії протягом цього терміну. Розроблено шурупно-дюбельне пружне рейкове скріплення SRS-T [25], представлено на рис. 5.3.

Скріплення SRS-T та його деталі відрізняються й від інших аналогів. Так, воно має іншу форму клеми та притискної шайби, ніж у скріпленнях APC-4 і ЖБР-65 (рис. 5.4) [143]. Так, на відміну від APC-4 (рис. 5.4, а) пружна клема

скріплення SRS-T (рис. 5.3) має більш розвинену дугоподібну форму та вертикальні (рис. 5.3, б) або горизонтальні (рис. 5.3, в) пази у її прямих внутрішніх кінцях, а притискна шайба (рис. 5.3, з, д, притискна скоба у ЖБР-65, рис. 5.4, б) – П-подібну форму та ряд типорозмірів з різним положенням отвору та висотою полиць.



Рис. 5.2. Експлуатована дослідна ділянка залізничної колії з пружними рейковими скріпленнями УС-1 (PRS-1) через 15 років експлуатації

Від прототипу PRS скріплення SRS-T відрізняється тим, що як регулятор натягу містить шуруп, а також закладений у бетон шпали полімерний дюбель і П-подібну притискну шайбу, прямі внутрішні кінці клеми мають вертикальні пази ззовні, у які заходять полиці П-подібної притискної шайби (рис. 5.3, б) або горизонтальний паз зверху, у який лягає стінка П-подібної притискної шайби (рис. 5.3, в). П-подібна притискна шайба виготовляється декількох типорозмірів за положенням отвору в поперечному відносно рейки напрямку (рис. 5.3, з) та висотою полиць (рис. 5.3, д).

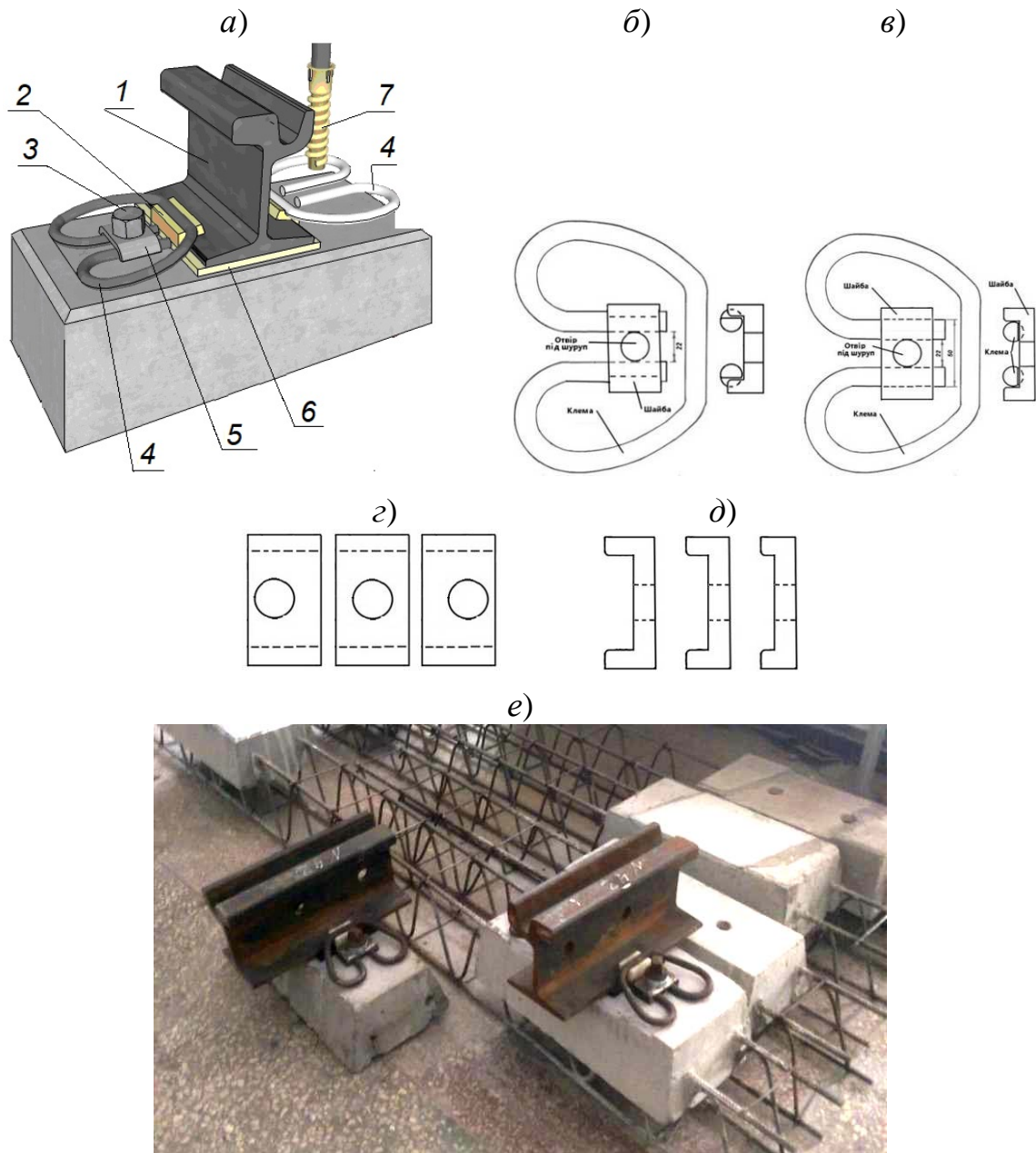


Рис. 5.3. Пружне рейкове скріплення SRS-T для трамвайної колії: *a* – конструкція скріплення у зборі: 1 – рейка; 2 – ізолюючий вкладиш; 3 – шуруп; 4 – пружна клема; 5 – П-подібна шайба; 6 – підрейкова прокладка; 7 – полімерний дюбель; *б* – варіант із заходом полиць притискної шайби у вертикальні пази у прямих кінцях клеми; *в* – варіант із заходом стінки притискної шайби у горизонтальні пази у прямих кінцях клеми; *г* – типорозміри притискної шайби за положенням отвору в поперечному відносно рейки напрямку; *д* – типорозміри притискної шайби за висотою полиць; *е* – двоблокові опорні елементи зі скріпленнями SRS-T збірно-монолітної підрейкової основи із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити дослідної партії у галузевій науково-дослідній лабораторії підрейкових основ і спецзалізобетону УкрДУЗТ

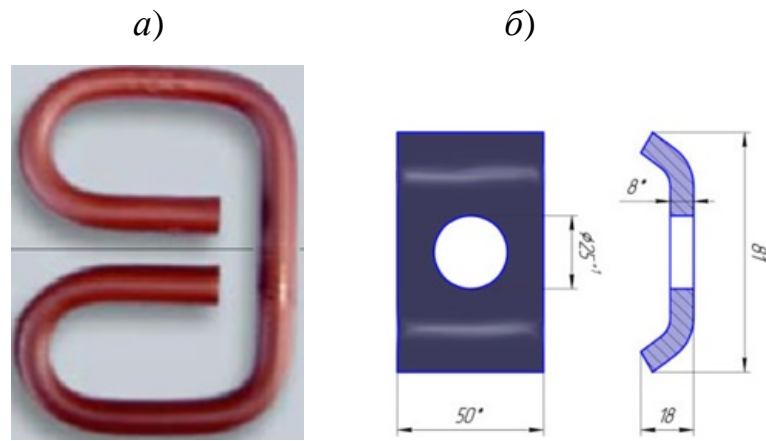


Рис. 5.4. Пружна клема рейкових скріплень АРС-4 і ЖБР-65 (а) і притискна скоба скріплення ЖБР-56 (б)

Завдяки цим особливостям скріплення забезпечується можливість регулювання ширини колії і натиску клеми на підшву рейки у широких межах, зниження динамічних та вібраційних впливів рейки на шпалу і далі на основу, гасіння горизонтальних коливань, зниження контактних напружень в бетоні, запобігання утворення макротріщин та підвищення електричного опору шпали між рейкою та основою під шпалою у вологу погоду.

Відповідно до [141] для поліуретанових підрейкових прокладок найбільш підходящим є поліуретан СКУ-7Л з твердістю 69-70А за Шором (аналогічна гума 60-65А прокладок для трамвайної колії на дерев'яних шпалах, табл. 5.1). Амортизуюча підрейкова прокладка може виготовлятися із поліуретану твердістю за Шором 69-70А, вкладиш та дюбель – із високоміцного поліуретану твердістю за Шором 90А.

Таблиця 5.1

Фізико-механічні властивості гуми і поліуретану

Найменування фізико-механічного показника	Гума ІТП-1357	Поліуретан СКУ-7Л
Твердість за Шором, шкала А	60 – 65	69 – 70
Модуль пружності при 100%, МПа	12	29
Модуль пружності при 300%, МПа	Не витримує	67

Термін служби поліуретану 5 – 7 разів перевищує термін служби гуми. Матеріал довговічний і екологічно безпечний. Поліуретани мають більш

високу, ніж гума, здатність відновлювати форму після деформації, завдяки чому термін служби виробів з поліуретанових еластомірів триваліший.

Вироби з поліуретану мають високу стійкість до впливу води і більшості розчинників, а також витримують тиск до 105 МПа. Поліуретани стійкі до більшості агресивних середовищ.

Пружне рейкове скріплення SRS-T (рис. 5.3) за рахунок застосування пружної клеми, закладеного у бетон полімерного дюбеля та шурупа замість анкера, поліуретанових ізолюючих деталей із поліуретану різної твердості забезпечує зниження вібрації, електричних впливів, тріщиноутворення в бетоні у порівнянні з рейковими скріпленнями інших типів. Порівняльні характеристики скріплення скріплень SRS-T і прототипу PRS наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Порівняльні характеристики скріплень PRS (прототипу) і SRS-T (розробленого)

№ з/п	Характеристика	Один. вим.	Величина для скріплення	
			PRS	SRS-T
1	Ширина колії	мм	1520±2	1524 ± 0,5 1526 ± 0,5 1528 ± 0,5 1530 ± 0,5 1532 ± 0,5
2	Зусилля притиснення рейки до шпали однією клемою	кН	12	від 0 до 8
3	Опір рейки подовжньому переміщенню в одному скріпленні	кН	13,6	від 0 до 9
4	Показники вібрації шпали від примусової вібрації рейки: - віброшвидкість - вібропереміщення	мм/с мм	0,85 0,27	0,62 0,22
5	Електричний опір між головкою рейки і анкером (колійним шурупом) у зволоженому стані	кОм	4×10^1	5×10^4

На скріплення подано заявку на видачу патенту на винахід [25] розроблено Технічні умови України:

- Скріплення рейкове пружне SRS-T для трамвайної колії;
- Клема пружинна RC SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T;
- Вкладиш ізолюючий LI SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T;
- Прокладка амортизуюча RP SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T;
- Скоба притискна CB SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T.

5.2 Розробка та впровадження конструкцій колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит

Удосконалено конструкцію трамвайної колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит (рис. 5.5, а) і закріпленням та ізоляцією рейки у рейковому каналі поліуретановою мастикою (рис. 5.5, б) [144, 145]. Конструкція трамвайної колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит з рейками, ізольованими у рейкових каналах, призначена для найбільш відповідальних ділянок з жорсткими вимогами до рівня шуму та вібрації.



Рис. 5.5. Конструкція трамвайної колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит та ізольованою рейкою (ERS – Embedded Rail System) [144]: а – збірні залізобетонні плити з рейковими каналами; б – ізоляція рейки у рейковому каналі полімерними мастиками

Для цього конструктивно-технологічного рішення автором разом зі співавторами розроблено або удосконалено:

1) конструкцію плит (рис. 5.6, *а, б*), на які отримано патенти на корисні моделі [20 – 24], у яких удосконалено відносно [144, 145] арматурний каркас та форму рейкового каналу, зокрема: бічні стінки каналу виконані під кутом $3 - 10^\circ$; армування, що зазвичай виконується у вигляді верхньої та нижньої арматурних сіток, доповнене арматурним каркасом у вигляді незамкненого знизу прямокутника в центральній частині й трапецій в бічних частинах, а також додаткових окремих арматурних стержнів в місцях жолобів; на бічних сторонах плити встановлені закладні деталі (пластини), з'єднані з армуванням і розташовані по всій довжині бічних граней; з боків вкладиш заливається двокомпонентним поліуретаном; під рейку встановлюється поліуретанова прокладка;

2) конструкцію прирейкових вкладишів, призначених для економії мастики, зниження віброколивань і температурних напружень; технічні умови України ТУ У 26.6-38278077-003:2016 «Вкладиші К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії»;

3) склади бетону з оптимальними коефіцієнтами розсунення зерен крупного та дрібного заповнювача для плит і вкладишів (номінальний, витрата компонентів на 1 м^3 , кг: крупного заповнювача – 1210, дрібного заповнювача – 556, цементу – 260, кварцового наповнювача – 223, води – 167, добавки суперпластифікатора – 0,83).

4) визначені придатними для ізоляції рейки двокомпонентні поліуретанові мастики Edilon Corkelast, Icosit C340/45F, Композиція «Х» (остаточний вибір має здійснюватись для конкретних об'єктів з урахуванням поточної ціни);

5) удосконалено технологію укладання колії стосовно місцевих умов (рис. 5.6, *в*); установлення рейок та їх фіксація здійснюються за допомогою достатньо простих пристосувань [5].

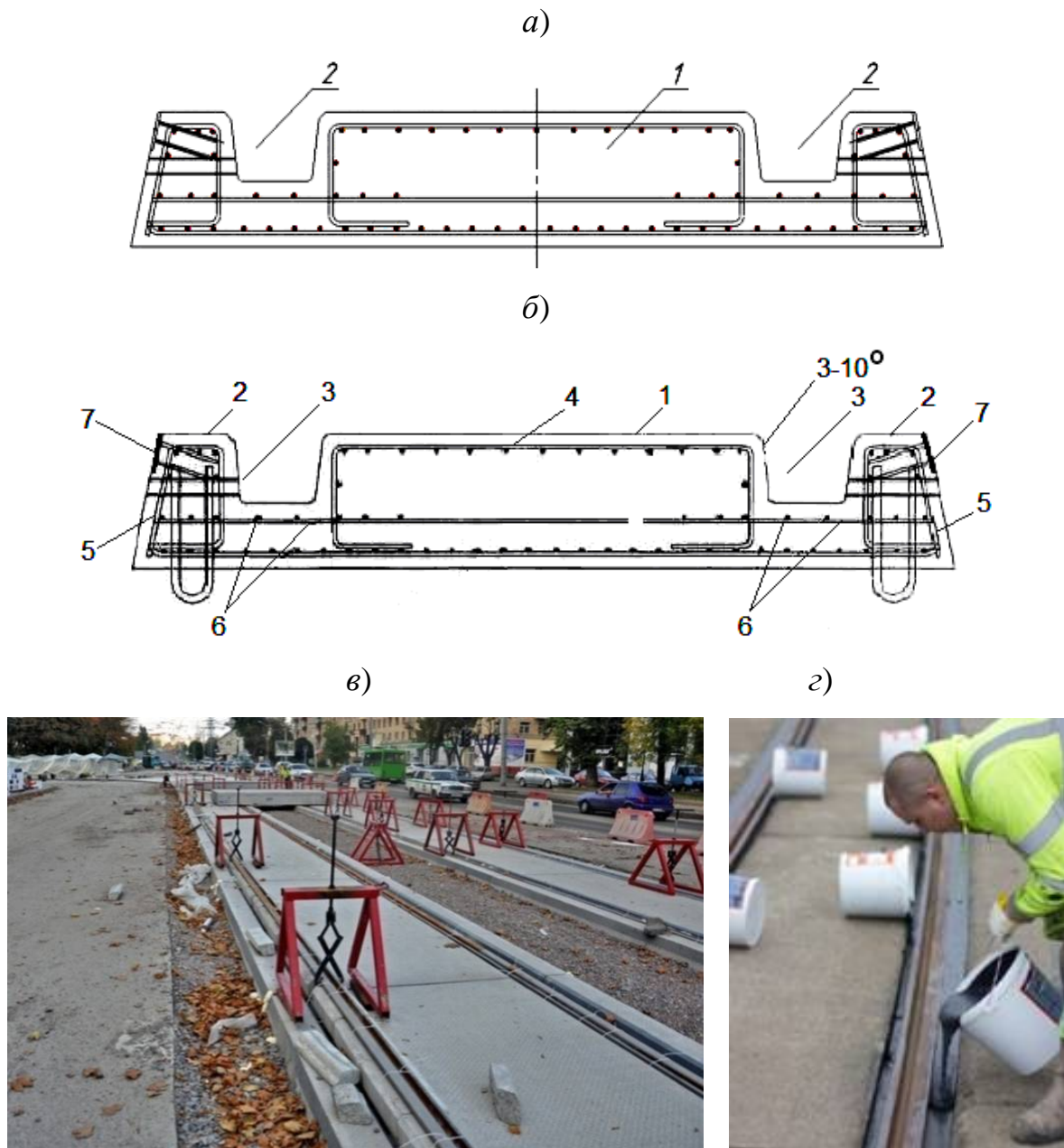


Рис. 5.6. Конструкція трамвайної колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит з ізолюваними рейками: *а* – поперечний переріз плити: 1 – плита, 2 – рейковий канал; *б* – те ж саме плити з монтажними петлями: 1 – середня частина плити; 2 – бічні частини плити; 3 – рейкові канали; 4 – арматурний каркас, незамкнений знизу; 5 – арматурний каркас в бічних частинах плити; 6 – окремі арматурні стержні в місцях каналів; 7 – закладні деталі; *б* – встановлення рейок з прирейковими вкладишами у рейкові канали перед заливанням мастики (м. Харків, пр. Московський, 2016 р.); *в* – заливання поліуретанової мастики в зазори між стінками рейкового каналу і рейкою

Припущено, що зазначені конструктивні особливості сприятимуть і запобіганню накопичення надлишкових зарядів на конструкціях колії. Так, арматурний каркас у вигляді незамкненого знизу прямокутника, а також прямокутної трапеції збоку рейкових каналів шунтує верх і низ плити, а також головку і підшву рейки, нейтралізуючи надлишкові заряди різного знака в них і зменшуючи надлишковий негативний заряд в зоні рейок.

Конструкцію трамвайної колії зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит впроваджено під час реконструкції трамвайних ліній м. Харкова (Додаток В).

5.3 Розробка та впровадження конструкцій колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити

Конструкція трамвайної колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити з рейками, прикріпленими пружними рейковими скріпленнями, з дорожнім покриттям із асфальтобетону (рис. 5.7), призначена для кривих, а також менш відповідальних ділянок. Для цієї конструкції автором разом зі співавторами розроблено:

- 1) конструкцію блоків підрейкової основи (рис. 5.7, б);
- 2) технічні умови України ТУ У 23.6-41049388-001:2017 «Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії»;
- 3) пружне рейкове скріплення SRS-T (п. 5.1);
- 4) склад бетону з оптимальними коефіцієнтами розсунення зерен крупного та дрібного заповнювача для блоків і монолітної плити;
- 5) удосконалено технологію укладання колії стосовно місцевих умов (рис. 5.7, б, 5.8).

У зв'язку з прикріпленням рейки рейковими скріпленнями для ізоляції рейки допустимо застосувати герметизуючий склад ГС-1 на основі кам'яновугільної смоли та дисперсного полівінілхлориду [146].

Конструкцію трамвайної колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити впроваджено під час реконструкції трамвайних ліній м. Харкова (Додаток В).

