

УДК 625.7/.8

Онищенко А.М., к-т техн. наук, Возний С.П.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ДЛЯ УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКУ МОНОЛІТНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. В даній статті запропоновано метод з визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості цементобетону. Це дозволило удосконалити умову міцності при розрахунку монолітних цементобетонних покриттів за рахунок міцності на розтягування при згині бетону з врахуванням коефіцієнту температурної тріщиностійкості. З метою підвищення довговічності покриття з позиції тріщиностійкості від дії коліс транспортних засобів та температури.

Об'єкт дослідження – цементобетонне покриття.

Мета роботи - розробка методу визначення коефіцієнту температурної тріщиностійкості цементобетону для уточнення розрахункової міцності на розтягування при згині.

Методи дослідження – аналітико – експериментальні.

Ключові слов: Цементобетон, коефіцієнт температурної тріщиностійкості, міцність на розтяг при згині.

UDC 625.7/.8

Onishchenko A.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Voznyy S.P.

ESTIMATION METHOD FOR THERMAL CRACKING RESISTANCE COEFFICIENT TO ENSURE GREATER CERTAINTY OF CALCULATION OF MONOLITHIC CEMENT CONCRETE ROAD SURFACES

Abstract. This paper proposes a method to determine the coefficient of thermal cracking resistance. It has allowed improving the condition of the strength in the estimation of monolithic cement concrete surfaces due to the tensile strength of cement concrete in bending, taking into account the coefficient of thermal cracking resistance. To improve durability of the surface as for cracking resistance to impact of wheels of vehicles and temperature.

The object of study - cement concrete surfaces

Objective of the paper - to develop a method for estimation the coefficient of thermal cracking resistance of cement concrete, in order to make more precise the estimated tensile strength in bending.

Research methods – analytical and experimental.

Key words: cement concrete, thermal cracking resistance coefficient, tensile strength in bending.

УДК 625.7/.8

Онищенко А.Н., к-т техн. наук, Возный С.П.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ РАСЧЕТА МОНОЛИТНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В данной статье предложен метод по определению коэффициента температурной трещиностойкости цементобетона. Это позволило усовершенствовать условие прочности при расчете монолитных цементобетонных покрытий за счет прочности на растяжение при изгибе бетона с учетом коэффициента температурной трещиностойкости. С целью повышения долговечности покрытия с позиции трещиностойкости от действия колес транспортных средств и температуры.

Объект исследования - цементобетонное покрытие.

Цель работы - разработка метода определения коэффициента температурной трещиностойкости цементобетона для уточнения расчетной прочности на растяжение при изгибе.

Методы исследования - аналитико - экспериментальные.

Ключевые слова: Цементобетон, коэффициент температурной трещиностойкости, прочность на растяжение при изгибе.

Вступ

Як відомо, що цементобетонне покриття доріг є найбільш довговічним у порівнянні з асфальтобетонними покриттями. Відповідно до програми КМУ з розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки [1]. Яка передбачає будівництво, реконструкцію, ремонт та експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування згідно із стандартами, приведеними у відповідність із сучасними стандартами якості дорожньо-будівельних робіт, з використанням новітніх технологій, методів та інших дорожньо-будівельних матеріалів вітчизняного виробництва, влаштування дорожнього покриття на основі цементобетону, підвищення ефективності інноваційної та науково-технічної діяльності та ін.

Дорожній одяг не може бути абсолютно тріщиностійким, однак застосування ефективних методів боротьби з утворення тріщин дозволило б збільшити терміни служби покриттів, знизити витрати на утримання і ремонт за рахунок підвищення стійкості цементобетона до тріщин.

Основними причинами руйнувань покриття

у вигляді тріщин вважають вплив транспортних навантажень, перепади температур від позитивних до негативних, низькі негативні температури, утворення пучин.

Згідно [2] з сучасними уявленнями визначальний вплив на несучу здатність дорожніх плит при згині мають тріщини в структурі бетону, які розвиваються за механізмом нормального відриву. Процес розвитку тріщин має стійкий характер, що супроводжується поступовим накопиченням локальних руйнувань. Коли накопичення мікро- і макродефектів в структурі бетону сягає певної критичної межі, утворення нових тріщин і розвиток вже існуючих відбувається

Introduction

Cement concrete road surface is known to be the most durable as compared to bituminous concrete pavement. According to the program of the CMU on public roads in 2013-2018 [1]. It specifies the construction, reconstruction, repair and operational maintenance of public roads in accordance with the standards complying with applicable regulations on quality of road construction works, using the advanced technologies, methods and other road construction materials of domestic production, installation of road surface based on the cement concrete, increase of efficiency of innovative and scientific technological activities etc.

