

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ

ІЛЬІН ЯРОСЛАВ ВІКТОРОВИЧ



УДК: 625.85: 625.042: 620.19: 620.17

**ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА НЕРУЙНУЮЧОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО
МЕТОДУ ОЦІНКИ МОРОЗОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

05.23.05 — будівельні матеріали та вироби

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії імені М.І. Волкова.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
Золотарьов Віктор Олександрович,
Харківський національний автомобільно- дорожній
університет, завідувач кафедри «Технології дорожньо-
будівельних матеріалів і хімії ім. проф. М.І.Волкова»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук професор, Інститут будівництва
та інженерних систем, Національного університету
«Львівська політехніка» **Солодкий Сергій Йосифович**,
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів

кандидат технічних наук, доцент, **Чугуєнко Сергій
Анатолієвич**, провідний інженер ТОВ «РАДІАЛ
Інжиніринг»

Захист відбудеться «4» лютого 2021 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.04 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40 та на сайті університету: <http://kstuca.kharkov.ua/ndial/nauka/206-specializovana-vchena-rada-d-6405604.html>

Автореферат розісланий «30» грудня 2020 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, к. т. н., доцент



О.В. Доброходова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Асфальтобетон – найбільш розповсюджений вид покриття автомобільних доріг завдяки багатьом його позитивним якостям таким як: технологічність, висока ремонтоздатність, можливість направленою регулювання властивостей, в залежності від умов експлуатації, короткий період часу від укладання до введення в експлуатацію, низьке шумоутворення. Проте, незважаючи на тривалу та плідну історію його досліджень, вплив деяких технологічних факторів як-то температурні переходи через 0 °С в оточуючому середовищі в умовах з сумісним використанням протижеледних речовин, недостатньо вивчені. Погодно-кліматичні фактори, що діють одночасно з навантаженнями, починають свій вплив на деформаційні характеристики асфальтобетону з моменту початку терміну його роботи і до остаточного руйнування. Циклічне заморожування-відтавання (ЦЗВ) характеризується річним сезоном року, що ускладнює встановлення кількості ЦЗВ, які є критично-руйнівними для асфальтобетону в дорожньому покритті. Ускладнюється також невизначеність змін, що відбуваються в структурі асфальтобетону в теплу пору року після припинення дії фактору ЦЗВ. Використовувані до цього часу показники морозостійкості визначались за співвідношенням міцності асфальтобетону на стиск, згин, розтяг до та після ЦЗВ. При цьому не оцінювалась роль впливу ЦЗВ на несучу здатність дорожнього одягу за рахунок зміни, перш за все, модулів пружності асфальтобетонів. В той же час руйнівна дія ЦЗВ водночас з дією протижеледних речовин має враховуватись при розрахунку конструкції нежорстких дорожніх одягів.

Викладене та світова тенденція щодо вивчення явища морозостійкості асфальтобетону свідчить про актуальність напрямку дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота є складовою планових комплексних науково-дослідних робіт:

- тема № 42/38-04-15 «Провести дослідження з визначення впливу структурних дефектів асфальтобетонів на їх розрахункові характеристики та підготувати пропозиції щодо підвищення надійності даних характеристик».

- тема № 52/38-56-19 «Провести дослідження впливу модифікації бітумів на фізико-механічні властивості дорожнього асфальтобетону та підготувати пропозиції щодо коригування відповідних показників у довідниках розрахункових характеристик».

У рамках зазначених тем було виконано дослідження з визначення міцності при стиску та при вигині, динамічних модулів пружності, показників життєвого циклу асфальтобетону під дією статичного навантаження. Головною складовою роботи є вивчення впливу циклічних заморожувань-відтавань на ці характеристики та визначення коефіцієнту морозостійкості асфальтобетону. Проведено аналіз даних літератури з цього напрямку.

