



Толмачов С. М., д.т.н., професор, ORCID:0000-0003-1011-3861
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

СТИРАНІСТЬ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ ЯК КРИТЕРІЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ

У статті розглянуто питання взаємозв'язку стиранності бетону при одночасному впливі агресивних рідких водних середовищ і терміну його служби в покритті залежно від його складу. Введено поняття критичної стиранності й коефіцієнта стійкості структури бетону, які дозволяють оцінювати необхідність проведення профілактичних заходів щодо захисту й реанімації властивостей бетону.

Ключові слова: стираність, знос, покриття, тріщина, заморожування-відтавання, насичення-висушування.

Стан питання і актуальність. В останні півтора-два десятиліття істотно зросла кількість транспортних засобів. Ця тенденція характерна для багатьох країн, в тому числі і для України. На повітряному транспорті зростає інтенсивність польотів, вводяться нові авіалінії, що призвело до необхідності реконструкції аеропортів в різних регіонах країни. Тільки за останнє десятиліття реконструйовано три аеропорти, і найближчим часом будуть реконструйовані ще кілька. У цих аеропортах всі елементи аеродромних покриттів виконані з цементного бетону. Велика кількість вантажів сьогодні транспортується великовантажним автотранспортом, а не залізницею. В Україні інтенсивність руху і навантаження на вісь транспортного засобу за цей період зросла в кілька разів [1]. Насамперед це відноситься до доріг 1–2 технічних категорій. В Україні поступово збільшується кількість доріг з цементобетонним покриттям. Необхідно пам'ятати, що дорожні та аеродромні покриття постійно знаходяться в напружено-деформованому стані, обумовленому стаціонарними і циклічними впливами навколишнього середовища. До них належать знакозмінні температури, коливання вологості, дія рідких і газоподібних агресивних середовищ. Додаткове прикладання до цементного бетону в цей період механічних навантажень, особливо високої інтенсивності може призвести до швидкого руйнування покриттів [2]. Тому однією з основних причин руйнування стає знос покриття, обумовлений стираністю бетону. Стираність відбувається пошарово з поверхні

вглиб бетону, що відкриває доступ до руйнування нових поверхонь і сприятиме глибокій деструкції бетону. Вона призведе до швидкого руйнування, однак в Україні такому актуальному питанню, як дослідження закономірностей процесу стирання бетонного покриття практично не приділяється увага. Дослідження стираності не тільки є дуже актуальними, оскільки дозволяє своєчасно оцінювати та прогнозувати експлуатаційний стан дорожнього і аеродромного бетону, але і дозволяє оперативно вживати заходи щодо його захисту.

Метою даної роботи є: оцінка дії різних факторів на стираність бетону і можливість прогнозування морозостійкості бетонів різних складів.

Експериментальні дослідження. У дослідженнях було прийнято однакові витрати цементу для всіх складів бетону – 380 кг/м^3 , тому що ці витрати цементу дозволяють забезпечувати міцність бетону, відповідну класу В30 (М400). Змінювали співвідношення між крупним і дрібним заповнювачем в складі бетону. Виготовлені зразки піддавали стиранню як в водопоглиненому, так і в сухому станах. Для проведення досліджень відповідно до ДСТУ Б В.2.7-212 [3] використовували стандартний лабораторний прилад типу коло стирання ЛКІ-3.

Стираність (G , г/см^2) сухих зразків бетону (рис. 1) показала, що зі збільшенням кількості щебеню в складі цементного бетону стираність зменшується. Дана залежність пояснюється тим, що гранітний щебінь формує жорсткий каркас в структурі бетону, стійкий проти зносу.

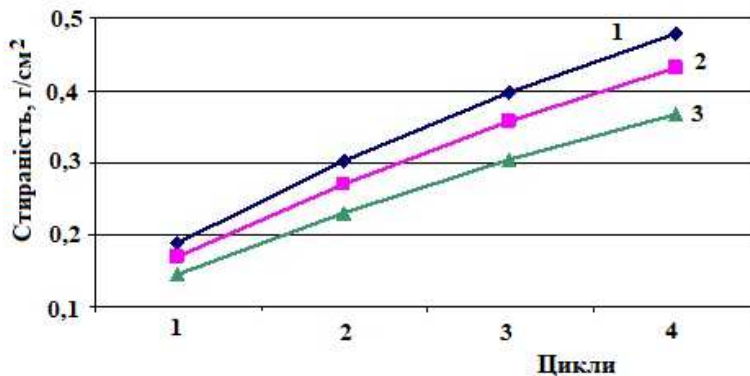


Рис. 1. Стираність сухих зразків бетону: 1) Щ : П = 1 : 1;
2) Щ : П = 1,67 : 1; 3) Щ : П = 3 : 1

Його власна стираність на порядок нижче ніж стирання розчину бетону, тому стираність знижується більше ніж на 30%. Проведені дослідження щодо визначення стираності при повних чотирьох цик-
158



лах обертання кола стирання (рис. 1) показали, що стираність носить лінійний характер, який не залежить від типу структури цементного бетону і витрат щебеню. Такий же лінійний характер має залежність стирання бетонів з різним співвідношенням крупного та дрібного заповнювачів, але у водонасиченому стані.