Road surface cannot be completely cracking resistant, though application of effective cracking prevention methods would increase service life of surfaces, reduce maintenance and repair costs by improving the cement concrete cracking resistance.

The main causes of surface cracking relate to the impact of traffic loads, temperature changes from positive to negative, low negative temperatures, and the frost heaving.

According to [2] modern concepts, the decisive influence on the bearing capacity of road slabs in bending refers to cracks in the concrete structure, developing as normal fracture. Development of cracks is stable, alongside with the gradual accumulation of local fractures. When the accumulation of micro and macro defects in concrete structure reaches a certain critical level, formation of new cracks and development of existing ones is performed

лавиноподібно - бетон руйнується. Якщо бетон працює в межах прогнозованих експлуатаційних навантажень, цей процес може тривати десятки років. Прискорення руйнування відбувається за перевищення розрахункових навантажень і посилення агресивної дії тепловолігисних і корозійних чинників.

Отже, довговічність бетонної плити при згині визначається часом або кількістю циклів сумарної дії навантаження і зовнішніх чинників від моменту зародження тріщини до початку її нестійкого розповсюдження.

Тріщиностійкість цементобетону при багаторазових температурних і вологісних впливах має велике значення для дорожніх, транспортних та інших конструкцій з періодичним зволоженням. Відомо, що циклічні впливи позитивних температур і вологи значно прискорюють руйнування бетону в конструкціях. Однак вплив таких чинників на витривалість і тріщиностійкість бетону вивчено мало.

При висиханні водонасиченого бетону виникає градієнт по перетину бетонного елемента, що зумовлює появу внутрішніх напруг внаслідок капілярної усадки, так і різної деформованості поверхневих і внутрішніх зон.

У поверхневому висихаючому шарі бетону виникають напруження розтягу, що досягають 25-30% від межі міцності на розтяг при згині $R_{зг}$. У разі багаторазового повторення циклів зволоження - висихання в структурі бетону накопичуються мікропошкодження і тріщини. У певних умовах напруги від зовнішнього навантаження можуть складатися з напругою від капілярної усадки, що створює небезпеку передчасного руйнування матеріалу (бетону), а відповідно і всієї конструкції [3].

Практичний досвід використання ВБН В.2.3-218-008-97 [4] вказує на необхідність його удосконалення, а саме методика розрахунку монолітних цементобетонних покриттів за рахунок коефіцієнта температурної тріщиностійкості.

incrementally and concrete is fractured. If the concrete operates within the estimated operating loads, this process can take decades. Acceleration of fracturing occurs at design loads exceeding and increase of aggressive action of thermal, humidity, and corrosive factors.

Thus, the durability of concrete slab in bending is determined by time or the number of cycles of total loading and external factors, from cracking until unstable development.

Cement concrete cracking resistance under repeated temperature and humidity effects is of high importance for road, transport and other structures with periodic moistening. Cyclical influences of positive temperatures and moisture are known to greatly accelerate the fracturing of concrete in structures. However, the impact of these factors on durability and crack resistance of concrete is slightly studied.

Drying of water-saturated concrete causes gradient over the cross section of the concrete element, resulting in internal tension due to capillary shrinkage, as well as different deformation of surface and internal areas. Tensile strength occurs in the drying layer of concrete, reaching 25-30% of the tensile strength limit $R_{зг}$ in bending. In case of multiple repeated cycles of moistening - drying, the structure of concrete accumulates micro fractures and cracks. Under certain conditions, the tension of external load may add to tension of capillary shrinkage, resulting in the threat of early fracture of the material (concrete), and, therefore, the whole structure [3].

Practical experience of application of ICS V.2.3-218-008-97 [4] points to the need for its improvement, namely the method of estimation of monolithic cement concrete surfaces by the coefficient of thermal cracking resistance.

Аналіз публікацій

Досвід експлуатації дорожніх одягів з цементобетонним покриттям показав, що строк їх служби перевищує очікуваний. Так, проектний строк служби таких покриттів в більшості країн раніше становило 20 років, а фактичний строк в середньому по 19 штатах США 27 років, в Австрії – 30 років, в Німеччині і Великобританії 35 - 45 років. У Великобританії розрахунковий строк служби цементобетонних покриттів рахують 40 років [5]. За цей час асфальтобетонне покриття необхідно декілька разів перекривати захисним шаром і в багатьох випадках капітально ремонтувати [5]. Якість дорожніх одягів, безпосередньо впливає на умову і безпеку руху транспортного засобу, визначається багатьма факторами. Однак, навіть суворе дотримання нормативних вимог і технологій виробництва робіт при будівництві і експлуатації, як правило, не в стані виправити розрахунки, допущення на стадії проектування. Саме ефективність проектних рішень в значному ступені визначає надійність і довговічність дорожніх одягів [5]. Питанням проектування жорстких дорожніх одягів присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як: В.К. Апестин, О.Т. Батраков, А.Г. Батракова, Ю.М. Васильєв, І.П. Гамеляк, С.К. Головка, Е.А. Гузєєв, Б.С. Радовський, В.М. Ряпухін, В.К. Жданюк, С.Н.Леонович, Г.В. Малеванський, В.В. Мозговий, В.Д. Казарновський, М.С. Коганзон, С.Й. Солодкий, В.М. Яромко, П.І.Теляєв, С.М. Толмачов, О.Г. Островерхий, А.О. Салль, та ін. [2,4-9].

