

УДК 666:691.32

Солоненко І.П., канд. техн. наук

ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ ДОБАВОК І НАПОВНЮВАЧІВ

Анотація. У статті розглянуто питання, щодо впливу на якість цементобетонного покриття для автомобільних доріг його складу. Наведено результати досліджень про вплив добавок і наповнювачів на властивості і структуру цементних композитів. Показано, що введення до складу цементобетону пластифікуючої і повітроутягувальної добавки спільно з наповнювачем мікрокремнеземом і поліпропіленою фіброю веде до поліпшення міцності і довговічності цементобетонних покриттів. За результатами експериментів було встановлено, що введення до складу бетонної суміші пластифікатора DE11 (1%) спільно з повітропоглинаючою добавкою РТ-1 (0,05%) збільшує рухливість бетонної суміші, за рахунок чого знижується водо-цементне відношення (на 14-18%) і дозволяє підвищити продуктивність праці при укладанні рухливої бетонної суміші. Введення до складу бетону наповнювача мікрокремнезему (до 15 кг/м³) збільшує міцність при стиску і розтяг при згині, знижує на 6-8% технологічну пошкодженість. Введення до складу цементобетонних покриттів поліпропіленою фібри (до 0,6 кг/м³) підвищує міцність на розтяг при згині - 10-15%, знижує стиранийість на 60%, підвищує ударостійкість - 25% і знижує на 3-5% технологічну пошкодженість. Запропоновано використовувати у дорожньому будівництві цементобетонні матеріали з раціональними експлуатаційними і фізико-механічними властивостями.

Об'єкт дослідження – процес зміни властивостей матеріалу цементобетонного покриття для автомобільних доріг.

Мета роботи – забезпечення необхідних фізико-механічних характеристик цементобетону для покриттів автомобільних доріг за рахунок підбору раціонального його складу.

Методи дослідження – експериментально-статистичні моделі фізико-механічних та експлуатаційних властивостей дорожніх покриттів для автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільна дорога, водонепроникність, добавка повітроутягувальна, морозостійкість, наповнювач, технологічна пошкодженість, цементобетонне покриття.

UDC 666:691.32

Solonenko I.P., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.).

RIGID ROAD SURFACE WITH THE INTRODUCTION OF ADDITIVES AND FILTERS

Annotation. In the article the question concerning the impact on the quality of the cement concrete road coverings. Results of studies on the impact of additives and fillers on properties and structure of cement composites. It is shown, that introduction of the composition of cement concrete modeling and air induces additives mixed with micro silica and polypropylene fibers leads to improved strength and durability of cement concrete pavements. Based on the results of the experiments it was found that the introduction of the composition of concrete plasticizer DE11 (1%) together with the air involving additive of PT-1 (0,05%) increases mobility of concrete mixture, thereby decreasing water/cement ratio (14-18%) and improves the productivity of mobile when laying a concrete mix. Introduction to the structure of concrete filler Silica fume (up to 15 kg/m³) increases compressive strength and flexural tensile, and reduces to 6-8% technological space. Introduction to composition of cement concrete pavements of polypropylene fibers (up to 0.6 kg/m³) increases the tensile strength in bending is 10-15%, reduces the abrasion at 60%, improves impact resistance-25%, and reduces to 3-5% technology space.

The object of study – the process of changing material properties of a cement-concrete for highways.

Purpose – ensuring the necessary physico-mechanical characteristics of cement concrete for pavements of roads through rational selection of its composition

Research methods – experimental and statistical models of physico-mechanical and performance properties of pavement for highways.

Keywords: air-entraining additive, cement concrete pavement, frost resistance, filler, highway, technological damage, water resistance.

УДК 666:691.32

Солоненко И.П., канд. техн. наук

ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ЖЕСТКОГО ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ДОБАВОК И НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос, касающийся влияния на качество цементобетонного покрытия для автомобильных дорог его состава. Приведены результаты исследований о влиянии добавок и наполнителей на свойства и структуру цементных композитов. Показано, что введение в состав цементобетона пластифицирующей и воздухововлекающей добавки совместно с наполнителем микрокремнеземом и полипропиленовой фиброй ведет к улучшению прочности и долговечности цементобетонных покрытий. По результатам экспериментов было установлено, что введение в состав бетонной смеси пластификатора DE11 (1%) совместно с воздухововлекающей добавкой РТ-1 (0,05%) увеличивает подвижность бетонной смеси, за счет чего снижается водоцементное отношение (на 14-18%) и позволяет повысить производительность труда при укладке подвижной бетонной смеси. Введение в состав бетона наполнителя микрокремнезема (до 15 кг/м³) увеличивает прочность при сжатии и растяжение при изгибе, а также снижает на 6-8% технологическую поврежденность. Введение в состав цементобетонных покрытий полипропиленовой фибры (до 0,6 кг/м³) повышает прочность на растяжение при изгибе - 10-15%, снижает истираемость на 60%, повышает ударопрочность - 25% и снижает на 3-5% технологическую поврежденность. Предложено использовать в дорожном строительстве цементобетонные материалы с рациональными эксплуатационными и физико-механическими свойствами.

Объект исследования – процесс изменения свойств материала цементобетонного покрытия для автомобильных дорог.

Цель работы - обеспечение необходимых физико-механических характеристик цементобетона для покрытий автомобильных дорог за счет рационального подбора его состава.