Дослідження стираності зразків, насичених водою свідчать про те, що у вологому стані цементний бетон зменшує опір дії стираючим навантаженням. Це можна пояснити як проявом розклинюючого тиску (ефект Дєрягіна), так і проявом адсорбційного зниження міцності (ефект Ребіндера).

Дію стираючих навантажень можна розкласти на дві складові: перша складова – механічна, тобто дія, що виникає в результаті наявності шорсткостей на дотичних поверхнях; друга складова – адгезійна, тобто сили, що виникають в результаті прилипання молекул однієї поверхні до молекул іншої поверхні. В результаті дії води між дотичними поверхнями збільшується площа контакту, що веде до збільшення адгезійної складової і як наслідок це призводить до більш інтенсивного відривання молекул одного матеріалу від молекул іншого матеріалу.

Дослідження показали (рис. 2), що для бетонів з контактною структурою (за І.М. Грушко) при високому вмісті щебеню – до 1500 кг/м^3 відривання молекул при дії води проходить менш інтенсивно ніж для інших типів структур. Очевидно, що для таких бетонів стираність у водонасиченому стані менша ніж для інших бетонів, оскільки в них знаходиться значна кількість щебеню. Очевидно, що чим більше в складі бетону щебеню, тим менше його стираність і кінцевий знос поверхні.

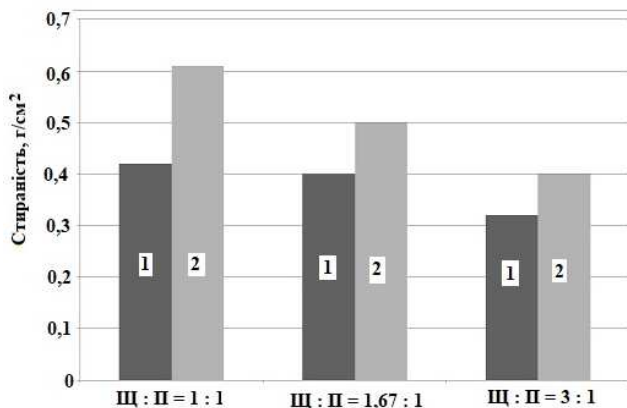


Рис. 2. Стираність сухих та вологонасичених зразків бетону:
1) сухі зразки бетону; 2) вологонасичені зразки бетону

Проведені дослідження дозволили встановити взаємозв'язок між складом бетону і його стиранистю в сухому і водонасиченому стані. Стираність зразків бетону, що знаходяться в водонасиченому стані на 25-48% більше ніж сухих зразків. Можна припустити, що чим більше збільшення стиранисті, тим менш стійка структура бетону до дії рідких середовищ. Для кількісної оцінки стійкості структури бетону проти зносу можна оцінити ступінь зміни стирання зіставивши його в сухому і водонасиченому стані. За аналогією з коефіцієнтом розм'якшення, можна ввести коефіцієнт стійкості структури бетону до дії стираючих навантажень ($K_{ст}$). Тоді для оцінки стійкості структури до дії води цей $K_{ст}$ буде являтися відношенням стираності сухих зразків до стираності вологих. У загальному випадку, чим вище $K_{ст}$, тим щільнішою і довговічною є структура, тим більше вона стійка до зносу. Проведені дослідження $K_{ст}$ дозволили встановити взаємозв'язок між стиранистю сухих і вологих зразків для різних типів структур (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнт стійкості структури бетонів у сухому та вологому стані $K_{ст}$

№ складу	Відношення Щ : П	$G_{сухих},$ г/см ²	$G_{вологих},$ г/см ²	$K_{ст} =$ $G_{сухих} / G_{вологих}$
1	1:1	0,48	0,648	0,74
2	1,67:1	0,43	0,53	0,81
3	3:1	0,37	0,42	0,87

Аналіз табл. 1 показав, що найбільшою стійкістю володіє структура бетону, в якій міститься найбільша кількість щебеню. Це очевидно, тому що адсорбційне зниження твердості при зволоженні, яке прямо пов'язане з стиранистю, і пояснюється зниженням мікротвердості поверхні, насамперед розчину бетону, практично, не змінює мікротвердість поверхні гранітного заповнювача. Стираність бетону в цьому випадку визначається стиранистю його розчинної частини.