В Україні розрахунок монолітних бетонних покриттів виконують згідно з Відомчого будівельного нормативу [4], який полягає у порівнянні розрахункової міцності бетону на розтяг при згині з максимальним напруженням, що виникає в дорожній плиті на пружній основі від дії навантаження і перепаду температур за товщиною плити.

Розрахункова міцність бетону дорівнює значенню класу міцності цементобетону на розтяг при згині (B_{tb}) з урахуванням двох

Analysis of publications

Previous use of cement concrete surfaces proved exceeding of expected service life. Thus, the design service life of such surfaces in most countries amounted to 20 years, while the actual service life lasts in average 27 years in 19 US states, 30 years in Austria, 35 - 45 years in Germany and the UK. In the UK the estimated service life of cement concrete surfaces is accounted as 40 years [5]. During this period the bituminous concrete pavement shall be covered with a protective layer for several times, and in many cases it shall be overhauled [5]. The quality of road surfaces directly affects the condition and safety of the vehicle and is determined by many factors. However, even strict adherence to regulatory requirements and technologies of work at construction and operation is generally unable to correct the estimations and assumptions at the design stage. Just efficiency of design solutions to a large degree determines the reliability and durability of road surfaces [5]. Design of rigid road surfaces is the subject of papers of many domestic and foreign scholars, such as: V.K. Apestyn, O.T. Batrakov, A.G. Batrakova, Yu.M. Vasyliiev, I.P. Gameliak, S.K. Golovko, E.A. Guzeev, B.S. Radovsky, V.M. Riapukhin, V.K. Zhdaniuk, S.N. Leonovych, G.V. Malevansky, V.V. Mozgovy, V.D. Kazarnovsky, M.S. Koganzon, S.Y. Solodky, V.M. Yaromko, P.I. Teliiev, S.M. Tolmachev, O.G. Ostroverckhy, A.O. Sall' and others [2,4-9].

In Ukraine the estimation of monolithic concrete surfaces complies with the Industrial construction standard [4]; it is based on comparison of the estimated tensile strength of concrete in bending with a maximum pressure, occurring in the road slab on elastic foundation in result of the load and temperature difference, by thickness of a slab.

The estimated concrete strength equals to the strength class of cement concrete in bending (B_{tb}), considering two empirical

емпіричних коефіцієнтів – втоми бетону (K_V) і умов набору міцності (K_M). Розрахунок монолітних цементобетонних покриттів проводять шляхом перевірки міцності покриття за формулою [4]:

$$K_{МЦ} \leq \frac{R_1^{розп}}{\delta_{pt}} \quad (1)$$

де $K_{МЦ}$ - коефіцієнт міцності, що визначається залежно від категорії;

$R_1^{розп}$ - розрахункова міцність бетону на розтяг при згині;

δ_{pt} - напруження розтягу при згині, що виникають у бетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити.

Розрахункову міцність на розтягування при згині цементобетонну визначають за формулою [4]:

$$R_1^{розп} = B_{tb} \cdot K_M \cdot K_V, \quad (2)$$

В Москві [7] розрахункова міцність бетону дорівнює значенню класу міцності бетонну на розтяг при згині (B_{tb}) з урахуванням трьох емпіричних коефіцієнтів втоми бетону (K_V), умов набору міцності ($K_{н.п.}$) та впливу перемінного заморожування та відтавання (K_F). Отже в Росії розрахункову міцність цементобетонна на розтяг при згині ($R_{pu}^{расч}$) визначають за формулою [7]:

$$R_{pu}^{расч} = B_{tb} \cdot K_{н.п.} \cdot K_V \cdot K_F, \quad (3)$$

Як видно із виразу (3), що в нормативному документі розрахунок монолітних цементобетонних покриттів на міцність виконують з урахуванням коефіцієнта впливу перемінного заморожування і відтавання, який приймається ($K_F = 0,95$) є узагальненим значенням і приймається для всіх видів цементобетонну для розрахунку. Використання коефіцієнту (K_F) дозволить адекватно враховувати оцінку морозостійкості бетону та

coefficients, i.e., fatigue of concrete (K_V) and terms of concrete strength development (K_M). Estimation of the monolithic cement surfaces is carried out by testing the strength of surface, using the formula [4]:

$$K_{МЦ} \leq \frac{R_1^{розп}}{\delta_{pt}} \quad (1)$$

where $K_{МЦ}$ is a strength coefficient, determined depending on the category;

$R_1^{розп}$ is an estimated tensile strength of concrete in bending;

δ_{pt} is a tensile strength in bending, arising in the concrete surface due to the load, taking into account the temperature difference, by thickness of a slab.