Методы исследования - экспериментально-статистические модели физико-механических и эксплуатационных свойств дорожных покрытий для автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, водонепроницаемость, воздухововлекающая добавка, морозостойкость, наполнитель, технологическая поврежденность, цементобетонное покрытие.

Постановка проблеми

Географічне положення нашої країни сприяє формуванню транспортних коридорів: Захід – Схід, Захід – Північ, Північ – Південь. Однією з актуальних проблем розвитку автомобільних доріг є поліпшення експлуатаційно-технічних характеристик дорожнього покриття і

Formulation of the problem

The geographical position of our country contributes to the creation of transport corridors: West-East, West, North, North-South. One of the topical problems of road development is to improve the operational characteristics of the road surface and

підвищення його довговічності. Покриття автомобільних доріг безпосередньо сприймає навантаження від транспортних засобів та забезпечує необхідні експлуатаційні показники, такі як: розрахункова швидкість руху автомобілів, розрахункове навантаження, пропускна і проїзна спроможність, а також показники безпеки руху. Крім того, вони забезпечують захист дорожньої основи від впливу атмосферних факторів [1, 2].

Для розвитку економіки України в останні роки постало важливе завдання збільшення частки доріг з жорстким цементобетонним покриттям. Довговічність і якість таких доріг зумовлюється якістю бетонного покриття [3].

Тому завдання дослідження бетонів на вітчизняних в'язучих та заповнювачах в поєднанні з ефективними модифікаторами і фіброю для забезпечення необхідної структури і експлуатаційних характеристик матеріалів жорстких покриттів є актуальною **науковою проблемою**.

За мету роботи приймалося: забезпечення експлуатаційних характеристик цементобетону для покриттів автомобільних доріг за рахунок раціонального підбору його складу.

Виходячи з мети, були сформульовані **наступні задачі:**

- дослідити вплив добавок, наповнювачів, а також поліпропіленової фібри на такі показники цементобетонних покриттів для автомобільних доріг, як: міцність при стиску, стираність, водонепроникність, морозостійкість, тріщиностійкість і технологічна пошкодженість;
- визначити раціональні склади бетону, використовуючи комплекс експериментально-статистичних моделей;
- провести дослідження структури дорожніх цементобетонних покриттів.

Основна частина

Аналіз будівництва та експлуатації дорожнього покриття з цементобетону в Україні та інших країнах світу показав, що найбільш перспективним матеріалом для дорожнього покриття автомобільних доріг є цементобетон. Це зумовлено тим, що таке покриття має високі фізико-механічні та

increase its durability. Road coating directly bears the load of vehicles and provides the necessary performance, such as: design speed of car traffic, design load, capacity and driving ability, as well as indicators of road safety. In addition, they protect the grounds from exposure to road weather conditions [1, 2].

For the development of Ukraine's economy in recent years, got the important task of increasing the share of roads with hard concrete covering. Durability and quality of such roads due to the quality of concrete pavement [3].

Therefore, the task of concrete studies under our binding materials and fillers in combination with effective modifiers and a fiber to provide the necessary structures and operational characteristics materials is an actual **scientific problem**.

The objective of this work: ensuring the operational characteristics of cement concrete for pavements of roads through rational selection of its composition.

On the basis of the objectives **the following objectives were formulated:**

- Investigate the effects of additives, fillers, as well as polypropylene fibers on such indicators of cement concrete pavements as: compressive strength, abrasion resistance, impermeability, frost resistance, crack resistance and technological space.
- Determine the optimal compositions of concrete of highway using complex experimental and statistical models;
- Conduct a study of the structure of road concrete slabs.

The main part

Analysis of the construction and operation of cement concrete pavement in Ukraine and other countries has shown that the most promising material for pavement of roads is concrete. This is because this coating has high physical-mechanical and performance, but when operating in winter conditions,

експлуатаційні показники, але при експлуатації в зимових умовах, ці показники протягом часу знижуються та істотно впливають на довговічність дороги, що введе до додаткових витрат на підтримку полотна дороги.

Спираючись на результати робіт попередників Радовський Б.С. [4], Солодкий С.Й. [5], Дворкін О. Л., Мішутін А.В. [6] було виявлено що покращення якості та довговічності дорожнього покриття з цементобетону можливо за рахунок введення до його складу необхідних добавок та наповнювачів.

Проведенні досліді були спрямовані на поліпшення фізико-механічних властивостей цементобетону для покриттів автомобільних доріг за рахунок раціонального підбору їх складу.

Дослідження властивостей модифікованих цементобетонних покриттів проводились методом активного експерименту [7], для чого був розроблений план експерименту та вибрані функції відгуку і чинники впливу.

У якості чинників впливу (x) приймалися: x_1 – кількість портландцементу марки 500 (від 370 до 570 кг/м³); x_2 – кількість пластифікатору Dynamon Easy 11 (DE11) на основі акрилового полімеру (від 0% до 1% від маси цементу) Mapel, Італія; x_3 – кількість повітروطгувальної добавки Mapeplast PT-1 (від 0 до 0,05% від маси цементу), Mapel, Італія; x_4 – кількість поліпропіленової фібри MAPEFIBRE NS 12/NS 18 (MN12), (від 0 до 0,6 кг/м³), Mapel, Італія; x_5 – кількість мікрокремнезему (від 0 до 15 кг/м³ від маси цементу), 1-ша серія дослідів; x^*_5 – кількість золи-винесення (від 0 до 15 кг/м³ від маси цементу), 2-га серія дослідів.