При експлуатації дорожній бетон підпадає під вплив різних природних факторів, в тому числі атмосферних опадів і ґрунтових вод. При циклічній дії води на структуру бетону відбуваються два процеси. При попаданні води на поверхню бетону вона проникає в пори і дефекти і сприяє продовженню гідратації цементу (вторинна гідратація). Відновлюються структуроутворюючі процеси, що призводить до зростання міцності бетону. З іншого боку, насичення бетону водою сприяє в подальшому активізації міграційних процесів в тілі



бетону, що призводять до випаровування вологи. При цьому в силу осмотичного явища в порах цементного бетону виникає тиск на стінки пор, що приводить до їх руйнування, тобто при висушуванні переважають деструктивні процеси. Таким чином, в бетоні при циклічному впливі рідких середовищ відбуваються два взаємно протилежних явища: структуроутворення і деструкція. Кожен такий цикл призводить до розхитування структури бетону і чим більше таких циклів, тим швидше структура зруйнується. Зміна якості структури в першу чергу відіб'ється на стираності бетону, яка повинна збільшитися.

За даними Харківського метеорологічного центру кількість днів з опадами більше 5 мм, для Харківського регіону становить до 50 за рік. Вважаючи, що в цих умовах відбувається повне насичення бетону водою, в лабораторних умовах зразки бетону піддавали такій же кількості циклів насичення і висушування. Після цього зразки піддавали випробуванням на стираність.

Дослідження міцності бетонів показали, що при циклічній дії води міцність бетонів змінюється за складною хвильовою залежністю. Спочатку, при певному числі циклів насичення-висушування (20...40 циклів), міцність зразків знижується. Надалі вона може рости, досягаючи при цьому первинних значень або перевершуючи їх. Повторне зниження міцності спостерігається після 70-110 циклів насичення-висушування. Аналогічні залежності відзначені нами при дії циклічного заморожування-відтавання бетонів. У той же час, з огляду на те, що насичення-висушування бетону по глибині шару відбувається повільно, і для повного водонасичення необхідно певний час, протягом якого може відбуватися реанімація властивостей бетону, можна вважати, що повного руйнування всього шару бетону по глибині відбуватися не буде. У той же час, насичення-висушування верхнього, досить тонкого шару бетону, особливо в дощовий період року, відбувається швидко, що становить найбільшу небезпеку для структури бетону. За даними Харгідрометеоцентру випадання короткочасних опадів у весняно-літньо-осінній період може відбуватися 100-120 разів. Тому існує реальна небезпека пошарового руйнування бетону, особливо при одночасній дії механічних стираючих навантажень, які сприяють зносу. Про небезпеку пошарового руйнування написано в роботах вітчизняних і зарубіжних авторів [4; 5]. Наприклад, в дослідженнях С.П. Возного і Ю.М. Дорошенка відзначено, що всі навантаження сприймає насамперед поверхневий шар бетону, тому і руйнування відбуваються саме в цьому шарі товщиною 0,1-1 см. Потім руйнування переміщається поступово вглиб бетону. Також автори вважають, що при змінному зволоженні-висиханні відбу-

вається наростання залишкових деформацій всередині бетону, які можуть розглядатися як втомні деформації. Ці деформації знаков-мінні і особливо небезпечні в ранньому віці. При таких впливах відбувається утворення тріщин, яке інтенсифікує знос. Тому важливим етапом наших досліджень була оцінка зміни стираності бетонів після певного числа циклічних впливів.

Порівняння стираності контрольних зразків бетону і зразків, що пройшли 50 циклів насичення-висушування показало, що стираність вологих зразків після циклічних впливів зростає, однак це збільшення для різних складів бетону було не значним і склало 17, 12 і 8% для складів Щ : П = 1 : 1, 1,67 : 1 і 3 : 1 відповідно. В цьому випадку при збільшенні кількості щебеню в складі бетону відбувається збільшення стійкості структури до зносу, що відбивається на зміні $K_{ст}^{Н-В}$ (табл. 2).

