

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах
рукопису

Захаров Денис Сергійович



УДК 666.972

ДИСЕРТАЦІЯ
ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ З ВИСОКОЮ МІЦНІСТЮ
НА РОЗТЯГ

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

_____ Д.С. Захаров

Науковий керівник:

Толмачов Сергій Миколайович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Захаров Д.С. Дорожні цементні бетони з високою міцністю на розтяг. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. (19 – Архітектура і будівництво). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, 2019. Захист відбудеться в Українському державному університеті залізничного транспорту, м. Харків, 2019.

В роботі показано, що основною причиною руйнування дорожніх бетонів є їх низька міцність при згині. Проаналізовано фактори, які впливають на фізико-механічні властивості бетонів, в першу чергу – на міцність при згині. На основі аналізу проведених раніше досліджень були виділені основні з них: якість зони контакту «цементний камінь-заповнювач», співвідношення між заповнювачами, наявність або відсутність дисперсного фіброармування, суперпластифікуючі і активні мінеральні добавки. Був проведений аналіз публікацій вітчизняних і зарубіжних вчених в цій галузі.

Показано, що ці дослідження були спрямовані на оцінку впливу виділених факторів на міцність бетонів при стиску, щільність, а також спеціальних властивостей, таких, як ударна стійкість, тріщиностійкість, корозійна стійкість та ін. Вивченню міцності при згині в роботах було приділено недостатньо уваги, часто ці дослідження не проводили.

Показано, що якість зони контакту грає основну роль в підвищенні міцнісних властивостей бетонів, а також їх довговічності, тому що вона є найбільш слабкою ланкою структури бетону. Були розроблені способи поліпшення якості зони контакту, наприклад, попередня обробка заповнювачів розчинами хімічних реагентів. Але цей спосіб не можна застосувати до технології виготовлення монолітних дорожніх бетонів. У той

же час, необхідно систематизувати вплив на зону контакту заповнювачів, сучасних хімічних і мінеральних добавок.

Також було показано, що для важких бетонів ефективним є застосування армування з допомогою фібри. Показані різновиди фібри, що дозволило виділити в якості найбільш ефективної поліпропіленову фібру. Дослідження щодо її застосування у важких бетонах були спрямовані на підвищення тріщиностійкості, ударної стійкості, зносу. Дані щодо впливу фібри на міцність бетонів при згині розрізнені, суперечливі і вимагають уточнення.

Вплив якості заповнювачів, а також співвідношення між ними на міцність бетонів при згині було показано в роботах шкіл ХНАДУ і УкрДУЗТ, в яких показано, що для дорожніх бетонів можна створювати максимально щільну упаковку заповнювачів. В цьому випадку необхідно застосувати оптимальний коефіцієнт розсунення зерен щебеню розчином ($\alpha_{\text{опт}}$). Показано, що в дослідженнях відсутні дані щодо впливу лещадних частинок на властивості бетонів, в тому числі, міцність при згині.

Велика кількість робіт було присвячено впливу хімічних і мінеральних добавок на властивості важких бетонів. Однак, в дорожніх бетонах раніше не застосовували полікарбоксилатні суперпластифікатори (ПСП) і активні мінеральні добавки (АМД). Відсутні дослідження щодо впливу повітровтягувальних (ПВД) добавок на міцність бетону при згині. Немає результатів щодо впливу комплексів цих добавок на міцність бетону при згині.

У теоретичному розділі дисертації розглянуті теоретичні основи підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг при згині. Показано, що розтягуючі напруги, які виникають в дорожньому бетоні від зовнішніх механічних навантажень, а також від градієнтів температури і вологості можуть досягати 3,5 МПа і більше. Тому необхідна величина міцності бетону при згині, повинна бути не менше 7 МПа. Проведено аналіз основних способів підвищення міцності бетонів при згині.

Уточнено механізм впливу АМД на структуру і міцність дорожнього бетону. Передбачається, що активні центри АМД і цементних частинок вступають в реакцію з появою новоутворень, найбільш ймовірно в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач», що змінює властивості самої зони і всього бетону. Також це знижує небезпеку можливої взаємодії між реакційноздатним заповнювачем і лугами цементу. Крім цього, АМД можуть змінювати структуру пор бетону, зменшувати глибину карбонізації структури. Висловлено і теоретично обґрунтовано припущення, що в результаті утворення карбонатів кальцію в цементному тісті зменшується вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Це приводить до прискорення гідролізу аліта і прискорення утворення портландита. Портландит вступає в реакцію з АМД і в цементному камені утворюється підвищена кількість низькоосновних гідросилікатів кальцію, в першу чергу – в зоні контакту і в порах.

У розділі дано теоретичне обґрунтування механізму дії комплексів із хімічних і мінеральних добавок на процеси структуроутворення в бетонах. Показано, що високу ефективність дії полікарбоксилатних СП і комплексів добавок з ними можна пояснити наявністю об'ємного електростатичного відштовхування частинок, на яких адсорбувався СП.

Висловлено припущення, що вплив повітровтягувальних добавок (ПВД) полягає в створенні рівномірно розподілених пухирців повітря. Між цими бульбашками, які знаходяться на частинках піску, можуть виникати значні сили зчеплення. Чим більше таких бульбашок, тим більше сили зчеплення. Введення АМД може сприяти зменшенню розмірів бульбашок при збільшенні їх кількості, що підвищить міцність при згині. Тому в присутності комплексу СП + АМД підвищується однорідність порової структури бетону. Для доказу був проведений розрахунок стійкості повітряних бульбашок різних розмірів. Він показав, що в присутності СП + АМД розмір пор зменшується, знижується кількість макропор і збільшується кількість мікропор. Тиск усередині бульбашки повітря в системі, яка містить комплекс СП + ПВД + АМД вище, ніж в системі без АМД в 1,41 рази.

Теоретично обґрунтовано можливість виникнення підвищеної кількості пор в зоні контакту під лещадними частинками щебеню. Показано, що це можливо при ущільненні, тому, що частота вібрації не збігається з частотою власних коливань лещадних частинок. Крім того, лещадні частки можуть переміщатися в верхню частину бетону, «спливати», що підтвердили прямі дослідження.

Уточнено механізм впливу поліпропіленової фібри. Волокна фібри сприймають частину зовнішніх навантажень і перешкоджають виникненню тріщин. В цьому випадку руйнування бетону може відбуватися за рахунок розриву і висмикування волокон фібри, що підвищить міцність при згині. При довжині поліпропіленової фібри 12 мм і товщині волокна 20...50 мкм в 1 кг фібри міститься 500 млн. волокон. За умови рівномірного розподілу волокон по всіх трьох осях координат, приріст міцності бетону при згині за рахунок введення поліпропіленової фібри досягає 3,38 МПа. Крім того, показано, що поліпропіленова фібра залучає в бетон додаткове повітря, що позитивно впливає на довговічність бетонів.

Відповідно до гіпотези досліджень підвищення міцності бетону при згині можна забезпечити за рахунок введення в його склад сучасного полікарбосилатного СП в комплексі з АМД і ПВД. Це дозволить диспергувати великі повітряні бульбашки, створити рівномірно розподілену мікропористість і активізувати появу новоутворень, в першу чергу – в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач» та підвищити щільність рівнів структури бетону. При цьому необхідно визначити оптимальний коефіцієнт розсушення зерен щебеню. А введення до складу бетонної суміші фібри певних розмірів забезпечить додаткове збільшення міцності при згині.

Далі наведені характеристики матеріалів і методів дослідження, які застосовували в роботі.

У дисертації представлені результати експериментальних досліджень щодо підвищення міцності дорожнього бетону на розтяг при згині. Показано, що обробка поверхні заповнювачів розчином солі або водою мало підвищує

міцність бетону при згині і цю технологію неможливо реалізувати на практиці.

Було проведено розрахунок $\alpha_{\text{опт}}$, який показав, що якщо середній розмір зерна піску дорівнює 0,47 мм, а зерна щебеню – 7,5 мм, то $\alpha_{\text{опт}} = 1,42$. Далі був розрахований коефіцієнт розсунення на застосовуваних в дисертації матеріалах, який для бетонів без СП склав 1,32, а для бетонів з СП склав 1,27. За отриманими даними були розраховані склади бетонних сумішей з СП і без СП. Було виготовлено зразки бетонів різних складів, які випробували на міцність. Побудовано графічні залежності міцності бетону від α , які підтвердили, що міцність бетону при згині максимальна для отриманих $\alpha_{\text{опт}}$.