Мета дослідження: обґрунтування і розробка неруйнуючого методу визначення коефіцієнту морозостійкості заснованому на співвідношенні

показників деформування асфальтобетону в області його лінійного деформування до та після циклічного заморожування-відтавання

Задачі дослідження:

- обґрунтувати доцільність оцінки морозостійкості шару асфальтобетону за модулями його пружності та розробити метод такої оцінки;
- визначити вплив умов підготовки зразків та проведення дослідження на значення коефіцієнту морозостійкості;
- встановити альтернативний метод визначення морозостійкості асфальтобетону за деформативними характеристиками, що визначаються як зміна часу життєвого циклу асфальтобетону від дії постійного навантаження;
- визначити вплив якості в'язучого на морозостійкість асфальтобетону;
- визначити вплив умов витримування асфальтобетону в різних агресивних середовищах на його морозостійкість;
- встановити взаємозв'язок між коефіцієнтами морозостійкості визначеними за модулем пружності асфальтобетонів та їх життєвим циклом;
- обґрунтувати необхідність введення в метод розрахунку дорожнього одягу коефіцієнтів запасу міцності на морозостійкість асфальтобетону;
- рекомендувати використання коефіцієнтів запасу міцності за морозостійкістю при проектуванні нежорстких дорожніх одягів.

Об'єкт дослідження – процес зниження несучої здатності асфальтобетону під дією циклічного заморожування-відтавання (ЦЗВ)

Предмет дослідження – метод визначення морозостійкості на прикладі піщаного асфальтобетону з різновидами в'язучих та в умовах дії різних протиожеледних середовищ.

Методи дослідження. Стандартні методи оцінки якості асфальтобетонів: міцності при згині при заданій швидкості деформування, а також морозостійкості асфальтобетону при гармонічних та статичних навантаженнях. Для здійснення поглиблених досліджень використані розроблені на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ методи і прилади: для визначення модулю пружності використано вібростенд, а для визначення часу життєвого циклу – прилад для статичної дії навантаження.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- розроблено і використано метод оцінки морозостійкості асфальтобетону за модулями пружності, визначеними у лінійній області їх деформування, тобто не руйнуючим способом;
- встановлено можливість визначення коефіцієнту морозостійкості за співвідношенням статичної довговічності асфальтобетонів шляхом порівняння її значень до та після циклічного заморожування-відтавання;
- проаналізовано вплив морозостійкості асфальтобетону на несучу здатність нежорсткого дорожнього одягу.

Отримали подальший розвиток:

- вивчення впливу умов випробування на показники морозостійкості асфальтобетону, що дозволяє рекомендувати параметри випробування у відношенні температури заморожування мінус 20 °С (4 год) та розморожування до

10 °С (4 год), визначення модулів пружності за температури 10 °С та частоті 1,6 Гц;

– встановлення впливу якості в'язучого та доцільності використання асфальтополімербетонів, а також впровадження розчинів хлористого кальцію для боротьби з зимовою слизькістю.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів забезпечена: використанням сучасних методів дослідження фізико-механічних властивостей; статистичною обробкою отриманих результатів; використанням електронної тензометрії та комп'ютерних технологій вимірювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці методу визначення коефіцієнту морозостійкості шляхом неруйнівного встановлення модулю пружності з використанням одного й того ж зразка. Показано доцільність використання добавок в асфальтобетон для збільшення його морозостійкості та боротьби з ожеледицею. Встановлено вплив ЦЗВ на несучу здатність дорожнього одягу.

Особистий внесок здобувача:

- встановлено параметри випробування за частотою та температурою;
- визначено модуль пружності, міцність при стиску, міцність при вигині;
- показники життєвого циклу асфальтобетону під дією статичного навантаження;
- встановлено зміну цих показників під впливом циклічних заморожувань-відтавань за зниженням коефіцієнту морозостійкості неруйнівним методом;
- участь у розробці методу визначення морозостійкості асфальтобетонів неруйнівним методом та патенті на корисну модель «Спосіб неруйнуючого визначення морозостійкості асфальтобетону».