Таблиця 2
Коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу $K_{ст}^{Н-В}$ після 50 циклів насичення-висушування у воді

№ складу	Відношення Щ : П	$G_{сухих}$, г/см ²	$G_{вологих}^{50}$, г/см ²	$K_{ст}^{Н-В} = G_{сухих}/G_{вологих}^{50}$
1	1:1	0,48	0,56	0,86
2	1,67:1	0,43	0,48	0,89
3	3:1	0,37	0,40	0,91

При подальшому збільшенні кількості циклів насичення-висушування стираність вологих зразків після 100 циклів зростає, а $K_{ст}^{Н-В}$ знижується (табл. 3). Це свідчить про погіршення якості структури бетону і зниження його стійкості до зношування, а значить, зменшення довговічності і терміну служби. Проводячи аналіз зміни $K_{ст}$, можна визначити момент, коли в бетоні настає критичний стан і необхідно застосувати заходи щодо захисту бетону або провести ремонт всього покриття.

Аналогічні дослідження були проведені для циклічної дії змінного заморожування-відтавання. Кількість переходів через 0° С для Харківського регіону в осінньо-зимово-весняний період становить близько 70 за рік. Тому дослідження стираності проводили після такої ж кількості циклів заморожування-відтавання (табл. 4). Випробування проводили за основною методикою, прийнятою для дорожнього бетону: зразки насичували, а потім відтаювали в 5-відсотковому розчині хлориду натрію при температурі +18±2° С, а заморожували в сухому стані при -18±2° С. За основу були прийняті зразки бетону, які не піддавали заморожуванню-відтаванню.



Таблиця 3

Коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу $K_{ст}^{H-B}$ після 100 циклів насичення-висушування в воді

№ складу	Відношення Щ : П	$G_{сухих},$ г/см ²	$G_{вологих},$ г/см ²	$K_{ст}^{H-B} =$ $G_{сухих} / G_{вологих}^{100}$
1	1:1	0,48	0,69	0,70
2	1,67:1	0,43	0,57	0,75
3	3:1	0,37	0,45	0,82

Таблиця 4

Коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу $K_{ст}^{MP3}$ після 70 циклів заморожування-відтавання

№ складу	Відношення Щ : П	$G_{основних},$ г/см ²	$G_{мрз}^{70},$ г/см ²	$K_{ст}^{MP3} =$ $G_{основних} / G_{мрз}^{70}$
1	1:1	0,48	0,68	0,71
2	1,67:1	0,43	0,57	0,75
3	3:1	0,37	0,47	0,78

Таблиця 5

Коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу $K_{ст}^{MP3}$ після 150 циклів заморожування-відтавання

№ скла- ду	Відношення Щ : П	$G_{основних},$ г/см ²	$G_{мрз}^{150},$ г/см ²	$K_{ст}^{MP3} =$ $G_{основних} / G_{мрз}^{150}$
1	1:1	0,48	0,83	0,58
2	1,67:1	0,43	0,69	0,62
3	3:1	0,37	0,56	0,66

З даних таблиць 2 і 4 видно, що змінне заморожування-відтавання в середовищі хлориду натрію носить більш руйнівний характер для структури цементного бетону ніж циклічне насичення-висушування у воді. Про це свідчить зниження коефіцієнта стійкості структури $K_{ст}^{MP3}$ у разі циклічного заморожування-відтавання більшою мірою ніж при насиченні-висушуванні в воді $K_{ст}^{H-B}$.

Подальші випробування стираності бетону після 150 циклів морозного впливу свідчать про ще більше зниження $K_{ст}^{MP3}$ для всіх типів структур бетону (табл. 5).

Ймовірно, що таке значне зниження $K_{ст}^{MP3}$ при циклічному заморожуванні-відтаванні обумовлено дією не тільки зміни температур, а й тим, що при такому впливі відбувається також насичення-висушування в водному розчині хлориду натрію. Таким чином, зразки бетону піддаються впливу відразу трьох агресивних середовищ: знакозмінних температур, насиченню-висушування в воді і дії хлоридів. При цьому найбільшому руйнуванню піддається верхній шар бетону.

У реальних умовах експлуатації бетону в зимовий період на нього впливає комплекс факторів, що складається не тільки з механічних і морозних впливів, але і сольові розчини, які застосовують для боротьби із зимовою слизькістю. Статистичні дані взяті у дорожніх організацій Харківської, Дніпропетровської, Полтавської областей показали, що в цей період хлориди застосовують не менше як 20-30 разів залежно від природних умов. Тому дослідження стираності бетону проводили після 30 циклів, насичення-висушування в 5-відсотковому водному розчині NaCl (табл. 6).

Отримані дані показують, що вплив циклічного насичення-висушування в водному розчині хлориду натрію на стираність, менше ніж при циклічному заморожуванні-відтаванні в хлоридному середовищі, однак більше ніж при циклічній дії води (табл. 2, 3). Це підтверджує висловлене раніше припущення про те, що при випробуваннях на морозостійкість, які моделюють реальні умови експлуатації бетонного покриття, на бетон діють відразу три фізико-хімічних фактора (температура, волога і сіль). Негативний вплив водних розчинів хлоридів було відзначено в роботах різних авторів [6; 7]. Накладення механічних стираючих навантажень в цьому випадку призводить до найбільшого зниження коефіцієнта стійкості структури бетону до зносу.