В якості матеріалу для виготовлення бетону приймалися: портландцемент марки 500, щебінь фракції 5-20 мм і митий кварцовий пісок з модулем крупності 2,5.

Фізико-механічні характеристики бетону визначалися за стандартними методиками. Водонепроникність визначалася за методом мокрої плями [8], на зразках діаметром 150 мм, $h=50$ мм. Морозостійкість визначалася по прискореному (III) методу в солоній воді при заморожуванні до -50°C [9].

Рівень критичного коефіцієнту інтенсивності

these indicators over time is reduced and has a significant impact on the longevity of the road enters additional costs to support the cloth road.

Based on the results of predecessors Radovskiy B. [4] Sweet S. [5], Dvorkin O., Mishutina A. [6] it was found that the improvement of the quality and durability road surface from of cement concrete is possible due to the introduction of its structure necessary additives and fillers.

Experiments were aimed at improving physical and mechanical properties of cement concrete for pavements of roads through judicious selection of their composition. Studies on properties of modified cement concrete pavements have been carried out by the method of active experiment [7], for which the plan of an experiment was developed and influence factors.

The factors of influence (x) taken: x_1 - amount of Portland cement brand 500 (from 370 to 570 kg/m³); x_2 - the amount of plasticizer Dynamo Easy 11 (DE11) based on acrylic polymer (from 0% to 1% by weight of cement) Mapel, Italy; x_3 - the number of air Mapeplast supplements involve PT-1 (from 0 to 0,05% by weight of cement), Mapel, Italy; x_4 - of polypropylene fiber MAPEFIBRE NS 12/18 NS (MN12), (0 to 0,6 kg/m³), Mapel, Italy; x_5 - the amount of silica fume (from 0 to 15 kg/m³ of the cement mass), 1-th series of experiments; x^*_5 - quantity of fly ash (from 0 to 15 kg/m³ of cement weight) 2 series of experiments.

As a material for the manufacture of concrete were taken: 500 Portland cement, gravel fractions 5-20 mm and silica sand with a fineness modulus of 2,5.

The physico-mechanical characteristics of concrete were determined by standard methods. Water resistance was determined by method of wet spots [8], the samples with a diameter of 150 mm, thickness 50 mm. Frost hardness was determined to accelerate (III) method in salt water at freezing to a -50°C [9].

The level of the critical stress intensity

напружень K_{1C} ($\text{МПа} \times \text{м}^{0,5}$) визначався за триточковою схемою випробувань зразків з надрізом згідно [10]. Стираність визначалася на зразках кубічної форми з ребром 7,07 см на колі стирання ЛКІ-3 [11].

Розрахунок і аналіз отриманих експериментально-статистичних моделей (ЕС-модель) виконувався з використанням програми Comrex [12].

У дослідях приймалася рухливість бетонної суміші в межах від 16 до 18 см, що досягалася шляхом підбору кількості необхідної води. За результатами показників водо-цементне відношення (В/Ц) були розраховані ЕС-моделі впливу факторів складу бетону на В/Ц для 1-й (мікрокремнезем) та 2-й (золи-винесення) серії експериментів (1, 2):

$$B / C_1 = 0,46 - 0,05\chi_1 - 0,05\chi_1^2 + 0,01\chi_1\chi_2 - 0,11\chi_2 - , (1) \\ - 0,01\chi_2^2 + 0,01\chi_3^2 + 0,02\chi_4^2 + 0,01\chi_5 + 0,02\chi_5^2$$

$$B / C_2 = 0,47 - 0,04\chi_1 - 0,04\chi_1^2 + 0,01\chi_1\chi_2 - 0,01\chi_2\chi_3 - \\ - 0,01\chi_3\chi_4 - 0,01\chi_4\chi_5 - 0,11\chi_2 - 0,01\chi_1\chi_3 + 0,01\chi_2\chi_4 - , (2) \\ - 0,01\chi_3\chi_5 - 0,01\chi_3 - 0,01\chi_1\chi_4 - 0,01\chi_2\chi_5 - 0,01\chi_4 + \\ + 0,03\chi_4^2 + 0,01\chi_1\chi_5 + 0,03\chi_5 + 0,02\chi_5^2$$

Аналіз отриманих моделей (1, 2) показав, що введення добавки DE11 збільшує рухливість бетонної суміші і зменшує її водопотребу на 20-25%. Використання в складі бетону наповнювача мікрокремнезему підвищує водопотребу бетонної суміші на 2..5%. Зменшити цей негативний вплив можна за рахунок додаткового введення добавки DE11. Застосування добавки РТ-1 (x_3), як показали досліди, незначно впливає на водопотребу суміші (менше 2%). Введення фібри MN12 (x_4) вимагає незначного збільшення кількості води (5-6%) для збереження технологічності суміші. Введення до складу бетону наповнювача золи-винесення підвищує водопотребу бетонної суміші на 4..7%.

За результатами досліджень були побудовані ЕС-моделі, що відображають вплив складу цементобетонного покриття на міцність при стиску для 1-ої (мікрокремнезем) та 2-ої (зола-винесення) серії дослідів (3, 4):

factor K_{1C} ($\text{МПа} \times \text{м}^{0,5}$) was determined by a three-point circuit test specimens notched in accordance with [10]. Abrasion was determined on samples of the cubic form with an edge of 7,07 cm on LCI-3 [11].

Calculation and analysis of experimental and statistical models (EU model) was run using the Comrex programs [12].