Estimated tensile strength of cement concrete in bending is determined by the formula [4]:

$$R_1^{розп} = B_{tb} \cdot K_M \cdot K_V, \quad (2)$$

In Moscow [7] the estimated concrete strength is equal to the tensile strength class of concrete in bending (B_{tb}), considering three empirical coefficients of concrete fatigue (K_V), conditions of concrete strength development ($K_{н.п.}$), and the effect of alternating freezing and defrosting (K_F). Thus, in Russia the estimated tensile strength of cement concrete in bending ($R_{pu}^{расч}$) is determined using the formula [7]:

$$R_{pu}^{расч} = B_{tb} \cdot K_{н.п.} \cdot K_V \cdot K_F, \quad (3)$$

As seen from the expression (3), according to the regulations, the estimation of strength of monolithic cement concrete surfaces is performed considering the coefficient of influence of alternating freezing and defrosting, ($K_F = 0,95$); it is a generalized value and is accepted for estimation for all types of cement concrete. The use of coefficient (K_F) will allow

наявність і розвиток мікротріщин в ньому. Даний коефіцієнт (K_F) може бути різним в залежності від компонентів та добавок, які використовуються при виготовленні цементобетону, це суттєво може вплинути на адекватність розрахунку покриття.

Внаслідок циклічного заморожування і відтавання бетону, що має мікротріщини, виникає істотне прискорення інтенсивності його руйнування, такими питаннями займалися такі вчені: А.А. Гончаров, Ф.М. Іванов, В.М. Москвін, О.Я. Берг, Г.І. Горчаков, О.В. Ушеров-Маршак, С.М. Толмачов, В.П. Сопов [10-14] та ін. встановлено, що для забезпечення морозостійкості бетону велике значення має характер пористості матеріалу (структура капілярів) та ступень їх водонасичення. Вважається, що чим менше капілярна пористість, тим нижче проникність бетону і вище його морозостійкість.

Згідно Державному стандарту України [15] існує п'ять методів визначення морозостійкості цементобетону, для дорожнього і аеродромного цементобетону підходить другий і третій методи. Але для уточнення розрахунку міцності на розтягування при згині цементобетону даним коефіцієнтом морозостійкості є не доцільним, тому що він не враховує реальних умови експлуатації цементобетонного покриття. Тому з урахуванням виразу (3) пропонується уточнити формулу (2) коефіцієнтом температурної тріщиностійкості цементобетону $K_{КТР}^{Ц.Б.}$, який враховує реальні умови експлуатації покриття на автомобільних дорогах. Ведення даного коефіцієнту $K_{КТР}^{Ц.Б.}$ дозволить при розрахунку монолітних цементобетонних покриттів підвищити його довговічність з позиції температурної тріщиностійкості. Коефіцієнт температурної тріщиностійкості визначається за аналогом асфальтобетону, що наведено в державному стандарті України [16], який запропоновано професором Мозговим В.В.

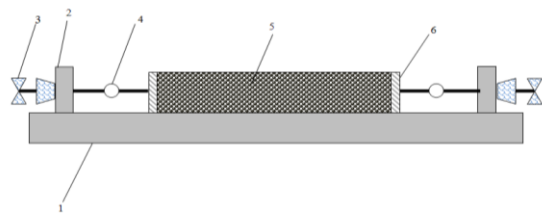
adequate considering of concrete frost resistance and the presence and development of micro-cracks in it. The coefficient (K_F) can vary depending on the ingredients and additives, used for the manufacture of cement concrete; it can significantly affect the adequacy of surface estimation.

Cyclic freezing and defrosting of concrete with micro cracks causes a significant acceleration of its fracturing. Following scholars were involved to this issue: A.A. Goncharov, F.M. Ivanov, V.M. Moskvin, O.Ya. Berg, G.I. Gorchakov, O.V. Usherov-Marshak, S.M. Tolmachev, V.P. Sopov [10-14] and others. They revealed that type of porosity (capillary structure) and degree of water saturation are of great importance for frost resistance of concrete. Less capillary porosity is considered to ensure the lower penetrability and higher frost resistance of concrete.