Показано, що при збільшенні вмісту в щебені лещадних частинок від 5 % до 25 % міцність при згині знижується на 14 %, а при стиску – на 5 %. Результати оптичної мікроскопії показали, що під лещадними частинками чітко видна зона контакту, в якій знаходиться велика кількість пор. Їх кількість зростає при збільшенні кількості лещадних частинок. Розмір пор при цьому також збільшується. Показано, що основний негативний вплив лещадних частинок полягає в погіршенні якості структури бетону, зростанні пористості, що веде до підвищення водопоглинання і зниження морозостійкості бетону.

У роботі наведені результати досліджень щодо впливу СП різного хімічного складу на міцність бетонів. Показано, що в бетонах з СП міцність бетонів при згині зростає більшою мірою, ніж міцність при стиску. Однорідність структури при цьому зростає, що підтверджує зменшення коефіцієнта дефектності, $K_{\text{деф}}$, який є відношення міцності бетону при стиску до міцності бетону при згині. Тому дія СП в першу чергу приводить до підвищення міцності при згині, а не при стиску.

Дослідження показали, що застосування АМД в оптимальній кількості (5...7 % від маси цементу) дозволяє підвищити міцність при згині на 20 %, а при стиску – на 10,5 %. Застосування комплексу СП + АМД дозволило

підвищити міцність при згині на 38 %, а при стиску – на 32 % в порівнянні з бетонами без добавок.

Наведено результати дослідження впливу повітроутягування на міцність бетонів. Було встановлено, що при збільшенні вмісту об'єму втягнутого повітря відбувається зниження міцності бетонів, як при згині, так і при стиску, однак, міцність при стиску знижується в 1,5...2 рази більше, ніж міцність при згині. У таких бетонах зростання міцності при згині відбувається швидше, ніж при стиску. Дослідження впливу комплексів добавок на міцність бетонів показало, що, при однаковій кількості об'єму втягнутого повітря застосування АМД приводить до збільшення міцності бетону в 1,5 рази більше в порівнянні з бетоном без АМД. Ці дані побічно підтверджують те, що в присутності АМД формується більш дрібна пористість, а також поліпшується якість зони контакту і підвищується однорідність бетону.

Результати дослідження впливу поліпропіленової фібри дозволили встановити, що при оптимальному вмісті фібри міцність при згині бетонів без СП зростає на 40 % в порівнянні з бетонами без фібри. На стільки ж поліпшується $K_{\text{деф}}$. Зниження $K_{\text{деф}}$ в цьому випадку відбувається за рахунок переважного збільшення міцності при згині. Експериментальні дослідження впливу комплексу добавок СП + ПВД + АМД + фібра показали, що зміна співвідношення між крупним і дрібним щебенем приводить до зміни міцності бетонів. При збільшенні вмісту дрібного щебеню міцність при стиску знижується на невелику величину. При збільшенні кількості крупного щебеню зниження міцності не відбувається. Це можна пояснити тим, що при правильно підбраному співвідношенні між щебенем в бетоні формується щільний каркас, який приймає зовнішні навантаження. При правильному виборі співвідношення між щебенем міцність бетону при згині зростає.

Показано, що при введенні до складу бетону поліпропіленової фібри спостерігається значне зниження $K_{\text{деф}}$, яке відбувається при постійному підвищенні міцності при згині. Тому можна сказати, що введення

поліпропіленої фібри сприяє зростанню міцності при згині і підвищенню однорідності структури бетону. Показано, що морозостійкість бетонів з фіброю зростає на 1...2 марки в порівнянні з бетонами без фібри. Це обумовлено не тільки здатністю фібри додатково залучати повітря, але і збільшенням міцності бетону при згині.

В роботі виконані фізико-хімічні дослідження. Вони довели теоретичні і експериментальні припущення. Показано, що в бетонах з АМД кількість гідросилікатів з низьким ступенем основності значно більше в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач», ніж в середній частині бетону.

Далі в роботі описано застосування отриманих результатів. Були розроблені рекомендації щодо виготовлення бетонних сумішей і бетонів з підвищеною міцністю при згині. Розроблено проект державного стандарту України, затверджені 4 нормативні документи. За цими рекомендаціями були виготовлені і укладені бетонні суміші в м. Харкові. Наведено розрахунок економічного ефекту від застосування результатів роботи.

Ключові слова: активна мінеральна добавка, дорожній бетон, лещадна частинка, міцність при згині, міцність при стиску, органо-мінеральний комплекс, поліпропіленова фібра, структура бетону, суперпластифікатор.

ABSTRACT

Zakharov D.S. Road cement concrete with high flexural strength. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.23.05 – building materials and products (19 – Architecture and construction). – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2019. The defense will be held at the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2019.

The paper shows that the main cause of the destruction of road concretes is their low flexural strength. There were factors analyzed influencing the physicomachanical properties of concrete, first of all – on their flexural strength. Based on the analysis of previous studies, the main ones were identified as follows: the quality of the contact zone "cement stone-aggregate", the ratio between the aggregates, the presence or absence of dispersed fiber reinforcement, superplasticizing and active mineral additives. The analysis of publications of domestic and foreign scientists in this field was carried out.

It is shown that these studies were aimed at assessing the influence of the selected factors on the strength of concrete under compression, density, as well as special properties, such as impact resistance, crack resistance, corrosion resistance, etc. The study of flexural strength in the above mentioned papers was not paid enough attention, often these studies were not conducted at all.

It is shown that the quality of the contact zone plays a major role in improving the strength properties of concrete, as well as its life, since it is the weakest link in the structure of concrete. Methods have been developed to improve the quality of the contact zone, for example, pretreatment of aggregates with solutions of chemical reagents. However, this method cannot be applied to the technology of manufacturing monolithic road concretes. At the same time, it is necessary to systematize the effect on the contact zone of aggregates, modern chemical and mineral additives.

It has also been shown that for heavy concretes, the use of fiber reinforcement is effective. Fiber reinforcement types were described, which made it possible to make polypropylene fiber stand out as the most effective one. Studies on its use in heavy concrete were aimed at improving crack resistance, impact resistance, wear resistance. The data related to the effect of fiber reinforcement on the strength of concrete during flexural is scattered, contradictory and require clarification.

The influence of the quality of aggregates, as well as the relationship between them on the strength of concrete during flexural, was shown in the papers of researchers from the Kharkiv National Automobile and Highway University and the Ukrainian State University of Railway Transport, in which it was shown that for road concrete there should be no dense packing of aggregates created. In this case, it is necessary to apply the optimum separation coefficient of crushed stone grains with mortar (α_{opt}). It has been shown that in studies there are no data on the effect of flat particles on the properties of concrete, including flexural strength.

A large number of works was devoted to the influence of chemical and mineral additives on the properties of heavy concrete. However, in road concretes, polycarboxylate superplasticizers (PSP) and active mineral additives (AMA) were not previously used. There are no studies on the effect of air-retaining substances on the strength of concrete during flexural. There are no results on the effect of the complexes of these additives on the strength of concrete during flexural.

In the theoretical section of the thesis, the theoretical foundations of increasing the strength of road concrete under tensile flexural are considered. It is shown that tensile stresses arising in road concrete from external mechanical loads, as well as from temperature and humidity gradients can reach 3,5 MPa and more. Therefore, the required strength of concrete during flexural should be at least 7 MPa. The analysis was carried out of the main ways to increase the strength of concrete during flexural.

The mechanism of AMA influence on the structure and strength of road concrete was clarified. It is assumed that the active centers of AMA and cement

particles react with the appearance of neoplasms, most likely in the contact zone “cement stone-aggregate”, which changes the properties of the zone itself and the whole concrete. It also reduces the risk of a possible interaction between the reactive aggregate and the alkali of the cement. In addition, AMA can change the structure of concrete pores, reduce the depth of carbonization of the structure. The assumption was expressed and theoretically justified regarding the fact that as a result of the formation of calcium carbonates in the cement paste, the content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ decreases. This leads to the acceleration of the hydrolysis of alite and the acceleration of the formation of Portlandite. Portlandite reacts with AMA and an increased amount of low-base calcium silicate hydroxide is formed in the cement stone, primarily in the contact zone and in the pores.