In the experiments taken mobility of concrete mixture in the range of 16 to 18 cm, which is achieved by adjusting the amount of water needed. Based on the results of the indicators of water/cement ratio (W/C) were derived EU-factors of for the 1st (micro silica) and 2nd (fly ash) series of experiments (1, 2):

$$W / C_1 = 0,46 - 0,05\chi_1 - 0,05\chi_1^2 + 0,01\chi_1\chi_2 - 0,11\chi_2 - , \\ - 0,01\chi_2^2 + 0,01\chi_3^2 + 0,02\chi_4^2 + 0,01\chi_5 + 0,02\chi_5^2 (1)$$

$$W / C_2 = 0,47 - 0,04\chi_1 - 0,04\chi_1^2 + 0,01\chi_1\chi_2 - 0,01\chi_2\chi_3 - \\ - 0,01\chi_3\chi_4 - 0,01\chi_4\chi_5 - 0,11\chi_2 - 0,01\chi_1\chi_3 + 0,01\chi_2\chi_4 - , \\ - 0,01\chi_3\chi_5 - 0,01\chi_3 - 0,01\chi_1\chi_4 - 0,01\chi_2\chi_5 - 0,01\chi_4 + \\ + 0,03\chi_4^2 + 0,01\chi_1\chi_5 + 0,03\chi_5 + 0,02\chi_5^2 (2)$$

The analysis of the obtained models (1, 2) showed that the introduction of additives DE11 increases mobility of concrete mix and water requirement reduces her to a 20-25%. Use in concrete composition microsilica increases water consumption of concrete mix at 2...5%.

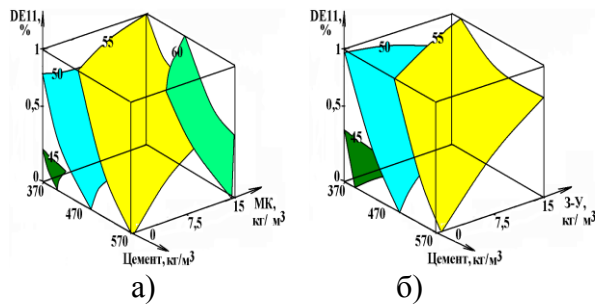
To reduce this negative impact may be due to the additional introduction of additives DE11. The use of additives of РТ-1 (x_3), as shown by experiments, had little impact on water consumption of mixture (less than 2%). Introduction fibers MN12 (x_4) requires a slight increase in the number of water (5-6%) to save the technology mix. Introduction to the structure of concrete fly ash filler increases the water requirement of concrete mixture in 4-7%.

Based on the results of the research there were built the EU model, reflecting the influence of the composition of cement concrete at compressive strength for the first (microsilica) and second (fly ash) series of experiments (3, 4):

$$f_{ck.cube,1} \text{ МПа} = 52,25 - 4,48\chi_1 - 0,68\chi_1^2 + 1,07\chi_1\chi_2 - 1,19\chi_2\chi_3 - 0,26\chi_3\chi_4 - 0,69\chi_4\chi_5 + 2,61\chi_2 + 0,74\chi_1\chi_3 - 0,41\chi_2\chi_4 - 1,12\chi_3 + 0,25\chi_1\chi_4 - 0,32\chi_4 + 0,28\chi_1\chi_5 + 1,47\chi_5 - 0,71\chi_5^2 \quad (3)$$

$$f_{ck.cube,2} \text{ МПа} = 49,15 + 3,76\chi_1 - 0,43\chi_2\chi_3 + 1,05\chi_3\chi_4 - 0,44\chi_4\chi_5 + 4,35\chi_2 - 0,75\chi_3 - 0,51\chi_1\chi_4 + 0,84\chi_2\chi_5 - 1,08\chi_4^2 - 2,82\chi_5 - 1,54\chi_5^2 \quad (4)$$

Для наочності за моделями (3, 4) були побудовані діаграми у вигляді кубу для першої (мікрокремнезем) та другої (золи-винесення) серії дослідів (рисунок 1 а), б)).



- а) для 1-ої (мікрокремнезем),
- б) для 2-ої (зола-винесення) серії дослідів

Рисунок 1 – Вплив варійованих факторів складу цементобетону на міцність при стиску

Як видно з рисунків 1 а), б), збільшення кількості портландцементу (з 370 до 570 кг/м³) веде до підвищення рівня міцності при стиску від 45 до 55 МПа (22%).

Найбільшу міцність показують склади (рисунок 1 а), в які введені добавка DE11 (1%) і 15 кг/м³ наповнювача мікрокремнезему від 45 до 60 МПа (33%).

Введення до складу бетону наповнювача золи-винесення (до 5 кг/м³) спільно з добавкою DE11 (1%) і портландцементом до 500 кг/м³ зберігає міцність при стиску до 50 МПа (рисунок 1 б).

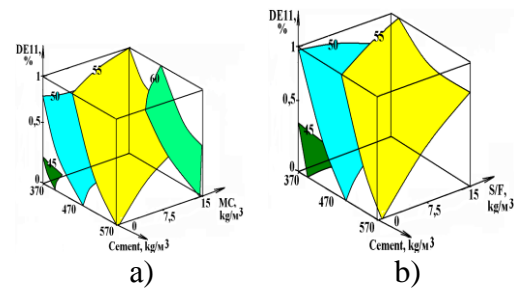
Аналіз впливу факторів складу на міцність бетону на розтяг при згині показав, що збільшення кількості цементу спільно з поліпропіленовою фіброю (до 0,6 кг/м³) і мікрокремнеземом (до 15 кг/м³) практично пропорційно підвищує міцність на розтяг при згині (від 5 до 7 МПа).