The State Standard of Ukraine [15] specifies five methods to determine the frost resistance of cement concrete; the second and third methods are suitable for road and airfield cement concrete. Though such frost resistance coefficient is not appropriate for greater certainty of the estimation of tensile strength of cement concrete; it does not take into account the actual terms of use of cement concrete surface. Therefore, taking into account the expression (3), it is offered to make formula (2) more precise, using the coefficient of thermal cracking resistance of cement concrete $K_{КТР}^{Ц.Б.}$, which takes into account the actual operating conditions of the road surfaces. Introduction of this coefficient $K_{КТР}^{Ц.Б.}$ at the estimation of monolithic cement concrete surfaces will enable to increase its durability within thermal cracking resistance. The coefficient of thermal cracking resistance is determined according to the analogue of bituminous concrete, specified in the State Standard of Ukraine [16], introduced by Professor Mozgovy V.V.

Опис методу

Суть методу полягає в оцінюванні руйнування структурних зв'язків цементобетону при повторному охолодженні за показником зменшення міцності на розтяг при вигині після впливу дії температурних напружень, що виникають при неможливості вільного скорочення (рис. 1) довжини зразка (аналогічно умовам роботи цементобетону в покритті).



1 - станина; 2 - упор; 3 - гвинт для закріплення зразка; 4 - шарнір; 5 цементобетонний зразок; 6 - металева пластина

Рисунок 1 - Схема з'єднання цементобетонного зразка з металевою станиною для випробувань на циклічне охолодження

Для виготовлення цементобетонних балочок розмірами 40x40x160 мм, використовували бетон важкий (дрібнозернистий) [17].

При виготовленні бетонів для покриттів автомобільних доріг використовують цементы з нормованим мінералогічним складом: бездомішкові портландцементи на основі клінкеру з нормованим мінералогічним складом з вмістом три кальцієвого алюмінату С3А в кількості не більше ніж 8 % за масою – ПЦІ-400-Н [18].

В якості крупного заповнювача використали щебінь фракції 5-10мм [19], який повинен мати середню густину від 2000 до 2800 кг/м³.

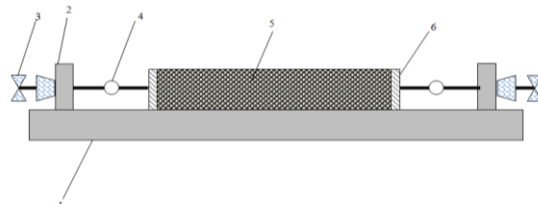
Як дрібний заповнювач для бетонів цементобетонних покриттів використовують пісок щільний природний [20], з модулем крупності (Мк) від 1,5 до 3,25.

Водоцементне відношення в бетонній суміші одношарових та верхнього шару двошарових покриттів повинно відповідати $W/C \leq 0,5$.

Вироблену суміш закладають у форми та вібрують на вібромайданчику. Після ущільнення ножом зрізують надлишок суміші на рівні з краями форми. Форму з сумішшю кладуть в приміщення в якому зберігається відносна вологість повітря 90-100% і

Description of the method

The method is based on assessment of structural bonds of cement concrete at the repeated cooling in terms of reducing the tensile strength in bending after influence of thermal tension, arising from the impossibility of free shrinkage (Figure 1) of the length of sample (similar to operation conditions of cement concrete in the surface).



1 - bed; 2 - support; 3 - screw to secure the sample; 4 - hinge; 5 - cement concrete sample; 6 - metal plate

Figure 1 - Diagram of connection of cement concrete with metal bed for cyclic cooling tests

Heavy (fine) concrete was used for the manufacture of 40x40x160 mm cement concrete beams [17].

Cement with standard mineralogical composition is used within the manufacture of concrete for road surface, i.e., impurity-free portland cement based on clinker with standardized mineralogical composition containing tricalcium aluminate С3А, not more than 8% by weight – ПЦІ-400-Н [18].

5-10 mm road metal [19], with an average density from 2 000 to 2 800 kg/m³, is used as a coarse aggregate.

Compact natural sand [20], with fineness modulus (Mk) from 1.5 to 3.25 is used as fine aggregate for cement concrete surfaces.

Water-cement ratio in concrete mixture of single-layer and top layer of double-layer surfaces shall correspond to $W/C \leq 0.5$.

The produced mixture is put into moulds and treated at vibratory plate compactor. After consolidation, the excess mixture is cut with the knife to level with the edges of the mould. The mould with the mixture is kept in the premise with relative 90-100% air humidity and temperature of $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

температура 18 ± 2 °С. На 7-му добу знімають опалубку і кладуть балочки у теж саме приміщення. На 28-му добу вироблені балочки починають випробовувати.

