

РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ УТВОРЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ТРІЩИН У МОНОЛІТНИХ ДОРОЖНИХ БЕТОНАХ

Толмачов Д.С., к.т.н, головний інженер,
ТОВ «Елавтопас»
volvo1577@mail.ru

Сопов В.П., д.т.н, професор,
Харківський національний університет будівництва та архітектури
vsopov@ukr.net

Толмачов С.М., д.т.н, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Tolmach_serg@mail.ru

Анотація. У статті показано, що на дорожні цементні бетони крім механічних навантажень і рідких агресивних середовищ діє температура. Особливо це небезпечно в літній період, коли поверхня бетону може нагріватися до + 55 °С. В результаті цієї дії всередині бетону або на його поверхні можуть виникати температурні тріщини. Проведено розрахунок ймовірності утворення тріщини під дією температури. Визначено граничні умови появи температурної тріщини і градієнт температур, при якому вона виникає. Показано, що при різниці температур всередині і на поверхні бетону, що дорівнює 26,3 °С може з'явитися тріщина. Проведено розрахунок часу, протягом якого зберігається безпека виникнення тріщини.

Ключові слова: дорожній цементний бетон, температурна тріщина, температурний градієнт.

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРЕЩИН В МОНОЛИТНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНАХ

Толмачев Д.С., к.т.н., инженер,
ООО «Елавтопас»
volvo1577@mail.ru

Сопов В.П., д.т.н., профессор,
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
vsopov@ukr.net

Толмачев С.Н., д.т.н., профессор,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Tolmach_serg@mail.ru

Аннотация. В статье показано, что на дорожные цементные бетоны кроме механических нагрузок и жидких агрессивных сред действует температура. Особенно это опасно в летний период, когда поверхность бетона может нагреваться до + 55 °С. В результате этого действия внутри бетона или на его поверхности могут возникать температурные трещины. Проведен расчет вероятности образования трещины под действием температуры. Определены граничные условия появления температурной трещины и градиент температур, при котором она возникает. Показано, что при разности температур

внутри и на поверхности бетона равной 26,3 °C может появиться трещина. Проведен расчет времени, в течение которого сохраняется опасность возникновения трещины.

Ключевые слова: дорожный цементный бетон, температурная трещина, температурный градиент.

CALCULATION OF PROBABILITY OF ESTABLISHMENT OF TEMPERATURE CRACKS IN MONOLITHIC ROAD CONCRETE

Tolmachov D.S., Ph.D., Chief Engineer,
LLC "Elavtopas"
volvo1577@mail.ru

Sopov V.P., Doctor of Engineering, Professor,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture
vsopov@ukr.net

Tolmachov S.M., Doctor of Engineering, Professor,
Kharkov national automobile und highway university
Tolmach_serg@mail.ru

Abstract. The article shows that in the cement concrete road except for mechanical loads and liquid aggressive media operating temperature. Especially this is dangerous in the summer, when the surface of concrete can be heated to 55 ° C. As a result, the effect of temperature within the concrete, or on its surface may occur temperature cracks. The calculation of the probability of crack under the influence of temperature. Defined boundary conditions for the appearance of temperature cracks and temperature gradient at which it occurs. It is shown that with a difference in temperature inside and on the surface of concrete equal to 26.3 °C, a crack may appear. Spend the timing in which the danger of occurrence of a crack. This time is 8.3 hours. To combat against the formation of temperature cracks, it is proposed to water the concrete surface with water.

Keywords: cement concrete road, temperature crack, temperature gradient.

Вступ. Дорожні цементні бетони є специфічним матеріалом, що працюють в дуже агресивних середовищах. Вплив зміни температур, коливань вологості, рідкі агресивні середовища, механічні навантаження приводять до утворення в бетоні тріщин. Особливо схильна до тріщиноутворення поверхня бетону (рис. 1, 2). Існуючі способи боротьби з утворенням тріщин засновані на поліпшенні структурних характеристик, застосуванні емульсій, що захищають від випаровування вологи і т.п. Але більшість цих способів є неефективними, особливо в разі температурних впливів, які є агресивним фактором, вельми рідко враховують і розглядають під час аналізу причин утворення тріщин.