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях і семінарах: 79-83 науково-технічних конференціях університету ХНАДУ (Харків, 2015-2019 р.), секція: технології дорожньо-будівельних матеріалів; Міжнародній конференції «Бітумні в'язучі та асфальтобетони: досягнення та проблеми» (Харків, 2017 р.); III всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва» (Луцьк, 2018 р.); всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури» (Харків, 2018); Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume Congress v1.0, first published 1st July 2020, ISBN: 9789080288461 (Madrid, 2020)

Публікації. Основні результати дисертації викладено у 11-и публікаціях, з них 6 статей у фахових виданнях України (серед яких 4 входять до міжнародних баз), 3 публікації у збірниках науково-технічних конференцій і 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 172 сторінки, містить 29 рисунків, 39 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність дисертаційної теми, сформульована мета та задачі дослідження. Сформульовано наукову новизну роботи, показано практичні аспекти отриманих результатів та доцільність їх впровадження у виробництво.

У першому розділі розглянуто стан питання щодо забезпечення довговічності та попередження руйнування дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям. Фактори, що впливають на асфальтобетон у покритті, поділяються на дві великі категорії: кліматичні атмосферні та механічні. В роботі максимальна увага зосереджена на зміні властивостей асфальтобетону під дією атмосферних факторів, зокрема циклічного заморожування-відтавання, а також на вплив якості в'язучих та сольових розчинів на морозостійкість асфальтобетону.

Циклічне заморожування-відтавання є активним фактором руйнування асфальтобетону в дорожніх покриттях. Про це свідчать щорічні руйнування у вигляді лущення, викришування, вибоїноутворення, на що звертається увага в роботах Распопова Н.М., Кононова В.Н., Баранковського А.С., Гегелії Д.І., Руденського А.В., Головка В.А., Maudit V., Aussedat G., Bertier J. та інші. Тим не менш причини та наслідки руйнування від ЦЗВ вивчені менш ґрунтовно ніж низькотемпературне тріщиноутворення в асфальтобетоні. Це пов'язано зі складнощами та багатофакторністю явища. Головними факторами є: зниження температури, дія переходів води до льоду, повторність температурно-вологістних переходів, склування бітумного в'язучого.

Комплекс цих процесів, їх співвідношення призводить до незворотної зміни механічних властивостей асфальтобетону. За спостереженнями Гезенцевя Л.Б. та Гегелії Д.І. коефіцієнти фільтрації та водонасичення асфальтобетону в передосінній час зменшуються, до квітня після ЦЗВ досягають максимуму, а потім знову знижуються, але залишаються більшими, ніж у попередньому році. Це призводить до накопичення руйнувань. Французькі дослідники (Maudit V. зі співавторами) прийшли до висновку, що сумарна кількість ЦЗВ за 10-15 років може досягати 500-1200 циклів заморожування. Це може призвести до лавинного руйнування покриття. За результатами досліджень Руденського А.В. та Михайлова Н.В. з роками дія ЦЗВ прискорює руйнування від втоми асфальтобетону. Все це знижує несучу здатність асфальтобетонного покриття та всього дорожнього одягу в розрахунковий період.

В різних країнах використовують різноманітні за режимами випробування як-то: кількість ЦЗВ, температурні межі циклів, схеми напруженого стану. Зазвичай, загальною їх рисою є визначення коефіцієнтів морозостійкості (K_{MP3}) за співвідношенням показників міцності. Але такий підхід малопродуктивний, бо не дозволяє встановити деформаційну поведінку асфальтобетону та врахувати її особливості при розрахунку дорожнього одягу. Так, нормативні документи на методи визначення морозостійкості передбачають такі їх риси: в Білорусі, зразки насичені 5 % розчином солі, заморожують впродовж 2,5 годин при температурі

мінус 18 °С, потім відтаюють при температурі 18 °С впродовж 2 годин. ГОСТ 12801 нормував 4-х годинний цикл ЦЗВ при тих же температурах. Стандарт України ДСТУ Б В.2.7-319:2016 передбачає 4-х годинне ЦЗВ за температури мінус 25 °С, а кількість ЦЗВ – 25. Метод AASHTO T-283 рекомендує заморожувати зразки впродовж 24 годин за температури мінус 18 °С, а відтавання проводити 24 години за температури 60 °С. При цьому вже через 10 циклів K_{MP3} падає до 0,3, що жодним чином не відповідає умовам роботи асфальтобетону у покритті. Такий підхід копіюється також в деяких країнах СНД, де визначають морозостійкість за співвідношенням модулів жорсткості, встановленим при непрямому розтязі.