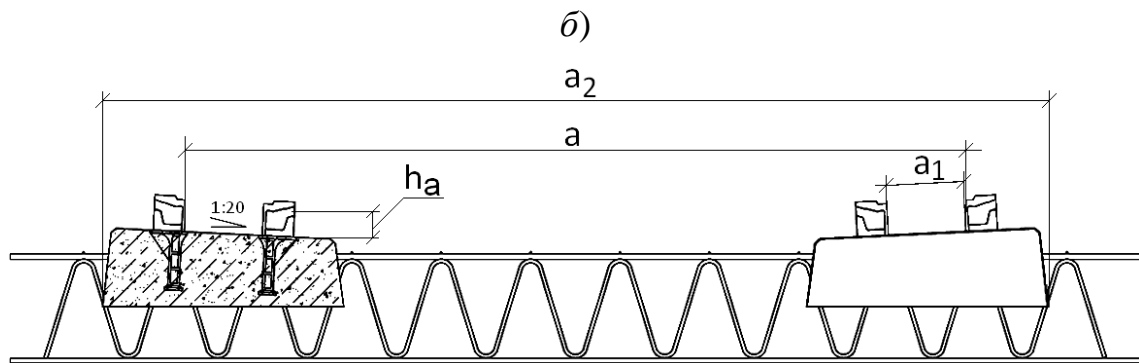
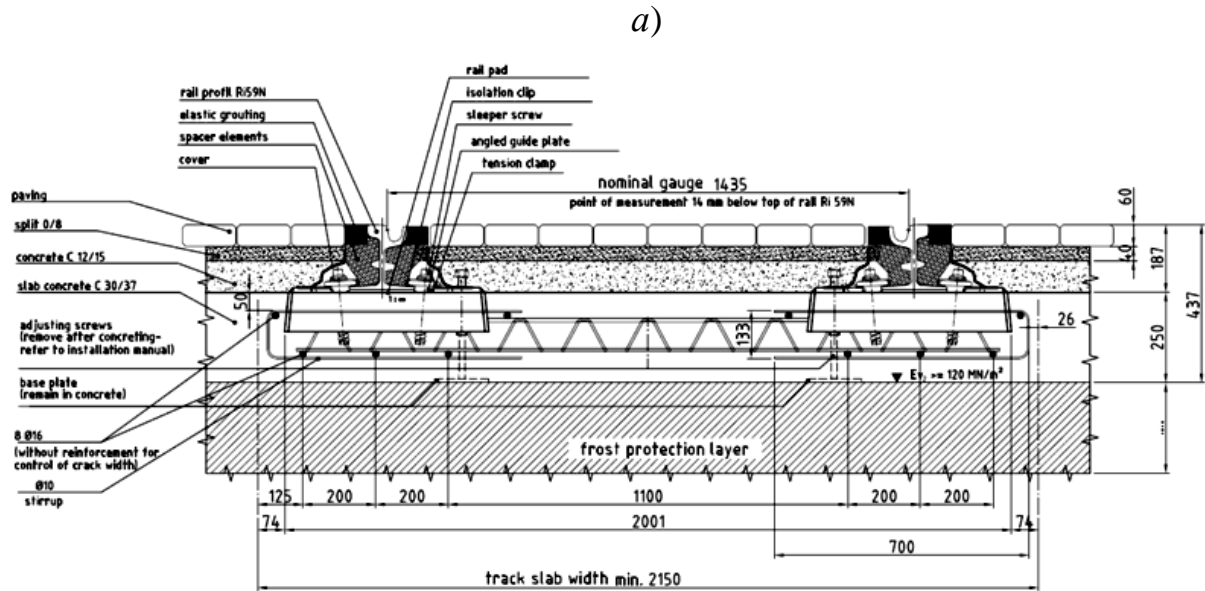


Рис. 5.7. Конструкція трамвайної колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити: *a* – прототип; *б* – поперечний переріз двоблокового елемента

a)*б)*

Рис. 5.8. Улаштування трамвайної колії зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити: *a* – встановлені у проектне положення рейки та блоки, підготовлені до укладання бетону монолітної плити (м. Харків, вул. Конєва, 2017 р.); *б* – укладання бетону монолітної плити

5.4 Економічний ефект від впровадження результатів досліджень

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях). Результати розрахунку економічного ефекту наведено у актах впровадження (додатку В) та узагальнено у табл. 5.3. Частка автора у загальному економічному ефекті склала 2317 тис. грн. (додаток В.8).

Таблиця 5.3

Об'єми реконструкції трамвайних колії, виконаної згідно з конструктивно-технологічними рішеннями, розробленими в дисертації

Виконавець робіт	Місто	Період	Об'єм реконструкції, пог. м	Економічний ефект, грн
ТОВ «ВСП Констракшн»	Харків	2013–15	3127	803 639
ТОВ «СК СТС»	Харків	2016	1039	925 749
ТОВ «Сучасні технології інфраструктури»	Харків	2017–18	4016	4 678 640
ТОВ «Сітірейл Технолоджі»	Дніпро	2018	1498	1 993 838
ТОВ «Електротрансбуд»	Київ	2018	650	865 150
Усього:			10330	9 267 016
У т.ч. особистий внесок здобувача (25%)				2 316 754

Додатковий економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоків і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів. Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності їзди.

5.5 Застосування результатів досліджень у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ з підготовки бакалаврів і магістрів зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітньої програми «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту» у лекційних курсах, лабораторних і практичних заняттях з дисципліни «Відновлення експлуатаційних властивостей, захист конструкцій і споруд», дипломному проектуванні.

Висновки за розділом 5

1. В результаті проведених досліджень розроблено нове пружне рейкове скріплення для трамвайних колій SRS-T. На скріплення подано заявку на видачу патенту на винахід та розроблено Технічні умови України «Скріплення рейкове пружне SRS-T для трамвайної колії», «Клема пружинна RC SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Вкладиш ізолюючий LI SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Прокладка амортизуюча RP SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T», «Скоба притискна CB SRS-T для пружного рейкового скріплення SRS-T».

2. Розроблено та впроваджено дві конструкції колії, інтегрованої у дорожнє покриття – зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит та зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити, які за рахунок застосування удосконалених матеріалів та деталей забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні у порівнянні із традиційними конструкціями. Розроблено також технічні умови України ТУ У 26.6-38278077-003:2016 «Вкладиші K1, K2 Моноліт і J1, J2 ПВХТ для улаштування монолітної і збірно залізобетонної верхньої будови трамвайної колії», ТУ У 23.6-41049388-001:2017 «Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної

основи трамвайної колії», отримано патенти на корисну модель на плити залізобетонні підрейкових основ та їх арматурні каркаси.

3. Результати досліджень впроваджено під час реконструкції трамвайних ліній міст Харкова, Дніпра, Києва у 2013 – 18 рр. Загальний обсяг реконструкції трамвайних колій згідно з запропонованими конструктивно-технологічними рішеннями склав 10,33 км.

4. Економічний ефект обумовлений збільшенням міжремонтного терміну, протягом якого колія зберігається у справному стані, складає 2317 тис. грн. Додатковий економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів. Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності їзди.

5. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ з підготовки бакалаврів і магістрів зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз особливостей улаштування та експлуатації трамвайних колій. Встановлено, що їм притаманні численні недоліки, а саме: вібрація та шум, електрокорозійні пошкодження, викиди рейок від температурних напружень, тріщиноутворення в бетоні підрейкових основ, сходи трамваїв з рейок. Відзначено близькість більшості місць сходів до джерел струмів витоку і надлишкових електричних зарядів.

2. Розвинуто уявлення про вплив струмів витоку та надлишкових електричних зарядів антропогенного та природного походження на конструкції трамвайних колій. Показано, що крім електрокорозійного впливу на бетон і залізобетон та сприяння тріщиноутворенню в бетоні негативні надлишкові електричні заряди, що накопичуються на підрейкових основах, за рахунок електростатичних сил можуть сприяти сходам рухомого складу на розладнаних ділянках колії.

3. Теоретичними та експериментальними дослідженнями доведено, що високій здатності поліуретану поглинати вібрацію сприяє латеральне електростатичне відштовхування між функціональними групами $C=O$ з подвійними зв'язками уретанових груп, а високому електричному опору – висока електронегативність цих груп.

4. Встановлено, що заміна у важкому бетоні гранітного заповнювача кварцовим, а частини цементу кварцом меленим пилоподібним, обумовлює зниження коефіцієнта лінійного теплового розширення бетону до 3,8 разів від 10×10^{-6} до $2,65 \times 10^{-6} K^{-1}$, а наклеювання на шийку трамвайної рейки вкладишів із такого бетону – зниження температурних напружень в рейці на 10 – 32%, віброшвидкості коливань підрейкової основи – на 27% від 0,85 до 0,62 мм/с.

5. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що залежність тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів від коефіцієнтів розсунення зерен крупного α та дрібного μ заповнювачів та водоцементного відношення має екстремальний характер. Для досліджених матеріалів забезпечення відповідності коефіцієнту розсунення

зерен дрібного заповнювача оптимальній величині $\mu_{\text{opt}} = 1,27$ і товщини прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача 20 мкм у бетоні класу С40/50 забезпечило підвищення тріщиностійкості бетону в умовах динамічних впливів за показниками сумарної енергії руйнування у порівнянні з бетоном з $\mu = 1,51$ (С20/25) у 14,9 раз, а з $\mu = 1,36$ (С32/40) – у 2,1 раз.

б. Результати досліджень впроваджено під час реконструкції трамвайних ліній міст Харкова, Дніпра, Києва у двох конструкціях колії, інтегрованої у дорожнє покриття – зі збірною підрейковою основою із залізобетонних плит та зі збірно-монолітною підрейковою основою із збірних залізобетонних блоків та монолітної плити. Впроваджені матеріали та деталі забезпечили зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень в рейках і тріщиноутворення в бетоні. Економічний ефект обумовлений збільшенням міжремонтного терміну, протягом якого колія зберігається у справному стані, складає 2317 тис. грн. Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності руху. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ всіх рівнів підготовки зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Палант О.В. Спільний руйнівний вплив постійного та перемінного струму витоку на обводнені конструкції. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Зб. Наук. праць Луцького нац. техн. ун-ту.* 2018. Вип. 10. С. 106–112.
2. Палант О.В., Савченко О.М., Плугін Д.А., Плугін А.А. Зниження електричних і вібраційних впливів від рейкового транспорту. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Зб. наук. праць Придніпровської держ. акад. буд. та арх.* 2018. Вип. 104. – С. 194–199.
3. Плугин А.Н., Палант Е.В., Плугин Д.А., Плугин Ал.А., Борзяк О.С. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ».* 2018. Вип. 35. С. 25–28.
4. Плугин Д.А., Савченко О.М., Палант О.В. Электро- та віброізоляційні матеріали на залізниці. Можливості їх виготовлення в Україні *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. тр-ту.* 2017. Вип. 169. С. 11–18.
5. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Спосіб установлення рейки в підрейковому каналі за допомогою кондуктору. *Науковий вісник будівництва.* 2016. № 3 (85). С. 245–248.
6. Шуба Т., Чистяк В., Перестук В., Єлякіна О., Забіяка О.А., Плугін А.А. Досвід застосування нових конструкцій безбаластного залізничного полотна у Польщі та оцінка перспектив їх застосування в Україні. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. тр-ту.* 2011. Вип. 122. С. 201–221.
7. Palant O., Plugin D., Plugin A., Lobiak A., Pluhin O. Use of liners made of concrete on quartz aggregates and polyurethane composition to reduce vibration, noise and improve the stability of tramway track. *Matec Web of Conferences.* V.230. 03014 (2018). 9 pp.
8. Plugin A.M., Pluhin O., Palant O., Konev O., Nykytynskij A. Electric potentials and charges on the buildings and the area around the deep water wells. *Matec Web of Conference.* V.116, 01011 (2017). 7 pp.

9. Palant O.V., Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A. Reduction of electric and vibrational impacts of city tram to the structures and buildings. 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. P 3.03. Band 2. P. 1073–1079.

10. Палант О.В., Пługін Д.А., Пługін А.А., Лобяк О.В., Пługін О.А. Застосування вкладишів з бетону на кварцових заповнювачах і поліуретанової композиції для зниження вібрації, шуму і підвищення стійкості трамвайної колії. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 7 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 14-16.11.2018: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 208–209.

11. Пługін А.А., Мірошніченко С.В., Конєв О.А., Паргала Н.М., Суханова Ю.А., Палант О.В. Фізико-механічні властивості прокладного шару безбаластного мостового полотна із просторово армованої полімерним волокнистим матеріалом цементної композиції. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 64–65.

12. Палант О.В., Пługін А.А., Пługін Д.А. Досвід і перспективи улаштування трамвайних колій на суцільній залізобетонній основі з ізольованою рейкою у м. Харків. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 5 Міжнар. науково-техн. конфер., Харків, 23–24.04.2015 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 17.

13. Пługін А.М., Пługін О.А., Палант О.В., Конєв О.А., Пługін А.А. Вплив електричних потенціалів від водозабірних свердловин на пошкодження конструкцій будівель. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 67.

14. Савченко О.М., Палант О.В., Пługін Д.А. Захист будівель та споруд від вібраційних коливань та струмів витоку: Аналіз методів електро- та віброізоляції

рейкових колій. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 25–27.04.2017. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (дод.). С. 50–51.

15. Палант О.В., Пługін Д.А., Пługін А.А. Сучасні конструктивно-технологічні рішення підрейкових основ трамвайних колій, реалізовані у м. Харків. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези допов. 78-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 26-28.04.2016. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (дод.). С. 80–81.

16. Пługін Д.А., Пługін А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 4 (90). С. 250–254.

17. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов С.М., Пługін Д.А., Мойсєєва П.Є. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту*. 2017. Вип. 169. С. 64–72.

18. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Конструкція деформаційних швів при монолітній підрейковій основі трамвайних колій. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 3 (85). С. 242–245.

19. Арматурний каркас для залізобетонної плити підрейкової основи : пат. на кор. модель 88466 Україна. № u 2013 14609 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с.

20. Плита залізобетонна підрейкової основи : пат. на кор. модель 88467 Україна. № u 2013 14611 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с.

21. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 88468 Україна. № u 2013 14615 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с.

22. Армована залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 89731 Україна. № u 2013 14618 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. 4 с.

23. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 91916 Україна. № u 2014 00136 ; зявл. 09.01.2014 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. 4 с.
24. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на пром. зразок 29871 Україна. № s 2014 00125 ; зявл. 22.01.2014 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14. 6 с.
25. Скріплення рейкове пружне безанкерне для трамвайної колії : заявка на винахід. Україна № а 2019 03024 ; зявл. 28.03.2019.
26. ДБН В.2.3-18:2007. Споруди транспорту. Трамвайні та тролейбусні лінії. Загальні вимоги до проектування. Київ, 2008. 58 с.
27. СНиП 2.05.09-90. Трамвайные и троллейбусные линии. Москва, 1990. 40 с.
28. Схеми. Харьков. *Городской электротранспорт*. URL : <https://transphoto.ru/articles/1228> (дата звернення: 15.04.2019).
29. Лютый В.А. Повторяющаяся быстронатекающая ползучесть бутовой кладки мостовых опор при механоэлектрических воздействиях: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2007. 201 с.
30. Толмачов С.Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов: дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2013. 425 с.
31. Плугин Д.А. Развитие теории электрокоррозии обводненных конструкций и разработка электрокоррозионно стойких материалов и способов защиты: дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2014. 492 с.
32. Трикоз Л.В. Развитие теории устойчивости и долговечности грунтодержущих материалов и разработка способов их защиты от разрушения: дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2015. 426 с.
33. Конев А.А. Влияние избыточных отрицательных зарядов от токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций и увеличение их трещиностойкости: Дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2014. 227 с.
34. Забіяка О.А. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного полотна та опорах залізничних мостів і підвищення їх тріщиностійкості: Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2015. 217 с.

35. Как ремонтируют трамвайные пути в Харькове. *Пассажирский транспорт*. URL : <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1198271> (дата звернення: 15.04.2019).

36. Трамваи грохочут по николаевским улицам, влетая в ямы. *Николаевские Известия*. URL : <http://izvestia.nikolaev.ua/news/трамваи-грохочут-по-николаевским-ули> (дата звернення: 15.04.2019).

37. Полиция просит ликвидировать в Николаеве ямы вдоль трамвайных путей: это опасно и портит имидж города. *Svidok.info*. URL : <https://svidok.info/ru/news/3285> (дата звернення: 15.04.2019).

38. Грязь и разруха Новошешупового Ряда: Прогулка по одному из самых заброшенных мест Одессы. *Южный курьер*. URL : <https://uc.od.ua/news/city/1198400> (дата звернення: 17.04.2019).

39. Иванов В.В. Проклятие города Днепропетровска. URL : http://samlib.ru/i/iwanow_wjacheslaw_wasilxewich/obednommladencezamolwiteslo wo.shtml (дата звернення: 17.04.2019).

40. Трамвайные линии: сеть 3-го депо, Донецк. *Городской электротранспорт*. URL : <https://transphoto.ru/articles/1684> (дата звернення: 17.04.2019).

41. Состояние трамвайных путей. URL : <http://yourych.narod.ru/temp2/file1.html> (дата звернення: 17.04.2019).

42. Иванов В.В. Трамвайное уродство, безумцы и варвары. URL : http://samlib.ru/i/iwanow_wjacheslaw_wasilxewich/obednommladencezamolwiteslo wo.shtml (дата звернення: 17.04.2019).

43. Чего же им не дрейфовать? *LiveJournal*. URL : <https://papagdepylo.livejournal.com/763410.html> (дата звернення: 17.04.2019)..

44. Харьковчанин показал в сети фото разбитых трамвайных путей. *Ведомости – Украина*. URL : <http://vedomosti-ua.com/88562-harkovchanin-pokazal-v-seti-foto-razbityh-tramvaynyh-putey-foto.html> (дата звернення: 17.04.2019).

45. Виплески. *Helpiks.org*. URL : <https://helpiks.org/4-83424.html> (дата звернення: 17.04.2019).

46. Почему в Харькове так гремят трамваи? *MyKharkov.info*. URL : <https://mykharkov.info/news/pochemu-v-xarkove-tak-gremyat-tramvai-90356.html> (дата звернення: 17.04.2019).

47. Выплеск шняги. *YouTube*. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=VrIkYtWmx9M> (дата звернення: 17.04.2019).

48. Не проедут: В Дарницком районе под трамвайными путями образовалась огромная яма. *Vgorode.ua*. URL : <https://kiev.vgorode.ua/news/sobytyia/349393> (дата звернення: 17.04.2019).

49. В центре Киева недалеко от трамвайных путей провалился асфальт. *Новое Время*. URL : <https://nv.ua/ukraine/events/v-tsentre-kieva-nedaleko-ot-tramvajnyh-putej-provalilsja-asfalt-foto-99611.html> (дата звернення: 17.04.2019).

50. «Будем работать до упора». Устранение пятиметрового провала на трамвайных путях находится на завершающей стадии. *Все новости*. URL : <https://vsenovostint.ru/2015/07/08/budem-rabotat-do-upora-ustranenie-pyatimetrovogo-provala-na-tramvajnyh-putyah-nahoditsya-na-zavershayushhey-stadii/> (дата звернення: 17.04.2019).

51. В Уфе трамвайные пути повисли в воздухе. *Башинформ.рф*. URL : <http://www.bashinform.ru/news/1049382-v-ufe-na-vosstanovlenie-posle-livnya-tramvajnykh-putey-trebuetsya-12-mln-rublej/> (дата звернення: 17.04.2019).

52. Провал дороги на ул. Октябрьской Революции в Нижнем Новгороде указывает на состояние тоннеля метро. *Koza.press*. URL : <https://koza.press/analytics/3201> (дата звернення: 17.04.2019).

53. Эпидемия провалов: асфальт «нырнул» у трамвайных путей на Французском бульваре. *Пушкинская*. URL : <https://pushkinska.net/news/epidemiya-provalov-asfalt-nyrnul-u-tramvajnyh-putej-na-francuzskom-bulvare-foto> (дата звернення: 17.04.2019).

54. Климентьева А. «Черная дыра» на Мызе продолжает увеличиваться в раз мерах. *Нижний Новгород*. URL : <https://www.nnov.kp.ru/daily/26441.7/3311950> (дата звернення: 17.04.2019).

55. Яма диаметром 85 метров образовалась в селении под Нижним Новгородом. *Epoch Times*. URL : <https://www.epochtimes.ru/content/view/73075/3> (дата звернення: 18.04.2019).

56. Velkoplošné panely BKV. *Pražské tramvaje*. URL : <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041296> (дата звернення: 17.04.2019).

57. Почему «вздыбились» трамвайные рельсы в Смоленске. *Рабочий путь*. URL : www.rabochy-put.ru/.../56166-pochemu-vzdybilis-tramvajnye-rely-v-smolenske.html (дата звернення: 19.04.2019).

58. В центре Челябинска из-за неисправности рельсов столкнулись два трамвая. *Знак*. URL : https://www.znak.com/2017-12-05/v_centre_chelyabinska_iz_za_neispravnosti_relsov_stolknulis_dva_tramvaya (дата звернення: 19.04.2019).