Проведені досліди щодо ударостійкості матеріалу показали, що найбільший вплив на величину ударної міцності зразків вносить

$$f_{ck.cube,1} \text{ МПа} = 52,25 - 4,48\chi_1 - 0,68\chi_1^2 + 1,07\chi_1\chi_2 - 1,19\chi_2\chi_3 - 0,26\chi_3\chi_4 - 0,69\chi_4\chi_5 + 2,61\chi_2 + 0,74\chi_1\chi_3 - 0,41\chi_2\chi_4 - 1,12\chi_3 + 0,25\chi_1\chi_4 - 0,32\chi_4 + 0,28\chi_1\chi_5 + 1,47\chi_5 - 0,71\chi_5^2 \quad (3)$$

$$f_{ck.cube,2} \text{ МПа} = 49,15 + 3,76\chi_1 - 0,43\chi_2\chi_3 + 1,05\chi_3\chi_4 - 0,44\chi_4\chi_5 + 4,35\chi_2 - 0,75\chi_3 - 0,51\chi_1\chi_4 + 0,84\chi_2\chi_5 - 1,08\chi_4^2 - 2,82\chi_5 - 1,54\chi_5^2 \quad (4)$$

For clarity on models (3, 4) were graphed in the form of a cube for the first (microsilica) and second (fly ash) series of experiments (Figure 1, a), b)).



- a) For the first (microsilica)
- b) For the second (fly ash)

Figure 1 - Effect of composition factors on cement concrete strength

As can be seen from figures 1 a), b), increase the amount of Portland cement (from 370 to 570 kg/m³) increases the level of compressive strength from 45 to 55 MPa (22%). the greatest strength of the compositions show structures (Figure 1 a), which introduced supplements DE11 (1%) and 15 kg/m³ of silica fume from 45 to 60 MPa (33%). Introduction to composition of concrete fly ash filler (up to 5 kg/m³), in conjunction with the additive DE11 (1%) and Portland cement up to 500 kg/m³ saves compressive strength up to 50 MPa (Figure 1 a), b)).

Analysis of influence of factors of structure on concrete durability on stretching at a bend has shown that increase in amount of cement together with a fiber (to 0,6 kg/m³) and of microsilica (to 15 kg/m³) almost in proportion increases durability on stretching at a bend (from 5 to 7 MPa).

Experiments on impact resistance of the material showed that the greatest influence

кількість введеної поліпропіленової фібри MN12. Так, при введенні $0,6 \text{ кг/м}^3$, ударостійкість бетону зростала до 33%. При введенні до складу бетону наповнювача мікрокремнезему разом з фіброю і підвищення кількості портландцементу (до 500 кг/м^3) підвищується ударна міцність бетонів до 8 Дж/см^2 (на 50%).

Аналіз стираності матеріалу, що досліджувався, показав, що найбільш ефективно цей показник знижується за рахунок застосування дисперсного армування фіброю. Склади з вмістом фібри (до $0,6 \text{ кг/м}^3$) знижують стираність приблизно на 60-63%. При підвищенні кількості портландцементу стираність бетону знижується за рахунок збільшення міцності матеріалу. Введення наповнювача мікрокремнезему сприяє незначному зменшенню стираності, що можна пояснити зниженням кількості мікрodefektів у бетоні.

Досліди показали, що на водонепроникність зразків з цементобетону істотно впливає кількість цементу та добавки DE11. Збільшення рівня водонепроникності до W10 досягається при введенні в цементобетон наповнювача мікрокремнезему разом з добавкою DE11 (1%) та кількості цементу до 500 кг/м^3 .

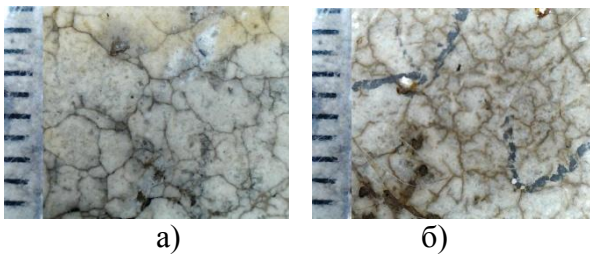
Тріщиностійкість визначалася із застосуванням методики механіки руйнувань за рівнем критичного коефіцієнту інтенсивності напружень $K_{1c} (\text{МПа} \times \text{м}^{0,5})$. Аналіз впливу складу матеріалу цементобетонного покриття на їх тріщиностійкість показав, що введення до складу наповнювача мікрокремнезему (до 15 кг/м^3) збільшує K_{1c} на $0,02-0,05 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$. Введення наповнювача золи-винесення (до 10 кг/м^3) збільшує K_{1c} на $0,02-0,03 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$. Для усіх бетонів, що досліджувалися, визначалась технологічна пошкодженість за допомогою електронних фотографій (рисунок 2), прояви тріщин і поверхонь розділу з використанням розчину тинина.

on the magnitude of the impact strength of the samples introduced number of fibers MN12. So, at introduction of $0,6 \text{ kg/m}^3$, crash-worthiness of concrete increased up to 33%. At introduction to composition of concrete of microsilica together with a fiber and increase in quantity of cement (to 500 kg/m^3) increases the shock durability of concrete to 8 J/cm^2 (by 50%).