The thesis section provides a theoretical justification of the mechanism of action of complexes of chemical and mineral additives on the processes of structure formation in concrete. It was shown that the high efficiency of the action of polycarboxylate SPs and complexes of additives with them can be explained by the presence of bulk electrostatic repulsion of particles on which SPs were adsorbed.

It was suggested that the effect of air-retaining substances (ARS) is to create evenly distributed air bubbles. Between these bubbles, which are on the sand particles, there can significant adhesive forces appear. The more such bubbles, the greater the force of adhesion. The introduction of AMA can help reduce the size of the bubbles with an increase in their number, which will increase the flexural strength. Therefore, in the presence of the SP + AMA complex, the homogeneity of the pore structure of concrete increases. For proof, we calculated the stability of air bubbles of different sizes. It showed that in the presence of SP + AMA the pore size decreases, the number of macropores decreases and the number of micropores increases. The pressure inside the air bubble in the system containing the SP + ARS + AMA complex is higher than in the system without AMA 1,41 times.

The possibility of the occurrence of an increased number of pores in the contact zone beneath the flat particles of crushed stone is theoretically

substantiated. It is shown that this is possible with compaction, as the frequency of vibration does not coincide with the frequency of natural oscillations of flat particles. In addition, the flat particles can move to the upper part of the concrete, to “float up”, as confirmed by direct research.

The mechanism of influence of polypropylene fibers was clarified. Fibers perceive some part of external loads and prevent the occurrence of cracks. In this case, the destruction of the concrete can occur due to the breaking and pulling out of the fibers, which will increase the flexural strength. With a length of polypropylene fiber of 12 mm and a fiber thickness of 20...50 microns, 1 kg of fiber contains 500 million fibers. Provided that the fibers are evenly distributed along all three axes of coordinates, the increment in concrete strength during flexural due to the introduction of polypropylene fiber reaches 3.38 MPa. In addition, polypropylene fiber has been shown to draw additional air into concrete, which has a positive effect on the durability of concrete.

According to the research hypothesis, concrete flexural strength can be achieved by introducing into its composition a modern polycarboxylate SP in combination with AMA and ARS. This will allow dispersing large air bubbles, creating a uniformly distributed microporosity and activating the appearance of new growths in the first place in the contact zone “cement stone-aggregate” and increasing the density of the concrete structure levels. It is necessary to determine the optimal separation coefficient of the crashed stone grains. While the introduction of concrete fibers of certain dimensions into the concrete mix will provide an additional increase in flexural strength.

The following are the characteristics of materials and research methods used in the study.

The thesis presents the results of experimental studies to increase the strength of road concrete under tensile flexural. It is shown that the surface treatment of aggregates with a solution of salt or water slightly increases the strength of concrete during flexural and this technology cannot be implemented in practice.

The calculation of α_{opt} was carried out, which showed that if the average grain size of sand is equal to 0.47 mm, and the crashed stone grain – 7,5 mm, then $\alpha_{opt} = 1,42$. Further, the separation coefficient for materials used in the thesis was calculated, which for concrete without SP was 1,32, and for concrete with SP was 1,27. According to the data obtained, the compositions of concrete mixes with and without SP were calculated. Concrete samples of various compositions were made and tested for strength. Graphic dependences of concrete strength on α were built, which confirmed that the strength of concrete under flexural is maximum for α_{opt} obtained.

It is shown that with an increase in the content of flat particles in the crashed stones from 5 % to 25 %, the flexural strength decreases by 14 %, and when compressed – by 5 %. The results of optical microscopy showed that beneath the flat particles there is a clearly visible contact zone, in which there is a large number of pores. Their number increases with an increase in the number of flat particles. The pore size also increases. It is shown that the main negative effect of the flat particles is a deterioration in the quality of the concrete structure, an increase in porosity which leads to an increase in water absorption and a decrease in the frost resistance of concrete.

The paper presents the results of studies related to the effect of SPs of different chemical composition on the strength of concrete. It was shown that in concrete with SP the strength of concrete during flexural increases to a greater extent than the compressive strength. The uniformity of the structure at the same time increases, which confirms the decrease in the defect ratio, K_{def} , which is the ratio of the strength of concrete under compression to the strength of concrete under flexural. Therefore, the SP action, first of all, leads to an increase in the flexural strength, and not in compressive strength.

Studies have shown that the use of AMA in the optimal amount (5...7 % by weight of cement) allows to increase the flexural strength by 20 %, and the compressive strength – by 10,5 %. The use of the SP + AMA complex allowed to

increase the flexural strength by 38 %, and the compressive strength - by 32 % compared to concrete without additives.

The results of the study of the effect of air retaining on the strength of concrete were given. It was found that with an increase in the content of retained air, there is a decrease in the strength of concrete, both during flexural and compression, however, the compressive strength decreases 1,5...2 times more than the flexural strength. In such concretes, the increase in flexural strength occurs faster than in compressive strength. The study of the effect of additive complexes on the strength of concrete showed that, with the same amount of retained air, the use of AMA leads to an increase in the strength of concrete by 1,5 times more compared to concrete without AMA. These data indirectly confirm that, in the presence of AMA, a smaller porosity is formed, the quality of the contact zone is improved, as well as the uniformity of the concrete is increased.

The results of the study of the effect of polypropylene fiber made it possible to establish that, with an optimal fiber content, the flexural strength of concrete without SPs increases by 40 % compared with concrete without fiber. K_{def} is improving by the same amount. The reduction of K_{def} in this case occurs due to a predominant increase in flexural strength. Experimental studies of the effect of SP + ARS + AMA + fiber complex of additives showed that a change in the ratio between large and small crushed stone leads to a change in the strength of concrete. With an increase in the content of small crushed stone, the compressive strength decreases by a small amount. With an increase in the number of large crushed stone, there is no decrease in strength. This can be explained by the fact that with a properly selected ratio of crushed stone in concrete, a dense framework is formed, which bears external loads. Having made the right choice of the crushed stone ratio, the strength of concrete in flexural increases.

It is shown that with the introduction of polypropylene fiber into the concrete composition, a significant decrease in K_{def} occurs, which occurs with a constant increase in flexural strength. Therefore, it can be noted that the introduction of polypropylene fiber contributes to the growth of flexural strength and increases the

homogeneity of the concrete structure. It is proved that the frost resistance of concrete with fiber in its content increases by 1 ... 2 marks compared to concrete without fiber. This is due not only to the ability of the fiber to retain air, but also to increase the strength of concrete during flexural.

Physicochemical studies were performed within the scope of this paper. They proved theoretical and experimental assumptions. It was found that in concretes with AMA, the amount of hydrosilicates with a low degree of basicity is significantly higher in the contact zone “cement stone-aggregate” than in the middle part of concrete.

The following describes the use of the results obtained. Recommendations were made for the manufacture of concrete mixtures with increased flexural strength.

A draft of the state standard was developed, 4 regulatory documents were approved. According to these recommendations, concrete mixes were made and laid in Kharkiv. The calculation of the economic benefit of the application of the results of work was given.

Key words: active mineral additive, road concrete, flat particle, flexural strength, compressive strength, organo-mineral complex, polypropylene fiber, concrete structure, superplasticizer.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях України:

1. Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов С. М., Плугін Д. А., Мойсеєва П. Е. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків, 2017. Вип. 169. С. 64–72. (Index Copernicus). (Особистий внесок: проведені розрахунки коефіцієнту розсунення зерен щебеню розчинною частиною для складів бетону з різним співвідношенням заповнювача.)

2. Захаров Д. С. Анализ факторов, влияющих на прочность при изгибе бетонов транспортного назначения. *Вестник ХНАДУ*. Харьков, 2017. Вып. 79. С. 151–157. (Index Copernicus).

3. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С. Дослідження впливу повітроутягування на міцність дорожніх бетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса, 2017. Вип. 68. С. 96–101. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення об'єму втягнутого повітря у цементобетонних сумішах.)

4. Толмачов С. М., Рідкозубов О. О., Захаров Д. С. Проблеми підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць*. Луцьк: Луцький нац. технічн. ун-т, 2015. Вип. 4. С. 219–225. (Особистий внесок: проведено аналіз підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг при згині.)

5. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С. Вплив масштабного фактора при оцінці міцності бетону при згині. *Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. Київ: НТУ, 2017. Вип. 100. С. 91–96. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення міцності при згині бетону в залежності від розмірів зразків балочок.)

6. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С., Черногал Р. Ю. Вплив лещадних частинок на міцність при згині дорожніх бетонів. *Нові технології в будівництві*. 2017. № 32. С. 53–60. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення міцності при згині бетону з різним вмістом лещадних частинок у щебені.)

Публікація у зарубіжному фаховому періодичному виданні:

7. Толмачев С. Н., Редкозубов А. А., Захаров Д. С. Пути повышения однородности битумов. *Автомобильные дороги*. 2016. № 2. С. 51–54. (Особистий внесок: проведено експериментальні дослідження властивостей бетонів з різним співвідношенням заповнювачів та на різних за природою заповнювачах.)

Публікації апробаційного характеру:

8. Tolmachov S., Belichenko O., Zakharov D. Influence of additives on flexural strength of concrete. *MATEC Web of Conferences* 116, 01019 (2017), Transbud 2017. – DOI: 10.1051/matecconf/201711601019. (Scopus). (*Особистий внесок: дослідження впливу комплексу СП і АМД на міцність бетонів.*)

9. Захаров Д. С., Толмачов С. М. Вплив суперпластифікатора на міцність цементобетонів при різному співвідношенні заповнювачів. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Тези доповідей 6-ої Міжнародної науково-технічної конференції* (Харків, 19 – 21 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 23–24. (*Особистий внесок: експериментальні дослідження впливу СП на міцність при згині дорожніх бетонів.*)

10. Беліченко О. А., Захаров Д. С. Особливості впливу різної кількості лещадних частинок у щебені на властивості цементобетонів. *Ефективні технології в будівництві: програма та тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції* (м. Київ, 6 – 7 квітня 2017 р.). Київ: КНУБА, 2017. С. 173. (*Особистий внесок: оптико-мікроскопічні дослідження структури бетонів з різним вмістом лещадних частинок у щебені.*)

11. Захаров Д. С. Особливості впливу різних факторів на міцність дорожніх цементобетонів. *Ефективність підприємства – інноваційні технології та економічні рішення: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* (Харків, 7 – 8 червня 2018 р.). Харків: ХНУБА, 2018. С. 7–8.

Додаткові публікації:

12. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А., Захаров Д. С. Повышение свойств дорожных бетонов введением полипропиленовой фибры. *Строительные материалы и изделия*. 2016. № 1 (91). С. 76–79. (*Особистий внесок: визначено вплив кількості фібри на міцність при згині цементобетону.*)

13. Толмачев С. Н., Захаров Д. С. Влияние заполнителей на прочность дорожных бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса «Атлант», 2016. Вип. 63. С. 191–196. (*Особистий внесок:*

визначення впливу співвідношення між крупним та дрібним заповнювачами на міцність бетону.)

14. Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов Д. С., Усік П. С. Конструкція деформаційних швів при монолітній підрейковій основі трамвайних колій. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2016. № 3 (85). С. 242–245. (Особистий внесок: запропоновано технологію улаштування деформаційних швів розширення та стиску на монолітній підрейковій основі.)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЩОДО ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ БЕТОНУ НА МІЦНІСТЬ ПРИ СТИСКУ ТА ЗГІНІ.....	27
1.1 Вплив зони контакту «цементний камінь-заповнювач» на міцність бетону.....	27
1.2 Вплив фібри на показники міцності бетону при стиску та згині...	32
1.3 Вплив заповнювачів на порову структуру та міцність бетону.....	38
1.4 Вплив хімічних та мінеральних добавок на структуру та властивості бетонів.....	43
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1.....	50
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ НА РОЗТЯГ ПРИ ЗГІНІ.....	51
2.1 Основні напрямки підвищення міцності дорожніх бетонів при згині.....	51
2.2 Підвищення міцності при згині за рахунок вибору співвідношення між заповнювачами.....	53
2.3 Механізм впливу мінеральних добавок на структуру та міцність дорожнього бетону.....	56
2.4 Теоретичне обґрунтування механізму впливу комплексів хімічних і мінеральних добавок на процеси структуроутворення і дорожніх бетонах.....	62
....	
2.5 Процес поризації структури зони контакту у присутності	

лещадних частинок	69
щебеню.....	
2.6 Механізм впливу поліпропіленової фібри на підвищення міцності дорожніх бетонів.....	75
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2.....	81
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ, ЩО ВИКОРИСТОВУВАЛИСЬ У РОБОТІ.....	83
3.1 Характеристика матеріалів, що використовувались у дослідженнях.....	83
.....	
3.2 Методи досліджень, що застосовували у роботі.....	88
3.3 Статистична обробка експериментальних даних.....	95
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ НА РОЗТЯГ ПРИ ЗГІНІ.....	103
4.1 Вплив поверхневої обробки заповнювача на міцність бетону при згині.....	103
4.2 Вплив співвідношення заповнювачів на властивості дорожнього бетону.....	104
4.3 Вплив лещадних частинок на фізико-механічні властивості цементобетонів.....	112
.	
4.4 Вплив суперпластифікаторів і активної мінеральної добавки на міцність бетонів.....	122
4.5 Вплив повітровтягувальних добавок на міцність дорожніх бетонів.....	127
.....	
4.6 Вплив поліпропіленової фібри на властивості дорожніх бетонів..	133
4.7 Фізико-хімічні дослідження цементного каменю.....	138
4.7.1 Диференційно-термічний аналіз цементного каменю.....	138

4.7.2 Рентгенофазовий аналіз цементного каменю.....	145
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4.....	150
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	152
5.1 Рекомендації щодо виготовлення бетонних сумішей для бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині.....	152
5.2 Будівництво дослідних ділянок бетонних покриттів.....	154
5.3 Реалізація результатів досліджень.....	158
5.4 Розрахунок економічної ефективності.....	159
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5.....	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	165
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168
Додаток А Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	185
Додаток Б ДСТУ ХХХХ:201Х Суміші цементобетонні та цементобетон дорожні. Технічні умови (проект, остаточна редакція).....	188
Додаток В ТУ У 23.6-38278077-002:2015 Суміші фібробетонні та фібробетони верхнього шару монолітної залізобетонної плити для будівництва та реконструкції трамвайної колії. Технічні умови.....	190
Додаток Г Технологический регламент на изготовление смесей фибробетонных и фибробетонов верхнего слоя монолитной железобетонной плиты для строительства и реконструкции трамвайного пути.....	191
Додаток Д Р В.2.7-02071168-870:2016 Рекомендації з приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону.....	192
Додаток Е ТТК 37641918/02071168-198:2016 Типова технологічна карта на влаштування шару основи дорожнього одягу із пісного укочуваного	

цементобетону.....	194
Додаток Ж Акти дослідно-промислового впровадження результатів дослідження.....	196
....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АМД – активна мінеральна добавка

В/Ц – водоцементне відношення

ГСК – низькоосновні гідросилікати кальцію

ПВД – повітровтягувальна добавка

ПСП – полікарбосилатний суперпластифікатор

СНФ – суперпластифікатор нафталінформальдегідного типу

СМФ – суперпластифікатор меламінформальдегідного типу

СП – суперпластифікатор

ВСТУП

Актуальність теми. Аналіз роботи дорожніх цементних бетонів верхніх шарів покриттів показує, що вони знаходяться під постійним впливом різних агресивних чинників: градієнтів температури і вологості, циклічних і стаціонарних механічних навантажень, розчинів хімічних реагентів та ін. Дії цих факторів приводять до появи в структурі бетону внутрішніх напружень розтягу, які приводять до утворення тріщин і подальшого руйнування бетонів. Ці процеси стали особливо небезпечні в останні 2...3 десятиліття, коли інтенсивність і частота таких впливів збільшилася у кілька разів, а вимоги до фізико-механічних властивостей дорожніх бетонів залишилися на колишньому рівні. Наприклад, в проектах виконання робіт, клас міцності на розтяг при згині встановлений не вище 5,2 МПа, що явно недостатньо, а часто його не вказують, обмежуючись нормуванням міцності при стиску. Застосування традиційних суперпластифікаторів не приводить до необхідного рівня збільшення міцності бетонів на розтяг при згині, а введення обов'язкових повітровтягувальних добавок веде до зниження міцності. При цьому руйнування дорожніх бетонів при будь-яких видах зовнішніх впливів відбувається від напружень розтягу, рівень яких постійно зростає. У цих умовах актуальними є дослідження, спрямовані на підвищення міцності при згині дорожніх бетонів, що містять сучасні органо-мінеральні добавки і фібру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у складі держбюджетної теми плану НДР за замовленням Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) № ДР 0117U003625 «Провести дослідження та розробити національний стандарт щодо технічних умов на суміші цементобетонні та цементобетон дорожні»; № ДР 0115U001617

«Провести дослідження та розробити рекомендації з влаштування шарів дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону».