Таблиця 6

Коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу K_{CT}^{NaCl} після 30 циклів насичення-висушування в 5-відсотковому розчині хлориду натрію

№ складу	Відношення Щ : П	$G_{сухих}$, г/см ²	G_{NaCl} , г/см ²	$K_{CT}^{NaCl} = \frac{G_{сухих}}{G_{NaCl}}$
1	1:1	0,48	0,64	0,75
2	1,67:1	0,43	0,55	0,78
3	3:1	0,37	0,47	0,79

Таблиця 7

Зведена таблиця K_{CT} після дії агресивних факторів

№ складу	Відношення Щ : П	$K_{CT}^{H-B} = \frac{G_{сухих}}{G_{вологих}}^{50}$	$K_{CT}^{NaCl} = \frac{G_{сухих}}{G_{NaCl}}$	$K_{CT}^{мрз} = \frac{G_{основних}}{G_{мрз}}^{70}$
1	1:1	0,86	0,75	0,71
2	1,67:1	0,89	0,78	0,75
3	3:1	0,91	0,79	0,78

Зниження K_{CT} при дії водного розчину NaCl в порівнянні з водою обумовлено тим, що при циклічній дії хлоридів сіль може відкладатися в порах і тріщинах бетону у вигляді кристалів. Це призводить до виникнення додаткового внутрішнього тиску (напруги) в структурі, особливо верхніх шарів бетону, і сприяє її ослабленню. Крім того, до руйнування структури призводять осмотичні і дифузійні явища, які відбуваються в період циклічних дій водних розчинів солі [8-10].



Проведені дослідження підтверджують те, що руйнування бетону при дії цього комплексу факторів відбувається пошарово, поступово поширюючись з поверхні вглиб.

Аналіз табл. 7 свідчить, що найбільш стійким до зносу при дії різних агресивних факторів є бетон складу № 3, тобто бетон з контактною структурою, в якій знаходиться до 1500 кг/м^3 щебеню. Це пояснюється зменшеним вмістом в ньому розчинної частини як найбільш слабкої за мікротвердістю і легкостираючого елемента структури бетону.

Руйнування бетону при дії агресивних факторів, що обумовлено пошаровим зносом, відбувається поступово. На підставі цього можна припустити, що існує критична величина стираності і критичний коефіцієнт стійкості структури до зносу, $K_{ст}^{крит}$, після досягнення якого (якщо дія зовнішніх агресій триває) руйнування бетону стає незворотнім. Визначення цих показників необхідно для своєчасного проведення вторинного захисту бетонного покриття або для початку ремонтних робіт.

Для проведення цих досліджень на зразках всіх складів бетону стиранню піддавали верхню грань до величин $G=0,4 \text{ г/см}^2$, $0,8 \text{ г/см}^2$, $1,2 \text{ г/см}^2$. Ці величини прийняті, оскільки відповідають товщина захисного шару розчину над крупним заповнювачем в бетоні. Відомо, що при ущільненні частина розчинної суміші під дією вібрації віджимається в верхню частину бетону. У цій частині розчину зосереджено також підвищена кількість цементу у порівнянні з об'ємною частиною бетону, тому вона отримала назву «захисний шар».

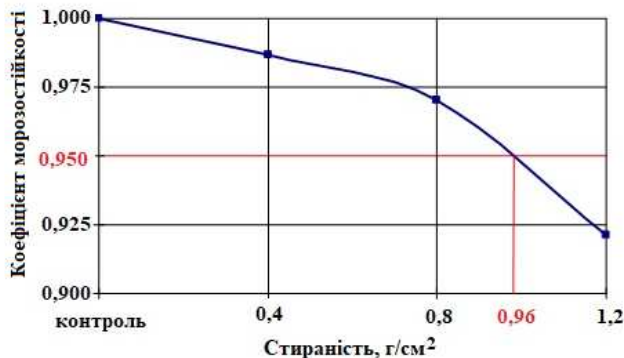


Рис. 3. Морозостійкість стертих зразків при Щ : П = 1 : 1

Міцність і мікротвердість цієї частини розчину вище ніж в об'ємі бетону і вона ніби захищає поверхню бетону від зовнішніх впливів. Для ефективного захисту вважається, що товщина захисного шару не повинна бути більше 3 мм. У реальних бетонах товщина захисного

шару коливається від 1,5 до 5 мм. Стираність $G = 0,4 \text{ г/см}^2$ відповідає товщині 1,7 мм, $G = 0,8 \text{ г/см}^2$ відповідає товщині 3,3 мм, а стираність $G = 1,2 \text{ г/см}^2$ – товщині шару розчину 5 мм. Після цього основні зразки (що не піддавалися стиранню) і контрольні зразки піддавали заморожуванню і відтаванню протягом 150 циклів. Це відповідає приблизно двом-трьом рокам експлуатації при 50-70 циклах переходів через 0 C за один сезон. Після випробування на заморожування-відтавання для всіх зразків за стандартною методикою визначали коефіцієнт морозостійкості (рис. 3-5).