Актуальність. Крім вищезазначених факторів, до тріщиноутворення приводить градієнт температур, що виникає, та який обумовлено малою теплопровідністю цементних бетонів. У нічний період температура бетону може знижуватися до рівня, близького до нуля градусів Цельсія, а в денний, особливо, якщо поверхня не укрита від прямих сонячних променів – підніматися до + 50...55 °C. Виникає градієнт температур, який є основною причиною утворення термічних тріщин, як в бетоні, що твердіє, так і в затверділому бетоні. Негативний вплив градієнта посилюється тим, що коефіцієнт лінійного температурного розширення у різних компонентів бетону відрізняється в кілька разів. Це сприяє внутрішньому тріщиноутворенню, яке в умовах циклічної дії градієнта температур приводить до зростання тріщини і виходу її на поверхню. У літературі є непрямі теоретичні описи характеру таких процесів, але відсутні прямі розрахунки пов'язані з їх проходженням в монолітних дорожніх бетонах. Тому актуальним є встановлення величини градієнта температури і часу, протягом

якого цей перепад температур становить небезпеку для бетону з точки зору утворення тріщин.



Рис. 1. Автомобільна дорога Київ – Чоп в об'їзд Житомиру



Рис. 2. Тріщина на поверхні бетонного покриття

Результати досліджень. Для розрахунку градієнта температур в монолітних дорожніх бетонах при деякому спрощенні можна використовувати теоретичні передумови, розроблені для бетонів, що піддаються тепловій обробці в камерах ТВО. Як показано в роботі [1], при тепловій обробці або температурних впливах в об'ємі бетону виникають неоднорідні температурні поля, які можуть викликати внутрішні напруги, що приводять до структурних змін і зниження характеристик бетону. При ТВО це привело до необхідності обмеження швидкості нагріву і охолодження бетону, а також до створення відповідної методики розрахунку граничних градієнтів температури. Теоретичні основи розрахунку розроблені О.В. Ликовим [2]. Використовуючи їх, можна вивести формулу граничного температурного градієнта:

$$\text{grad } T_{np} = \frac{64,4 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}, \quad (1)$$

де β – безрозмірний емпіричний коефіцієнт, що залежить від класу міцності бетону при стиску ($\beta = 0,08$ для бетонів класів В25 включно і нижче; $\beta = 0,07$ для бетонів класів вище В25);

E – модуль пружності бетону;

α_t – коефіцієнт лінійного температурного розширення бетону;

l – довжина бетонного елемента (мається на увазі його лінійний розмір, уздовж якого поширюється тепло);

$\sigma_{ст}$ – міцність бетону при стиску.

Дана формула може бути добре використана для оцінки граничного температурного градієнта, що викликає тріщиноутворення в транспортних бетонах. Накладення температурних деформацій на деформації, що викликані повітряною усадкою, буде посилювати утворення тріщин.

М.П. Стрельникова [3] зазначає, що зниження вологості середовища твердіння бетону, особливо при підвищенні температури, приводить до різкого зниження міцності на розтяг і підвищення крихкості (а значить, зниження тріщиностійкості) бетону. Тому, в таких умовах необхідно підвищити деформативність бетону.

Відомо, що деформативність бетону можна підвищити застосуванням полімерних добавок, а також фібри, наприклад, полімерної. При цьому підвищується також тріщиностійкість [4].

Враховуючи те, що поверхня бетону в літній період може нагріватися до + 50 °С, важливо визначити небезпеку утворення тріщин при дії температури. Зробимо відповідні розрахунки. Підставимо в формулу (1) чисельні значення змінних:

– оскільки для бетонів транспортного призначення клас міцності при стиску дорівнює В30...В40, то $\beta = 0,07$;

– для бетонів такого класу міцності, що містять мікронаповнювачі, суперпластифікатор, який знижує В/Ц до 0,35...0,38 і фібру Е знаходиться в межах 30000...40000 МПа;

– для важких бетонів такого класу міцності α_t , коефіцієнт лінійного температурного розширення бетону, знаходиться в межах $1...5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$;

– довжина бетонного елемента (для бетонів транспортного призначення йдеться про товщину – лінійний розмір по вертикалі) може коливатися у вузьких межах від 0,22 до 0,26 метра;

– $\sigma_{ст}$ – міцність бетону при стиску, дорівнює 40 МПа (для бетону класу В 30).

$$\text{grad } T_{np} = \frac{64,4 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{cm}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l} = \frac{64,4 \cdot 0,07 \cdot \sqrt[3]{40 \cdot 40}}{40000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,26} = 101,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{м}} \text{ по товщині плити.}$$

Якщо спростити розподіл температур по товщині плити, вважаючи його прямолінійним, то при товщині плити 26 см, тріщина на поверхні може виникнути при градієнті температур 26,3 °С.