59. Марущак А. Киевляне в ужасе от состояния трамвайной линии до Пущи-Водицы. *Сегодня*. URL : <https://www.segodnya.ua/kyiv/ktransport/kyevlyane-v-uzhase-ot-sostoyaniya-tramvaynoy-linii-do-pushchi-vodicy-1026023.html> (дата звернення: 19.04.2019).

60. Саратовцы рассказали о волнообразных трамвайных рельсах. *Четвертая власть*. URL : <http://www.4vsar.ru/news/92947.html> (дата звернення: 19.04.2019).

61. Ползун (рельсовый транспорт). *Википедия*. URL : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ползун_\(рельсовый_транспорт\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ползун_(рельсовый_транспорт)) (дата звернення: 19.04.2019).

62. Боксование. *Википедия*. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Боксование> (дата звернення: 19.04.2019).

63. Локомотив Вл10 с песочком. *Pikabu*. URL : https://pikabu.ru/story/lokomotiv_vl10_s_pesochkom_4938329 (дата звернення: 19.04.2019).

64. Анисимов В.А. Тяговые расчеты. *Теория тяги поездов и тяговые расчеты*. URL : https://sites.google.com/site/tagapoezd/monografia/power/power_force/szep/boks_uz (дата звернення: 19.04.2019).

65. Говина Л. Когда заменят изношенные трамваи и где в этом году будут ремонтировать трамвайные пути? *АТН*. URL : <https://atn.ua/obshchestvo/kogda-zamenyat-iznoshennye-tramvai-i-gde-v-etom-godu-budut-remontirovat-tramvaynye-puti> (дата звернення: 19.04.2019).

66. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний. Москва, 1988. 448 с.

67. Соломатов В.И., Соломатова В.И., Черкасов В.Д., Фомин Н.Е. Вибропоглощающие композиционные материалы. Саранськ, 2001. 96 с.

68. Седых А.А. Защита зданий от вибрации. *Омский научный вестник*. Омск, 2009. №1. С. 11 – 14.

69. Барштейн М.Ф., Ильичев В.А., Коренев Б.Г. и др. Динамический расчет зданий и сооружений. Справочник проектировщика. Москва, 1984. 303 с.

70. Harris C., Piersol A., Harris' Shock and Vibration Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill, 2002.

71. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. Москва, 1996. 9 с.

72. СН 3077-84 Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. Москва, 1984. 10 с.

73. Карякин Н.И., Быстров К.Н., Киреев П.С. Краткий справочник по физике. Москва, 1962. 559 с.

74. Цытович Н.А., Березанцев В.Г., Далматов М.Ю. Основания и фундаменты. Москва, 1970. 384 с.

75. Дудки Е.П., Султанов Н.Н. Обоснование современных конструкций трамвайных путей. *Известия ПГУПС*. 2017/1. С. 24 – 32.

76. Современные технологии шумоизоляции трамвайного полотна. *Градострой*. URL : <http://www.gradostroy.com.ua/sovremennye-texnologii-shumoizolyacii-tramvajnogo-polotna> (дата звернення: 19.04.2019).

77. Морозова Л. Новейшие технологии виброизоляции конструкций рельсовых путей. *Все для стройки*. URL : <https://vsedlyastroiki.ru/ru/publikatsii/>

noveyshie-tehnologii-vibroizolyatsii-konstruktsiy-relsovyih-putey/ (дата звернення: 19.04.2019).

78. Изменение свойств грунтов под воздействием техногенных процессов. ЦЭИИС. URL : <https://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/2294226.html> (дата звернення: 19.04.2019).

79. Кожушко В.П. Основи і фундаменти : Підруч. для студ. вищ. навч. закл.: В 2 ч. Ч. 1. Харків, 2003. 499 с

80. Шатенко Л.М., Рудь О.Г., Кічаєва О.В., Самородок О.В., Гаврилюк О.В. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Харків, 2017. 563 с.

81. Механика грунтов. Основания и фундаменты / С.Б. Ухов и др. Москва, 2007. 566 с.

82 Цытович Н.А. Механика грунтов. Москва, 1983. 288 с.

83. Герасименко О.С. Увеличение проникающей способности и прочности жидкого стекла : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 Харьков, 2008. 231 с.

84. Котельников А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта. Москва, 1986. 279 с.

85. Стрижевский И.В. Подземная коррозия и методы защиты. Москва, 1986. 112 с.

86. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. Киев, 1978. 168 с.

87. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. Харьков, 1989. 168 с.

88. Пługін 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). Харків, 2013. 300 с.

89. Пługін О.А. Вплив постійного струму на бетон обводнених конструкцій та споруд, розташованих поблизу електрифікованих залізничних колій: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2010. 256 с.

90. Борзяк О.С. Механізм електрокорозії бетону залізобетонних конструкцій в складних умовах експлуатації: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2010. 243 с.

91. Дудін О.А. Механізм впливу змінного струму витoku й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні споруди: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2012. 154 с.
92. Нестеренко С.Г. Полімерцементний розчин для захисту будівель від електрокорозії і надлишкових електричних зарядів: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2016. 189 с.
93. Касьянов В.В. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2016. 251 с.
94. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. Москва, 1977. 440 с.
95. Нильсен Л., Лоуренс Е. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. Москва, 1978. 310 с.
96. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. Москва, 1994. 367 с.
97. Скрипинец А.В., Ю.В. Попов Реологические свойства наполненных вибропоглощающих композиций. *Науковий вісник будівництва*. 2013, Вип. 72. С. 247 – 253.
98. Данченко Ю.М., Попов Ю.В., Скрипинец А.В. Дисперсно-наполненные вибропоглощающие эпоксиуретановые полимерные композиции для систем виброзащиты. *European Applied Science*. 2013, №7. С. 23 – 25.
99. Андронов В.А., Данченко Ю.М., Скрипинец А.В., Бухман О.М. Эффективность использования вибропоглощающего полимерного покрытия для снижения локальной вибрации. *Науковий вісник національного гірничого університету*. 2013, № 6. С. 85 – 91.
100. Калинин О.А. Совершенствование состава и структуры бетона для повышения трещиностойкости железобетонных изделий: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 1995. 184 с.
101. Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы: дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 2005. 420 с.

102. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Мирошниченко С.В., Плугин Д.А., Кагановский А.С., Плугин Ал.А., Градобоев О.В., Борзяк О.С. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. Киев, 2012. 288 с.

103. Способ определения состава бетонной смеси : а.с.1787972 SU. № 4854506/33; опубл. 15.01.1993, Бюл. №2. 4 с.

104. Спосіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону : пат. 62613 Україна. № 2003043396 ; заявл. 15.04.2003 ; опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6. 15 с.

105. Спосіб визначення складу важкого бетону з мінеральним наповнювачем : пат. 71122 Україна. № 2003087901 ; заявл. 21.08.2003 ; опубл. 15.06.2006, Бюл. № 6. 12 с.

106. Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон : Пат. 99426 Україна. № а 201114838; заявл. 14.12.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. 20 с.

107. Твердомер резины по Шору NOVOTEST ТШ-А. *Техно-НДТ*. URL : <http://t-ndt.ru/katalog/tverdomeryi/stacionarnyje/po-shoru/tverdomer-rezinyi-po-shoru-novotest-tsh-a.html> (дата звернення: 19.04.2019).

108. Твердомер/дюрометр Шора тип D (ТВР-D) компакт цифровой. *Твердомеры*. URL : <http://tverdomery.ru/Tverdomery-rezinyi-i-plastmass/Tverdomer/durometr-Shora-tip-D-TVR-D-kompakt-tscifrovoyi.html> (дата звернення: 17.04.2019).

109. Даниленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: у 2-х тт. Т.1. Київ, 2010. 528 с.

110. Каучуки. *KazEdu*. URL : <https://www.kazedu.kz/referat/54528> (дата звернення: 19.04.2019).

111. Майофис И.М. Химия диэлектриков. Москва, 1970. 331 с.

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

113. Плугин А.Н., Плугин А.А., Трикоз Л.В., Кагановский А.С., Плугин Ал.А. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. Київ, 2011. 331 с.

114. Липатов В.С. Шилов В.В., Гомза Ю.П., Кругляк Н.Е. Рентгенографические методы изучения полимерных систем. Київ, 1982. 296 с.

115. Zhou Lian, Lu Huimin, Ouyang Zhaofei In situ crystal growth of zeolitic imidazolate frameworks (ZIF) on electrospun polyurethane nanofibers. *Dalton Transaction*. 2014. № 18. URL : <https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/DT/2014/C4DT00023D> (дата звернення: 19.04.2019)

116. Anandhan S., Lee H.S. Influence of organically modified clay mineral on domain structure and properties of segmented thermoplastic polyurethane elastomer. *Journal of Elastomers & Plastics*. 2014. №46(3). P. 217 – 232.

117. Как работает трамвай? Как работает троллейбус? *Help for engineer*. URL : <https://h4e.ru/obshchie-svedeniya/89-kak-rabotaet-tramvaj-kak-rabotaet-trollejbus> (дата звернення: 17.04.2019).

118. Измерение блуждающих токов – Испытание и проверка силовых кабелей. *Энергетика*. URL : <http://forca.ru/knigi/arhivy/ispytanie-i-proverka-silovyh-kabeley-13.html> (дата звернення: 19.04.2019).

119. Будова Землі. *Вікіпедія*. URL : https://uk.wikipedia.org/wiki/Будова_Землі (дата звернення: 20.04.2019).

120. Електричне поле Землі. *Вікіпедія*. URL : https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричне_поле_Землі (дата звернення: 20.04.2019).

121. Альтернативный источник энергии. Электрическое поле земли – источник энергии. *NTPO.COM*. URL : <http://www.ntpo.com/izobretenija/alternativnaya-energetika/netradicionnye-istochniki-jenergii/7498-alternativnyj-istochnik-energii.-elektricheskoe-pole-zemli-istochnik-energii.html> (дата звернення: 19.04.2019).

122. Електростатика. URL : <http://elektrostatika.narod.ru/paragrap3.htm> (дата звернення: 19.04.2019).

123. Для измерения напряженности электрического поля Земли у ее поверхности использовали две металлические пластины. *FizPortal.Ru*. URL : www.fizportal.ru/elektrostatic-86 (дата звернения: 20.04.2019).

124. Коровин Е.А., Ефимов В.А., Денисенков Д.А., Крисанова О.А., Рудь А.А., Чернышев С.В. Датчик напряженности электрического поля Земли. URL : http://www.mivlgu.ru/conf/armand2016/rmdzs-2016/pdf/S3_8.pdf (дата звернения: 20.04.2019).

125. Плагин Арк., Плагин А., Плагин Ал., Плагин Д., Борзяк О. Угроза и предотвращение массовой гибели людей. Т.2. Теории и представления о механизмах глобальных процессов, загадочных явлений и стихийных бедствий на Земле. Lambert Academic Publishing, 2016. 354 с.

126. Козлова Н.С., Рудаков В.П., Шулейкин В.Н., Войтов Г.И., Баранова Л.В. Эманационные и электрические эффекты в атмосфере подпочв над Калужской импактной кольцевой структурой. *Российский журнал наук о земле*. 1999, №6. Т.1. С. 509 – 510.

127. Шулейкин В.Н. Атмосферное электрическое поле – индикатор шлейфов УВ-скоплений. *Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика*. 2013. Вып. 1(7). URL : http://oilgasjournal.ru/vol_7/shuleikin.html (дата звернения: 20.04.2019).

128. Атмосферное электричество. *Большая советская энциклопедия*. URL : <http://bse.sci-lib.com/article080253.html> (дата звернения: 20.04.2019).

129. Метод естественного электрического поля. *Все о геологии*. URL : [http://wiki.web.ru/wiki/Метод_естественного_электрического_поля_\(ЕП\)](http://wiki.web.ru/wiki/Метод_естественного_электрического_поля_(ЕП)) (дата звернения: 20.04.2019).

130. Плагин Арк., Плагин А., Плагин Ал., Плагин Д., Борзяк О. Угроза и предотвращение массовой гибели людей. Т.1. Субмикро- и Макроколлоидная химия и Физико-химическая механика Земли. *Lambert Academic Publishing*. 2016. 256 с.

131. Основные причины колебания вагонов. *Студопедия*. URL : https://studopedia.su/2_9638_osnovnie-prichini-kolebaniya-vagonov.html (дата звернення: 20.04.2019).

132. Тур В.В. Взаимосвязь длины зоны передачи напряжений и величины вытягивания напрягающих элементов в предварительно напряженных конструкциях. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010, №664 (2010). С. 275–285. URL : <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/6532/1/49.pdf> (дата звернення: 20.04.2019).

133. Коэффициент – термическое расширение. *Большая Энциклопедия Нефти и Газа*. URL : <http://www.ngpedia.ru/id114626p4.html> (дата звернення: 20.04.2019).

134. Плугин А.А. Совершенствование состава и структуры бетона с учетом электроповерхностных свойств его составляющих для повышения прочности и стойкости изделий кольцевого сечения: Дисс... к.т.н.: 05.23.05. Харьков, 1994. 245 с.

135. Stark J., Bollman K. Delayed Ettringite Formation in Concrete. URL : <https://www.imxtechnologies.com/storage/app/media/uploaded-files/ettringite.pdf> (дата звернення: 20.04.2019).

136. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Мирошниченко С.В., Плугин Д.А., Кагановский А.С., Плугин Ал.А., Градобоев О.В. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. Т. 2. Теория твердения портландцемента. Київ, 2012. 224 с.

136. Суперпластифікована цементно-водяна суспензія СПЦВС для цементациі гірських порід і будівельних конструкцій : пат. 71208 Україна. № 20031210920 ; заявл. 02.12.2003 ; опубл. 25.02.2008, Бюл. №4.

137. Харланов А.Н., Шилина М.И. Инфракрасная спектроскопия для исследования адсорбционных, кислотных и основных свойств поверхности гетерогенных катализаторов. Москва, 2011. 110 с.

138. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Москва, 2012. 54 с.

139. Кашин С.Г. Защита от вибрации. Казань, 2012. 133 с.
140. Виброизолятор с демпфером Vibrofix Spring 1 DSD-5. *Tricolor*. URL : <https://tricolor.com.ua/vibroizolyator-s-dempferom-vibrofix-spring-1-dsd-5/> (дата звернення: 21.04.2019).
141. Полиуретановые изделия. Особенности. *ТОП. Технологии обработки пластмасс*. URL : <http://top-18.ru/katalog/poliuretan/> (дата звернення: 21.04.2019).
142. Пружне рейкове скріплення : пат. 36449 Україна. № 99126922 ; заявл. 20.12.1999 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. №3.
143. Плугін А.А., Плугін А.М., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А., Тулей Ю.Л. Досвід експлуатації пружних рейкових скріплень типу PRS і залізобетонних шпал із ними. *Українські залізниці*. 2015. №3–4. С. 60 – 64.
144. Embedded Rail System für Straßenbahn, Stadtbahn und Führungsschienen. *Edilon Sedra*. URL : <https://www.edilonsedra.com/de/edilonsedra-ers-trams/> (дата звернення: 21.04.2019).
145. Устройство трамвайного пути и способ его выполнения : пат. 2376408 Росія. № 2007148869/11 ; заявл. 29.12.2007 ; опубл. 20.12.2009, Бюл. №35. URL : <http://www1.fips.ru/Archive/PAT/2009FULL/2009.12.20/DOC/RUNWC2/000/000/002/376/408/DOCUMENT.PDF> (дата звернення: 21.04.2019).
146. Мірошніченко С.В. Составы на основе цемента, КУС и высококачественных смол для герметизации и лечения трещин и швов: Дисс... канд. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 1999. 153 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Сходи трамваїв з рейок ум. Харків з квітня 2015 по 2017 роки

№ з/п	Дата	№ мар-шруту	Місце сходу або аварії
1	23.08.2017	5	біля заводу ім. Малишева
2	09.05.2017	8	шляхопровід на вул. Плеханівській
3	27.04.2017	8	перехрестя просп. Московський і вул. Акад. Павлова
4	25.04.2017	23	вул. Шевченка 261, (навпроти ресторану «Навруз»)
5	9.04.2017	26	перехрестя вул. Героїв Праці та просп. Тракторобудівників
6	25.04.2017	26	вул. Шевченка 261
7	24.04.2017	8	біля стадіону «Металіст»
8	26.04.2017	6	Салтівське Шосе, поруч з супермаркетом «Клас»
9	09.04.2017	26	перехрестя вул. Героїв Праці та просп. Тракторобудівників
10	05.02.2017	27	перехрестя просп. Тракторобудівників та вул. Героїв Праці
11	30.01.2017	8	Балашовський шляхопровід
12	30.01.2017	5	перехрестя вул. Плеханівської і вул. Молочної
13	18.01.2017	20	біля Палацу спорту «Локомотив»
14	28.12.2016	26	перехрестя вул. Гвардійців Широнінців і Героїв Праці
15	29.11.2016	27	вул. Гольдбергівська біля Трьохсвятительського храму
16	15.11.2016		вул. Морозова
17	03.11.2016	8	Балашовський шляхопровід біля заводу ім. Малишева
18	26.01.2017	5	перехрестя вул. Плеханівської і вул. Молочної
19	18.01.2017	20	вул. Велика Панасівка біля «Нового»шляхопроводу
20	03.11.2016		перехрестя вул. Плеханівської і вул. Польової
21	19.09.2016	8	перехрестя вул. Плеханівської і вул. Молочної
22	06.09.2016	8	Салтівське Шосе, відразу за перехрестям з просп. Тракторобудівників
23	31.08.2016		навпроти ТРЦ «Французький бульвар»
24	17.08.2016	8	на зупинці навпроти лікарні №15
25	26.07.2016	23	перехрестя просп. Тракторобудівників та вул. Амосова
26	21.07.2016		біля ст. метро «Масельського»
27	13.03.2016	6	перехрестя майд. Павлівського та майд. Конституції
28	11.03.2016		біля ТЦ «Барабашово»
29	09.03.2016	8	Салтівське Шосе біля хлібозаводу №8
30	18.07.2016	16	біля Журавлівського Гідропарку

31	01.07.2016	6	біля перехрестя просп. Тракторобудівників та Салтівським Шосе
32	24.06.2016	8	посеред шляхопроводу на вул. Плеханівська
33	21.06.2016	27	на майдані Захисників України
34	15.06.2016	27	перехрестя вул. Гольдбергівська і вул. Москалівська
35	11.06.2016		біля ХТЗ
36	10.06.2016	27	перехрестя вул. Гольдбергівська і вул. Москалівська
37	31.05.2016	6	вул. Полтавський Шлях перед Харківським мостом
38	30.05.2016	27	перехрестя просп. Московський і вул. Акад. Павлова
39	26.05.2016		вул. Плеханівська біля буд. 79 та зуп.«вул. Молодої Гвардії»
40	23.05.2016	27	перехрестя вул. Морозова та вул. Плеханівської
41	11.05.2016	27	вул. Гольдбергівська біля Трьохсвятительського храму
42	01.05.2016	16	вул. Верінська біля ст. метро «Київська»
43	26.04.2016	8	перехрестя вул. Морозова та вул. Киргизької
44	21.04.2016		вул. Полтавський Шлях біля Південного вокзалу
45	18.04.2016	26	вул. Героїв Праці навпроти ТРЦ «Караван»
46	14.04.2016		вул. Зростання біля ст. метро Київська
47	08.04.2016	7	вул. Москалівка біля заводу ім. Шевченка
48	05.04.2016	26	вул. Шевченка біля зуп. «Гідропарк»
49	04.04.2016	16А	вул. Верінська, біля ст. метро «Київська»
50	30.03.2016		просп. Тракторобудівників між вул. Героїв Праці та вул. Валентіновскою
51	29.03.2016	23	просп. Тракторобудівників у бік Салтівського Шосе
52	21.03.2016	20	коло біля Південного вокзалу
53	17.03.2016		вул. Москалівка біля Трьохсвятительського храму
54	15.03.2016		просп. Тракторобудівників біля зуп. «Ст. метро «Масельського»
55	20.02.2016	20	біля Південного вокзалу
56	21.02.2016	16	перехрестя вул. Героїв Праці та просп. Тракторобудівників
57	20.02.2016	26	перехрестя вул. Мироносицька та вул. Весніна
58			перехрестя вул. Академіка Павлова і Салтівського шосе біля лікарні №15
59	18.02.2016	26	вул. Мироносицька 96 біля вул. Весніна
60	12.02.2016	3	майд. Павлівській у бік Південного вокзалу
61	02.02.2016		навпроти парку ім. Горького
62		27	вул. Богомольця (Бажана) біля заводу ім. Шевченка
63			перехрестя Салтівського шосе і просп. Тракторобудівників
63	27.01.2016		
64	24.01.2016	27	вул. Гольдбергівська біля Трьохсвятительського храму