Критичну стираність визначали графічно (рис. 3-5). Відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-47 [11], критичною стираністю слід вважати стираність, при якій коефіцієнт морозостійкості дорівнює $K_{\text{мрз}} = 0,95$, тобто також є мінімально допустимим для бетону (або критичним).

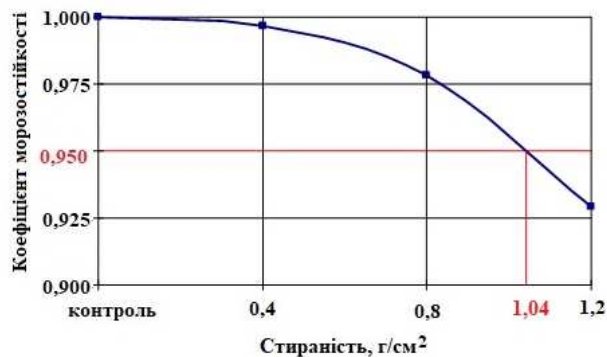


Рис. 4. Морозостійкість стертих зразків при Ц : П = 1,67 : 1

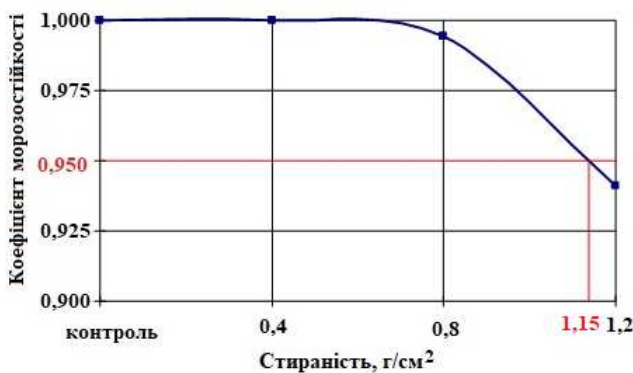


Рис. 5. Морозостійкість стертих зразків при Ц : П = 3 : 1

Під терміном «критична стираність» розуміється стираність, при якій структура цементного бетону перестає чинити опір дії агресивних факторів без втрати експлуатаційних властивостей. Це обумовлено руйнуванням не тільки верхнього, але й більш глибоко лежачих шарів цементного бетону. Мова йде про те, що після досягнення кри-



тичної стираності бетону, його фізико-механічні властивості, в першу чергу – міцність і довговічність, знижуються стрибкоподібно і необоротно.

Дослідження показали, що для складу бетону при співвідношенні заповнювачів Щ:П=1:1 критичною величиною стирання є $G=0,96$ г/см². Для бетону при співвідношенні Щ:П=1,67:1 критична стираність дорівнює $G = 1,04$ г/см², а для бетону при співвідношенні Щ:П=3:1 критична стираність дорівнює $G=1,15$ г/см².

Зразки складу № 3, мають найбільшу стійкість проти циклічного заморожування-відтавання і можуть бути піддані більш глибокому зносу, ніж зразки складів № 2 і № 1. Відповідно до ТУ У 26.6-24488934-002 [12] для бетонів транспортного призначення стираність при стандартному випробуванні не повинна перевищувати:

- для бетонів класу В 30 – 0,7 г/см²;
- для бетонів класу, більш В 30 – 0,6 г/см²;
- для бетонів на вапнякових заповнювачах – 0,9 г/см².

Глибина стираності шару бетону, що відповідає цим граничним значенням, складе 2,9 мм, 2,5 мм і 3,8 мм, що входить в межі критичних значень стираності, визначених за показником коефіцієнта морозостійкості (див. рис. 3-5). У перерахунку на глибину стирання критичне її значення знаходиться в межах 4-5 мм, тобто при досягненні такого рівня (або значення) стираності здійснюється вільний доступ агресивних середовищ в структуру бетону на всю її товщину і, відповідно, його подальше повне руйнування. Отримані нами дані свідчать, що критична стираність також залежить від складу бетону (рис. 6).