Час, протягом якого бетон буде знаходитися під впливом критичного градієнта температур визначимо за формулою [5]:

$$\tau = \frac{\rho_m}{qM_n} (c + K \cdot \text{В/Ц}) \cdot (t_1 - t_2), \quad (2)$$

де: τ – час, необхідний для встановлення рівності температур на поверхні і всередині бетону;

ρ_m – щільність бетону, що дорівнює 2350 кг/м³;

q – інтенсивність теплообміну між поверхнею бетону і джерелом тепла, Вт/м²;

M_n – модуль поверхні виробу, 1/м;

c – питома теплоємність бетону 1000 Дж/кг К;

K – безрозмірний коефіцієнт, що враховує гідратну воду 0,9...0,95, тобто частку води замішування;

t_1 – температура на поверхні бетону, К;

t_2 – температура всередині бетону, К.

Приймемо В/Ц = 0,4. Модуль поверхні бетонного виробу (конструкції) M_n – це відношення площі поверхні бетону (S), що нагрівається (охолоджується) до його внутрішньому об'єму (V):

$$M_n = S / V \quad (3)$$

Якщо вважати, що умовний виріб має розміри 1×1 м, то при його товщині 0,26 м, об'єм буде дорівнювати $0,26 \text{ м}^3$, а модуль поверхні – $3,85 \frac{1}{\text{м}}$.

Величину q можна виразити через коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею виробу і теплоносієм α [$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$]:

$$q = \alpha (t_{\text{тн}} - t_{\text{п}}), \quad (4)$$

де $t_{\text{тн}}$ – температура теплоносія, К;
 $t_{\text{п}}$ – температура поверхні бетону, К.

Якщо спростити формулу, допускаючи, що температура теплоносія (температура навколишнього середовища в прямих сонячних променях) може досягати $+ 55 \text{ }^\circ\text{C}$ і вище, а температура поверхні бетону, що твердіє дорівнює $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді $q = 35\alpha$. Враховуючи те, що $\alpha = 5,6$ для сухої поверхні і $15,3$ [$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$] для вологої поверхні, отримуємо $q = 535,5$ [$\text{Вт}/\text{м}^2$].

Підставляючи значення, отримуємо:

$$\tau = 1,14 \cdot (1000 + 0,38) \cdot 26,3 = \left[\frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \frac{1}{\text{м}}} \cdot \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \cdot \text{К} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{Дж}} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] = 29993 \text{ сек}$$

(або 8,3 години)

Розрахунок показав, що критичний градієнт температур, при якому можливе утворення термічних тріщин на поверхні бетону, при товщині плити 26 см зберігається протягом 8,3 години, що підтверджують дані [6]. Тому необхідно періодично знижувати температуру поверхні не рідше, ніж через 8 годин. Зниження температури в виробничих умовах може бути забезпечено поливом поверхні бетону водою з температурою не вище $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$. При такому догляді ймовірність утворення термічних тріщин в бетонах менше, ніж тріщин від пластичної усадки.

Висновки. Проведені розрахунки показали, що причиною утворення тріщин в монолітних бетонах транспортного призначення може бути градієнт температур, який більше або дорівнює $26,3^\circ\text{C}$. Проміжок часу, протягом якого буде зберігатися небезпека дії напружень від цього градієнта температур становить 8,3 години.

Література

1. Методика расчета предельных температурных градиентов в железобетонных изделиях в процессе электротепловой обработки / [С.В. Федосов, В.И. Бобылев, А.М. Ибрагимов и др.] // Строительные материалы. – 2011. – № 3. – С. 44 – 46.
2. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
3. Стрельникова М.П. Трещиностойкость железобетонных шпал с добавкой полимера / М.П. Стрельникова // Исследование цементных и силикатных бетонов для транспортного строительства: сб. трудов ЛИИЖТ. – Вып. 330. – Л.: ЛИИЖТ. – 1971. – С. 99 – 104.
4. Hannant D.J. Fibre-Cements and Concretes / D.J. Hannant // Wiley.-Chichester. – UK, 1978. – 228 p.
5. Дмитрович А.Д. Тепло- и массообмен при твердении бетона в паровой среде / А.Д. Дмитрович. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1967. – 243 с.
6. Солодкий С.Й. Оцінювання термонапруженого стану дорожніх покриттів на ранніх стадіях тверднення цементного бетону / С.Й. Солодкий, Р.Я. Лівша // Автошляховик України. – 2015. – № 1 – 2. – С. 71 – 74.

Стаття надійшла 28.03.2017