Саме врахування зміни значень модулів пружності асфальтобетонів, в умовах дії ЦЗВ, визначених в межах лінійного деформування асфальтобетону, покладено в основу цієї роботи. Доцільність такого підходу витікає також з роботи, опублікованої нещодавно Di Benedetto. В ній передбачається можливість використання методу визначення морозостійкості асфальтобетону, який би враховував: необхідність насичення зразків водою чи розчином; встановлення температурних режимів, що відповідають умовам роботи асфальтобетону в покритті; час насичення та відтавання; рівень розрідження або тиску при насиченні рідиною; доцільність випробувань за схемою напруженого розтягу. В той же час в роботах зарубіжних дослідників нема одностайності у відношенні температур ЦЗВ, часу заморожування та відтавання, рівня вакууму (від 4 кПа до 98 кПа), часу насичення (від 15 хв до 180 хв), кількості ЦЗВ (від 2-х до 150). При цьому загальна протяжність випробування може коливатись від 40 годин до 35-100 діб.

У другому розділі викладено теоретичні передумови дослідження. Циклічні заморожування-відтавання призводять до руйнування структурних зв'язків в асфальтобетоні, зміни його порового простору, утворення мікрodefektів, що призводить до зниження опору асфальтобетону дії навантаження або деформуванню.

Такий вплив ЦЗВ на асфальтобетон має бути врахований при розрахунку дорожніх одягів шляхом визначення адекватного показника морозостійкості. Традиційні показники, що їх визначають за співвідношенням міцності після та до ЦЗВ, не відповідають деформаційній схемі розрахунку нежорстких дорожніх одягів. Розрахунок базується на забезпеченості необхідної жорсткості дорожнього одягу сукупною роботою конструктивних шарів. Жорсткість кожного шару визначається модулем його пружності. Зміна модуля пружності супроводжується зміною несучої здатності всієї конструкції. У відповідності до цього показник морозостійкості має ґрунтуватись на співвідношенні модулів пружності асфальтобетонів після ЦЗВ ($E_{ЦЗВ}$) до початкового модулю пружності ($E_{П}$):

$$K_{MP3} = E_{ЦЗВ} / E_{П} \quad (1)$$

Для забезпечення об'єктивності визначення K_{MP3} обидва значення модулів пружності мають відповідати області лінійної в'язкопружної поведінки. При

цьому схема напруженого стану зразків асфальтобетону має також відповідати розрахунковій схемі дорожнього одягу – тобто пружному прогину під навантаженням. Близькою до цього схемою є двоточковий згин вертикальної консольної балки. Це запобігає деформуванню на опорах та забезпечує можливість деформування в зоні надмалих відносних деформацій (близько $(3-5) \times 10^{-5}$). Саме такий рівень деформування забезпечує відповідність значень модулів пружності області лінійного деформування, в межах якої модулі пружності асфальтобетонів залишаються постійними величинами.

Випробування в цій області надають можливість проводити випробування до ЦЗВ та після цього на одному зразку, бо попереднє деформування не супроводжується накопиченням залишкових деформацій та не призводить до зміни в структурі асфальтобетону. Саме такий підхід покладено в основу розробки метода визначення коефіцієнту морозостійкості в цьому дослідженні. Для його здійснення необхідно виконувати випробування на вібростенді за методом EN 12561, що впродовж десятків років використовується кафедрою ТДБМіХ ХНАДУ.

У третьому розділі наведені об'єкти, методи, прилади та матеріали, використані у дослідженнях. В якості досліджуваного об'єкту з причин однорідності складу прийнято піщаний асфальтобетон типу Г за ДСТУ Б В.2.7-119:2011. До його складу входить: штучний пісок – відсів подрібнення граніту Мало-Кахнівського кар'єру (властивості відповідають ДСТУ Б В.2.7-210:2010), природний пісок Безлюдівського кар'єру № 2 (м. Харків) (властивості відповідають ДСТУ Б В.2 7-32-95) , мінеральний порошок виробництва ТОВ «Будінвест», який за властивостями відповідає ДСТУ Б В.2.7-121:2014.