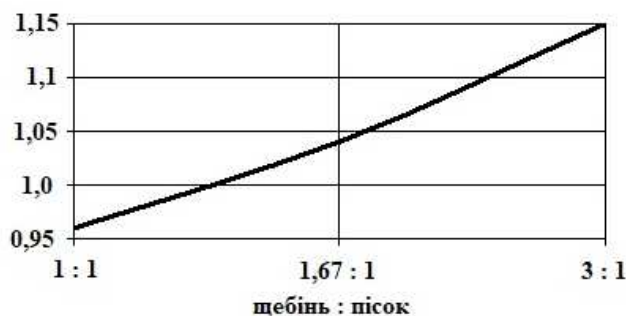


Рис. 6. Залежність стираності від співвідношення заповнювачів

Висновки. 1. Показано, що найбільшу небезпеку для дорожніх бетонів представляє спільна дія агресивних водних середовищ та механічних стираючих навантажень від рухомого транспорту. При цьому знос покриття відбувається пошарово від поверхні вглиб бе-

тону. Пошаровий знос дозволяє рідким водним середовищам проникнути в масив бетону, що прискорює руйнування структури бетону.

2. Експериментально доведено, що залежність стираності від числа циклів прикладання навантаження має лінійний характер і не залежить від співвідношення крупного та дрібного заповнювачів у складі бетону. Стираність бетонів в водонасиченому стані на 25-48% вище ніж бетонів в сухому стані.

3. Запропоновано стійкість і стабільність структури характеризувати коефіцієнтом стійкості структури бетону до зносу, $K_{ст}$. Залежно від умов стирання цей коефіцієнт є відношення стираності бетонів, які не піддавалися дії агресивного середовища до стирання бетонів, які зазнали цієї дії. Виділено основні види впливів, які призводять до посилення стирання бетону: насичення-висушування у воді, заморожування-відтавання і насичення-висушування у водному розчині хлориду натрію. У кожному разі визначено критичний коефіцієнт стійкості структури бетону до зносу.

4. Для бетонів з різним співвідношенням між крупним і дрібним заповнювачем визначені критичні величини стираності, а критерієм морозостійкості. Перевищення цих величин свідчить про втрату бетоном морозостійкості.

1. Лівша Р. Я., Ольховик М. С., Васьків Н. О. Сумісний вплив вологості і температури на поздовжню стійкість монолітних цементобетонних покриттів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2004. Вип. 72. С. 47–52. 2. Толмачев С. Н. Причины разрушения дорожных бетонов при действии агрессивных факторов. *Науковий вісник ДонДГАСА*. Макіївка, 2004. Вип. 2004-1(43). Том 2. С. 134–133. 3. ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності. Київ, 2009. 15 с. 4. Возный С. П., Дорошенко Ю. М., Анализ влияния различных факторов на цементобетонное покрытие автомобильных дорог. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. Вип. 96. С. 50–60. 5. Victor C. Li, Mohamed Maalej. Toughening in Cement Based Composites. Part 1. *Cement, Mortar, and Concrete. Cement & Concrete Composites*. 1996. Vol. 18, Issue 4. P. 223–237. 6. Леонович С. Н., Прасол А. В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение. *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 94–95. 7. Закревський А. І., Попелиш І. І., Корітчук С. О., Колосівський М. Л. Аеродромні антижелезні хімеагенти. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. Вип 96. С. 19–32. 8. Бражник А. В. Монолитные дорожные цементные бетоны высокой морозостойкости с органоминеральным комплексом и фиброй : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / УкрДУЗТ, Харків, 2015. 158 с. 9. Decker M., Bauer D., Hilbig H., Heinz D. Salt Migration in the Concrete Interfacial Transition Zone – Investigations with Laser Ablation-ICP-MS. *20 Internationale*



Baustofftagung. Bundesrepublik Deutschland : Weimar, 2018. Band 1. P. 1049–1054. **10.** Zhang J.-Z., McLoughlin I. M., Buenfeld N. R. Modelling of Chloride Diffusion into Surface-treated Concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1998. Vol. 20. Issue 4. P. 253–261. **11.** ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Москва : Минстрой России, 1996. 14 с. **12.** ТУ У 26.6-24488934-002:2003. Вироби бетонні тротуарні. Технічні умови. Харків : ХНАДУ, 2003. 15 с.

