

АНОТАЦІЯ

Чистяков А.О. Бетони основи дорожнього одягу з використанням вторинних заповнювачів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Одеська державна академія будівництва та архітектури – Одеса, 2024.

Метою роботи є розробка бетонів основ дорожнього одягу з забезпеченою міцністю та довговічністю при максимальному використанні вторинних заповнювачів.

У вступі обґрунтовано актуальність та наукову новизну теми дисертаційного дослідження, показано зв'язок з сучасними науковими та економічними тенденціями, показано цінність роботи з точки зору сталого розвитку.

У першому розділі проаналізовано світовий та вітчизняний досвід будівництва та використання жорстких цементобетонних дорожніх покриттів. Встановлено, що такі дороги набули широкого розповсюдження в США та країнах Західної Європи. Описано переваги цементобетонних жорстких дорожніх покриттів. В ході вивчення властивостей цементобетонних дорожніх покриттів встановлено, що для роботи у жарких кліматичних регіонах, таких як південь України, такі дороги є оптимальними у зв'язку з відсутністю деформацій під дією підвищених температур. Проаналізувавши наукову літературу та офіційні документи і програми, було зроблено висновок про зростання розповсюдження цементобетонних дорожніх покриттів у країнах Східної Європи, в тому числі в Україні. За даними Укравтодору у період до 2040 р планується збільшення частки жорстких дорожніх покриттів в Україні до 30%. Досвід експлуатації таких покриттів в Україні показав доцільність їх повномасштабного впровадження в якості дорожніх та аеродромних покриттів. Зазначено, що сировинна база в Україні здатна повністю

забезпечити необхідність в матеріалах для виготовлення цементобетону з вітчизняних матеріалів.

В ході дослідження було проаналізовано властивості та особливості складів бетонів для основ дорожнього одягу жорстких дорожніх покриттів, проведено оцінку доцільності використання добавок суперпластифікаторів, фібри та інших модифікаторів відповідно до рекомендацій вітчизняних та закордонних дослідників.

Проведено аналіз світового досвіду використання вторинних бетонних заповнювачів для виготовлення бетону. Встановлено, що бетони на основі вторинних заповнювачів показують несуттєве зниження міцностних властивостей у порівнянні з бетонами на природніх заповнювачах. Представлено успішне використання вторинних заповнювачів різної структури та фракції для виготовлення бетонів для облаштування основ дорожніх покриттів, аеродромів, технічних споруд та конструкцій житлових будівель. Була встановлена доцільність використання бетонів на вторинних заповнювачах саме для виготовлення основ дорожнього одягу цементобетонних доріг.

Проаналізовано властивості складів та особливості технологічних рішень при виготовленні бетонів із вторинних заповнювачів для основ дорожнього одягу. Зазначено вплив різних видів вторинних заповнювачів на рухомість суміші, на середню густину, водопоглинання та міцність отриманих бетонів. Представлено різновиди вторинних заповнювачів, які потенційно можливо використовувати для ефективного виготовлення бетонів. Доведена екологічна привабливість та економічна доцільність використання вторинної сировини в будівництві. Зроблено висновок про високу актуальність досліджень у даному напрямку, що обумовлено високою різноманітністю вторинних заповнювачів, доступністю сировинної бази, зокрема з врахуванням великих обсягів спричинених бойовими діями руйнувань, та неповним обсягом знань та технологічних рішень при виготовленні бетонів на основі вторинних заповнювачів. Встановлено, що масове використання бетону на основі

вторинних заповнювачів можливо в конструкціях для яких не висувається високих вимог щодо міцності та морозостійкості, зокрема у основах дорожнього одягу.

На основі даних отриманих з аналізу світового досвіду з розробки цементобетонних дорожніх покриттів та використання вторинних заповнювачів для виготовлення бетонів сформувано *робочу гіпотезу* дисертаційного дослідження. З врахуванням значної різниці у властивостях вторинних заповнювачів (крупних та дрібних) підбір оптимальних складів бетонів для будівництва основ дорожніх покриттів слід проводити експериментально. Для досягнення необхідної міцності і морозостійкості досліджуваних бетонів необхідно використовувалися ефективні добавки суперпластифікатори, та за необхідним обґрунтуванням фібру. Експериментальні дослідження слід проводити з використанням великого асортименту вторинних та природних заповнювачів крупної та дрібної фракції на декількох видах цементу, зокрема з різним вмістом шлаку доменних печей для підвищення використання переробленої сировини для виготовлення бетону.

Виходячи з робочої гіпотези та беручи до уваги проведений аналіз наукової літератури з даної галузі, була сформульована *мета роботи*: розробка бетонів основ дорожнього одягу з забезпеченою міцністю та довговічністю при максимальному використанні вторинних заповнювачів.