Мета дослідження – створення дорожніх цементних бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині за рахунок підвищення ефективності застосування його структурних компонентів.

Задачі дослідження:

– на підставі аналізу літературних джерел виявити основні компоненти структури, що впливають на підвищення міцності при згині дорожніх цементобетонів;

– дослідити вплив зони контакту «цементний камінь-заповнювач», а також співвідношення між дрібним і крупним заповнювачами на структуру і міцність при згині бетону при різному вмісті лещадних частинок у щебені,

– вивчити характер впливу суперпластифікатору полікарбосилатного типу, активної мінеральної добавки, повітровтягувальної добавки, а також їх комплексів на структуру і міцність бетонів при згині;

– дослідити вплив поліпропіленової фібри на міцність бетонів при згині;

– вивчити механізм впливу складових компонентів структури на підвищення міцності бетону при згині;

– провести дослідно-промислове впровадження отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес зміни міцності при згині дорожніх цементних бетонів при дії компонентів структури.

Предмет дослідження – закономірності впливу співвідношення заповнювачів, хімічних, активних мінеральних добавок і фібри на міцність при згині і експлуатаційні властивості дорожнього бетону.

Методи дослідження. Основні експериментальні дослідження виконано за допомогою стандартних методів визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей дорожніх цементних бетонів. Дослідження структури бетону здійснювали за допомогою оптичної мікроскопії. Фазовий

склад цементного каменю вивчали за допомогою рентгенофазового та диференційно-термічного аналізів.

Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів досліджень забезпечена застосуванням в експериментальних дослідженнях незалежних стандартних фізико-хімічних і фізико-механічних методів досліджень, статистичної обробки отриманих результатів досліджень. У теоретичних дослідженнях – залученням фундаментальних положень і закономірностей фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів та колоїдної хімії. Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні уявлення.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше:

- встановлено механізм впливу лещадних частинок на структуру зони контакту, мезоструктуру і властивості дорожніх бетонів верхніх шарів, який полягає в розпушенні бічних і нижніх поверхонь під лещадними частинками при вібрації в результаті неспівпадіння параметрів віброущільнення і власних частот коливань лещадних частинок, що приводить до зниження міцності і морозостійкості бетону;

- встановлено механізм впливу активної мінеральної добавки на формування порової структури бетону в присутності повітровтягувальних добавок, що полягає в диспергуванні крупних бульбашок і утворенні умовно-замкненої мікропористості, що сприяє підвищенню в першу чергу міцності при згині і морозостійкості бетону;

- встановлено, що застосування полікарбосилатного суперпластифікатора і активної мінеральної добавки, а також їх комплексу приводить до переважного зростання міцності бетонів при згині в порівнянні з міцністю при стиску;

- встановлено характер впливу органо-мінерального комплексу, що складається з повітровтягувальної, суперпластифікуючої і активної мінеральної добавок на структуру бетону, що полягає в підвищенні

однорідності структури в присутності активної мінеральної добавки, зниженні кількості великих пор і збільшенні мікропористості за рахунок меншого впливу повітряної пористості на міцність при згині в порівнянні з міцністю при стиску, що підтверджує доведене розрахунковим шляхом підвищення стійкості повітряних бульбашок.

Отримало подальший розвиток:

- уявлення про механізм впливу комплексу суперпластифікатор + активна мінеральна добавка на міцнісні властивості бетону, що полягає в утворенні підвищеної кількості гідросилікатів кальцію в зоні контакту (в порівнянні з об'ємом), що приводить до переважного зростання міцності бетону на розтяг при згині;

– уявлення про вплив коефіцієнта розсунення зерен крупного заповнювача на міцність бетону, яке полягає в тому, що оптимізація його величини розрахунковим шляхом, яка залежить не тільки від розмірів заповнювачів, а й від наявності або відсутності суперпластифікатора в складі бетону, дозволяє збільшити міцність бетону при згині.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропонована методика розрахунку, що дозволяє кількісно визначити внесок впливу поліпропіленової фібри різних геометричних розмірів на міцність бетону на розтяг при згині. Розроблено склади дорожніх бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині.

Розроблено проект ДСТУ ХХХХ:20ХХ «Суміші цементобетонні та цементобетон дорожні. Технічні умови», який знаходиться на затвердженні. Розроблені та затверджені наступні нормативні документи: ТУ У 23.6-38278077-002:2015 «Смеси фибробетонные и фибробетоны верхнего слоя монолитной железобетонной плиты для строительства и реконструкции трамвайного пути. Технические условия»; «Технологический регламент на изготовление смесей фибробетонных и фибробетонов верхнего слоя монолитной железобетонной плиты для строительства и реконструкции трамвайного пути»; Р В.2.7-218-02071168-870:2016 «Рекомендації щодо

приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону»; ТТК 37641918/02071168-198:2016 «Типова технологічна карта на влаштування шару основи із пісного укочуваного цементобетону».

Результати досліджень впроваджені при реконструкції 14-ти трамвайних переїздів в м. Харкові, а також при будівництві монолітної бетонної плити над конструктивом станції метро «Перемога».

Особистий внесок здобувача. Огляд літературних джерел за темою дисертаційного дослідження. Узагальнення даних щодо впливу різноманітних факторів на міцність при згині дорожнього цементобетону, експериментальні дослідження та аналіз їх результатів. Формулювання гіпотези досліджень та нових наукових положень виконано спільно з науковим керівником. Особистий внесок автора у публікаціях відображено у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» (м. Одеса, 03 червня 2016 р.); VI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19 – 21 квітня 2017 р.); II-й Міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології в будівництві» (м. Київ, 6 – 7 квітня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективність підприємства – інноваційні технології та економічні рішення» (м. Харків, 7 – 8 червня 2018 р.); 80-й, 81-й, 82-й науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків, 2016 р., 2017 р., 2018 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових публікаціях, з яких 6 публікацій у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, у тому числі 2 публікації у виданнях, що

входять до Міжнародних наукометричних баз даних, 1 публікація у зарубіжному фаховому періодичному виданні; 4 праці апробаційного характеру, з них 1 – у міжнародній наукометричній базі Scopus; 3 – додаткові публікації.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 163 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації 201 сторінок, у тому числі 130 сторінок основного тексту, 42 рисунка, 35 таблиць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шестоперов С. В. Долговечность бетона. М.: Автотрансиздат, 1960. 368 с.
2. Бируля А. К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 328 с.
3. Шейнин А. М. Исследование свойств и технологии мелкозернистого цементного бетона для строительства автомобильных дорог: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / СоюздорНИИ. Москва, 1970. 21 с.
4. Лівша Р., Ольховик М., Васьків Н. Сумісний вплив вологості й температури на поздовжню стійкість монолітних цементобетонних покриттів. *Автомобільні дороги й дорожнє будівництво*. 2004. Вип. 72. С. 47-52.
5. Фунакоси Йоити. Метод оценки дорожных покрытий. *Roads and Road Construction*. 1981. № 484. Р. 81–82.
6. Грушко И. М., Киреева Е. Б. Довговічність бетону при спільній дії середовища та механічного навантаження. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1978. № 23. С. 64–68.
7. Грушко И. М., Ильин А. Г., Рашевский С. Т. Прочность бетонов на растяжение. Х.: изд-во ХГУ, 1973. 156 с.
8. Толмачев С. Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Укр. держ. акад. залізничн. тр-ра. Харьков, 2013. 425 с.
9. Золотарьов В. О. Випробування дорожньо-будівельних матеріалів: Лабораторний практикум / ред. В. О. Золотарьов. Харків: ХНАДУ, 2006. 352 с.
10. Толмачов С. М., Рідкозубов О. О., Захаров Д. С. Проблеми підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, 2015. Вип. 4. С. 219–225.
11. Пинус Э. Р. Контактные слои цементного камня в бетоне и их значение. *Структура, прочность и деформации бетонов*. М., 1966. С. 44–53.

