

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  $10 \times 10^{-6}$  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  $\alpha$  та дрібного  $\mu$  заповнювачів, частинок цементу (клінкерних реліктів)  $\eta$  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<sub>опт</sub>. 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  $\text{cm}^{-1}$ , 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  $\alpha$  та дрібного  $\mu$  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 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. 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  $10 \times 10^{-6}$  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  $\alpha$  and fine  $\mu$  aggregate grains, cement particles (clinker relics)  $\eta$  and water-cement ratio W/C should be extreme with maximum values of crack resistance in case of optimal values of these structural characteristics  $\alpha_{\text{opt}}$ ,  $\mu_{\text{opt}}$ ,  $\eta_{\text{opt}}$ , W/C<sub>opt</sub>. 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  $\alpha$  and fine  $\mu$  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  $20 \mu\text{m}$  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  $\alpha_{opt}$ ,  $\mu_{opt}$ ,  $W/C_{opt}$ .

**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 raiiside 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 «ХПИ».* 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/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., Nykytynskyj 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 транспорту: 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 транспорту: 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 транспорту: 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 транспорту: 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. № у 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. № у 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. № у 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. № у 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. № у 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 ізолюваною 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
<b>РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИХ ВПЛИВІВ, ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕЙКАХ І ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БЕТОНІ.....</b>	<b>173</b>
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
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>188</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>190</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>205</b>
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 XIX 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 брущаткою або буличним 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 безстиковою, 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. 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. 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  $10 \times 10^{-6}$  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  $\mu_{\text{опт}} = 1,27$  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<sup>th</sup> Ibaasil, Веймар, Німеччина, 12-14.09.2018).

## 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., Пługін Д.А., Пługін 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. Пługин А.Н., Палант Е.В., Пługин Д.А., Пługин 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. Пługин 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., Пługін 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., 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.

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., 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.

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. № у 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. № у 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. № у 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. № у 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 грунтодержающих 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 Ряду: 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](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](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. Вишлески. *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 звернения: 18.04.2019).

56. Velkoplošné panely BKV. *Pražske tramvaje*. URL : <http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041296> (дата звернения: 17.04.2019).

57. Почему «вздыбились» трамвайные рельсы в Смоленске. *Рабочий путь*. URL : [www.rabochy-put.ru/.../56166-pochemu-vzdybilis-tramvajnye-relsy-v-smolenske.html](http://www.rabochy-put.ru/.../56166-pochemu-vzdybilis-tramvajnye-relsy-v-smolenske.html) (дата звернения: 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](https://www.znak.com/2017-12-05/v_centre_chelyabinska_iz_za_neispravnosti_relsov_stolknulis_dva_tramvaya) (дата звернения: 19.04.2019).

59. Марушак А. Киевляне в ужасе от состояния трамвайной линии до Пуши-Водицы. *Сегодня*. URL : <https://www.segodnya.ua/kyev/ktransport/kyevlyane-v-uzhase-ot-sostoyaniya-tramvaynoy-linii-do-pushchi-vodicy-1026023.html> (дата звернения: 19.04.2019).

60. Саратовцы рассказали о волнообразных трамвайных рельсах. *Четвертая власть*. URL : <http://www.4vsar.ru/news/92947.html> (дата звернения: 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 звернения: 19.04.2019).

62. Боксование. *Википедия*. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Боксование> (дата звернения: 19.04.2019).

63. Локомотив Вл10 с песочком. *Pikabu*. URL : [https://pikabu.ru/story/lokomotiv\\_vl10\\_s\\_pesochkom\\_4938329](https://pikabu.ru/story/lokomotiv_vl10_s_pesochkom_4938329) (дата звернения: 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](https://sites.google.com/site/tagapoezd/monografia/power/power_force/szep/boks_uz) (дата звернения: 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., Корнев 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/](http://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. Плуґін О.А., Борзяк О.С., Мартинова В.Б., Халюшев О.К. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них). Харків, 2013. 300 с.

89. Плуґін 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 витоків 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. Плагин 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/stacionarnyie/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-reziny-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 кабелів. *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](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](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](http://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](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](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](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. Плагин 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. Плагин А.Н., Плагин А.А., Калинин О.А., Мирошниченко С.В., Плагин Д.А., Кагановский А.С., Плагин 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 цементації 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.