У *другому розділі* дисертації представлено загальну схему та послідовність проведення дослідження. Детально описано методику виготовлення бетонної суміші та експериментальних зразків, представлено методи визначення фізико-механічних властивостей бетонів на основі вторинних заповнювачів для дорожнього будівництва. Наведено основні характеристики матеріалів, які були використані під час дослідження: крупних і дрібних вторинних заповнювачів різних типів, гранітного щебеню, гранітного річкового гравію, кварцового піску різних кар'єрів, цементів, суперпластифікаторів та фібри різних типів.

В *третьому розділі* представлено основні результати дослідження властивостей бетонів на вторинних заповнювачах для основ жорсткого дорожнього одягу. Проведено оцінку позитивного впливу на навколишнє середовище використання продуктів демонтажу будівель та споруд в рамках їх життєвого циклу. Проаналізовано та доведено раціональність використання основних технологій демонтажу будівель та споруд для ефективного видобутку вторинних заповнювачів з будівельних відходів. Експериментально визначено ефективність використання пластифікаторів різного типу для бетонів на вторинному щебені для основ автомобільних доріг, проведено порівняння властивостей бетонів на основі різних видів цементів та пісків. В ході експерименту підтверджено ефективність застосування вторинних заповнювачах для виготовлення бетонів для влаштування основи жорсткого дорожнього одягу. Порівняно фізико-механічні властивості бетонів з різними типами крупного і дрібного заповнювача (гранітного річкового гравію, вторинного щебеню з перероблених залізобетонних конструкцій, вторинного щебеню з переробленої цегляної кладки та керамічної плитки, кварцового піску, вторинного піску з перероблених залізобетонних конструкцій, вторинного піску з переробленої цегляної кладки). Використано різні типи цементу та добавки суперпластифікатору в ході 2-х серій експериментів. У першій використовувався портландцемент СЕМ ІІ/В-С 32.5 R та суперпластифікатор Soudal Soudaplast, у другій – портландцемент СЕМ ІІ/В-С 42.5 R та суперпластифікатор Berament НТ28. Порівняно властивості бетонів з різною кількістю цементу на основі вторинних заповнювачів різних типів.

За результатами дослідження встановлено, що всі досліджені бетони на вторинних заповнювачах характеризувалися достатньою високою міцністю, зокрема на розтяг при згині (від 2,82 до 3,84 МПа). Також бетони забезпечували достатню для основ дорожнього одягу морозостійкість (F100) та високу ударостійкість. Бетони на основі вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій та кварцовому піску характеризуються вищою міцністю на стиск та на розтяг при згині, ніж бетони на основі річкового гравію

та кварцовому піску. Бетони на основі вторинних заповнювачів крупної та дрібної фракції показали міцність, яка дозволяє використовувати їх у якості бетонів основ дорожнього одягу.

Доведено ефективність застосування бетонів на вторинних заповнювачах для влаштування основи жорсткого дорожнього одягу. Визначено оптимальні склади бетонів на вторинних заповнювачах для виготовлення основ жорстких дорожніх покриттів.

В *четвертому розділі* представлено результат дослідження властивостей бетонів і фібробетонів для основ дорожнього одягу на неоднорідних вторинних заповнювачах. Встановлено, що міцність на стиск і на розтяг при згині бетонів на вторинному щебені з неоднорідним складом є вищою в порівнянні з бетоном на основі річкового гравію, а також майже не відрізняється від міцності бетонів на основі вторинного щебеню з залізобетонних конструкцій. Визначено вплив поліпропіленової фібри EGIBI PP 32 мкм/12 мм у якості дисперсної арматури для виготовлення бетонів основ дорожнього одягу. Встановлено низьку ефективність дисперсного армування фіброю EGIBI PP 32 мкм/12 мм для виготовлення бетонів на основі вторинних заповнювачів, враховуючи вплив на характеристики бетону та економічний фактор.

Доведена можливість використання для основ дорожнього одягу бетонів на вторинному щебені з неоднорідним складом і цементі з високим вмістом шлаку СЕМ Ш/А. Таки бетони мають міцність на стиск від 26,3 до 32,7 МПа, міцність на розтяг при згині від 2,65 до 3,29 МПа і морозостійкість F100, що на 50-100% вище рівня мінімальних вимог щодо міцності і морозостійкості бетонів для монолітної основи згідно ДБН В.2.3-4:2015.