Study on the abrasion of material, showed that most effectively this figure is reduced by applying dispersed reinforcing fibers. Formulations of fiber content (up to 0.6 kg/m^3) will reduce abrasion of approximately 60-63%. If you increase the amount of Portland cement concrete abrasion is reduced by increasing the strength of the material. Entering of a filler of microsilica promotes insignificant reduction of a wear ability that it is possible to explain with decrease in amount of micro defects in concrete.

Experiences showed that water tightness of samples from of cement concrete significantly is influenced by amount of cement and DE11 additive. Increase in level of water tightness up to W10 is reached when entering in cement concrete of microsilica filler together with DE11 additive (1%) and amounts of cement to 500 kg/m^3 .

Fracture toughness was determined by using the methods of mechanics of destruction on the level of the critical stress intensity factor $K_{1s} (\text{МПа} \times \text{м}^{0,5})$. Material on re-coated fracture toughness showed that introduction to composition microsilica (15 kg/m^3) increases K_{1s} by $0,02-0,05 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$. Introduction of a filler of ashes ablation (to 10 kg/m^3) increases K_{1s} by $0,02-0,03 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$. For all concrete technological damage shall be determined by electronic photographs (Figure 2).



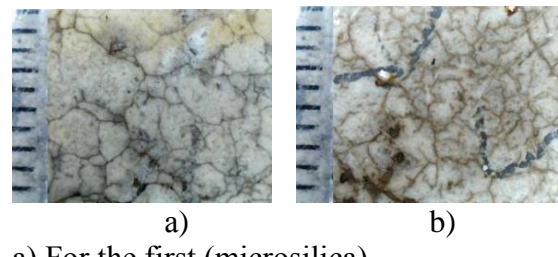
а) 1-я серія (мікрокремнезем);
б) 2-я серія дослідів (зола-винесення)

Рисунок 2 – Приклад проявлених технологічних тріщин на зразках цементобетонного покриття за допомогою цифрового мікроскопу Sigeta Cam-04

Аналіз показав, що коефіцієнт технологічної пошкодженості бетонів змінювався з 1,65 до 1,90. Спостереження показали, що при введенні до складу бетону раціональної кількості наповнювача золи-винесення (до $7,5 \text{ кг/м}^3$), коефіцієнт технологічної пошкодженості зменшується на 4-6% у порівнянні зі зразками без наповнювача. Збільшення кількості цементу (до 500 кг/м^3), що вводиться до бетонної суміші сумісно з раціональною кількістю наповнювача мікрокремнезему, веде до того, що розміри кластерів зменшується та покращується початкове структуроутворення композиту з цементобетону.

Одним з основних факторів, які значно впливають на фізико-механічних і експлуатаційні характеристики покриття автомобільних доріг з цементобетону, є циклічний вплив на нього знакозмінної температури (заморожування – відтаювання). Кількість річних циклів заморожування – відтаювання дорожнього покриття залежить від зони його розташування. Автомобільна дорога, як правило, дуже протяжна споруда. Це визначає відмінність в умовах експлуатації дорожнього покриття для її ділянок [13].

Були проведені досліді впливу повітроутягувальної добавки РТ-1 (0,05%) на морозостійкість дорожнього покриття з бетону [14]. Досліді показали, що застосування цієї добавки призводить до збільшення кількості повітря у бетонній суміші на 2,5% і становить 5% від об'єму зразка. При цьому забезпечується розподіл рівномірних замкнутих пор у матеріалі, який склав 34 пори з діаметром з 0,001 до 0,05 мм на 1 см^2 (приріст замкнутих пор контрольного зразка склав 24%), рисунок 3.



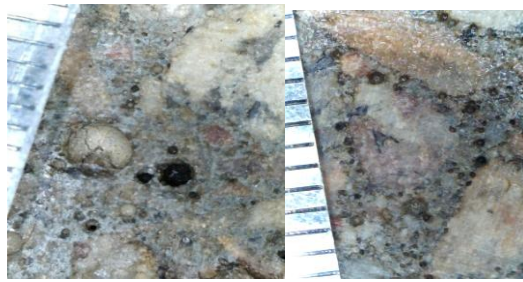
а) For the first (microsilica)
б) For the second (fly ash)

Figure 2 - Example of the shown technological cracks of a cement-concrete paving on samples by means of a digital microscope of Sigeta Cam-04

The analysis showed that K_{Is} changed with 1,65 to 1,90. Observations showed that at introduction to composition of concrete of rational amount of ashes ablation (to $7,5 \text{ kg/m}^3$), the coefficient of technological damage decreases by 4-6%. Increase in amount of cement (to 500 kg/m^3), together with rational amount of microsilica, improves the concrete structure formation.

One of the main factors that significantly influences the physical-mechanical and operational characteristics of the coating of cement roads, there are cyclical impact on him alternating temperatures (freezing - thawing). Number of summer cycles of freezing - thawing of pavement depends on the location of the zone. The road is usually a very long construction. It is defines distinction under operating conditions [13].

Experiments air-entraining additives РТ-1 (0,05%) for frost resistance of concrete. Experiences showed that use of this additive leads to increase in amount of air in concrete mix for 2,5% and makes 5% of sample volume [14]. At the same time uniform distribution of closed pores in material which made 34 times with a diameter from 0,001 to 0,05 mm on 1 cm^2 (the gain of closed pores of a control sample made 24%), Figure 3.