REFERENCES:

1. Livsha R. Ya., Olkhovyk M. S., Vaskiv N. O. Sumisnyi vplyv volohosti i temperatury na pozdovzhniu stiikist monolitnykh tsementobetonnykh pokryt. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2004. Vyp. 72. S. 47–52. **2.** Tolmachev S. N. Prichyny razrusheniia dorozhnykh betonov pri deistvii ahresivnykh faktorov. *Naukovyi visnyk DonDHASA*. Makiivka, 2004. Vyp. 2004-1(43). Tom 2. S. 134–133. **3.** DSTU B V.2.7-212:2009. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia styranosti. Kyiv, 2009. 15 s. **4.** Voznyi S. P., Doroshenko Yu. M., Analiz vlianiia razlichnykh faktorov na tsementobetonnoe pokrytie avtomobilnykh doroh. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2016. Vyp. 96. S. 50–60. **5.** Victor C. Li, Mohamed Maalej. Tonghening in Cement Based Composites. Part 1. *Cement, Mortar, and Concrete*. *Cement & Concrete Composites*. 1996. Vol. 18, Issue 4. R. 223–237. **6.** Leonovich S. N., Prasol A. V. Zhelezobeton v usloviiakh khloridnoi korrozii: deformirovanie i razrushenie. *Stroitelnye materialy*. 2013. № 5. S. 94–95. **7.** Zakrevskiy A. I., Popelysh I. I., Koritchuk S. O., Kolosivskiy M. L. Aerodromni antyozheledni khimreahenty. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2016. Vyp 96. S. 19–32. **8.** Brazhnik A. V. Monolitnye dorozhnye tsementnye betony vysokoi morozostoikosti s orhanomineralnym kompleksom i fibroi : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05 / UkrDUZT, Kharkiv, 2015. 158 s. **9.** Decker M., Bauer D., Hilbig H., Heinz D. Salt Migration in the Concrete Interfacial Transition Zone – Investigations with Laser Ablation-ICP-MS. *20 Internationale Baustofftagung*. Bundesrepublik Deutschland : Weimar, 2018. Band 1. R. 1049–1054. **10.** Zhang J.-Z., McLoughlin I. M., Buenfeld N. R. Modelling of Chloride Diffusion into Surface-treated Concrete. *Cement & Concrete Composites*. 1998. Vol. 20. Issue 4. R. 253–261. **11.** DSTU B V.2.7-47-96. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia morozostiikosti. Moskva : Ministroi Rossii, 1996. 14 s. **12.** ТУ У 26.6-24488934-002:2003. Vyroby betonni trotuarni. Tekhnichni umovy. Kharkiv : KhNADU, 2003. 15 s.

Tolmachov S. M., Doctor of Engineering, Professor, ORCID:0000-0003-1011-3861 (Kharkov National Automobile und Highway University)

ROAD CONCRETE ABRASION AS CRITERION OF PREDICTION OF ITS DURABILITY

Analysis of the state of cement-concrete pavements of roads and airfields shows that during operation they are subject to abrasive loads from vehicles. Over the past twenty – twenty-five years, traffic loads and traffic intensities have increased in several times. The number of flights is increasing and the carrying capacity of aircraft is growing. All this leads to significant wear of the pavements. In the event that cracks and other defects appear on the pavements, wear increases. The wear can increase if water, liquid aggressive environments, freezing and thawing act on concrete. However, studies of the abrasion of concrete pavements are not conducted. This makes it impossible to assess the degree of danger from the action of abrasive loads.

The article discusses the impact of the action of water and an aqueous solution of sodium chloride on the abrasion of concrete. The results of studies of the abrasion of concrete in the dry and wet state, as well as after the cyclic action of saturation-drying and freezing-thawing, are presented. It is shown that the action of these factors leads to a decrease of the durability of concrete. The abrasion of concrete with a different ratio of coarse and fine aggregates was studied.

To predict the abrasion and durability of concrete, the concepts of «critical abrasion» and «coefficient of resistance of concrete structure to wear» were introduced. The article shows that the amount of concrete wear determines its frost resistance and makes it possible to predict it. It has been established that the assessment of abrasion makes it possible to control the operational state of the concrete pavements and evaluate the need for concrete protection measures.

***Keywords:* abrasion, wear, pavement, crack, freezing and thawing, saturation-drying.**



Толмачев С. М., д.т.н., профессор, ORCID: 0000-0003-1011-3861
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

ИСТИРАЕМОСТЬ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

В статье рассмотрены вопросы взаимосвязи истираемости бетона при одновременном воздействии агрессивных жидких водных сред и срока его службы в покрытии в зависимости от его состава. Введено понятие критической истираемости и коэффициента устойчивости структуры бетона, которые позволяют оценивать необходимость проведения профилактических мероприятий по защите и реанимации свойств бетона.

***Ключевые слова:* истираемость, износ, покрытие, трещина, замораживание-оттаивание, насыщение-высушивание.**