65	22.01.2016	5	Харківський міст
66	21.01.2016	5	Харківський міст
67	19.01.2016	16	перехрестя вул. Героїв Праці та Гвардійців Широнінців
68	18.01.2016	6	біля перехрестя вул. Полтавський Шлях і вул. Конєва
69	17.01.2016	26	перехрестя вул. Шевченка та вул. Весніна
70		27	зупинка біля перехрестя вул. Героїв Праці та просп. Тракторобудівників
71	06.01.2016		перехрестя просп. Перемоги та вул. Ключківської
72	28.12.2015	6	перехрестя пр. Московського та вул. Акад. Павлова
73		23	перехрестя просп. Тракторобудівників та Салтівського Шосе
74	21.12.2015		біля супермаркету «Рост» на ст. метро «Київська»
75	15.12.2015	26	вул. Шевченка біля Управління Національної поліції
76	03.12.2015		вул. Гольдбергівська біля Трьохсвятительського храму
77	24.11.2015	26	вул. Весніна навпроти АЗС «БДСМ»
78	24.11.2015	26	біля ст. метро «Київська» та ТЦ «Рост»
79		27	перехрестя вул. Героїв Праці та просп. Тракторобудівників
80	09.11.2015	26	біля зуп. «Ст. метро «Пролетарська» та заводу «Електроважмаш»
81			вул. Ключківська біля кола на зуп. «вул. Новгородська» навпроти клубу «Місто»
82	23.10.2015	27	майд. Повстання біля Кінного ринку
83	18.10.2015	16	біля Журавлівського Гідропарку
84	14.10.2015	26	зуп.«ст. метро «Героїв Праці»
85	11.10.2015	26	вул. Героїв Праці навпроти ТРЦ «Дафі»
86	06.10.2015		пров. Конюшенний
87	08.10.2015	26	просп. Тракторобудівників 130 навпроти супермаркету «Сільпо»
88	22.10.2015		вул. Сумська навпроти парку ім. Горького
89	02.10.2015		біля ст. метро «Київська»
90	2.11.2015		вул. Героїв Праці біля ТРЦ «Караван»
91	2.11.2015		біля вул. Одеська
92	22.09.2015	8	вул. Салтівське Шосе біля просп. Тракторобудівників
93	01.09.2015	6	вул. Салтівське Шосе біля просп. Тракторобудівників
94	29.08.2015	8	вул. Морозова біля мосту
95	20.08.2015	26	вул. Героїв Праці 31, навпроти кафе «Sochi»
96	14.08.2015	23	біля ст. метро «Пролетарська» навпроти прохідної заводу «Електроважмаш»
97	13.08.2015	6	Салтівське шосе біля вул. Акад. Павлова та ТРЦ«Французький Бульвар»

98	03.08.2015	23	вул. Льва Толстого біля в'їзду у депо
99	29.07.2015	26	біля супермаркету «Рост» на ст. метро «Київська»
100	28.07.2015	6	вул. Москалівська
101			зуп. «Новожанове», коло маршруту №3
102	22.07.2015	16А	біля супермаркету «Рост» на ст. метро «Київська»
103	09.07.2015	1	перехр. вул. Вел. Панасівська та пров. Альбовського
104		8	біля ст. метро «Завод ім. Малишева»
105	26.06.2015	23	просп. Тракторобудівників у бік вул. Героїв Праці
106	25.06.2015	26	вул. Весніна на шляху від парку ім. Горького
107	24.06.2015	26	біля перехрестя вул. Героїв праці та вул. Акад. Павлова навпроти радіоринку
108	16.06.2015	26	біля ст. метро «Героїв Праці»
109	05.09.2015	8	вул. Плеханівська біля ст. метро «Завод ім. Малишева»
110	20.05.2015		перехрестя вул. Шевченка та вул. Тахіаташська
111	27.05.2016	8	перехрестя вул. Плеханівської і вул. Польової
112	05.03.2015	27	вул. Москалівська 228
113	19.09.2016	8	перехрестя вул. Молочної і вул. Плеханівської



Рис. А.1. Характерні сходи трамваїв з рейок у м. Харків (табл. А.1) : *a* – 9, значних пошкоджень колії не видно; *б* – 13, на перехресті у кривій; *в* – 44; *г* – 79; *д* – 95, помітних пошкоджень колії немає; *е* – 96, помітних пошкоджень колії немає; *ж* – 106, видно обводнене поглиблення між рейками; *и* – 7, видно обводнене поглиблення між рейками



Рис. А.2. Характерні сходи трамваїв з рейок у м. Харків (табл. А.1): *а* – 3; *б* – 27; *в* – 15; *з* – 39, помітних пошкоджень колії немає. Особливості місць сходів – перехрестя, криві. Можливий горизонтальний вплив електричних сил

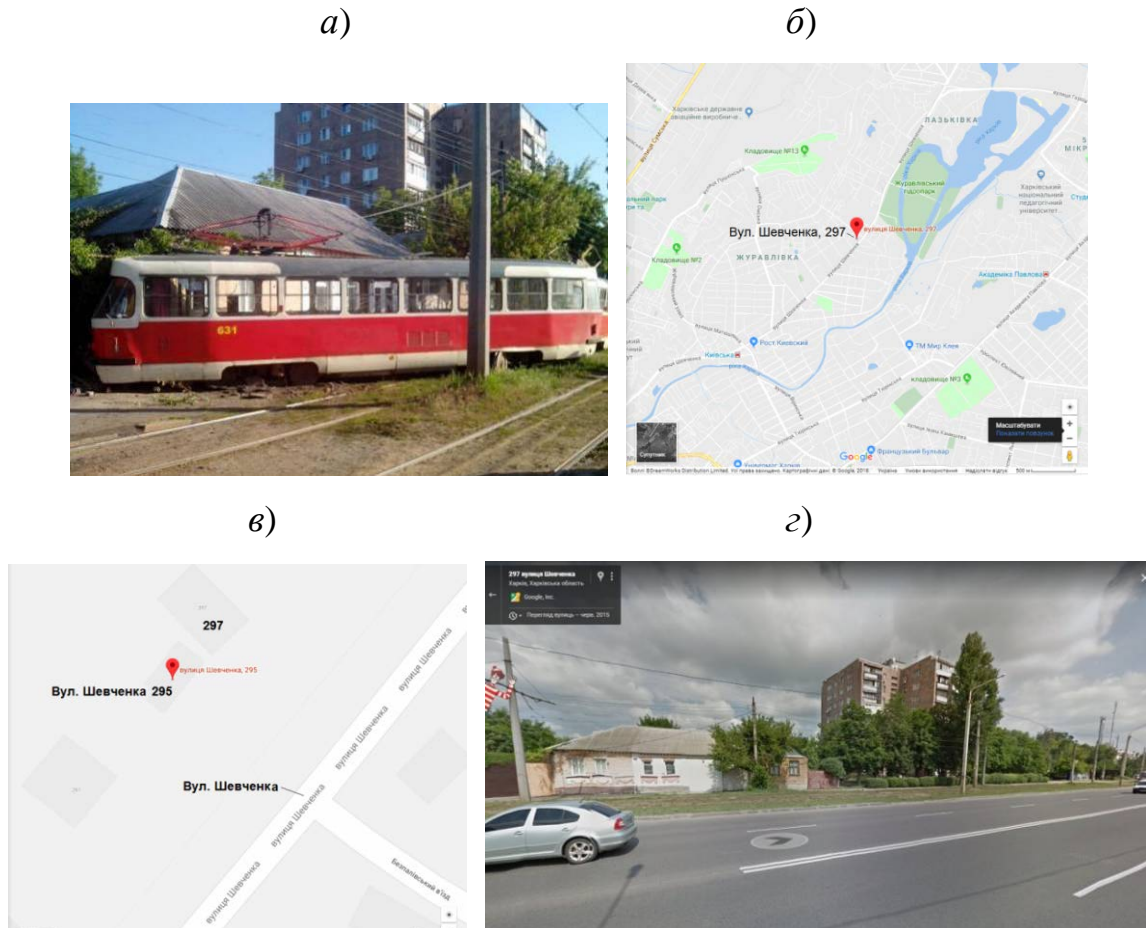


Рис. А.3. Схід трамваю маршруту № 26 на вул. Шевченка [А.1]: а – зіткнення з парканом будинку № 295; б, в – розташування будинків №№ 295 (одноповерхового) і 297 (дев'ятиповерхового) на плані; в – місце сходу. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерело – природне – закрути р. Харків; накопичення електричного заряду на будинку № 295 і нижній частині будинку № 297 (за рахунок вертикальної поляризації) – позитивного, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сили, що сприяли сходу – електростатичне притягіння трамваю до будинків



Рис. А.4. Схід трамваю на просп. Московський біля густого лісонасадження з одного боку. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерело – природний надлишковий негативний заряд крони дерев, поляризація трамваю з утворенням надлишкового негативного заряду у його передній частині, позитивного – у задній частині; сили, що сприяли сходу – електростатичне відштовхування від лісонасадження та притягіння до нього, відповідно, передньої та задньої частин трамваю

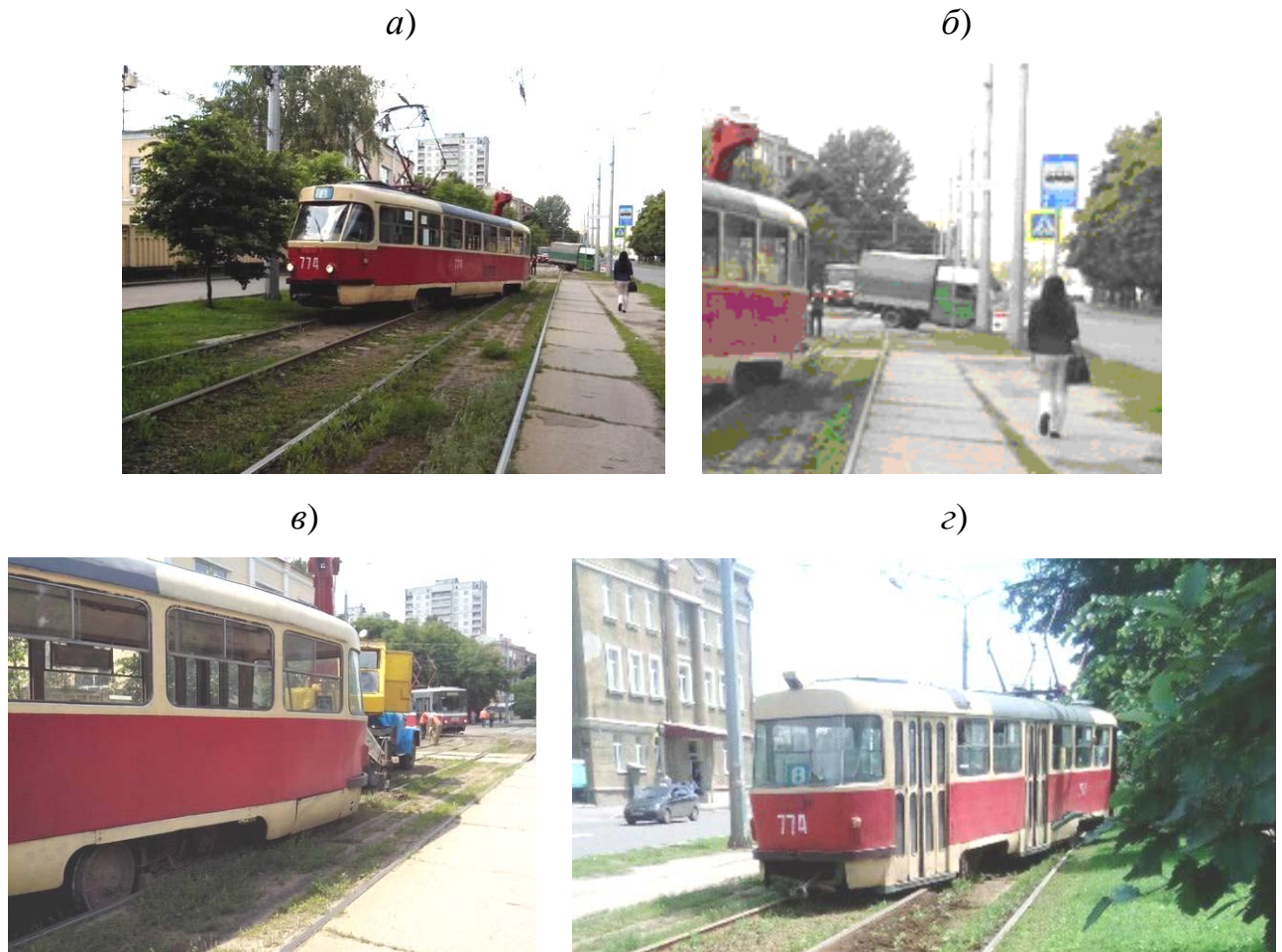


Рис. А.5. Схід трамваю на вул. Плеханівська 26.05.2016: *а* – загальний вигляд; *б* – збільшений фрагмент; *в* – схід колісної пари з викочуванням із жолоба; *г* – слід між рейками, що залишила колісна пара. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерело – струми витоків з трамвайної лінії; накопичення електричного заряду: на колії та її основі (всередині крутої кривої) – негативного від руху трамваїв, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сили, що сприяли сходу – електростатичне відштовхування між колією і трамваєм



Рис. А.6. Наслідки сходу трамваю з рейок на просп. Тракторобудівників біля ст. метро «Ім. О.С. Масельського» [А.2]: *а* – зруйнована опора контактної мережі; *б* – розташування місця сходу біля кривої. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерело – струми витоку з трамвайної лінії та метрополітену мілкого закладення; накопичення електричного заряду: на опорі контактної мережі – позитивного від струмів витоку, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сили, що сприяли сходу – електростатичне притяжіння між опорою контактної мережі й трамваєм



Рис. А.7. Схід трамваю з рейок на вул. Героїв Праці неподалік від вул. Гвардійців Широнінців: *а* – трамвай і зруйнована опора контактної мережі; *б* – розташування місця сходу. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерело – струми витоку з трамвайної лінії; накопичення електричного заряду: на місцевості (всередині контуру із трьох ліній, точка 1) – негативного від руху трамваїв, на опорі контактної мережі – позитивного від струмів витоку, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сила, що сприяла сходу – горизонтальна сила, створена електричним полем між точкою 1 і опорою контактної мережі

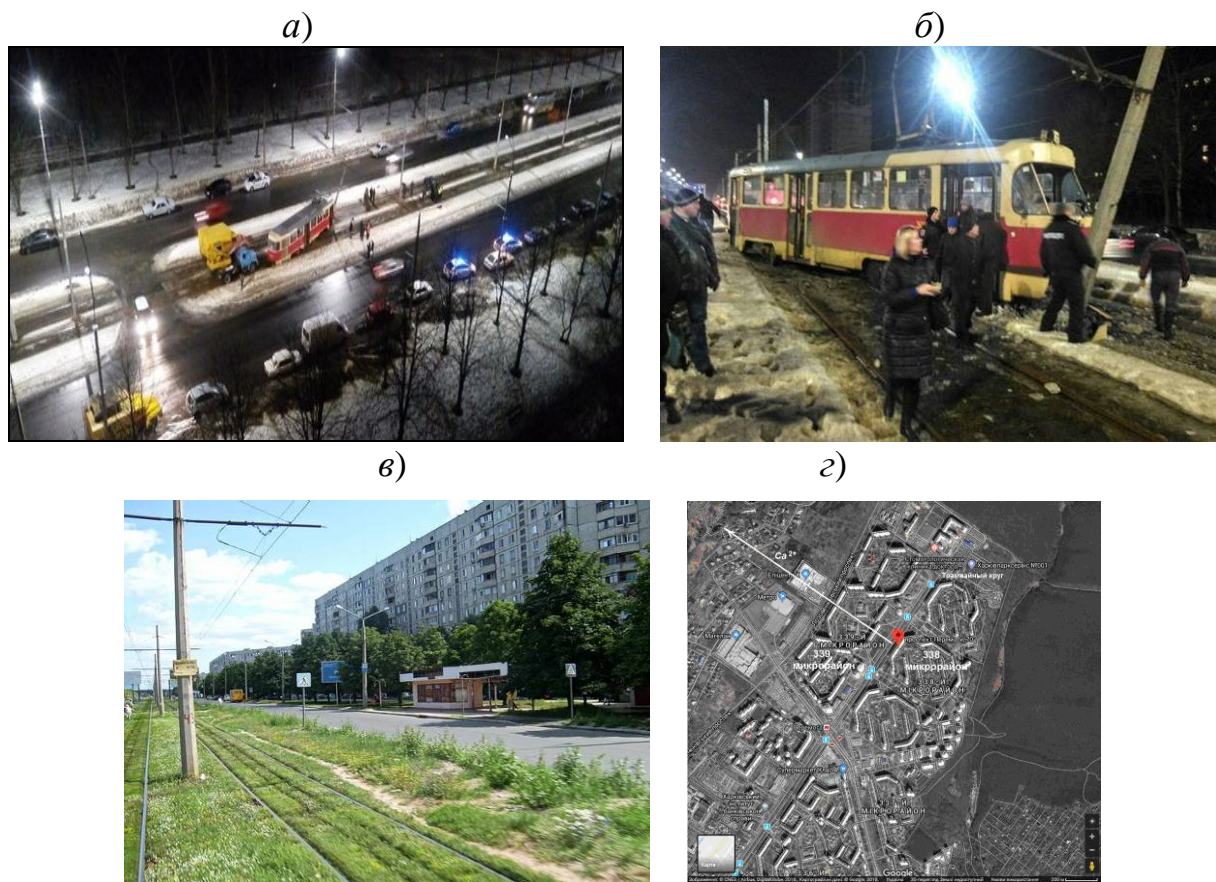


Рис. А.8. Схід трамваю з рейок на просп. Перемоги, 70 [А.3]: *а, б* – загальний вигляд сходу; *в, г* – місце сходу. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерела – природні; накопичення електричних зарядів: стікання катіонів із ґрунтів місцевості та фундаментів будівель у Лозовеньківське водосховище і накопичення на місцевості негативного заряду, поляризація багатоповерхових будівель і опор контактної мережі в електричному полі Землі з утворенням у нижніх частинах позитивного заряду, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сили, що сприяли сходу – горизонтальні електростатичні сили притягання (до будівель та опор контактної мережі) та відштовхування

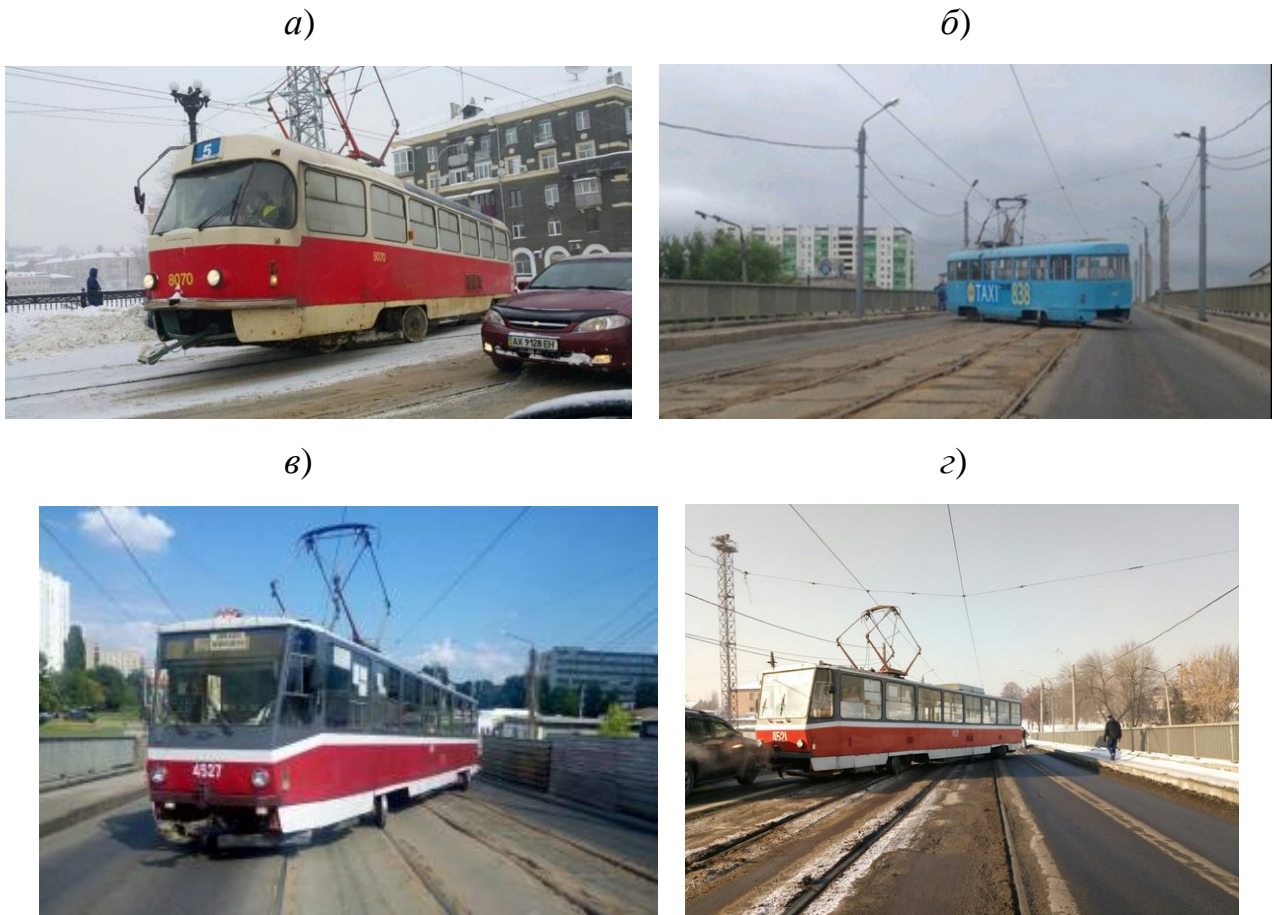


Рис. А.9. Характерні місця сходів на шляхопроводах і мостах м. Харків: *а* – Харківський міст [А.4]; *б* – *в* – Балашовський шляхопровід, 24.06.2016 (*в*), 30.01.2017 (*г*) [А.5]. Можливий вплив надлишкових електричних зарядів: джерела – р. Харків, контактна мережа залізничних колій під шляхопроводом; накопичення надлишкового заряду – на проїжджій частині шляхопроводу – негативного, на трамваї – негативного (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом); сили, що сприяли сходу – електростатична сила відштовхування

Список використаних у додатку А джерел

А.1. В Харькове трамвай сошел с рельсов, врезался в частный дом и снес забор. Подробности ДТП. *Харьков Форум*. URL : <https://www.kharkovforum.com/showthread.php?t=4309446> (дата звернення: 21.04.2019).

