

7. ДСТУ 9178:2022 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебених, гравійних та укріплених матеріалів.
8. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови.

УДК 625.852: 666.972.53

ВПЛИВ МОРОЗНО-СОЛЬОВОЇ ДЕСТРУКЦІЇ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ

Толмачов Сергій Миколайович, докт. техн. наук, професор кафедри ТДБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: tolmachov.serg@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1011-3861

Льїн Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри ТДБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: yailin12011993@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2998-3955

Маляр Володимир Володимирович, канд. техн. наук, професор кафедри ТДБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: vladimirmalyar16@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5230-5947

На сьогоднішній день підвищення довговічності та терміну служби покриттів автомобільних доріг є важливим завданням. Це особливо актуально у зв'язку з реалізацією програм так званих «розумних» доріг [1]. Основними показниками довговічності асфальтових і цементних бетонів, що застосовуються у покриттях автомобільних доріг, є морозостійкість та стійкість до одночасного циклічного впливу заморожування-відтавання і хлористих солей.

Об'єктом дослідження є асфальтові і цементні дорожні бетони, що піддаються впливу морозно-сольової деградації.

Предметом дослідження виступає вплив циклічного заморожування-відтавання і хлористих солей на міцнісні характеристики асфальтових і цементних бетонів.

Метою цього дослідження є оцінка впливу заморожування-відтавання на міцнісні властивості бетону та встановлення механізму морозно-сольової деградації, що є спільним для асфальтових і цементних дорожніх бетонів.

Випробування на морозно-сольову стійкість асфальтових і цементних бетонів проводили за однаковою методикою, описаною в ДСТУ [2]. Дослідження впливу циклічного заморожування-відтавання на міцнісні властивості асфальтобетону показали, що міцнісні характеристики асфальтобетону після 50 циклів (стандартна кількість) заморожування-відтавання суттєво змінюються (табл. 1).

Установлено, що циклічне заморожування-відтавання призводить до різкого зниження міцності асфальтобетону при вигині. Міцність зменшується на 35...54 % порівняно з міцністю зразків до початку випробувань. Оскільки

міцність при згині передусім залежить від якості адгезійних контактів, то найбільш ймовірно, що основні руйнування (утворення тріщин) починаються саме в зоні контакту бітуму та мінерального в'язучого. Це побічно підтверджують результати зміни часу життєвого циклу. Цей час зменшується ще більше – на 58...78 %.

Таблиця 1. Вплив заморожування-відтавання на міцність асфальтобетонів на різних бітумах

Показник			
	БНД 70/100	БНД 100/150	БНД 70/100 + ПАР
Міцність при згині, МПа до випробувань	3,14	1,80	3,65
Міцність при згині, МПа після випробувань	2,05	0,82	1,99
К_{МРЗ} по міцності при вигині	0,65	0,46	0,54
Час життєвого циклу до випробувань, с	15303	12243	17808
Час життєвого циклу після випробувань, с	6443	2725	9517
К_{МРЗ} по часу життєвого циклу	0,42	0,22	0,53
Міцність при стиску, МПа до випробувань	5,15	-	-
Міцність при стиску, МПа після випробувань	3,85	-	-
К_{МРЗ} по міцності при стисненні	0,75	-	-

Фактично структура зразків асфальтобетону після 50 циклів випробувань повністю руйнується. Випробування міцності при стисненні, можливо, не такі точні, оскільки крім в'язучого у випробуванні бере участь каркас макроструктурних компонентів. За рахунок цього асфальтобетон може здаватися міцнішим. Так, при випробуванні морозостійкості за міцністю при стисненні коефіцієнт морозостійкості становить 0,75, тоді як коефіцієнт за міцністю при вигині становить 0,65.

Ці дослідження дозволили встановити несподіваний факт. Незважаючи на те, що температура крихкості менш в'язкого бітуму нижча, ніж температура крихкості більш в'язких бітумів, міцність і час життєвого циклу асфальтобетону на більш в'язкому бітумі значно вищі, ніж на менш в'язкому бітумі. Можливо, це пояснюється більшою міцністю адгезійних контактів на в'язкому бітумі, а також більшою щільністю асфальтового в'язучого та асфальтового розчину.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) позитивно впливають на адгезію бітуму. Вони адсорбуються на поверхні розділу «кам'яний матеріал-бітум» і не впливають на об'ємні властивості бітуму. Дослідження, проведені під керівництвом В.О. Золотарьова [3], показали, що застосування ПАР знижує температуру крихкості бітуму на кілька градусів, що позитивно впливає на морозостійкість асфальтобетону. Вода проникає в зону контакту меншою мірою і менше відшаровує бітумну плівку від поверхні кам'яного матеріалу.

Дослідження міцності асфальтобетону з ПАР показали, що після 50 циклів заморожування-відтавання вона знижується на 46 %, тоді як в асфальтобетонів без ПАР – на 35 % (табл. 1). Попри деяке зниження абсолютної міцності ПАР сприяє значному підвищенню часу життєвого циклу

асфальтобетонів. Він збільшується на 48 % порівняно з асфальтобетонами без ПАР. Це підтверджує високу ефективність застосування ПАР для підвищення морозостійкості асфальтобетонів.