а) б)

а) контрольний склад;
б) з добавкою РТ-1 (0,05%)

Рисунок 3 – Дослідження пористості цементобетона для дорожнього покриття

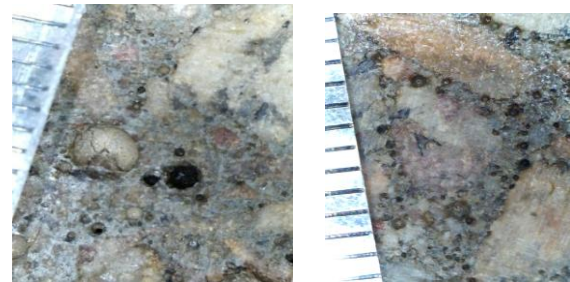
Випробування на міцність при стиску після випробування на морозостійкість зразків показали, що при підвищенні кількості портландцементу (до 570 kg/m^3) спостерігається збільшення міцність зразка матеріалу більше 60 МПа. Введення до складу добавок DE 11 (1%) і РТ-1 (до 0,05%), спільно з наповнювачем мікрокремнезему при середній кількості цементу (до 470 kg/m^3) веде до забезпечення міцності бетону до 55 МПа.

Визначення зношування верхнього шару полотна автомобільних доріг з цементобетонним покриттям веде до зменшення ефективної товщини і руйнування покриття. Тому було необхідно проведення дослідження процесу стирання зразків покриття, після випробування на морозостійкість (G_f). Проведені випробування показали, що введення наповнювача мікрокремнезему (до 15 kg/m^3) спільно з фіброю (до $0,6 \text{ kg/m}^3$) знижують G_f до $0,3 \text{ g/cm}^2$ (більше 50%). Введення до складу бетону наповнювача золи-винесення (до 15 kg/m^3) знижує стираність зразків цементобетонного покриття на 8-10%.

Висновки

Проведенні дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Підвищення міцності при стиску (22%), може досягнуто за рахунок раціонального підбору кількості портландцементу добавка DE11 та наповнювача мікрокремнезему.
2. Підвищення міцності бетону на розтяг при згині (20%) може бути досягнуто за рахунок раціонального підбору кількості портландцементу сумісно з поліпропіленовою фіброю (до $0,6 \text{ kg/m}^3$) і наповнювачем



а) б)

а) The composition of the control;
б) With the addition of PT-1 (0.05%)

Figure 3 – Research of porosity of a cement concrete for a paving

Frost resistance test samples showed that if you increase the amount of Portland cement (up to 570 kg/m^3), there has been an increase in the strength of the sample more than 60 МПа. Introduction to composition supplements (11%), DE 1 and PT-1 (up to 0,05%), mixed with Silica fume when average number cement (up to 470 kg/m^3) leads to ensure durability of concrete up to 55 МПа.

Determination of depreciation of the upper coat layer of the highway leads to reduction of effective thickness and destruction of a covering. Therefore carrying out a research of process of attrition of samples of a covering, after testing for frost resistance (G_f) was necessary. The tests showed that entering of microsilica (to 15 kg/m^3) together with a fiber (to $0,6 \text{ kg/m}^3$) is reduced G_f to $0,3 \text{ g/cm}^2$ (more than 50%). Introduction in composition of concrete of ashes ablation (to 15 kg/m^3) reduces abrasion coating cement concrete samples 8-10%.

Conclusions

Research has led to the following conclusions:

1. Increase compressive strength (22%), can achieved by the rational selection of the quantity of cement, additives DE11 and fillers of microsilica.
2. Increasing the tensile strength of the concrete in bending (20%) can be achieved through rational selection of the quantity of Portland cement in conjunction with polypropylene fiber (up to $0,6 \text{ kg/m}^3$) and

мікрокремнеземом (до 15 кг/м³).

3. Покращення ударостійкості матеріалу дорожнього покриття може бути досягнуто за рахунок раціонального підбору кількості портландцементу, поліпропіленової фібри та мікрокремнезему. Так, при введенні 0,6 кг/м³ поліпропіленової фібри, ударостійкість бетону зростала до 33%. При введенні до складу бетону наповнювача мікрокремнезему разом з фіброю і підвищення кількості портландцементу (до 500 кг/м³) підвищується ударна міцність бетонів на 50%.

4. Аналіз результатів досліджень, щодо стираності матеріалу, показав що підвищення стійкості до стирання матеріалу дорожнього покриття може бути досягнуто за рахунок раціонального підбору кількості портландцементу, дисперсного армування фіброю та введення у склад мікрокремнезему. Так при введенні у склад матеріалу фібри (до 0,6 кг/м³) знижують стираність на 60-63%. Введення наповнювача мікрокремнезему сприяє незначному зменшенню стираності, що можна пояснити зниженням кількості мікродефектів у бетоні.

5. Підвищення водонепроникності зразків матеріалу дорожнього покриття може бути досягнуто за рахунок раціонального підбору кількості цементобетону та добавки DE11 (W10).