А.2. В Харькове «дрифтующий» трамвай снес бетонный столб. *NewsRoom*. URL : <http://newsroom.kh.ua/news/v-harkove-driftuyushchiy-tramvay-snes-betonnyy-stolb-foto> (дата звернення: 21.04.2019)

А.3. На Алексеевке трамвай врезался в столб. *NewsRoom*. URL : http://www.sq.com.ua/rus/news/obshchestvo/04.02.2016/na_alekseevke_tramvaj_vrezalsya_v_stolb_foto_kommentarij_merii/ (дата звернення: 21.04.2019).

А.4. На одном из харьковских мостов произошел трамвайный шрифт. *MyKharkov.info*. URL : <https://mykharkov.info/news/na-odnom-iz-harkovskih-mostov-proizoshel-tramvajnyj-drift-71397.html> (дата звернення: 21.04.2019).

А.5. На Балашовском мосту трамвай сошел с рельсов. *Status Quo*. URL : http://www.sq.com.ua/rus/news/novosti/24.06.2016/na_balashovskom_mostu_tramvay_soshel_s_relsov_foto (дата звернення: 21.04.2019).

А.6. В Запорожье трамвай сошел с рельс и врезался в столб. *КП в Украине*. URL : <https://kp.ua/incidents/603692-v-zaporozhe-tramvai-soshel-s-relsov-y-snes-stolb> (дата звернення: 21.04.2019).

А.7. В Киеве на Подоле трамвай сошел с рельсов и врезался в столб. *Новое время*. URL : <https://nv.ua/ukraine/events/v-kieve-na-podole-tramvaj-soshel-s-rels-i-vrezalsja-v-stolb-fotoreportazh-246537.html> (дата звернення: 21.04.2019).

А.8. В Одессе трамвай врезался в столб: есть пострадавший. *Преступности.нет*. URL : <https://news.pn/ru/incidents/116084> (дата звернення: 21.04.2019).

Додаток Б

Дані про сходи трамваїв з рейок у містах країн Європи

а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рис. Б.1. Сходи трамваїв з рейок у містах країн Європи за даними:

- а – Tram derailed in Delft - 24th May 2011 | Line 1 of the HTM t... | FlickrFlickr;
 б – Tram derailed after collision with fire truck on Gold Coast | The North West Starnorthweststar.com.au; в – File:Brno Tram Derailment 2010 02.JPG – Wikimedia Commonscommons.wikimedia.org; г – Derailed TTC Streetcar – YouTubeYouTube;
 д – The World's Best Photos of derailment and tram - Flickr Hive MindFiveprime;
 е – Trams in trouble at Crich | British Trams Online NewsBritish Trams Online



Рис. Б.2. Сходи трамваїв з рейок у містах країн Європи за даними:
a – The World’s Best Photos of derailment and streetcar - Flickr Hive MindFiveprime
б – NET - Nottingham Tram Derailment 25/05 | RailUK ForumsRailUK Forums
в – Nottingham tram crash causes worst traffic jam ‘in years’ - BBC NewsBBC
г – Trains Today: Tragedy in Croydon- Fatal Tramlink derailmentTrains Today
д – TTC streetcars collide near Toronto waterfront | CP24.comCP24.com
е – Derailed TTC streetcar causing delays at King and Bathurst | CBC NewsCBC.ca
ж – Four hurt in head-on collision between TTC bus and streetcar

Таблиця Б.1

Дані про сходи трамваїв з рейок з важкими наслідками у містах Польщі

№ п.п.	Місто	Дата	Характер аварії	Кількість постраждалих	Джерело
1	Варшава	29.01.2018	Схід із зіткненням трьох трамваїв (рис. Б.3, а)	11	[Б.1]
2	Варшава	15.06.2017	Схід із зіткненням з автобусом (рис. Б.3, б)		[Б.2]
3	Вроцлав	04.11.2011	Схід із зіткненням трьох трамваїв	21, у т.ч. дітей – 4	[Б.3]
4	Познань	20.06.2011	Схід із зіткненням двох трамваїв	понад 40	[Б.4]
5	Вроцлав	21.06.2013	Схід із зіткненням двох трамваїв	24	[Б.5]
6	Гданськ	02.2010	Схід із зіткненням двох трамваїв (рис. Б.3, в)	12	[Б.6]
7	Познань	04.01.2018	Схід із зіткненням з будівлею (рис. Б.3, г)	був порожнім	[Б.7]
8	Лодзь	07.04.2014	Схід із зіткненням двох трамваїв	20	[Б.8]
9	Лодзь	04.11.2017	Схід із зіткненням з автомобілем	1	[Б.9]
10	Торун	03.11. 2016	Схід із зіткненням трьох трамваїв	19	[Б.10]

а)



б)



в)



г)



Рис. Б.3. Сходи трамваїв з рейок з важкими наслідками у містах у Польщі:
 а – м. Варшава, 29.01.2018; б – м. Варшава, 15.06.2017; в – м. Гданськ, 02.2010;
 г – м. Познань, 04.01.2018



Рис. Б.4. Схід трамваю з рейок з важкими наслідками на Карловому майдані у м. Прага, 16.03.2005 [Б.11]. Кадри з відеозапису з камери спостереження через 2 (а), 5 (б), 10 (в), 11 (г), 13 (д), 15 (е) секунд після входження трамваю у криву. Швидкість руху у кривій: встановлена – 15 км/год, фактична на момент сходу – 30 км/год. Послідовність сходу: під час виходу із кривої відбувся схід другого вагону, його занос вліво через зустрічну колію (в), зіткнення з трамвайною зупинкою з пасажирами, що очікували зустрічний трамвай (г), зворотній рух (д) і повернення в колію (е). Наслідки: загиблих – 2 чол., травмованих – 7 чол.

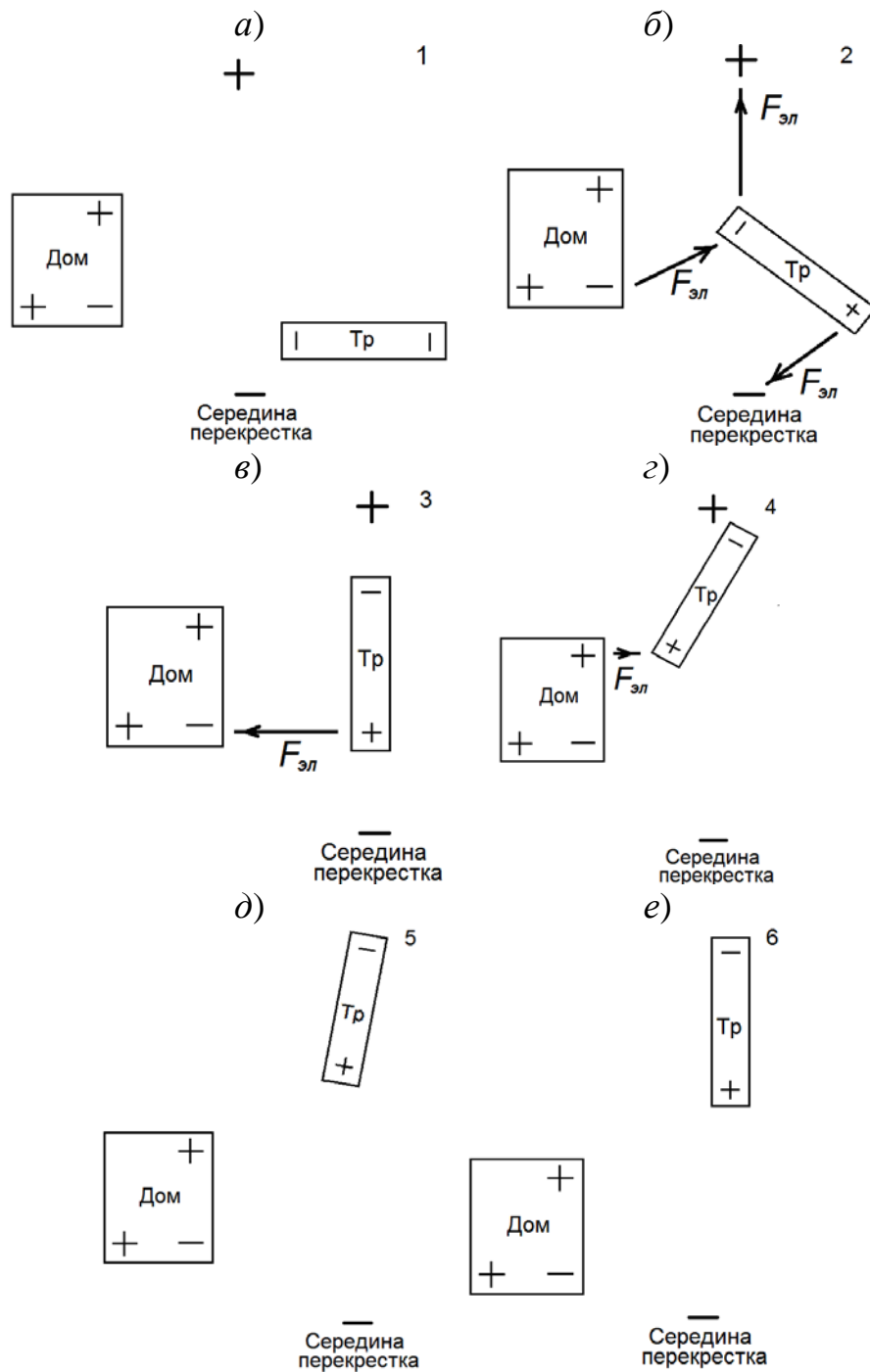


Рис. Б.5. Схеми сходу другого вагону трамваю на Карловому майдані у м. Прага (рис. Б.4) і можливого впливу надлишкових електричних зарядів на нього. Накопичення надлишкового заряду: в центрі перехрестя – негативний, на будівлі – поляризований, на трамваї – негативний (за рахунок тривалого перебування в зонах з негативним надлишковим зарядом), а по мірі входження у криву – поляризований електричним полем між будинком і центром перехрестя. Сили, що сприяли сходу – електростатичні сили притягіння та відштовхування, що по мірі проходження вагоном кривої чергувались, обумовлюючи коливання вагону у горизонтальній площині

Список використаних у додатку Б джерел

Б.1. У Варшаві зіткнулися три трамваї, постраждали 11 людей. *РБК-Україна*. URL : <https://www.rbc.ua/ukr/news/varshave-stolknulis-tri-tramvaya-postradali-1517225397.html> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.2. Аварии: городской автобус и трамвай. *Depositphotos*. URL : <https://ru.depositphotos.com/157113060/stock-photo-accident-city-bus-and-tram.html> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.3 Три трамваї в'їхали один в одного в Польщі, багато постраждалих. *ТСН*. URL : <https://tsn.ua/svit/tri-tramvayi-v-yihali-odin-v-odnogo-v-polschi-bagato-postrazhdalih.html> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.4. В Польше столкнулись два трамвая: 40 человек пострадали *Forum*. URL : <https://for-ua.com/article/470815> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.5. В Польше столкнулись два трамвая: 24 человека пострадали. *24 канал*. URL : https://24tv.ua/ru/v_polshe_stolknulis_dva_tramvaya_24_cheloveka_postradali_n347138 (дата звернення: 21.04.2019).

Б.6 В польском Гданьске столкнулись два трамвая, ранены 12 человек. *UA-R*. URL : <https://ua-reporter.com/news/v-polskom-gdanske-stolknulis-dva-tramvaya-raneny-12-chelovek> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.7. В Польше трамвай въехал в мебельный магазин. *Центр транспортных стратегий*. URL : https://cfts.org.ua/news/2018/01/04/v_polshe_tramvay_vyekhal_v_mebelnyy_magazin_foto_44847 (дата звернення: 21.04.2019).

Б.8. В Польше столкнулись два трамвая, около 20 человек пострадали. *Комментарии.ua*. URL : <https://comments.ua/world/461721-polshe-stolknulis-dva-tramvaya-okolo-20.html> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.9. Poznań: Samochód wjechał w tramwaj. Kierowcę z auta musieli uwolnić strażacy [ZDJĘCIA]. *Głos Wielkopolski*. URL : <https://gloswielkopolski.pl/poznan-samochod-wjechał-w-tramwaj-kierowce-z-auta-musieli-uwolnic-strażacy-zdjecia/ga/12643046/zd/26168912> (дата звернення: 21.04.2019).

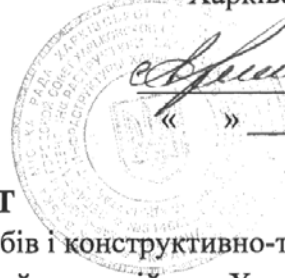
Б.10. У Польщі зіткнулися відразу три трамвая, багато поранених.
Online.ua. URL : <https://novyny.online.ua/758090/u-polshchi-zitknulisya-vidrazu-tri-tramvaya-bagato-poranenih-zyavilosya-video> (дата звернення: 21.04.2019).

Б.11. 12 let od tragédie na Karlově náměstí: Tramvaj vykolejila a zabila dva lidi.
URL : www.blesk.cz/clanek/regiony-praha-praha-zpravy/456351/12-let-od-tragedie-na-karlove-namesti-tramvaj-vykolejila-a-zabila-dva-lidi.html (дата звернення: 21.04.2019).

Додаток В

Додаток В.1

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської ради

С.Б. Дульфан
« » _____ 2015 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних
рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від «*24*» *травня* 2015 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Плугін А.А.; професор кафедри БМКС Плугін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Плугін О.А.;

– від ТОВ «ВСП Констракшн» – директор Руєва О.М., головний бухгалтер Ткаченко Н.О.;

про те, що у грудні 2015 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «ВСП Констракшн» у 2013–15 рр. під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробках і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах

поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2013–15 рр. у м. Харкові ТОВ «ВСП Констракшн» виконано реконструкцію трамвайних ліній та переїздів загальною протяжністю 3,127 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

у 2013 році

- трамвайний переїзд просп. Науки – просп. Правди – 100 м;
- трамвайний переїзд просп. Московський – вул. Академіка Павлова – 355 м;
- трамвайний переїзд вул. Академіка Павлова – вул. Лесі Українки – 627 м;
- трамвайний переїзд по вул. Полтавський шлях № 181 – 36 м;

у 2014 році

- трамвайний переїзд вул. Сумська – вул. Маяковського – 278 м;
- трамвайна колія по вул. Трінклера (вул. Маяковського – вул. Культури) – 268 м;
- трамвайний переїзд вул. Трінклера – вул. Культури – 72 м;

у 2015 році

- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Доброхотова – 118 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Соїча – 68 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Кошкіна – 326 м;
- трамвайний переїзд пр. Московський – вул. Морозова – 72 м;
- трамвайна колія на перехресті майдан Конституції – пр. Московський – 222 м;
- трамвайна колія по майдану Конституції (пр. Московський – майдан Павловський) – 193 м;
- трамвайна колія на перехресті майдан Конституції – майдан Павловський – 93 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському (майдан Конституції – арка дому № 8) – 211 м;
- трамвайний переїзд пр. Перемоги – пр. Людвіга Свободи – 88 м;

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 257 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для обсягу 3,127 км – 803,639 тис. грн. за три роки або у середньому 267,879 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Пługін

Д.А. Пługін

О.В. Палант

О.М. Савченко

О.М.Руева



О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Пługін

Н.О.Ткаченко

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

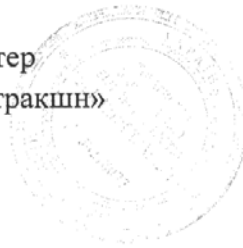
Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейко-шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	20 000	7	2857	257
Запропонована	65 000	25	2600	
Об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м за 2013-2015 рр.				3 127
Трирічний економічний ефект усього по господарству трамвайних колій, грн.				803 639
Середній економічний ефект, грн.				267 879

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ



А.А. Плугін

Головний бухгалтер
ТОВ «ВСП Констракшн»




Н.О.Ткаченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської ради



С.Б. Дульфан
« » _____ 2016 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від « 19 » _____ 12 _____ 2016 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спеціалізованої бетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;

– від ТОВ «СК СТС» – директор Сукесов А.Е., бухгалтер Бордун І.В.;

про те, що у грудні 2016 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «СК СТС» у 2016 році під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробках і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2016 році у м. Харкові ТОВ «СК СТС» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 1,039 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

- трамвайний переїзд майдан Павловський – вул. Університетська – 518 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському (арка дому № 8 – вул. Університетська) – 96 м;
- трамвайна колія по майдану Пролетарському – вул. Полтавський шлях – 110 м;
- трамвайна колія по майдану Павловському – майдан Пролетарський – 315 м;

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 891 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 1,039 км – 925,749 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витoku і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Плугін

Д.А. Плугін

О.В. Палант

О.М. Савченко

А.Е.Сукесов



О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Плугін

І.В.Бордун

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейко- шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	25000	7	3571	891
Запропонована	67000	25	2680	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м в 2016 році				1 039
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				925 749

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ

А.А. Плугін

Бухгалтер ТОВ «СК СТС»



І.В.Бордун

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ
«СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ»



В.А.Перепелиця
 _____ 2018 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від «21» грудня 2018 р.

м. Дніпро

Цей акт складено комісією у складі:

- від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;
 - від ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» – головний інженер Ібрагимов Ш., головний бухгалтер Дунаєва О.В.;
- про те, що у грудні 2018 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» у 2018 році під час реконструкції трамвайних колій в м. Дніпро.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2018 році у м. Дніпрі ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ» виконано капітальний ремонт трамвайних ліній загальною протяжністю 1,498 км в одношляховому вимірі по вулиці Курчатова.