Випробування цементного бетону, які проводили в двох різних середовищах, підтвердили особливості одночасного впливу морозу і солей на міцність порівняно з впливом тільки морозу.

При насиченні зразків бетону водою і подальшому заморожуванні-відтаванні відбувається поступове зниження міцності бетону з часом. Це обумовлено утворенням у структурі цементобетону тріщин через тиск льоду і води та подальший їх розвиток. Утворення і ріст тріщин підтверджує оптична мікроскопія. Очевидно, що після 300 циклів випробувань утворення і ріст тріщин свідчить про деструкцію бетону, що відображається на його міцності.

Отримані дані суперечать результатам [4], оскільки міцність бетону за таких випробувань помітно знижується від самого початку.

Однак, при насиченні цементобетону в середовищі хлориду натрію і подальшому циклічному заморожуванні-відтаванні міцність бетону після певної кількості циклів зростає, а потім – різко падає. На нашу думку, це пов'язано з кристалізацією хлористих солей у порах і дефектах бетону.

Знімки оптичної мікроскопії показують зростаючий кристал солі, що поступово заповнює пору мікроструктури бетону. Але вже після 300 циклів випробувань кристал солі заповнює весь об'єм пори і починає тиснути зсередини пори. Про це свідчить поява тріщин на кристалі. Це сприяє руйнуванню бетону і зниженню його міцності.

Описані явища узгоджуються з характером кривих при випробуваннях цементного бетону на заморожування-відтавання при насиченні бетону водою або водним розчином хлориду натрію.

Слід підкреслити ще одну важливу причину морозно-сольової деструкції бетонів, на яку останнім часом не звертають уваги. Це осмотичний тиск сольових розчинів. Цікаво, що це явище можна спостерігати і при негативних, і при позитивних температурах. У першому випадку це обумовлено дифузією водних розчинів солей, які утворюються на поверхні асфальтобетонного або цементобетонного покриття, коли ведеться боротьба з льодом і снігом. При цьому солі проникають ззовні покриття всередину бетонів. При позитивних температурах у період дощів або при поливі покриттів водою відбувається прямий осмос, при якому солі мігрують зсередини бетону на поверхню. Провести розрахунок величини цього тиску можна, використовуючи відому формулу Вант-Гоффа для осмотичного тиску істинних розчинів [5]:

$$P = \frac{c \cdot R \cdot T}{M}, \quad (1)$$

де: M – маса одного моля розчиненої речовини; c – вагова концентрація розчиненої речовини; $R = 8,31$ Дж/(К·моль) або Нм/(К·моль) – універсальна газова стала; T – температура у градусах Кельвіна.

Розрахунки, проведені для розчинів хлориду натрію, що використовуються в зимовий період, показали, що максимальна величина осмотичного тиску при температурі -18°C становила 10,2 МПа, а при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ – 13,2 МПа. Якщо врахувати, що максимальна міцність асфальтового бетону при вигині не перевищує 2...3 МПа, а цементного бетону – 6...7 МПа, то осмотичний тиск становить велику небезпеку для дорожніх і аеродромних бетонів.

Висновки

Проведені дослідження показали, що причини руйнування асфальтобетонних і цементобетонних покриттів автомобільних доріг і аеродромів при циклічному впливі заморожування-відтавання і одночасному впливі розчинів неорганічних солей здебільшого однакові. До них належать: безпосередній тиск льоду при його утворенні в порах і дефектах структури бетонів; тиск води на стінки пор при утворенні льоду; внутрішні напруження, що виникають у бетонах на початковому етапі заморожування або відтавання через різницю в коефіцієнтах температурного розширення заповнювачів і в'язучих, і які особливо небезпечні для асфальтобетонів; тиск солей, які кристалізуються в порах і дефектах структури бетонів; осмотичний тиск сольових розчинів, що застосовуються в зимовий період.

Циклічний морозно-сольовий вплив на міцнісні характеристики асфальтових і цементних бетонів неоднозначний і залежить від складу бетонів, особливостей впливу агресивних середовищ і температурно-часових факторів у період самовідновлення бетонів.

Література

1. A. Gnatov, S. Argun, N.Rudenko, Smart road as a complex system of electric power generation 2017 IEEE 1st Ukrain Conference on Eltctrical and Computer Engineering, UKRCON 2017 – Proceedings.
2. ДСТУ Б В.2.7-47-96 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги. Прийнято та надано чинності наказом Держкоммістобудування України від 01.11.96 р. № 189, Чинний з 01.04.1997. К., ДП «УкрНДНЦ», 1997. – 8 с.
3. Обґрунтування і розробка неруйнуючого деформаційного методу оцінки морозостійкості асфальтобетону [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ільїн Ярослав Вікторович; Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. - Харків, 2020. - 21 с.
4. Moukwa M. Deterioration of concrete in cold sea waters/ Moukwa M.// Cement and Concrete Research. -1990. -20, №3.- p.p. 439-446.
5. М.О.Мчедлов-Петросян Колоїдна хімія. Підручник / Харків, 2012. – 500 с.