На торці зразків прикріплюють за допомогою епоксидного клею металеві пластини розміром 40 х 40 см. Потім цементобетонні зразки занурюють на 30 хв. у посудину з водою, яка має температуру (20 ± 2) °С, таким чином, щоб рівень води у посудині був вище поверхні зразків не менше ніж на 3 см, після чого зразки встановлюють у вакуумній установці, де створюють і підтримують тиск не більше 2000 Па (15 мм. рт. ст.) протягом 1 год. Потім тиск доводять до атмосферного і зразки витримують у тій самій посудині з

водою з температурою (20 ± 2) °С протягом 30 хв. Після цього зразки цементобетонні з металевими пластинами, встановлюють в станину (рис.1) попередньо термостатують на повітрі за температури (20 ± 1) °С, після цього усувають люфти між упорами та гвинтами і разом із станиною розміщують в морозильній камері, у якій підтримують температуру -30 °С. При такій температурі цементобетонний зразок витримують протягом шести год.

Після цього зразок з металевою станиною виймають з морозильної камери і витримують на повітрі за температури (20 ± 1) °С протягом шести годин. Таку процедуру охолодження - нагрівання цементобетонного зразка, закріпленого між двома упорами металевої станини здійснюють 10 разів.

Коефіцієнт температурної тріщиностійкості цементобетонну визначають за формулою:

$$K_{КТР}^{Ц.Б.} = \frac{R_p^{10_{цикл}}}{R_p}, \quad (4)$$

де - $R_p, R_p^{10_{цикл}}$ - середнє значення граници міцності на розтяг при згині відповідно до впливів циклічного охолодження і після них.

Границю міцності на розтяг при згині цементобетонних зразків визначають при швидкості деформування 100 мм/хв і обчислюють в МПа за формулою:

On the seventh day the mould is removed and beams are kept in the same premise. The 28th day is the start of tests of the produced beams.

40 x 40 cm metal plates are attached with epoxy adhesive to the face end of the samples. Then the cement concrete samples are immersed into a container for 30 minutes, where water temperature is (20 ± 2) °С; the water level in the container shall be at least 3 cm above the sample surface. Further the samples are set in the vacuum system with pressure less than 2 000 Pa (15 mm Hg) for 1 hour. Then the pressure is brought to atmospheric one and samples are kept in the same container for 30 minutes, where water temperature is (20 ± 2) °С. Then cement concrete samples with metal plates are installed in the bed (Figure 1), with preliminary thermostatic control at temperature of (20 ± 1) °С; further the plays between supports and screws are eliminated and the samples with the bed are placed into the freezing chamber, with the constant temperature of -30 °С. Such temperature is ensured for the cement concrete sample for six hours.

Then, the sample with a metal bed is removed from the freezing chamber and is being kept at air temperature of (20 ± 1) °С for six hours. Such procedure of cooling - heating of cement concrete sample attached between two supports of metal bed is repeated 10 times.

The coefficient of thermal crack resistance of the cement concrete is calculated by the formula:

$$K_{КТР}^{Ц.Б.} = \frac{R_p^{10_{цикл}}}{R_p}, \quad (4)$$

where $R_p, R_p^{10_{цикл}}$ refer to the average value of the tensile strength limit in bending, under the influence of cyclic cooling and after it respectively.

Limit of tensile strength of cement concrete samples in bending is determined by the rate of deformation of 100 mm/min and is calculated as MPa by the following formula:

$$R_p = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times h^2} \times 10^{-2} \quad (5) \quad R_p = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times h^2} \times 10^{-2}, \quad (5)$$

де F - руйнівне навантаження, Н; l - відстань між опорами, см; b - ширина зразка, см; h - висота зразка, см; 10^{-2} - коефіцієнт перерахунку у МПа.

where F - breaking load, N; l - distance between bearings, cm; b - width of the sample, cm; h - the height of the sample, cm; 10^{-2} - re-calculation coefficient, MPa.

Розбіжності між трьома паралельними випробуваннями не повинні перевищувати 10 %.

The differences of three parallel tests shall not exceed 10%.