Література

1. Лівша Р. Я. Поздовжня стійкість цементобетонного покриття / Р. Я. Лівша, М.Я. Гнатів // Випуск 1, – Київ: 2003. – С 99-102.
2. Шейнин А.М. Причина долговечности. Высокопрочные морозостойкие бетоны для дорожного строительства / А.М. Шейнин, С.В. Эккель // Строительная техника и технологии. К. – 2004. – № 1. – С. 62 - 65.
3. Немчинов Ю.И. Тенденции и направления внедрения бетонов нового поколения в Украине. / Ю.И. Немчинов, П.В. Попруга, Л.А. Шейнич, Г.Б. Гирштель // *Вип. 72*. – К.: 2009. – С 3-7.
4. Радовский Б.С. Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции / Радовский Б.С. – Санкт – Петербург. №10, 2010. – С 62 – 70.
5. Солодкий С.Й. Зміна тріщиностійкості дорожнього бетону в експлуатаційній стадії / С.Й. Солодкий, С.М. Толмачев // Вісник ОДАБА. – 2014. №55. – Одеса. – С. 230-235.
6. Дворкін Л.Й. Гідротехнічні та дорожні бетони / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.С. Дорофеев, А.В. Мішутін; Н. п. – Одеса.: Е., 2012. – 214с.

microsilica (up to 15 kg/m³).

3. Improving the impact resistance of the material of pavement can be achieved through rational selection of the quantity of Portland cement, fiber and microsilica. So, at introduction of 0,6 kg/m³ of a fiber, crash-worthiness of concrete increased up to 33%. With the introduction of a composition microsilica concrete together with fiber and increase the amount of Portland cement (up to 500 kg/m³) increases impact strength concretes at 50%.

4. Analysis of the results of studies on the abrasion of material showed that increased resistance to abrasion material of pavement can be achieved through rational selection of the quantity of Portland cement, fiber and microsilica. So when introduced into the composition of the material fibers (up to 0.6 kg/m³) will reduce abrasion on 60-63%. Introduction of a filling agent of microsilica promotes insignificant reduction of abrasion material that can be attributed to a decrease in the number of micro-defects in the concrete.

5. Improving water resistance of samples of material of pavement can be achieved through rational selection of the quantity of cement concrete additives and DE11 (W10).

References

1. Lefthander R. Longitudinal stability of a cement-concrete covering/G. Levsh, M. Ignat//Scientific and technical collection. Release 1 - Kiev: 2003. - With 99-102.
2. Sheynin A. Reason for durability. High-strength frost-resistant concrete for road construction / A. Sheining, S. Ekkel //Construction equipment and technologies. To. - 2004. - No. 1. - Page 62 - 65.
3. Nemchinov Y.. Tendetsiy and the directions of implementation of concrete of new generation in Ukraine. / Y. Nemchinov, P. Podpruga, L. Sheynich, B. Girshtel//Issue 72. - M.: 2009. - With 3-7.
4. Radovsky B. Construction of roads with cement-concrete coverings in the USA: new tendencies / Radovsky B. - St. Petersburg.: "The portly equipment" No. 10, 2010. - With 62 - 70.
5. Sweet S. Change of crack resistance of road concrete in an operational stage / Page. I. Sladky, Tolmachev S.// OGASA. - 2014. No. 55. - Odessa: Page 230-235.
6. Dvorkin L. Hydrotechnical and road concrete

7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. Чинний від 01.07.2009. – К: Дер-ня України, 2009. – 37 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-49-96. Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. – Чинний від 01.09.1996. – К: Дер-ня України, 1996. – 10 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-227:2009. Бетони. Методи визначення характеристики тріщиностійкості при статичному навантаженні. – Чинний від 22.12.2009 – К: Дер-ня України, 2009. – 28 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиранності. – Чинний від 01.09.2010. – К: Дер-ня України, 2010. – 8 с.
12. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков // - М.: Высшая школа, 1989. - 327 с.
13. Шейнин А. М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991,— 151 с.
14. Мишутин А.В. Истираемость и морозостойкость для автодорог из цементобетона / А.В. Мишутин, И.П. Солоненко // Вісник ОДАБА. Вип.№58. – Одеса, 2015. – С. 236-245.
- / L. Dvorkin, A. Dvorkin, V. Dorofeyev, A. Mishutina; Education guidance. - Odessa.: Evens, 2012. - 214 pages.
7. Adler Y. Planning of an experiment by search of optimum conditions / Y. Adler, E. Markova, Y. Granovsky. The second prod. - M.: Science, 1976. - 280 pages.
8. DSTU B V.2.7-170: 2008. Methods of determination of average density, humidity, water absorption, porosity and water tightness. Acting of 01.07.2009. - K: Ukraine, 2009. - 37 pages.
9. GOST B.2.7-49-96. Construction materials. Concrete. The accelerated methods of determination of frost resistance in case of repeated freezing and thawing. - Introductions 01.09.1996. - K: Ukraine, 1996. - 10 pages.
10. GOST V.2.7-227: 2009. Concrete. Methods of determination of the characteristic of crack resistance
11. DSTU B V.2.7-212:2009. Building materials. Concrete. Methods for determining abrasion. - Effective as of 01.09.2010. - K: State Committee of Ukraine, 2010. - 8 sec.
12. Voznesensky V. A. Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer/ V. A. Voznesensky, T. V. Liashengko, B. L. Ogarkov// -M.: The higher school, 1989. - 327 pages.
13. Sheining A. Tsementobeton for road and airfield coverings. - M.: Transport, 1991,-151 pages.
14. Mishutin A. Istirayemost and frost resistance for highways from tsementobeton / A. Mishutin, I. Solonenko // Messenger of OGASA. Вип.№58. - Odessa, 2015. - Page 236-245.

Рецензенти:

Мишутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **05.10.2016 р.**