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1 331 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 1,498 км – 1 993,838 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Плугін



Д.А. Плугін



О.В. Палант



О.М. Савченко



Ш. Ібрагимов



О.А. Калінін



С.В. Мірошніченко



О.С. Борзяк



О.А. Плугін



О.В. Дунаєва

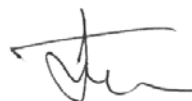


РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колі

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонт (реконструкції)	Вартість капітального ремонт (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейко- шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонт (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	32 000	7	4 571	1 131
Запропонована	81 000	25	3 240	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Дніпро в 2018 році, м				1 498
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				1 993 838

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ



А.А. Плуґін

Головний бухгалтер
ТОВ «СІПРЕЙЛ ТЕХНОЛОДЖІ»



О.В. Дунаєва

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту
інфраструктури
Харківської міської ради



С.Б. Дульфан
« » _____ 2018 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Харкові

від « 08 » _лютого_ 2019 р.

м. Харків

Цей акт складено комісією у складі:

– від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługін А.А.; професор кафедри БМКС Пługін Д.А., аспіранти Палант О.В., Савченко О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В., докторант Борзяк О.С., доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługін О.А.;

– від ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» – директор Марченко К.О., головний бухгалтер Мусяченко Л.Ю.;

про те, що у лютому 2019 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» у 2017-2018 роках під час реконструкції трамвайних колій в м. Харкові.

В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробках і включають укладання трамвайної колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах

поліуретановою мастикою та на збірно-монолітну підрейкову основу із залізобетонних блоків та монолітної плити із закріпленням рейок пружними рейковими скріпленнями.

Згідно з цими рішеннями у 2017-2018 роках у м. Харкові ТОВ «Сучасні технології інфраструктури» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 4,016 км в одношляховому вимірі, у т.ч.:

у 2017 році:

- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – узвіз Клочківський – 675 м;
- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – просп. Перемоги – 635 м;
- Трамвайний переїзд вул. Клочківська – вул. Новгородська – 62 м;
- Трамвайний переїзд вул. Велика Панасівська – вул. Євгена Котляра – 485 м;
- Трамвайний переїзд вул. Велика Панасівська – Новоіванівський міст – 421 м;
- Трамвайний переїзд вул. Полтавський шлях – вул. Конєва – 275 м;

у 2018 році:

- Трамвайний переїзд вул. Шевченко – вул. Матюшенка – 495 м;
- Трамвайна колія по просп. Московському (пров. Вірменський – Харківський міст) – 141 м;
- Трамвайний переїзд просп. Тракторобудівників – вул. Героїв праці – 827 м.

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1165 грн. на рік на 1 пог. м колії, для дворічного обсягу 4,016 км – 4 678,64 тис. грн., або в середньому – 2 339,32 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витоку і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

А.А. Пługін

Д.А. Пługін

О.В. Палант

О.М. Савченко

К.О.Марченко



О.А. Калінін

С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

О.А. Пługін

Л.Ю.Мусієнко

4

РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонт (реконструкції)	Вартість капітального ремонт (реконструкції) 1 пог. м колії із заміною рейко- шпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого колія зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонт (реконструкції) 1 пог. м колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	30 000	7	4 285	1 165
Запропонована	78 000	25	3 120	
Об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Харкові, м, в 2017-2018 роках				4 016
Дворічний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				4 678 640
Середній річний економічний ефект, грн.				2 339 320

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ



А.А. Плугін

 Головний бухгалтер ТОВ
«Сучасні технології інфраструктури»



Л.Ю.Мусієнко

Затверджую:

Директор
ТОВ «Електротрансбуд»

Міхель С.В.

« » лютого 2019 р.

АКТ

впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій у м. Київ

від «12» лютого 2019 р.

м. Київ

Цей акт складено комісією у складі:

- від Українського державного університету залізничного транспорту: зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, проф. Пługіна А.А.; професора кафедри БМКС Пługіна Д.А., аспірантів Палант О.В., Савченка О.М., зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калініна О.А., зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченка С.В., докторанта Борзяк О.С., доцента кафедри будівельної механіки та гідравліки Пługіна О.А.;
- від ТОВ «Електротрансбуд» – головний інженер Шумський І.А.;
- від КП «Київпаstrans» – директор «Служби колії» Васьківський Л.А.

в тому, що у січні 2019 р. було перевірено результати впровадження нових матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій, розроблених у складі дисертаційних досліджень, госпдоговірних і держбюджетних науково-дослідних робіт УкрДУЗТ та реалізованих ТОВ «Електротрансбуд» у 2018 р. під час реконструкції трамвайних ліній м. Київ.











В результаті перевірки встановлено, що нові конструктивно-технологічні рішення ґрунтуються на розроблених та удосконалених в УкрДУЗТ матеріалах та виробих і включають укладання колії на збірну підрейкову основу із залізобетонних плит із закріпленням та ізоляцією рейок у рейкових каналах поліуретановою мастикою. Згідно з цим рішенням у 2018 р. у м. Київ ТОВ «Електротрансбуд» виконано реконструкцію трамвайних ліній загальною протяжністю 650 м (Капітальний ремонт дорожньої мережи м.Києва: вул.Алма-Атинської від вул. Празької до вул. Літинської).

Впровадження зазначених нових і удосконалених матеріалів, виробів і конструктивно-технологічних рішень обумовило отримання економічного ефекту. Економічний ефект обумовлений підвищенням довговічності конструкцій трамвайної колії, вираженим у збільшенні міжремонтного періоду, протягом якого вона зберігається у справному стані (забезпечується стабільність

положення у плані та профілі у допустимих границях) і складає 1 331 грн. на рік на 1 пог. м колії, або для річного обсягу 0,65 км – 865,15 тис. грн. на рік. Розрахунок економічного ефекту додається.

Економічний ефект, що не піддається обрахунку, досягається за рахунок зниження струмів витoku і запобігання електрокорозійних пошкоджень розташованих поруч з колією залізобетонних і металевих конструкцій і трубопроводів, а також обумовлений запобіганням збитків від сходів трамваїв з рейок.

Соціальний ефект досягається за рахунок запобігання травмування людей під час сходів, зниження вібрації та створеного нею шуму, підвищення комфортності та безпеки їзди.

	А.А. Плугін		О.А. Калінін
	Д.А. Плугін		С.В. Мірошніченко
	О.В. Палант		О.С. Борзяк
	О.М. Савченко		О.А. Плугін
	І.А. Шумський		І.А. Васьківський



РОЗРАХУНОК

економічного ефекту від впровадження нових матеріалів, виробів
і конструктивно-технологічних рішень реконструкції трамвайних колій

Конструкція колії, що улаштовується під час капітального ремонту (реконструкції)	Вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м, колії із заміною рейкошпальної решітки, грн.	Очікуваний міжремонтний термін, протягом якого коля зберігається у справному стані, років	Приведена вартість капітального ремонту (реконструкції) 1 пог. м, колії, грн. на рік	Річний економічний ефект на 1 пог. м, грн.
Традиційна	32 000	7	4571	1331
Запропонована	81 000	25	3240	
Річний об'єм капітального ремонту (реконструкції) трамвайних колій у м. Києві у 2018 році, м				650
Річний економічний ефект по господарству трамвайних колій, грн.				865 150

Зав. кафедри БМКС УкрДУЗТ

А.А. Плугін

Головний інженер
ТОВ «Електротрансбуд»



І.А. Шумський

Затверджую:
 Головний інженер
 ТОВ «ВСП Констракшн»
 Д.С. Захаров
 «17» вересня 2013 р.



АКТ

від 17 вересня 2013 р.

м. Харків

про укладку в експлуатацію дослідної партії прирейкових вкладишів К1, К2 Моноліт та J1, J2 ПВСТ, що виготовлені на замовлення ТОВ «ВСП Констракшн» відповідно до ТУ У 26.6-38278077-112д:2013 «Вкладиші К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії»

Складений комісією у складі:

- від товариства з обмеженою відповідальністю «ВСП Констракшн» – інженер з якості Єлякіна О.В.
- від Української державної академії залізничного транспорту – зав. каф. д.т.н., проф. Пługін А.А., к.т.н., доценти Пługін Д.А., Мірошніченко С.В., Борзяк О.С.
- від КП «Міськелектротранссервіс» – головного інженера Юсевича В.Ю.

в тому, що у період з червня по серпень 2013 року при реконструкції трамвайних колій в м. Харкові на перехресті пр. Московського та вул. Академіка Павлова виконано укладку в експлуатацію дослідної партії прирейкових вкладишів К1, К2 Моноліт та J1, J2 ПВСТ, що виготовлені на замовлення ТОВ «ВСП Констракшн» відповідно до ТУ У 26.6-38278077-112д:2013 «Вкладиші К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії». Перевірка виконання робіт виконувалась безпосередньо на місці впровадження.

Реконструкцію вказаної ділянки трамвайних колій виконано згідно проектної документації ВСП22. При цьому в експлуатацію укладено 5020 шт. прирейкових вкладишів К1, К2 Моноліт та J1, J2 ПВСТ на двоколінійній ділянці довжиною 375,5 м.

Після закінчення вказаних робіт на основі виконаної перевірки комісія постановила:

- вважати, що монтаж прирейкових вкладишів виконано відповідно до проектної документації ВСП22;

- для проведення експлуатаційних випробувань прирейкових вкладишів Українській державній академії залізничного транспорту розробити відповідну методику;

Кінець додатку В.6

– протягом 2014 – 2015 рр. виконати експлуатаційні випробування прирейкових вкладишів із залучення відповідних спеціалістів ТОВ «ВСП Констракшн», Української державної академії залізничного транспорту та КП «Міськелектротранссервіс».

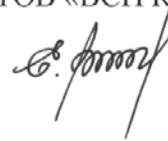
Голова комісії

Головний інженер
ТОВ «ВСП Констракшн»


Д.С. Захаров

Члени комісії:

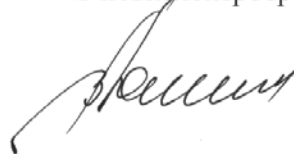
Від ТОВ «ВСП Констракшн»:




О.В. Єлякіна

Від УкрДАЗТ:


А.А. Пługін
Д.А. Пługін

Від КП
«Міськелектротранссервіс»


В.Ю. Юсевич


С.В. Мірошніченко

О.С. Борзяк

УЛОЖЕНО
 Зав. кафедри будівельних матеріалів,
 конструкцій та споруд УкрДУЗТ
 д.т.н., проф. А.А. Пługін
 18 грудня 2015 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ
 Генеральний директор
 ТОВ «ВСП Констракшн»
 А.А. Палей
 18 грудня 2015 р.



АКТ

про проведення експлуатаційних випробувань прирейкових вклядишів
 для улаштування монолітної і збірної залізобетонної безбаластної верхньої будови
 трамвайної колії за ТУ У 26.6-38278077-112д:2013
 від 18.12.2015 р. м. Харків

Складений комісією у складі:

- від ТОВ «ВСП Констракшн» – головного інженера Захарова Д.С., інженера по якості Палант О.В.;
- від Українського державного університету залізничного транспорту – провідного наукового співробітника д.т.н. Пługіна Д.А., старших наукових співробітників, к.т.н., доц. Борзяк О.С., Пługіна О.А., молодших наукових співробітників Нестеренка С.Г., Партала Н.М.;
- від КП «Міськелектротранссервіс» – головного інженера Юсевича В.Ю.

в тому, що 16 грудня 2015 року були проведені експлуатаційні випробування дослідної партії прирейкових вклядишів для улаштування монолітної і збірної залізобетонної безбаластної верхньої будови трамвайної колії, що були укладені в трамвайну колію в м. Харкові на перехресті пр. Московського та вул. Академіка Павлова (акт про укладання дослідної партії від 17 вересня 2013 р.). Дослідна партія вклядишів виготовлена згідно технічним умовам на дослідну партію ТУ У 26.6-38278077-112д:2013 «Вклядиші К1, К2 Моноліт і J1, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної верхньої будови трамвайної колії».

Результати випробувань (Додаток 1) підтвердили відповідність вклядишів технічним вимогам, встановленим Методикою експлуатаційних випробувань прирейкових вклядишів для улаштування монолітної і збірної залізобетонної безбаластної верхньої будови трамвайної колії за ТУ У 26.6-38278077-112д:2013.

За результатами проведених робіт комісія вважає, що експлуатаційні випробування є успішними і такими, що дають підставу для прийняття постійних технічних умов на прирейкові вклядиші К1 Моноліт, К2 Моноліт, J1 ПВСТ, J2 ПВСТ для улаштування монолітної і збірної залізобетонної безбаластної верхньої будови трамвайної колії.

Голова комісії  Д.С. Захаров

Члени комісії:  В.Ю. Юсевич

 О.В. Палант

 Д.А. Пługін

 О.С. Борзяк

 О.А. Пługін

 С.Г. Нестеренко

 Н.М. Партала

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту

д.т.н., проф. Г.Л. Ватуля

13 травня 2019 р.



ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 10
засідання кафедри будівельних матеріалів, конструкцій
та споруд Українського державного університету залізничного транспорту

від 13 травня 2019 р.

ПРИСУТНІ – 20 люд.

СЛУХАЛИ:

Зав. кафедри проф. Пługіна А.А. про розподіл особистого внеску членів кафедри в загальний економічний ефект, одержаний у 2013–2018 рр. замовниками науково-дослідних робіт від використання матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, розроблених на кафедрі.

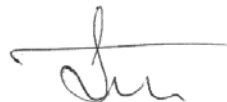
УХВАЛИЛИ:

Розподілити особистий внесок в одержаний загальний економічний ефект таким чином:

№	Виконавець, місто, період проведення робіт	П.І.Б.	Особистий внесок	
			%	грн.
1	ТОВ «ВСП Констракшн», Харків, 2013–2015 рр.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	120545,85
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	96436,68
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	80363,90
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	80363,90
		Асп. Палант О.В.	25	200909,75
		Асп. Савченко О.М.	8	64291,12
		Всього по об'єкту		
2	ТОВ «СК СТС». Харків, 2016 р.	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	15	138862,35
		Д.т.н., доц. Пługін Д.А.	12	111089,88
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	92574,90
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	92574,90
		Асп. Палант О.В.	25	231437,25
		Асп. Савченко О.М.	8	74059,92
		Всього по об'єкту		

3	ТОВ «Сучасні технології інфраструктури». Харків, 2017–2018 рр.	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	15	701796,00
		Д.т.н., доц. Плугін Д.А.	12	561436,80
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	467864,00
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	10	467864,00
		Асп. Палант О.В.	25	1169660,00
		Асп. Савченко О.М.	8	374291,20
		Всього по об'єкту		
4	ТОВ «Сітрейл Технолоджі», Дніпро, 2018 р.	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	15	299075,70
		Д.т.н., доц. Плугін Д.А.	12	239260,56
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	199383,80
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	10	199383,80
		Асп. Палант О.В.	25	498459,50
		Асп. Савченко О.М.	8	159507,04
		Всього по об'єкту		
5	ТОВ «Електротрансбуд», Київ, 2018 р.	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	15	129772,50
		Д.т.н., доц. Плугін Д.А.	12	103818,00
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Мирошніченко С.В.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	10	86515,00
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	10	86515,00
		Асп. Палант О.В.	25	216287,50
		Асп. Савченко О.М.	8	69212,00
		Всього по об'єкту		
Всього по об'єктам			9267016,00	

Голова засідання
Зав. кафедри, д.т.н., проф.



А.А. Плугін

Секретар кафедри



Н.М. Паргала

Додаток Г

Патенти за результатами досліджень,
технічні умови, технологічні карти

Додаток Г.1





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88466** (13) **U**
(51) МПК
B28B 7/16 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

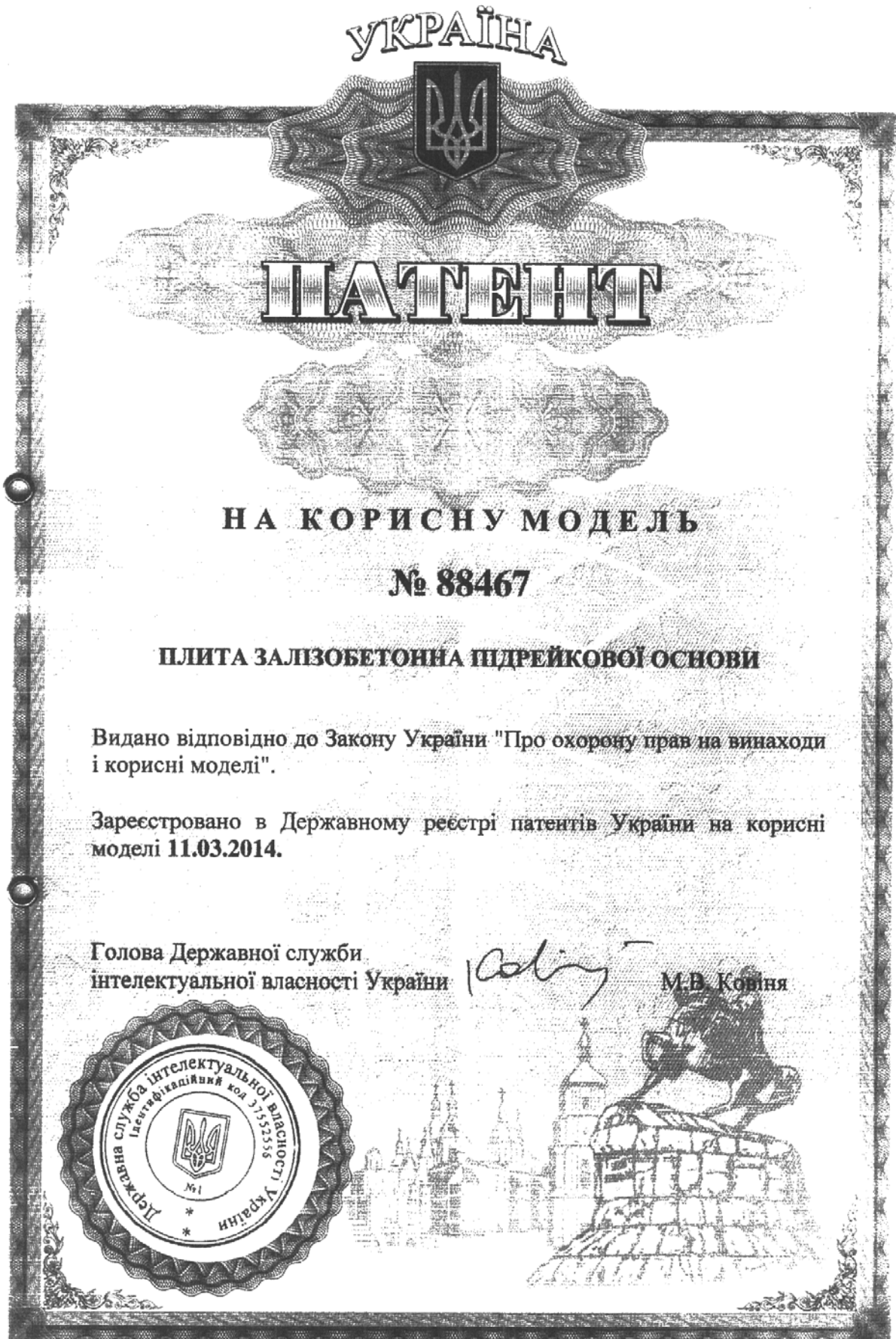
<p>(21) Номер заявки: u 2013 14609</p> <p>(22) Дата подання заявки: 13.12.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2014</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2014, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Захаров Денис Сергійович (UA), Єлякіна Олена Валентинівна (UA), Плугін Андрій Аркадійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Сінгуцький Вадим Васильович, пр. Московський, 57/63, кв. 43, м. Харків, 61050 (UA), Водовозов Олександр Наумович, вул. Р. Ролана, 7, кв. 8, м. Харків, 61058 (UA), Водовозов Євгеній Наумович, вул. Пуща-Водицька, 19, м. Київ, 04114 (UA), Палант Олексій Юрійович, вул. Сумська, 73, кв. 141, м. Харків, 61002 (UA), Чепурко Микола Володимирович, вул. Добровольського, 55, кв. 28, м. Комсомольськ, Полтавська обл., 39800 (UA)</p> <p>(74) Представник: Бондаренко Ольга Миколаївна, реєстр. №308</p>
---	---

(54) АРМАТУРНИЙ КАРКАС ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

(57) Реферат:

Арматурний каркас для залізобетонної плити підрейкової основи трамвайної колії виконаний у вигляді просторової конструкції, що складається з нижньої і верхньої арматурних сіток і посилюючих з'єднувальних елементів, які формують в ньому центральний і два бічних виступи. Посилюючі з'єднувальні елементи виконані у вигляді просторових арматурних каркасів у формі паралелепіпедів з основами з вигнутих арматурних стрижнів у вигляді незамкнутого знизу прямокутника в центральному виступі і трапецій в бічних виступах.