Відповідно до формул (2) та (3) остаточний вираз уточненої формули з розрахунку міцності на розтягування при згині цементобетонну з врахуванням коефіцієнту температурної тріщиностійкості пропонується визначати за формулою:

According to the formulas (2) and (3), the following precise formula is offered as the final expression to estimate the tensile strength of cement concrete in bending, taking into account the coefficient of thermal cracking resistance:

$$R_1^{розп} = B_{tb} \cdot K_M \cdot K_Y \cdot K_{КТР}^{Ц.Б.}, \quad (6) \quad R_1^{розп} = B_{tb} \cdot K_M \cdot K_Y \cdot K_{КТР}^{Ц.Б.}, \quad (6)$$

Тому розрахунок монолітних цементобетонних покриттів проводять шляхом перевірки міцності покриття за виразом (1) з урахуванням формули (6) і пропонується уточнена умова міцності за залежністю:

Therefore, the estimation of monolithic cement concrete surfaces is carried out by testing the strength of surface by expression (1) taking into account the formula (6) and then, upon dependence, the more precise condition of strength is offered:

$$K_{МЦ} \leq \frac{B_{tb} \cdot K_M \cdot K_Y \cdot K_{КТР}^{Ц.Б.}}{\delta_{pt}}, \quad (7) \quad K_{МЦ} \leq \frac{B_{tb} \cdot K_M \cdot K_Y \cdot K_{КТР}^{Ц.Б.}}{\delta_{pt}}, \quad (7)$$

Висновок

Conclusion

Запропоновано метод з визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості для цементобетонну.

The paper offers the method of determining the coefficient of thermal cracking resistance.

Уточнена формула з розрахунку міцності на розтягування при згині цементобетонну за рахунок введення коефіцієнту температурної тріщиностійкості.

There is provided more precise formula of estimation of tensile strength of cement concrete in bending due to introduction of coefficient of the thermal cracking resistance.

Удосконалено загальний вираз умови міцності при розрахунку монолітних цементобетонних покриттів за рахунок міцності на розтягування при згині бетонну з врахуванням коефіцієнту температурної тріщиностійкості. Це дозволить підвищити довговічність цементобетонного покриття з позиції тріщиностійкості від дії коліс транспортних засобів та температури.

There is improved the general expression of strength at the estimation of monolithic concrete surfaces due to the tensile strength of concrete in bending, taking into account the coefficient of thermal cracking resistance. It will improve the durability of the cement concrete surface as for cracking resistance to impact of wheels of vehicles and temperature.

Література

1. Постанова Кабінету міністрів України. Від 11 липня 2013 р. № 696Київ. Про затвердження Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки/<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/696-2013-%D0%BF>
2. С.Й. Солодкий Пропозиції щодо розрахунку жорстких дорожніх одягів з урахуванням критеріїв механіки руйнування бетону
3. Грушко И.М., Алтухов В.Д. и др. Выносливость и трещиностойкость цементобетона/ И.М. Грушко, В.Д. Алтухов и др.//Автомобильные дороги. - 1987. - №12. – С. 12.
4. Відомчі будівельні норми. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. ВБН В.2.3-218-008-97 Укравтодор. Київ-1997. С. 218.
5. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей/ Б.С. Радовский, О.С. Супрун, И.И. Козаков. К.: Будивельник, 1989. – 168 с.
6. Солодкий С.Й., Русин Р.М., Гайванович Р.В., Поваляшко М.В. Оцінка тріщиностійкості дорожніх бетонів за критеріями механіки руйнування: Зб. наук. статей «Дороги і мости». – К.: ДерждорНДІ. – 2006. – Вип. 6. – С. 289–303.
7. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд /Взамен ВСН 197-91/ Росавтодор. Москва 2004. С. 135.
8. Гузеев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. – Брест, БПИ, 1999. – 218 с.
9. Яромко В.Н. Реабилитация дорожных покрытий. Опыт применения новых технологий при модернизации автомобильной дороги Брест-Минск-граница России – Мн., 2002. – 106 с.
10. Гончаров А.А. Морозостойкость бетонов различной прочности, нагруженных сжатием / Гончаров А.А., Иванов Ф.М. // Гидротехническое строительство. 1969. - №6- С. 18-21
11. Горчаков Г.И. Влияние льдообразования в порах бетона на морозостойкость / Г.И.Горчаков, В.И.Иванов, И.И.Лифанов и др.// Бетон и железобетон. 1977. - № 2-С. 16-18.
12. Москвин В.М. Стойкость бетона и