Показано, що дисперсне армування фіброю з лугостійкого скла ANTI-CRAK HP 12 підвищує міцність на стик бетонів основ дорожнього одягу на 4,0-11,8%. При цьому міцність на розтяг при згині бетону на гранітному гравії та кварцовому піску зростає на 9,3%, а бетону на вторинному щебені лише на 3,5%. Використання поліпропіленової фібри VeneSteel 55 викликало зниження

міцності бетонів, що обумовлене необхідністю збільшенні В/Ц при використанні даної фібри. Це свідчить про недоцільність застосування в бетонах на вторинному щебені з неоднорідним складом дисперсного армування використаними в даних дослідженнях типами фібри з врахуванням економічного чинника.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальний процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури при підготовці магістрів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги і аеродроми», та у виробництво Дочірнім підприємством «Черкаський облавтодор» ВАТ «ДАК «Автомобільні дороги України»» при влаштуванні бетонних основ дорожнього одягу під'їзду до мосту у с. Шендерівка Корсунь-Шевченківського району Черкаської області на автомобільній дорозі державного значення Т-24-03.

Ключові слова: жорсткий дорожній одяг, основа дорожнього одягу, вторинний заповнювач, пластифікатор, міцність, морозостійкість.

ABSTRACT

Chystiakov A.O. Concretes for bases of road clothing with using of secondary aggregates

PhD thesis. Specialty 192 – Construction and civil engineering – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Odessa, 2024.

The *goal of the work* is the development of concrete foundations for road wear with guaranteed strength and durability with the maximum use of secondary aggregates.

The *introduction* substantiates the relevance and scientific novelty of the topic of the dissertation research, shows the connection with modern scientific and economic trends, shows the value of the work from the point of view of sustainable development.

In the *first section* of the thesis, the global and national experience of construction and using of cement concrete rigid pavements is analyzed. It has been established that such roads have become widespread in the USA and Western European countries. The advantages of cement-concrete rigid road surfaces are described. During the study of the properties of cement-concrete road surfaces, it was established that such roads are optimal for work in hot climatic regions as South of Ukraine due to the absence of deformations under the influence of elevated temperatures. After analyzing of the scientific literature and official regulations, it was concluded that the spread of cement concrete pavements in the countries of Eastern Europe, including Ukraine, is increasing. According to Ukravtodor, in the period until 2040, it is planned to increase the share of rigid pavements in Ukraine to 30 %. The experience of operating such roads in Ukraine has shown the expediency of their full-scale implementation as road and airfield coatings. It is noted that the raw material base in Ukraine is able to fully cover the need for materials for the production of rigid pavements from domestic materials.

During the research, the properties and features of concrete compositions for the bases of road clothing for rigid pavements were analyzed, the feasibility of using

superplasticizer additives, fiber and other modifiers was evaluated in accordance with the recommendations of Ukrainian and foreign researchers.

An analysis of the world international experience of using of secondary concrete aggregates for the production of concrete was carried out. It was established that concretes based on secondary aggregates show an insignificant decrease in strength properties compared to concretes based on natural aggregates. The successful use of secondary aggregates of various structures and fractions for the production of concrete for arranging of the bases of rigid pavements, airfields, technical facilities and structures of residential buildings is presented. It was established the expediency of using concrete on secondary aggregates precisely for the manufacture of the bases of the road clothing of cement-concrete roads.

Properties of compositions and features of technological solutions in the production of concrete from secondary aggregates for the bases of road clothing are presented. The influence of different types of secondary aggregates on the mobility of the mixture, on the density, water absorption and strength of the concretes obtained is indicated. The classification and types of secondary aggregates, which can potentially be used for effective concrete production, are presented. The ecological attractiveness and economical feasibility of using of secondary raw materials in construction has been proven. It was concluded that research in this direction is highly relevant, which is due to the high variety of secondary aggregates, the availability of raw materials, taking into account the large volumes of destruction caused by hostilities and the incomplete amount of knowledge and technological solutions for the production of concrete based on secondary aggregates. It has been established that the mass use of concrete based on secondary aggregates is possible in structures that do not require high strength and frost resistance, in particular in the bases of road clothing.

Based on the data obtained from the analysis of the world experience in the development of cement concrete road surfaces and the use of secondary aggregates for the production of concrete, a *working hypothesis* of the dissertation research was formed. Taking into account the significant difference in the properties of secondary

aggregates (coarse and fine), the selection of optimal concrete compositions for the construction of the bases of rigid pavements should be carried out experimentally. In order to achieve the necessary strength and frost resistance of the studied concretes, it is necessary to use effective additives, superplasticizers, and according to the necessary justification of the fiber. Experimental studies should be conducted using a large assortment of secondary and natural aggregates of coarse and fine fraction on several types of cement, in particular with different content of blast furnace slag to increase the use of recycled raw materials for the production of concrete.

Based on the working hypothesis and taking into account the analysis of the scientific literature in this field, the *goal of the work* was formulated: the development of concrete for bases of road clothing with guaranteed strength and durability with the maximal use of secondary aggregates.