12. Влияние поверхностных налетов и пленок на зернах песка на прочность растворов и бетонов / [О. И. Крымов, П. А. Мельниченко, А. Г. Ольгинский и др.]; *Тр. ХИИТ*. 1965. Вып. 73. С. 25–30.

13. Бражник А. В. Монолитные дорожные цементные бетоны высокой морозостойкости с органоминеральным комплексом и фиброй: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 /Укр. держ. ун-т залізн. тр-та. Харьков, 2015. 151 с.

14. Толмачев С. Н. Сравнительная оценка истираемости монолитного бетона и его компонентов. *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 11– 2.

15. UsheroV-Marshak A. V., Sopov V. P., Zlatkovski O. A. DSK investigation and analysis of ice formation in capillary-porous materials. *Proc. ESTAC-7. Balatonfurd. Hungary*. 1998. P. 158.

16. Ольгинский А. Г., Редкозубов А. А. Регулирование прочности мелкозернистых цементных бетонов по электрокинетическому потенциалу заполнителя. *Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета*. Харьков, 1996. Вып. № 3. С. 42-45.

17. Пинус Э. Р. Об упрочнении зоны контакта между заполнителем и вяжущим в бетоне. *Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог*. М.: Госстройиздат, 1963. С. 14–25.

18. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А., Захаров Д. С. Повышение свойств дорожных бетонов введением полипропиленовой фибры. *Строительные материалы и изделия*. 2016. № 1. С. 76–79.

19. Graham G. M. Suspension steel concrete. US Patent No. 983, 274, 7 Feb. 1911.

20. Kleinlagel A. Method for the preparation of a synthetic, machinable iron mass. German Patent No. 388, 959, 18 Jan. 1920.

21. Scailles J.C. High density mortar. French Patent No. 514, 186, 21 April 1920.

22. Milind V. Mohod Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. 2015. Vol. 12, Issue 1 Ver. I (Jan- Feb. 2015). – P. 28–36. URL:

www.iosrjournals.org. DOI: 10.9790/1684-12112836/ (дата обращения 25.09.2018)

23. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологи, конструкции: монография. Москва: АСВ, 2004. 560 с.

24. Jean-Louis Tailhan, Pierre Rossi, Claude Boulay. Tensile and bending behaviour of a strain hardening cement-based composite: Experimental and numerical analysis. *Cement & Concrete Composites*. 2012. Vol 34. Issue 4. P.166–171

25. Jun-Yan Wang, Nemkumar Banthia, Min-Hong Zhang. Effect of shrinkage reducing admixture on flexural behaviors of fiber reinforced cementitious composites. *Cement & Concrete Composites*. 2012. Vol 34. Issue 4. P. 443–450

26. Aitcin P.-C. High-Performance Concrete. Taylor & Francis, 2004. 621 p. ISBN 0-203-78327-1.

27. Кудяков К. Л., Невский А. В., Ушаков А. С. Влияние дисперсного армирования базальтовым волокном на прочностные свойства бетона. *Перспективы развития фундаментальных наук: материалы X международной конференции студентов и молодых ученых (г. Томск, 23 – 26 апреля 2013 г.)*. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. С. 708–710.

28. Жуков А. Д., Рудницкая В. А., Смирнова Т. В. Армирующие волокна в технологии бетонов. *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 160–164.

29. Zhang D. S. Air Entrainment in Fresh Concrete with PFA. *Cement & Concrete Composites*. 1996. Volume 18. Issue 6. P. 409–416.

30. Толмачов С. М. Особливості повітроутягнення у дорожні бетони та фібробетони. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науково-технічний збірник*. Київ: НТУ, 2017. Вип. 99. С. 67–76.

31. Солодкий С. Й., Каганов В. О., Горніковська І. Б., Турба Ю. В. Дослідження тріщиностійкості важких бетонів та пінобетонів, армованих

поліпропіленою фіброю для дорожнього будівництва. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 4/5 (76). С. 40–46.

32. Солодкий С. Й., Турба Ю. В. Підвищення тріщиностійкості дисперсно армованих поліпропіленою фіброю бетонів технологічними чинниками. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2017. Вип. 66. С. 99–105.

33. Hannant D. J. *Fibre-Cements and Concretes*, Wiley.-Chichester, UK, 1978. 228 p.

34. Русанов В. Е. Гибридный фибробетон для переходных плит. *Автомобильные дороги*. 2014. № 9. С. 72–73.

35. Деревянко В. Н., Кушнир Е. Г., Саламаха Л. В. Влияние полипропиленовых волокон на реологические свойства дисперсно-армированных смесей. *Вісник ОДАБА*. 2009. Вип. № 35. С. 118–123.

36. Толмачев С. Н., Захаров Д. С. Влияние заполнителей на прочность дорожных бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса «Зовнішрекламсервіс», 2016. Вип. 63. С. 191–196.

37. Приходько А. П., Шпирько Н. В., Ульченко Т. В. и др. Высокопрочный самоуплотняющийся бетон с использованием щебня фракции 5-10 мм. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. Д.: ПГАСА, 2012. № 11. С. 8–13.

38. Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов С. М., Плугін Д. А., Мойсеева П. Е. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип. 169. С. 64–72.

39. Грушко И. М., Ильин А. Г., Чихладзе Э. Д. Повышение прочности и выносливости бетона. Харьков, 1986. 149 с.

40. Коршунов В.И. Исследование свойств и технологии бетона с добавками ПАВ для строительства покрытий автомобильных дорог в скользящей опалубке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный институт. Харьков, 1976. 23 с.

41. Методические рекомендации по применению мелких и очень мелких песков для строительства цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов. М.: СоюздорНИИ, 1984. 23 с.

42. Кунцевич О.В. Исследование структуры и свойств мелкозернистого бетона с комплексной добавкой ПАВ на песках различной крупности. *Новые материалы и технологии в строительстве на Севере*. Л., 1986. С. 24–26.

43. Калинин О.А. Совершенствование состава и структуры бетона для повышения трещиностойкости железобетонных изделий: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков, 1995. 183 с.

44. Нетеса Н. И., Кирыш В. Г. Эффективность бетонных смесей с рациональным зерновым составом. *Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.* 2001. № 5. С. 41–46.

45. Пунагін В., Савін Л., Шишкін О. Керування властивостями бетону. *Кривий Ріг: Мінерал*, 2001. 155 с.

46. Сизов В. П. Проектирование составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 144 с.

47. Плугин А. Н., Плугин А. А., Калинин О. А. Структура и долговременные свойства бетона. *Будівельні матеріали та вироби*, 2003. № 4. С. 17–22.

48. Fennis S. A. A. M., Walraven J. C., J. A. den Uijl. Optimizing the particle packing for the design of ecological concrete. *16. Internationale Baustofftagung*, – 2006. Band 1. P. 1313–1320.

49. Толмачев С. Н. Роль мелких заполнителей в формировании структуры и свойств долговечных дорожных цементных бетонов. *Технологии бетонов*. 2013. № 9. С. 36–40.

50. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Проектирование составов бетона с заданными свойствами. Ровно: Изд-во РГТУ, 1999. 202 с.

51. Дворкін Л. Й., Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство. Рівне: Вид-во НУВГП, 2016. 448 с.

52. Високоміцні швидкотверднующі бетони та фібробетони / Л. Й. Дворкін та ін.; за ред. Л.Й. Дворкіна, Е.М. Бабича. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.
53. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С., Черногал Р. Ю. Вплив лещадних частинок на міцність при згині дорожніх бетонів. *Нові технології в будівництві*. 2017. № 32. С. 53–60.
54. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов. М.: Госстройиздат, 1951. 210 с.
55. Сычов В.П. Исследование морозостойкости цементобетона применительно к суровым климатическим условиям Якутии: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный институт. Харьков, 1977. 189 с.
56. Виноградов Б. Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. М.: Стройиздат, 1979. 224 с.
57. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М.: Стройиздат, 1969. 151 с.
58. Ицкович С. М. Заполнители для бетона. Минск: Высш. школа, 1983. 214 с.
59. Толмачев С. Н., Кондратьева И. Г., Костенко Ю. А. и др. Некоторые особенности подбора состава бетонов по методу прерывистой гранулометрии. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд: матеріали міжнародної конференції, Харків, ХДТУБА. Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2003. № 23. С. 251–254.
60. Michael A. Caldarone High-Strength Concrete. *A Practical Guide*. London: T&F e-Library, 2008. 273 p.
61. Nakanishi H., Tamaki S., Yaguchi et al. Performance of a Multifunctional and Multipurpose Superplasticizer for Concrete. *Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*: ed. by V. M. Malhotra. ACI SP 217, 20-24 October 2003: Proc. Berlin (Germany), 2003. P. 327–342.

62. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Новые комплексные добавки на основе эфиров поликарбоксилата. *Технологии бетонов*. 2012. № 3–4. С. 34–35.

63. Толмачев С. Н. Суперпластификаторы прочности. *Автомобильные дороги*, 2015. № 12 (1009). С. 54–57.

64. Ray I., Gupta A. P. & Biswas M. Physicochemical Studies on Single and Combined Effects of Latex and Superplasticiser on Portland Cement Mortar. *Cement & Concrete Composites*. 1996. Volume 18. Issue 5. P. 343–355.

65. Mario Collepardi, Admixtures-enhancing concrete performance. *6-th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. – 5-7 July 2005*. 15 p.

66. Калашников В. И., Гуляева Е. В., Валиев Д. М. и др. Высокоэффективные порошково-активированные бетоны различного функционального назначения с использованием суперпластификаторов. *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 44–47.

67. Фаликман В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны. *Бетон и железобетон*. 2011. Вып. 1. С. 48–54.

68. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А. Повышение качества цементных композитов за счет введения дисперсных материалов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, Одеса «Зовнішрекламсервіс», 2016. Вип. 61. С. 392–397.

69. Cheng-yi H., Feldman R. F. Influence of silica fume on the microstructural development in cement mortars. *Cem. and Concr. Res.* 1985. Vol 15. № 2. P. 285–294.

70. Хердтл Р., Дитерманн М., Шмидт К. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов. *Цемент и его применение*, 2011. № 1. С. 76–80.

71. Соболев Х. С., Марків Т. Є., Саницький М. А., Когуч Г. В. Вплив активних мінеральних додатків на властивості композиційних цементів.

Вісник Національного університету "Львівська політехніка". "Хімія та хімічна технологія". 2003. № 755. С. 274–278.

72. Мишутин А. В., Смолянец В. В., Кровяков С. А. Применение цементобетонных покрытий для городских улиц и магистрали «Север – Юг». *Вісник ОДАБА*, 2013. Вип. № 52. С. 176–182.

73. Трофимов Б. Я., Крамар Л. Я. Роль направленного структурообразования гидратных фаз в повышении сульфатостойкости цементов. *Проблемы строительного материаловедения и новые технологии. Ч. 1 Фундаментальные проблемы строительного материаловедения.* – Белгород, 1995. С. 66–70.

74. Казимагомедов И. Э., Шептун С. Ю. Влияние микронаполнителей на усадочные деформации растворов для наливных полов. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* Хар-ків: УкрДУЗТ, 2016. № 159. С. 57–63.

75. Сохошко Е. В., Зайченко Н. М. Самоуплотняющийся бетон в современном монолитном домостроении. *Вісник Донбас. держ. акад. будівниц. і архітект. «Сучасні будівельні матеріали».* Макіївка, 2009. Вип. 1 (75). С. 112–116.

76. Feldman R.F. Pore Structure, Permeability and Diffusivity as Related to Durability. *8th International Congress on the Chemistry of Cement*, Rio de Janeiro, Brazil, September 22-27. 1986. P. 1–21.

77. Markovic I. High-Performance Hybrid-Fiber Concrete. *Development and Utilisation.* DUP Science. The Netherlands, 2006.

78. Peter J. M. Bartos & Wenzhong Zhu. Effect of Microsilica and Acrylic Polymer Treatment on the Ageing of GRC. *Cement & Concrete Composites.* 1996. Volume 18. Issue 1. P. 31–39.

79. Alhozaimy A. M., Soroushiad P. & Mirza F. Mechanical Properties of Reinforced Concrete and Materials Polypropylene Fiber the Effects of Pozzolanic. *Cement & Concrete Composites.* 1996. Volume 18. Issue 2. P. 85–92.

80. Грушко И. М., Кондратьева И. Г., Толмачев С. Н. Влияние пылевидных фракций песка на поровую структуру бетона. *Строительные материалы и конструкции*, 1989. № 3. С. 37–38.

81. Добшиц Л. М., Портнов И. Г., Соломатов В. И. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений. М.: МИИТ, 1999. 236 с.

82. Шейкин А. Е., Чеховский Ю. В., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.

83. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. Киев: Оранта, 2004. 301 с.

84. Toshio H. Influence of curing conditions on the compressive strength and the modulus of elasticity of concrete, especially in case of drying. *Cem. Accos. Jap. Rev.* 13th Gen. Meet. Techn. Sess. Tokyo, 1976. P. 190–192.

85. Jeffrey J. Thomas, Hamlin M. Jennings. Changes in the size of pores during shrinkage (or expansion) of cement paste and concrete. *Cement and Concrete Research*. 2003. № 33. P. 1897–1900.

86. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С. Дослідження впливу повітроутягування на міцність дорожніх бетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, Одеса, 2017. Вип. 68. С. 96–101.

87. Толмачев С. Н., Бражник А. В. Снижение прочности бетона при введении воздухововлекающих добавок в бетонную смесь. *Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: сб. трудов III Всероссийской научно-практической конференции (Якутск, 3 – 4 марта 2014 г.) / Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова. Якутск, 2014. С. 369–373.*

88. Толмачев С. Н., Беличенко Е. А. Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожных бетонов и фибробетонов. *Строительные материалы*, 2017. № 1–2. С. 68–72.

89. Sabir B. V. Mechanical Properties and Frost Resistance of Silica Fume Concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1997. Volume 19. Issue 4. P. 285–294.

90. Chatterji S. Freezing of air-entrained cement-based materials and specific actions of air-entraining agents. *Cement & Concrete Composites*. Volume 21. Issue 7. 2003. P. 759–765.

91. Хозин В. Г., Морозов Н. М., Мугинов Х. Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов. *Строительные материалы*, 2010. № 9. С. 72–73.

92. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.

93. Решетняк И.А. Исследование дорожных мелкозернистых цементных бетонов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный институт. Харьков, 1968. 272 с.

94. Горецкий Л. И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия. М.: Изд-во Транспорт, 1965. 165 с.

95. Толмачев Д. С. Трещиностойкие мелкозернистые цементные бетоны транспортного назначения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Харьков, 2015. 155 с.

96. Юренева Е. В. Работа дорожных покрытий. *Автомобильные дороги*, 1966. № 12. С. 12–13.

97. Способ определения состава бетонной смеси: А.с. SU 1787972 A1; заявл. 26.06.1990; опубл. 15.01.93, Бюл. № 2.

98. Юхневский П. И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов. Минск: БНТУ, 2013. 310 с.

99. Баранова Г. П. Смешанные вяжущие на основе композиций цементов с сульфобелитоалюминатными и микрокремнеземистыми добавками: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / Красноярская государственная архитектурно-строительная академия. Красноярск, 2004. 157 с.

100. Gutt Witold, Nixon Philip. Alkali aggregate reactions in concrete. *Construction*. 1979. № 31. P. 30–31.

101. Davis D. E. Cement aggregate reaction. *Concrete and Beton*. 1979. № 16. P. 8–14.

102. Рахимбаев Ш. М., Толыпина Е. М., Балес А. А. Влияние добавок-пластификаторов на внутреннюю коррозию бетона. *Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений*: сб. докладов Междунар. науч.-практич. конф., Белгород, (8-10 октября 2011 г.). Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. Т. 1. С. 195–197.

103. Бобрышев А. Н., Калашников В. И., Москвин Р. Н., Хвастунов В. Л. Усадочные деформации минеральношлаковых вяжущих и их трещиностойкость. *Строительное материаловедение – теория и практика*: сб. тр. Всерос. науч.-практич. конф. М.: Изд-во СИП РИА, 2006. С. 59–62.

104. Юнг В. Н. Теория микробетона и ее развитие. *О достижениях советской науки в области силикатов*: Труды сессии ВНИТО. М.: Промстройиздат, 1949. С. 49–54.

105. Макридин Н. И., Максимова И. Н., Прошин А. П., и др. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов / под ред. В. И. Соломатова. Саратов: изд-во Саратовского университета. 2001. 280 с.