Literature

1. The Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dd. July 11, 2013 No. 696 c. Kyiv. On approval of the State target economic development program of public roads in 2013-2018/<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/696-2013-%D0%BF>
2. S.Y. Solodky Proposals for estimation of hard road surfaces, considering the criteria of concrete fracture mechanics / Durability and cracking resistance of cement concrete / I.M. Grushko, V.D. Altukhov and others // Highways. - 1987. - No.12. – P. 12.
4. Industrial construction standards. Designing and construction of rigid road surfaces and surfaces with rigid layers. ICS V.2.3-218-008-97 The State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor). Kyiv-1997. С. 218.
5. B.S. Radovsky Designing of road surfaces for the movement of heavy vehicles / B.S. Radovsky, O.S. Suprun, I.I. Kozakov. K.: Budivelnik, 1989. – 168 p.
6. S.Y. Solodky, R.M. Rusyn, R.V. Gaivanovych, M.V. Povaliashko Assessment of cracking resistance of road concrete by the criteria criteria of fracture mechanics: Collection of scientific articles "Roads and bridges". – K.: State Road Research Institute. – 2006. – Issue 6. – P. 289-303.
7. Guidelines for the designing of rigid road surfaces / To replace ICS 197-91 / Federal Road Agency of the Ministry of Transport of the Russian Federation. Moscow, 2004. P. 135.
8. E.A. Guzeev, S.N. Leonovych, K.A. Piradov Concrete fracture mechanics: theory and practice. – Brest, BPI, 1999. – 218 p.
9. V.N.Yaromko Recovery of road surfaces. The experience in application of new technologies at modernization of the highway Brest-Minsk- border of Russia – Mn., 2002. – 106 p.
10. A.A. Goncharov Frost resistance of concrete with different strength, loaded with compression / A.A. Goncharov, F.M.Ivanov // Hydraulic engineering. 1969. - No. 6- P. 18-21
11. G.I. Gorchakov Impact of ice formation in the pores of the concrete upon frost resistance / G.I. Gorchakov, V.I. Ivanov, I.I. Lifanov and others// Concrete and reinforced concrete. 1977. - No. 2- P. 16-18.
12. V.M. Moskvin Durability of concrete and reinforced concrete at negative temperature / V.M. Moskvin, M.M. Kapkin, A.M. Podvalny // - M.: Stroizdat, 1967. - 132 p.
13. A.V.Ushero-Marshak Calorimetry of cement and concrete /A.V.Ushero-Marshak, ed.

- железобетона при отрицательной температуре / Москвин В.М., Капкин М.М., Подвальный А.М. // - М.: Стройиздат, 1967. - 132 с.
13. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона / Ушеров-Маршак А.В., ред. В.П.Сопов // - Х.: Факт, 2002. - 183 с.
14. Берг О. Я. Высокопрочный бетон / Берг О. Я., Щербakov Е. Н., Писанко Г. Н. // - М.: Стройиздат, 1971. - 208 с.
15. Будівельні матеріали. Бетони. Прискоренні методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. ДСТУ Б В.2.7-49-96 (ГОСТ 10060.2-95). Чинний від 1996-11-01. М. Розроблений Науково-дослідним, проектно-конструкторським і технологічним інститутом бетону та залізобетону (НИИЖБ) Російської Федерації. Внесений Мінбудом Росії.
16. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : - [Чинний від 2012-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2011. – 47 С. 47,48.
17. Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Чинний від 1997-01-01. – К. Держкоммістобудування України. 1997. 67 с.
18. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Чинний від 2011-09-01. – К. Мінрегіонбуд України. 2011. 14 с.
19. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. К. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. 1999. 14 с.
20. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Чинний від 1996-01-01. – К. Держкоммістобудування України, 1996. -14 с.
14. V.P.Sopov // - Н.: Fact, 2002. - 183 p. O.Ya. Berg High-strength concrete / O. Ya. Berg, E. N. Scherbakov, G.N. Pysanko // - М.: Stroizdat 1971. - 208 p.
15. Construction materials. Concretes. Accelerated methods for determining frost resistance at repeated freezing and defrosting. DSTU B V.2.7-49-96 (GOST 10060.2-95). Valid from November 1, 1996. M. Designed by Scientific Research, Project Designing and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) of the Russian Federation. Provided by the Ministry of Construction Industry, Housing and Utilities Sector of the Russian Federation.
16. DSTU BV.2.7-119:2011. Bitumen-concrete mixtures and road and airfield bituminous concrete. Technical specifications : - [Valid from October 1, 2012]. – K.: The Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine, 2011. – 47 P. 47,48.
17. Construction materials. Heavy concretes. Technical specifications. DSTU B V.2.7-43-96. Valid from January 1, 1997. – K. State committee of Ukraine for Town-Planning and Architecture of Ukraine. 1997. — 67 p.
18. Construction materials. Cements for general construction purposes. Technical specifications. DSTU B V.2.7-46:2010. Valid from September 1, 2011. – K. The Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine. 2011. — 14 p.
19. Construction materials. Dense natural road metal and gravel for construction materials, products, structures and works. Technical specifications. DSTU B V.2.7-75-98. Valid from January 1, 1999. – K. The State Committee of Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine. 1999. — 14 p.
20. Construction materials. Compact natural sand for construction materials, products, structures and works. Technical specifications. DSTU B V.2.7-32-95. Valid from January 1, 1996. – K. State committee of Ukraine for Town-Planning and Architecture of Ukraine, 1996. — -14 p.

Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **21.10.2016 р.**