The *second section* of the dissertation thesis presents the general scheme and sequence of the research. The method of manufacturing of concrete mixture and experimental samples is described in detail, the methods of determining of the physical and mechanical properties of concrete based on secondary aggregates for road construction are presented. The main characteristics of the materials that were used during the research are given: coarse and fine secondary aggregates of various types, granite crushed stone, granite river gravel, quartz sand from various quarries, cement, superplasticizers and fibers of various types.

The *third section* presents the main results of the study of the properties of concrete on secondary aggregates for the bases of rigid pavements. An assessment of the positive impact on the environment of using of the products of dismantling buildings and structures within their life cycle was carried out. The rationality of using of the main technologies of dismantling buildings and structures for the efficient extraction of secondary aggregates from construction waste has been analysed and proven. The effectiveness of the use of different types of plasticizers for concrete on secondary aggregates for bases of rigid pavements was determined experimentally. The properties of concrete based on different types of cement and

sand were compared. During the experiment, the effectiveness of the use of secondary aggregates for the production of concrete for the arrangement of the bases of road clothing was confirmed. The physical and mechanical properties of concrete with different types of coarse and fine aggregate (granite river gravel, secondary crushed stone from recycled reinforced concrete structures, secondary crushed stone from recycled brickwork and ceramic tiles, quartz sand, secondary sand from recycled reinforced concrete structures, secondary sand from recycled brickwork) were compared). Different types of cement and superplasticizer additives were used in the course of two series of experiments. In the first, Portland cement CEM II/B-S 32.5 R and superplasticizer Soudal Soudaplast were used, in the second – Portland cement CEM II/B-S 42.5 R and superplasticizer Berament HT28. The properties of concretes based on secondary aggregates with different cement concentrations are compared.

According to the results of the research, it was established that all the studied concretes on secondary aggregates were characterized by sufficiently high strength, in particular for flexural strength in bending (from 2.82 to 3.84 MPa). Also, the concretes provided sufficient frost resistance (F100) and high impact resistance for the bases of road clothing. The composition of concrete based on secondary crushed stone from masonry and ceramic tiles and quartz sand also showed a sufficiently high strength result. Based on the results of the tests, it was established that concretes based on secondary aggregates of coarse and fine fractions showed sufficiently high strength, which allows them to be used as concretes for the bases of road clothing. All the main studied compositions of concrete showed the frost resistance grade F100.

The effectiveness of the use of concrete on secondary aggregates for the arrangement of the bases of road clothing has been proven. The optimal compositions of concrete on secondary aggregates for the manufacture of bases of rigid pavements have been determined.

The *fourth section* presents the results of the study of the properties of concrete and fiber concrete for the bases of road clothing on secondary aggregates with a

heterogeneous composition. It was established that the compressive and flexural strength in bending of concretes based on secondary crushed stone with a heterogeneous composition is higher compared to concrete based on river gravel, and also almost does not differ from the strength of concretes based on secondary crushed stone from reinforced concrete structures. The influence of polypropylene fiber EGIBI PP 32 $\mu\text{m}/12\text{ mm}$ as a dispersed reinforcement for the production of concrete bases for road clothing was determined. The low efficiency of dispersed reinforcement with EGIBI PP fiber 32 $\mu\text{m}/12\text{ mm}$ for the production of concretes based on secondary aggregates was established, taking into account the effect on the characteristics of concrete and the economic factor.

The possibility of using concrete on secondary crushed stone with a heterogeneous composition and cement CEM III/A with a high slag content for the bases of road clothing has been proven. Such concretes have compressive strength from 26.3 to 32.7 MPa, flexural strength in bending from 2.65 to 3.29 MPa and frost resistance F100, which is 50-100 % higher than the minimum requirements for the strength and frost resistance of concrete for monolithic base according to DBN B.2.3-4:2015.

It is shown that dispersed reinforcement with alkali-resistant glass fiber ANTI-CRAK HP 12 increases the flexural strength of concrete bases of road clothing by 4.0-11.8 %. At the same time, the tensile strength in bending of concrete on granite gravel and quartz sand increases by 9.3 %, and concrete on secondary crushed stone by only 3.5 %. The use of polypropylene fiber BeneSteel 55 caused a decrease in the strength of concrete, which is due to the need to increase W/C when using this fiber. This indicates the impracticality of using the dispersed reinforcement with types of fibers used in these studies in concrete on secondary crushed stone with a heterogeneous composition, taking into account the economic factor.

The results of the dissertation research were implemented in the educational process at the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture in the preparation of masters in the specialty 192 Construction and civil engineering under the studying program "Highways and airfields", and in production by the subsidiary

"Cherkasky Oblavtodor" of JSC "Automotive roads of Ukraine" during the construction of concrete bases of the road surface of the approach to the bridge in the village of Shenderivka of the Korsun-Shevchenkiv district of the Cherkasy region on the state highway T-24-03.

Key words: rigid road clothing, bases for road clothing, secondary aggregates, plasticizer, strength, frost resistance.