106. Панасюк В. А., Выровой В. Н., Сильченко С. В. Анализ изменения свойств микроструктуры бетона во времени. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне. 2011. Вип. 22. С. 120–124

107. Victor C. Li & Mohamed Maalej. Toughening in Cement Based Composites. Part I: Cement, Mortar, and Concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1996. Volume 18. Issue 4. P. 223–237.

108. Шейнич Л. А. Пушкарева Е. К. Процессы саморганизации структуры строительных композитов. К.: Гамма-принт, 2009. 153 с.

109. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кривобородов А. В. Влияние структуры цементного камня с добавками кремнезема и

суперпалстификатора на свойства бетона. *Бетон и железобетон*. 1992. № 7. С. 4–6.

110. Сорочкин М. А., Щуров А. Ф., Урьев Н. Б. Воздействие углекислого газа, как метод интенсификации процессов гидратации цемента. *ДАН СССР*. 1970. Т. 194. № 1. С. 149–151.

111. Житковський В. В., Разумовський А. Р. Ефективність застосування метакаоліну у важких бетонах різного складу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне. 2011. Вип. 31. С. 98–105.

112. Жакипбеков Ш. К. Модифицированные малоклинкерные вяжущие и бетоны с использованием техногенных отходов: автореф. дисс. д-ра техн. наук: 05.23.05 / Научно-исследовательский и проектный институт строительных материалов ТОО «НИИСтромпроект». Алматы: НЦ НТИ, 2010. 42 с.

113. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.

114. Compater C., Nonat A., Pourchet S., Mosquet M., and Maitrasse P. The Molecular Parameters and the Effect of Comb-Type Superplasticizers on Self-Compacting Concrete: A Comparison of Comb-Type Superplasticizer Adsorption onto a Basic Calcium Carbonate Medium in the Presence of Sodium Sulphate. *Proceedings of Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures In Concrete*, ACI SP 217, Berlin, Germany, 20-24 October 2003. P. 195–210.

115. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 296 с.

116. Мчедлов-Петросян М. О. Колоїдна хімія. Х.: ХНУ, 2012. 500 с.

117. Козлов Д. В. Основы гидрофизики. М.: МГУП, 2004. 300 с.

118. Шейнфельд А. В. Особенности формирования иерархической микро- и наноструктуры цементных систем с комплексными

органоминеральными модификаторами. *Бетон и железобетон*, 2016. № 2. С. 16–21.

119. Farran J. Contribution minerlogique a l'etude de l'adherence entre constituants hydrates des cimens et les materiaux enrobes. *Materiaux et constructions*. 1956. P. 155 –72.

120. Jiang L. H. Studies on hydration, microstructure and mechanism of high volume ash concrete. *Thesis, Hohai University, Nanjing, China*, 1998. P. 25–28.

121. Vivekanandam K., Patnaikuni I. Transition zone in high performance concrete during hydration. *Cement and Concrete Research*. 1997. Volume 27. Issue 6. P. 817–23.

122. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

123. Десов Д. Е. Вибрированный бетон. М.: Госстройиздат, 1956. 229 с.

124. Гусев Б. В., Зазимко В. Г. Вибрационная технология бетонов. К.: Будівельник, 1991. 160 с.

125. Пащенко А. А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. М. : Стройиздат, 1988. 200 с.

126. Рабинович Ф. Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 176 с.

127. ТУ У 24.7-32781078-001:2006. Волокно армуюче поліпропіленове (ВАП).

128. Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В. та ін. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / за ред. Л. Й. Дворкіна, Є. М. Бабича. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.

129. Зайченко Н. М., Лахтарина С. В. Самоуплотняючі бетони, дисперсно-армировані полімерними волокнами. Електронний ресурс: Режим доступу к публикации: http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/natural/Rmkbs/2011_22/11.pdf

130. Толмачев С. Н. Эффективность применения полипропиленовой фибры в дорожных бетонах. *Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів*: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної Інтернет конференції, (Харків, 10 – 12 листопада 2014 р.) ХНАДУ. Харків: ХНАДУ, 2014. С. 142–145.

131. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. [Чинний від 2011-09-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 20 с.

132. ДСТУ Б EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT). Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіон України, 2016. 59 с.

133. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 1997-01-01]. Вид. офіц. К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 1996. 40 с.

134. ДСТУ Б В.2.7-85-99 (ГОСТ 22266-94). Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови. [Чинний від 1999-10-01]. Вид. офіц. К.: Державний комітет архітектури, будівництва та житлової політики України, 1999. 13 с.

135. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. К.: Держкомстандарт України, 1996. 20 с.

136. ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. К.: ДП «НДІБМВ», 2010. 28 с.

137. ДСТУ Б В.2.7-75-98. Строительные материалы. Щебень и гравий плотные природные для строительных материалов, изделий, конструкций и работ. Технические условия. [Чинний від 1999-01-01]. Вид. офіц. К.: Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 1999. 11 с.

138. ДСТУ Б В.2.7-71-98. Строительные материалы. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. [Чинний від 1999-01-01]. Вид. офіц. М.: Госстрой России, 1997. 49 с.

139. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 93 с.

140. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2010. Будівельні матеріали. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах. [Чинний від 01-10-2009]. Вид. офіц. К: Держбуд України 2009. 30 с.

141. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79, MOD). Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови. [Чинний від 2012-12-01]. Вид. офіц. К.: ДП «НДІБМВ», 2011. 20 с.

142. ДСТУ Б В.2.7-128:2006. Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. [Чинний від 01-12-2007]. Вид. офіц. К: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 12 с.

143. ТУ У В-2.7-24.6-19266746-004:2008. Добавка Универсал ВМ. Технические условия.

144. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 109 с.

145. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 (ГОСТ 10181-2000). Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. [Чинний від 2002-07-01]. Вид. офіц. К.: Державний комітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 2002. 32 с.

146. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. [Чинний від 2009-07-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 38 с.

147. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони правила контролю міцності. [Чинний з 2010-09-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.

148. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинний від 2010-09-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

149. ДСТУ Б В. 2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. [Чинний від 1997-04-01]. Вид. офіц. М., Минстрой России, 1996. 14 с.

150. ДСТУ Б В.2.7-49-96. Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. [Чинний від 1997-04-01]. Вид. офіц. К.: Держкоммістобудування України. 48 с.

151. Большаков В. И., Дворкин Л. И. Строительное материаловедение. Днепропетровск: РВА «Дніпро – VAL», 2004. 677 с.

152. ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиранності. [Чинний від 2010-09-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 15 с.

153. Грушко И. М., Сиденко В. М. Основы научных исследований. Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983. 224 с.

154. Файнер М. Ш. Введение в математическое моделирование технологии бетона. Львов: Свит, 1993. 240 с.

155. 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: в 3 т. / К.: Наукова думка, 2011. Т. 1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / под. ред. А. Н. Плугина. 340 с.

156. Плугин А. Н. Плугин А. А., Калинин О. А. и др. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона

и конструкций из них: в 3 т. / Киев: Наукова думка, 2012. Т. 2. Теория твердения портландцемента / под. ред. А. Н. Плугина. 223 с.

157. Толмачев С. Н., Редкозубов А. А., Захаров Д. С. Пути повышения однородности битумов. *Автомобильные дороги*. 2016. № 2. С. 51–54.

158. Толмачев С. Н., Кондратьева И. Г., Маракина Л. Д., Матяш А. В., Солдатенко С. Е. Свойства дорожных бетонов с полимерной фиброй. *Науковий вісник будівництва*. Харків, ХДТУБА. 2008. № 48. С. 150–154.

159. Горшков В. С. Термография строительных материалов. М.: Изд-во лит-ры по строит-ву, 1968. 240 с.

160. Рамачандран В. С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. / Пер. с англ. В. Б. Ратинов. М.: Стройиздат, 1977. 480 с.

161. Уэндландт У. Термические методы анализа. М.: Изд-во «Мир», 1978. 528 с.

162. Маляр В. В., Кондратьева И. Г., Оксак С. В. Методичні вказівки до економічної частини дипломних проєктів з технології виробництва дорожньо-будівельних матеріалів / За ред. В.О. Золотарьова. Харків: ХНАДУ, 2012. 19 с.

163. ДБН В 2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 01-04-2016]. Вид. офіц. К: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2015. 91 с.