UA 88466 U





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88467** (13) **U**
 (51) МПК (2014.01)
B28B 7/16 (2006.01)
F01B 21/00

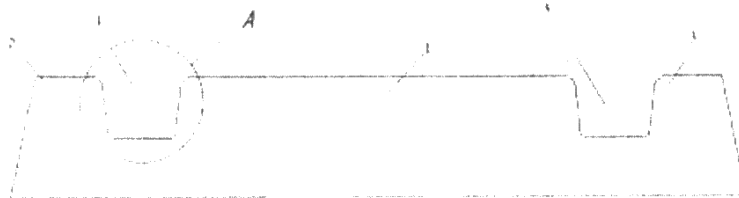
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2013 14611</p> <p>(22) Дата подання заявки: 13.12.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2014</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2014, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Захаров Денис Сергійович (UA), Слякіна Олена Валентинівна (UA), Плугін Андрій Аркадійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Сінгуцький Вадим Васильович, пр. Московський, 57/63, кв. 43, м. Харків, 61050 (UA), Водовозов Олександр Наумович, вул. Р. Ролана, 7, кв. 8, м. Харків, 61058 (UA), Водовозов Євгеній Наумович, вул. Пуца-Водицька, 19, м. Київ, 04114 (UA), Палант Олексій Юрійович, вул. Сумська, 73, кв. 141, м. Харків, 61002 (UA), Чепурко Микола Володимирович, вул. Добровольського, 55, кв. 28, м. Комсомольськ, Полтавська обл., 39800 (UA)</p> <p>(74) Представник: Бондаренко Ольга Миколаївна, реєстр. №308</p>
---	---

UA 88467 U
(54) ПЛИТА ЗАЛІЗОБЕТОННА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ**(57) Реферат:**

Плита залізобетонна підрейкової основи трамвайної колії армована просторовим каркасом і має верхню та нижню частину. У верхній частині виконані центральний і бічні виступи, які утворюють два паралельних рейкових канали зі скосами. При цьому стінки рейкових каналів розширені догори і мають кут нахилу від вертикалі в межах від 3° до 10°.



Фіг. 1

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 88468

ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.03.2014.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

М.В. Ковтуня





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88468** (13) **U**
 (51) МПК (2014.01)
E01C 11/00
E01B 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2013 14615</p> <p>(22) Дата подання заявки: 13.12.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2014</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2014, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Захаров Денис Сергійович (UA), Єлякіна Олена Валентинівна (UA), Плугін Андрій Аркадійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Сінгуцький Вадим Васильович, пр-т Московський, 57/63, кв. 43, м. Харків, 61050 (UA), Водовозов Олександр Наумович, вул. Р. Роллана, 7, кв. 8, м. Харків, 61058 (UA), Водовозов Євгеній Наумович, вул. Пуща-Водицька, 19, м. Київ, 04114 (UA), Палант Олексій Юрійович, вул. Сумська, 73, кв. 141, м. Харків, 61002 (UA), Чепурко Микола Володимирович, вул. Добровольського, 55, кв. 28, м. Комсомольськ, Полтавська обл., 39800 (UA)</p> <p>(74) Представник: Бондаренко Ольга Миколаївна, реєстр. №308</p>
---	---

(54) ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ**(57) Реферат:**

Залізобетонна плита підрейкової основи трамвайної колії включає армований просторовий каркас, верхню та нижню частину. У верхній частині якої виконані центральний і бічні виступи, які утворюють два паралельних рейкових канали. Має пристрій для засобів стропування у вигляді петель. Додатково плита має пристрій для стропування у вигляді наскрізних отворів у бічних виступах. Наскрізні отвори утворені, встановленими в каркасі, трубками циліндричного або багатокутного перерізу.

UA 88468 U





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **89731** (13) **U**
 (51) МПК (2014.01)
E01B 21/00
E01C 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

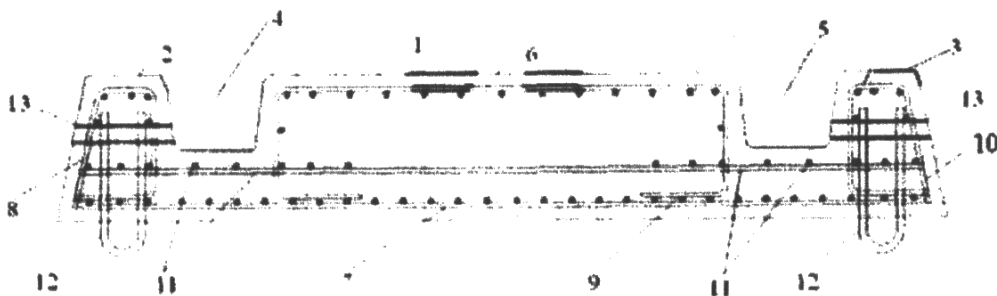
(21) Номер заявки: **u 2013 14618**
 (22) Дата подання заявки: **13.12.2013**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.04.2014**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.04.2014, Бюл.№ 8**

(72) Винахідник(и):
Захаров Денис Сергійович (UA),
Єлякіна Олена Валентинівна (UA),
Плугін Андрій Аркадійович (UA)
 (73) Власник(и):
Сінгуцький Вадим Васильович,
 пр. Московський, 57/63, кв. 43, м. Харків,
 61050 (UA),
Водовозов Олександр Наумович,
 вул. Р. Роллана 7, кв. 8, м. Харків (UA),
Водовозов Євгеній Наумович,
 вул. Пушаводицька, 19, м. Київ (UA),
Палант Олексій Юрійович,
 вул. Сумська, 73, кв. 141, м. Харків, 61002
 (UA),
Чепурко Микола Володимирович,
 вул. Добровольського, 55, кв. 28, м.
 Комсомольськ, Полтавська обл., 39800 (UA)
 (74) Представник:
Бондаренко Ольга Миколаївна, реєстр.
№308

(54) АРМОВАНА ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

(57) Реферат:

Армована залізобетонна плита підрейкової основи містить центральний і бічні виступи у верхній частині. Виступи утворюють два паралельних рейкових канали. Армування має форму просторового каркасу з нижньої і верхньої арматурних сіток і посилюючих з'єднувальних елементів. Посилюючі з'єднувальні елементи виконані у вигляді просторових арматурних каркасів у формі паралелепіпеда з основами з вигнутих арматурних стрижнів у вигляді незамкнутого знизу прямокутника в центральному виступі і трапецій в бічних виступах.



Фіг. 2

UA 89731 U

(11) **91916**(19) **UA**

(51) МПК (2014.01)
B28B 7/16 (2006.01)
F01B 3/00
F01B 21/00
F01C 9/00

(21) Номер заявки: **u 2014 00136**(22) Дата подання заявки: **09.01.2014**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.07.2014**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.07.2014, Бюл. № 14**

(72) Винахідники:
Захаров Денис Сергійович, UA,
Слякіна Олена Валентинівна, UA,
Плугін Андрій Аркадійович, UA

(73) Власники:
Сінгуцький Вадим Васильович,
 пр. Московський, 57/63, кв. 43,
 м. Харків, 61050, UA,
Водовозов Олександр Наумович,
 вул. Р. Роллана, буд. 7, кв. 8,
 м. Харків, UA,
Водовозов Євгеній Наумович,
 вул. Пушаводицька, буд. 19, м. Київ, 04114, UA,
Палант Олексій Юрійович,
 вул. Сумська, 73, кв. 141, м. Харків, 61002, UA,
Чепурко Микола Володимирович,
 вул. Добровольського, 55, кв. 28, м. Комсомольськ, Полтавська обл., 39800, UA

(54) Назва корисної моделі:

ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

(57) Формула корисної моделі:

1. Залізобетонна плита підрейкової основи трамвайної колії, яка має верхню, нижню, бічні та торцеві сторони, на верхній стороні якої виконані два паралельних рейкових канали, і в якій армування має форму просторового каркасу, яка відрізняється тим, що в верхніх частинах бічних сторін встановлені закладні деталі у вигляді пластин, з'єднаних з армуванням.

2. Залізобетонна плита за п. 1, яка відрізняється тим, що пластини розташовані по всій довжині бічних сторін.

УКРАЇНА

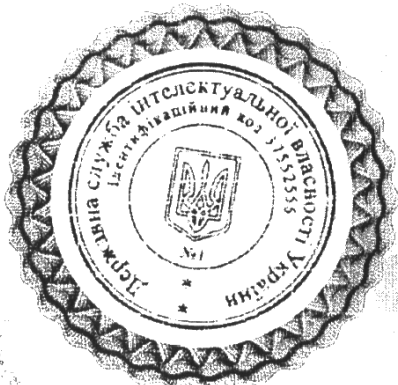
**ПАТЕНТ****НА ПРОМИСЛОВИЙ ЗРАЗОК****№ 29871****ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ**

Видано відповідно до Закону України «Про охорону прав на промислові зразки».

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на промислові зразки 27 липня 2015 р.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А. Г. Жарінова



(19) UA

(11) 29871

(51) 25-01

-
- (21) Номер заявки: **s 2014 00125**
- (22) Дата подання заявки: **22.01.2014**
- (24) Дата, з якої є чинними права на промисловий зразок: **27.07.2015**
- (45) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **27.07.2015, Бюл. № 14**
- (72) Автор:
Захаров Денис Сергійович (UA)
Єлякіна Олена Валентинівна (UA)
Плугін Андрій Аркадійович (UA)
- (73) Власник:
Сінгуцький Вадим Васильович
пр. Московський, 57/63, кв. 43,
м. Харків, 61050 (UA)
Водовозов Олександр Наумович
вул. Р. Роллана, 7, кв. 8, м. Харків,
61022 (UA)
Водовозов Євгеній Наумович
вул. Пуццоводицька, 19, м. Київ,
04114 (UA)
Палант Олексій Юрійович
вул. Сумська, 73, кв. 141,
м. Харків, 61002 (UA)
Чепурко Микола Володимирович
вул. Добровольського, 55, кв. 28,
м. Комсомольськ, Полтавська обл.,
39800 (UA)
-

(54) Назва промислового зразка:

ЗАЛІЗОБЕТОННА ПЛИТА ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ

B4

МІНЕКОНОМПРОЗВИТКУ

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"
(УКРПАТЕНТ)**

вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601, Україна Тел.: (044) 494-05-05 Факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org

24.04.2019 № 9891/ЗА/19

Стосується заявки № а 2019 03024
/ при листуванні просимо посилатися на цей № /

Адреса для листування
УкрДУЗТ, Пругін Д.А., майдан Фейсрбаха,
7, м. Харків, 61050

Повідомлення

про встановлення дати подання заявки на винахід (корисну модель)

(21) Ресстраційний номер заявки а **2019 03024**

(71) Заявник(и)
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "РС ІНЖЕНЕРІНГ"

(54) Назва винаходу /корисної моделі/
СКРІПЛЕННЯ РЕЙКОВЕ ПРУЖНЕ БЕЗАНКЕРНЕ ДЛЯ ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ

Матеріали заявки відповідають вимогам ст.13 Закону щодо встановлення дати подання заявки на дату одержання Державним підприємством "Український інститут інтелектуальної власності":

- матеріалів заявки
- Дата подання заявки 28.03.2019**

Заступник начальника відділу



Н.М. Заїка

Телефон 494-05-98



ДКПП 26.61.12

15991

УКНД 91.100.30

МІНЕКОНОМОПРОЗВИТКУ УКРАЇНИ
 Державне підприємство
 «Харківський регіональний науково-виробничий центр
 стандартизації, метрології та сертифікації»
 ДП «Харківстандартметрологія»
 Ідентифікаційний код 04725906

ПЕРЕВІРЕНО
 на відповідність законодавству України

06. 04 2016 р.
 Внесено до Єдиного реєстру за № 04725906/015991

ЗАТВЕРДЖЕНО

Генеральний директор
ТОВ «ВСП Констракшн»



А.А. Палєв

2016 р.



**ВКЛАДІШІ ПРИРЕЙКОВІ К1, К2 МОНОЛІТ І J1, J2 ПВСТ
 ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ МОНОЛІТНОЇ І ЗБІРНОЇ
 ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**

Технічні умови
ТУ У 26.6-38278077-003:2016

(Уперше)

Дата надання чинності 06.04.2016/.

Чинний до без обмеження

ПОГОДЖЕНО

Головний інженер
 КП «МіськелектротрансСервіс»



В.Ю. Юсевич

2016 р.

Головний інженер
 ТОВ «ВСП Констракшн»

28 03 2016 р.
 Д.С. Захаров

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту проф.



А.А. Плуґін

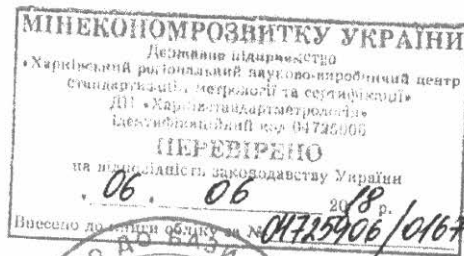
2016 р.

Професор каф. БМКС УкрДУЗТ.
 д.т.н.

17 03 2016 р.
 Д.А. Плуґін

ДКПП 23.61.12

УКНД 91.100.30



ЗАТВЕРДЖЕНО

Д.С. Захаров
2018 р.ЗМІНА № 1:2018
ТУ У 23.6-41049388-001:2017

ЕЛЕМЕНТИ ОПОРНІ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ЗБІРНО-МОНОЛІТНОЇ ОСНОВИ ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ

Технічні умови

Дата надання чинності 06.06.2018

ПОГОДЖЕНО

Директор
ТОВ «С.К.С.М.»

О.О.Кучеренко

«24» 05 2018 р.

РОЗРОБЛЕНО

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

А.М.Джабраїлов

«24» 05 2018 р.

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

О.В. Палант

«25» 05 2018 р.

ДКПІ 23.61.11-50.00

УКНД 91.080.40

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

Д.С. Захаров



2018 р.

ЗМІНА № 1:2018
ТУ У 23.6-41049388-003:2018

**ПЛИТИ RSS ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ
ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**

Технічні умови

Дата надання чинності 04.06.2018р.

ПОГОДЖЕНО

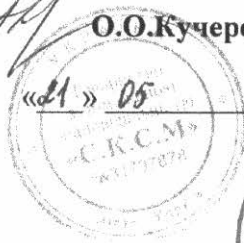
РОЗРОБЛЕНО

Директор
ТОВ «С.К.С.М.»

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

[Signature]
О.О.Кучеренко

[Signature]
С.М. Грибенюк
«17» травня 2018р.



2018 р.



Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

[Signature]
О.В. Палант
«18» травня 2018 р.

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ
Державне підприємство
«Харківський регіональний науково-виробничий центр
стандартизації, метрології та сертифікації»
ДП «Харківстандартметрологія»
Ідентифікаційний код 04725906
ПЕРЕВІРЕНО
на відповідність законодавству України
04.06.2018р.
Внесено до бази даних за № 04725906/047260/01

ДКПП 25.94.12

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«15» _____ 2018 р.
Д.С. Захаров

**КЛЕМИ РОЗДІЛЬНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ
СПЕЦЧАСТИН ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**

**Технічні умови
ТУ У 25.9-41049388-005:2018**

(Уперше)

Дата надання чинності 03.04.2018р.
Чинний до 03.04.2023р.

РОЗРОБЛЕНО

Головний інженер
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«14» _____ 2018р.
В.В. Шматко

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«12» _____ 2018р.
С.М. Грибенюк

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«12» _____ 2018р.
А.М. Джабраїлов

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«13» _____ 2018 р.
О.В. Палант



МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ
Державне підприємство
«Харківський регіональний науково-виробничий центр
стандартизації, метрології та сертифікації»
ДП «Харківстандартметрологія»
Ідентифікаційний код 04725906
ПЕРЕВІРЕНО
на відповідність законодавству України
«03» «04» 2018 р.
Внесено до книги обліку за № 04725906/017303

ДКПІ 25.94.12

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



Д.С. Захаров

2018 р.

ЗМІНА № 1:2018
ТУ У 25.9-41049388-005:2018

**КЛЕМИ БЕЗПІДКЛАДКОВОГО ПРОМІЖНОГО СКРІПЛЕННЯ
РЕЙОК ТА СПЕЦЧАСТИН ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**

Технічні умови

Дата надання чинності 04.06.2018р.

РОЗРОБЛЕНО

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

С.М. Грибенюк

«10» травня 2018 р.

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

О.В. Палант

«11» травня 2018 р.

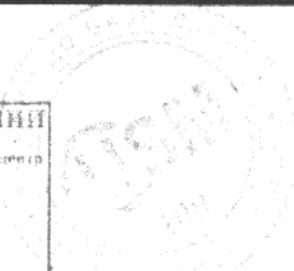


ДКПІ 23.61.11-50.00

УКНД 91.080.40

МІНІСТЕРСТВО ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ
 Державне підприємство
 Технічний регулюючий завод «Держспецтехнічний центр»
 «ДІА» Держспецтехнічний центр
 ДІА «Держспецтехнічний центр»
 Свідоцтво № 01724900

ПЕРЕВІРЕНО
 на відповідність національному Стандарту України
 . 02 . 08 2018 р.
 04728906/



ЗАТВЕРДЖЕНО
 Директор
 ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«19» 07 2018 р.
 Д.С. Захаров
 ТОВАРИСТВО
 З ОБМЕЖЕНОЮ
 ВІДПОВІДІЛІСТЮ
 «РС ІНЖЕНЕРІНГ»
 № 41049388
 МІСТО ХАРКІВ

**ПЛИТИ ПОКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ
 МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

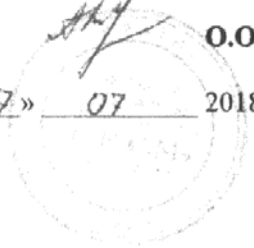
**Технічні умови
 ТУ У 23.6-41049388-006:2018**

(Уперше)
 Дата надання чинності 02.08.2018 р.
 Чинний до без обмеження

ПОГОДЖЕНО

Директор
 ТОВ «С.К.С.М.»

«17» 07 2018 р.
 О.О.Кучеренко



РОЗРОБЛЕНО

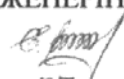
Директор
 ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«13» 07 2018 р.
 Д.С. Захаров
 Головний інженер
 ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«12» 07 2018 р.
 В.В. Шматко
 Інженер-проектувальник
 ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«09» 07 2018 р.
 А.М. Джабраїлов

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



О.В. Палант

«11» 07 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ІННОВАЦІЙ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК ІНЖЕНЕРІВ І ТЕХНІКІВ
ПЕРЕВІРЕНО № 10

ДКПП 30.20.40-70.00

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор

ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



Захаров

«29»

**КЛЕМА ПРУЖИННА RC SRS-T
ДЛЯ ПРУЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ SRS-T**

**Технічні умови
ТУ У 30.2-41049388-007:2018**

(Уперше)

Дата надання чинності 25.09.2018р

Чинний до без обмеження

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту, науковий керівник ГНДІ «Підрейкові основи і спецзалізобетон», д.т.н., проф.

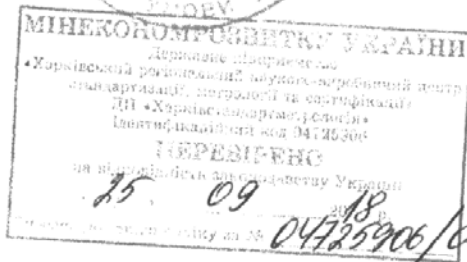
А.А. Плуґін

«24» 09 2018 р.

Професор кафедри БМКС УкрДУЗТ, науковий керівник ГНДІ «Корозія та захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», д.т.н.

Д.А. Плуґін

«24» 09 2018 р.



Продовження титульного аркуша

Продовження титульного аркуша
ТУ У 30.2-41049388-007:2018

РОЗРОБЛЕНО

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Корозія та захист від корозії
конструкцій і споруд залізниць», к.т.н.

 **С.В. Мірошніченко**


« 24 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Підрейкові основи і
спеціалізобетон», к.т.н.

 **О.А. Калінін**

« 24 » 08 2018 р.

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **Д.С. Захаров**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **Л.С. Аронов**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **Є.В. Бондарев**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **О.В. Палант**

« 28 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **В.А. Лютий**

« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **О.С. Борзяк**

« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **О.В. Романенко**

« 27 » 08 2018 р.

МІНЕКОНОМОРОЗВИТКУ УКРАЇНИ
ДП «Харківська державна метрологія»
ПЕРЕВІРЕНО № 10

ДКПП 30.20.40-70.00

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор

ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



І.С. Сахаров

«29» 09

2018 р.

**СКОБА ПРИТИСКНА СВ SRS-T
ДЛЯ ПРУЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ SRS-T**

**Технічні умови
ТУ У 30.2-41049388-008:2018**

(Уперше)

Дата надання чинності

25.09.2018р

Чинний до

09 обличчя

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту, науковий керівник ГНДЛ «Підрейкові основи і спецзалізобетон», д.т.н., проф.

А.А. Плуґін

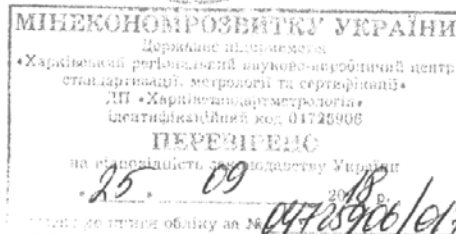
«27» 09 2018 р.



Професор кафедри БМКС УкрДУЗТ, науковий керівник ГНДЛ «Корозія та захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», д.т.н.

Д.А. Плуґін

«27» 09 2018 р.



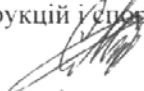
04725908/017571

Продовження титульного аркуша


Продовження титульного аркуша
ТУ У 30.2-41049388-008:2018

РОЗРОБЛЕНО

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Корозія та захист від корозії
конструкцій і споруд залізниць», к.т.н.


С.В. Мірошніченко
« 27 » 08 2018 р.

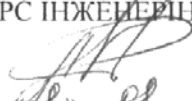
Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Підрейкові основи і
спеціалізобетон», к.т.н.


О.А. Калінін
« 27 » 08 2018 р.

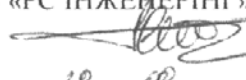
Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Д.С. Захаров
« 28 » 08 2018 р.

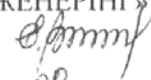
Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Л.С. Аронов
« 28 » 08 2018 р.


Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Є.В. Бондарев
« 28 » 08 2018 р.

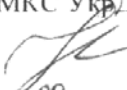
Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


О.В. Палант
« 28 » 08 2018 р.


Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


В.А. Лютий
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.С. Борзяк
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.В. Романенко
« 27 » 08 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
ДП «Харківстандартиметрологія»
ПЕРЕВІРЕНО № 10

ДКПП 30.20.40-70.00

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



**ВКЛАДИШ ІЗОЛЮЮЧИЙ ЛІ SRS-T
ДЛЯ ПРУЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ SRS-T**

**Технічні умови
ТУ У 30.2-41049388-009:2018**

(Уперше)

Дата надання чинності: 25.09.2018

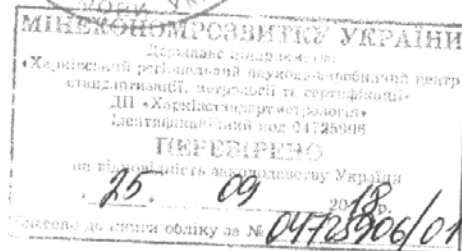
Чинний до без обмеження

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту, науковий керівник ГНДЛ «Підрейкові основи і спеціалізобетон», д.т.н., проф.

А.А. Плуґін

«27» 08 2018 р.



Професор кафедри БМКС УкрДУЗТ, науковий керівник ГНДЛ «Корозія та захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», д.т.н.

Д.А. Плуґін

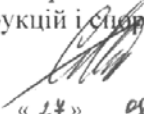
«27» 08 2018 р.

Продовження титульного аркуша

Продовження титульного аркуша
ТУ У 30.2-41049388-009:2018

РОЗРОБЛЕНО

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Корозія та захист від корозії
конструкцій і споруд залізниць», к.т.н.


С.В. Мірошніченко
« 24 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Підрейкові основи і
спеціалізобетон», к.т.н.


О.А. Калінін
« 27 » 08 2018 р.

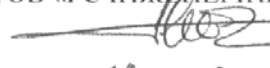
Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Д.С. Захаров
« 28 » 08 2018 р.

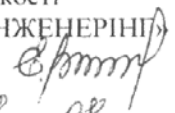
Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Л.С. Аронов
« 28 » 08 2018 р.


Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Є.В. Бондарев
« 28 » 08 2018 р.

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


О.В. Палант
« 28 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


В.А. Лютий
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.С. Борзяк
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.В. Романенко
« 27 » 08 2018 р.

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ
ДП «Харківстандартметрологія»
ПЕРЕВІРЕНО № 10

ДКПП 30.20.40-70.00

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор

ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

«29» 08



**ПРОКЛАДКА АМОРТИЗУЮЧА RP SRS-T
ДЛЯ ПРУЖНОГО РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ SRS-T**

Технічні умови

ТУ У 30.2-41049388-010:2018

(Уперше)

Дата надання чинності 25.09.2018р

Чинний до 09.01.2020р

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту, науковий керівник ГНДЛ «Підрейкові основи і спецзалізобетон», д.т.н., проф.

А.А. Плуґін

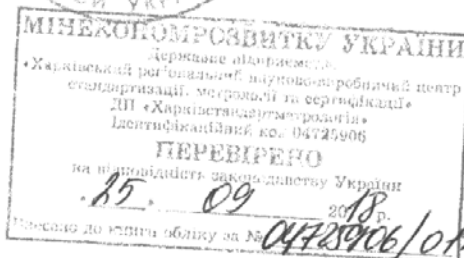
« 27 » 08 2018 р.

Професор кафедри БМКС УкрДУЗТ, науковий керівник ГНДЛ «Корозія та захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», д.т.н.

Д.А. Плуґін

« 27 » 08 2018 р.

Продовження титульного аркуша



Продовження титульного аркуша
ТУ У 30.2-41049388-010:2018

РОЗРОБЛЕНО

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Корозія та захист від корозії
конструкцій і споруд залізниць», к.т.н.

 **С.В. Мірошніченко**


« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Підрейкові основи і
спецзалізобетон», к.т.н.

 **О.А. Калінін**

« 27 » 08 2018 р.

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **Д.С. Захаров**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **Л.С. Аронов**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **С.В. Бондарев**

« 28 » 08 2018 р.

Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»

 **О.В. Палант**

« 28 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **В.А. Лютий**

« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **О.С. Борзяк**

« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.

 **О.В. Романенко**

« 27 » 08 2018 р.

МІНЕЖНОМРОЗВІТКУ УКРАЇНИ
ДП «Харківстандартметрологія»
ПЕРЕВІРЕНО № 10

ДКПТ 30.20.40-70.00

УКНД 45.080

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»



**СКРІПЛЕННЯ РЕЙКОВЕ ПРУЖНЕ ТИПУ SRS-T
ДЛЯ ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ**

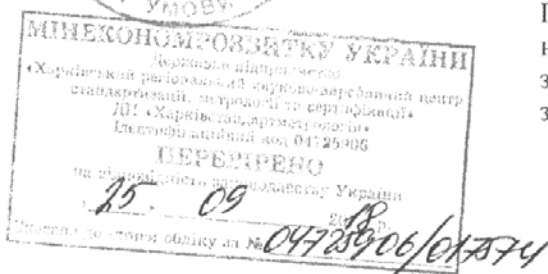
**Технічні умови
ТУ У 30.2-41049388-011:2018**

(Уперше)
Дата надання чинності 25.09.2018
Чинний до необмежено

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкції та споруд Українського державного університету залізничного транспорту, науковий керівник ГНДЛ «Підрейкові основи і спеціалізобетон», д.т.н., проф.

А.А. Пługін
«27» 08 2018 р.



Професор кафедри БМКС УкрДУЗТ, науковий керівник ГНДЛ «Корозія та захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», д.т.н.

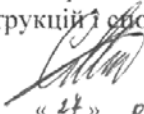
Д.А. Пługін
«27» 08 2018 р.

Продовження титульного аркуша

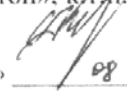
Продовження титульного аркуша
ТУ У 30.2-41049388-011:2018

РОЗРОБЛЕНО

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Корозія та захист від корозії
конструкцій і споруд залізниць», к.т.н.


С.В. Мірошніченко
« 27 » 08 2018 р.


Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, завідувач
ГНДЛ «Підрейкові основи і
спеціалізобетон», к.т.н.


О.А. Калінін
« 27 » 08 2018 р.


Директор
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Д.С. Захаров
« 28 » 08 2018 р.

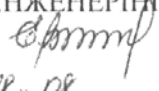
Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Л.С. Аронов
« 28 » 08 2018 р.

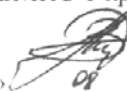
Інженер-проектувальник
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


Є.В. Бондарев
« 28 » 08 2018 р.

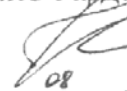
Інженер з якості
ТОВ «РС ІНЖЕНЕРІНГ»


О.В. Палант
« 28 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


В.А. Лютий
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.С. Борзяк
« 27 » 08 2018 р.

Доцент каф. БМКС УкрДУЗТ, к.т.н.


О.В. Романенко
« 27 » 08 2018 р.



МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
 ХОЗЯЙСТВА УКРАИНЫ
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
 (ГП «НИИСП»)

572.00.000 ТК
 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА


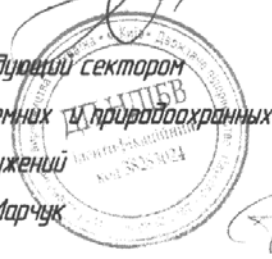
УКЛАДКА ТРАМВАЙНОЙ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В КАНАЛЫ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С
 ЗАПОЛНЕНИЕМ ПРИРЕЛЬСОВОГО ПРОСТРАНСТВА ЗАЛИВОЧНОЙ МАССОЙ

Согласовано	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № табл.	

РАЗРАБОТАНО :

Директор института,
 к.т.н. А.М. Галинский

Заведующий сектором
 подземных и природоохранных
 сооружений
 С.А. Марчук

СОГЛАСОВАНО :

Генеральный директор
 ООО «ВСП Констракшн»
 А.А. Палей



г. Киев 2016

МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
 ХОЗЯЙСТВА УКРАИНЫ
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
 «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»
 (ГП «НИИСП»)

582.00.000 ТК
 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

УКЛАДКА ТРАМВАЙНОЙ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ НА МОНОЛИТНУЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННУЮ ПЛИТУ
 С ЗАПОЛНЕНИЕМ ПРИРЕЛЬСОВОГО ПРОСТРАНСТВА ЗАЛИВОЧНОЙ МАССОЙ

РАЗРАБОТАНО:

Директор института,
 к.т.н. А. М. Галинский

Заведующий сектором
 подземных и природоохранных
 сооружений
 С.А. Марчук



Handwritten signature of S.A. Marchuk

СОГЛАСОВАНО:

Генеральный директор
 ООО «ВСП Констракшн»
 А.А. Палей




г. Киев 2016

Лист № _____	Взам. инв. № _____	Подпись и дата	Инд. № _____

ИСПОЛНИТЕЛИ

ГП «НИИСП»:

Заведующий сектора подземных и
природоохранных сооружений



С.А. Марчук

Ведущий научный сотрудник,
к.т.н.



А.М. Чернухин

Старший научный сотрудник

Л.В. Герасименко

Научный сотрудник

Е.М. Ивинский

ООО «ВСП Констракшн»:

Главный инженер



Д.С. Захаров

Инженер по качеству

Е.В. Палант

Место

Власть инв. №

Подпись и дата

Инд. № госза

Додаток Д

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Палант О.В. Спільний руйнівний вплив постійного та перемінного струму витоку на обводнені конструкції. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Зб. Наук. праць Луцького нац. техн. ун-ту.* 2018. Вип. 10. С. 106–112.

2. Палант О.В., Савченко О.М., Плугін Д.А., Плугін А.А. Зниження електричних і вібраційних впливів від рейкового транспорту. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Зб. наук. праць Придніпровської держ. акад. буд. та арх.* 2018. Вип. 104. – С. 194–199. *Особистий внесок:* визначено параметри вібрації та електричного опору у натурних умовах, визначено величини віброшвидкості та віброприскорення.

3. Плугин А.Н., Палант Е.В., Плугин Д.А., Плугин Ал.А., Борзяк О.С. Механизм защитных свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПИ».* 2018. Вип. 35. С. 25–28. *Особистий внесок:* розроблено схеми деформування структурного елемента поліуретану, обґрунтовано вплив функціональних груп C=O на реологічні та електричні властивості поліуретану.

4. Плугин Д.А., Савченко О.М., Палант О.В. Электро- та віброізоляційні матеріали на залізниці. Можливості їх виготовлення в Україні *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. тр-ту.* 2017. Вип. 169. С. 11–18. *Особистий внесок:* виконано аналітичний огляд існуючих електро- та віброізоляційних матеріалів, визначено їх придатність для конструкцій колії.

5. Шуба Т., Чистяк В., Перестук В., Слякіна О., Забіяка О.А., Плугін А.А. Досвід застосування нових конструкцій безбаластного залізничного полотна у Польщі та оцінка перспектив їх застосування в Україні. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. тр-ту.* 2011. Вип. 122. С. 201–221. *Особистий внесок:*

виконано аналіз стану трамвайних колій в Польщі, характеру їх пошкоджень та способів запобігання у нових конструкціях колії.

Публікації апробаційного характеру

6. Palant O., Plugin D., Plugin A., Lobiak A., Pluhin O. Use of liners made of concrete on quartz aggregates and polyurethane composition to reduce vibration, noise and improve the stability of tramway track. Matec Web of Conferences. V.230. 03014 (2018). 9 pp. DOI: 10.1051/mateconf/201823003014 (Scopus). *Особистий внесок*: досліджено залежність коефіцієнту лінійного температурного розширення бетону від вмісту кварцових заповнювачів і наповнювачів.

7. Plugin A.M., Pluhin O., Palant O., Konev O., Nykytynskij A. Electric potentials and charges on the buildings and the area around the deep water wells. Matec Web of Conference. V.116, 01011 (2017). 7 pp. DOI: 10.1051/mateconf/201711601011 (Scopus). *Особистий внесок*: взято участь у вимірюванні електричних потенціалів на конструкціях будівлі та місцевості та аналізі результатів вимірювань.

8. Palant O.V., Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A. Reduction of electric and vibrational impacts of city tram to the structures and buildings. 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. P 3.03. Band 2. P. 1073–1079. *Особистий внесок*: визначено параметри вібрації та електричний опір в натурних умовах для традиційних і запропонованих конструкцій, виконано аналіз результатів вимірювань.

9. Палант О.В., Плуґін Д.А., Плуґін А.А., Лобяк О.В., Плуґін О.А. Застосування вкладишів з бетону на кварцових заповнювачах і поліуретанової композиції для зниження вібрації, шуму і підвищення стійкості трамвайної колії. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 7 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 14-16.11.2018: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 208–209. *Особистий внесок*: досліджено залежність коефіцієнту лінійного температурного розширення бетону від вмісту кварцових заповнювачів і наповнювачів.

10. Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Конєв О.А., Партала Н.М., Суханова Ю.А., Палант О.В. Фізико-механічні властивості прокладного шару безбаластного мостового полотна із просторово армованої полімерним волокнистим матеріалом цементної композиції. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 64–65. *Особистий внесок*: Прийнято участь у розробці методики експериментальних досліджень.

11. Палант О.В., Плугін А.А., Плугін Д.А. Досвід і перспективи улаштування трамвайних колій на суцільній залізобетонній основі з ізольованою рейкою у м. Харків. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 5 Міжнар. науково-техн. конфер., Харків, 23–24.04.2015 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2015. С. 17. *Особистий внесок*: Узагальнено інформацію щодо виконаних у м. Харкові ремонтів трамвайних колій.

12. Плугін А.М., Плугін О.А., Палант О.В., Конєв О.А., Плугін А.А. Вплив електричних потенціалів від водозабірних свердловин на пошкодження конструкцій будівель. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: 6 Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, 19-21.04.2017: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 67. *Особистий внесок*: взято участь у вимірюванні електричних потенціалів на конструкціях будівлі та місцевості та аналізі результатів вимірювань.

13. Палант О.В., Плугін Д.А., Плугін А.А. Сучасні конструктивно-технологічні рішення підрейкових основ трамвайних колій, реалізовані у м. Харків. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези допов. 78-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 26-28.04.2016. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (дод.). С. 80–81. *Особистий внесок*: Узагальнено інформацію, із аналізом конструктивних рішень, щодо виконаних ремонтів трамвайних колій.

14. Савченко О.М., Палант О.В., Пługін Д.А. Захист будівель та споруд від вібраційних коливань та струмів витоку: Аналіз методів електро- та віброізоляції рейкових колій. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конфер., Харків, УкрДУЗТ, 25–27.04.2017. Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (дод.). С. 50–51. *Особистий внесок*: Виконано аналіз результатів вимірювань електричного опору, віброшвидкості та вібропереміщення різних конструкцій трамвайної колії.

Додаткові публікації та патенти

15. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Спосіб установаження рейки в підрейковому каналі за допомогою кондуктору. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 3 (85). С. 245–248. *Особистий внесок*: виконано аналітичний огляд відомих способів встановлення та закріплення рейок, обрано придатні для встановлення у підрейкові канали.

16. Пługін Д.А., Пługін А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 4 (90). С. 250–254. *Особистий внесок*: визначено параметри вібрації та електричні потенціали в натурних умовах, виконано аналіз результатів вимірювань.

17. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов С.М., Пługін Д.А., Мойсеева П.Є. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. тр-ту*. 2017. Вип. 169. С. 64–72. *Особистий внесок*: Прийнято участь у розробці методики досліджень та аналізі експериментальних даних.

18. Захаров Д.С., Палант О.В., Толмачов Д.С., Усік П.С. Конструкція деформаційних швів при монолітній підрейковій основі трамвайних колій. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 3 (85). С. 242–245. *Особистий внесок*: Виконано аналітичний огляд існуючих конструкцій деформаційних швів, запропоновано заливання у шов еластичного полімерного матеріалу.

19. Арматурний каркас для залізобетонної плити підрейкової основи : пат. на кор. модель 88466 Україна. № u 2013 14609 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: визначено слабкі місця у бетоні плит і запропоновано встановити додаткові арматурні стержні.

20. Плита залізобетонна підрейкової основи : пат. на кор. модель 88467 Україна. № u 2013 14611 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: запропонована форма поперечного перерізу рейкового каналу.

21. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 88468 Україна. № u 2013 14615 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с. *Особистий внесок*: визначено розташування у плитах отворів для стропування з урахуванням властивостей бетону.

22. Армована залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 89731 Україна. № u 2013 14618 ; зявл. 13.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. 4 с. *Особистий внесок*: визначено слабкі місця у бетоні плит і запропоновано встановити додаткові арматурні стержні.

23. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на кор. модель 91916 Україна. № u 2014 00136 ; зявл. 09.01.2014 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. 4 с. *Особистий внесок*: визначено розташування у плитах закладних деталей з урахуванням властивостей бетону.

24. Залізобетонна плита підрейкової основи : пат. на пром. зразок 29871 Україна. № s 2014 00125 ; зявл. 22.01.2014 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14. 6 с. *Особистий внесок*: запропонована форма поперечного перерізу рейкового каналу

Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях:

– 5 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», 23-24 квітня 2015 р., УкрДУЗТ, м. Харків. (Особиста участь).

– 78-а міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», 26-28 квітня 2016 р., УкрДУЗТ, м. Харків. (Особиста участь).

– 6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», 19-21 квітня 2017 р., УкрДУЗТ, м. Харків. (Особиста участь).

– 79-а міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», 25-27 квітня 2017 р., УкрДУЗТ, м. Харків. (Особиста участь).

– 20 Internationale Baustofftagung, 12-14 September 2018, Bauhaus-Universität Weimar, Bundesrepublik Deutschland (Заочна участь).

– 7 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», 14-16 листопада 2018 р., УкрДУЗТ, м. Харків. (Особиста участь).