Асфальтобетон має гранулометричний склад: 2,5-5,0 мм – 24 %; 1,25-2,5 мм – 20 %; 0,63-1,25 мм – 17 %; 0,315-0,63 – 8 %; 0,14-0,315 мм – 15 %; 0,071-0,14 – 7 %; менше 0,071 мм – 9 %. Оптимальний вміст бітуму визначався за стандартною методикою.

В якості в'язучих прийнято: бітуми БНД 60/90 та БНД 90/130, а також бітум, модифікований 6 % блок-сополімером типу SBS. Властивості в'язучих наведено в таблиці 1.

Використано поверхнево-активні добавки виробництва Akzo Nobel AP17 та BE. ПАР AP17 характеризується такими властивостями: за температури 20 °С це рідина коричневого кольору; його щільність за температури 20 °С складає 961 кг/м³; температура спалаху – вища за 160 °С; температура розм'якшеності нижча за 0 °С. ПАР BE має властивості: за температури 20 °С це в'язка рідина коричневого кольору; його щільність за температури 20 °С складає 980 кг/м³; температура спалаху – вища за 100 °С; температура розм'якшеності нижча за 0 °С.

Таблиця 1

Властивості в'язучих, використаних в роботі

Показник	Показник		
	60/90	90/130	60/90 + 6 % SBS
Глибина проникності голки за температури 25 °С, 0,1 мм	72	115	47
Температура розм'якшеності за кільцем та кулею, °С	50,5	48,4	84,3
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	> 100	> 100	59,5
Еластичність за температури 25 °С, %	-	-	92,1
Температура крихкості, °С	-16,5	-20,0	-21,0
Зчеплення зі склом, %	36	25	96,6
Індекс пенетрації	-0,17	+0,71	+4,72
Когезія, МПа, за температури 25 °С	0,117	–	0,298

Для визначення впливу протиожеледних середовищ на морозостійкість асфальтобетону прийнято 5 %-ий розчин NaCl та 5 %-ий розчин CaCl₂.

Методи дослідження. На першому етапі досліджень встановлені стандартні властивості асфальтобетону за ДСТУ Б В.2.7-119:2011 та ДСТУ Б В.2.7-319:2016 (Табл. 2).

Таблиця 2

Стандартні властивості асфальтобетону

Вміст бітуму, %	ρ , кг/м ³	W, %	R ₂₀ , МПа	R ₅₀ , МПа	K ^B
Асфальтобетон на бітумі БНД 60/90					
5,5	2320	5,1	4,7	1,44	0,96
6,0	2360	2,0	5,0	1,71	0,99
6,5	2370	0,6	4,6	1,26	1,00
7,0	2350	0,3	4,7	1,35	1,00
7,5	2350	0,2	4,8	1,28	0,98
Асфальтобетон на бітумі БНД 90/130					
5,5	2320	4,9	3,4	1,05	-
6,0	2340	2,5	3,9	1,31	-
6,5	2350	2,0	3,7	1,00	-

Дослідження морозостійкості асфальтобетону виконували за ДСТУ Б В.2.7-319:2016 з внесенням до них доповнень. Асфальтобетонні зразки розмірами 40x40x250 мм формували у спеціальних формах під тиском 40 МПа. Після формовки через 1 добу обидва торці балки обрізали (по 5 мм). Потім до них

приклеювали епоксидним клеєм закладні деталі. Після твердіння клею (близько 2 діб) зразок консольно закріплювали на бетонній плиті вібростенду ХНАДУ. Верхня закладна деталь з'єднана зі штоком, через який при випробуванні передається циклічне навантаження, а для вимірювання деформацій до верхньої деталі приєднували індукційний індикаторний датчик переміщення.

На першому етапі кожного випробування визначали область лінійної поведінки та за значеннями деформацій і напружень розраховували комплексний модуль пружності (E^*). На другому етапі ті ж самі зразки насичували водою під вакуумом 10-15 мм рт. ст. впродовж 1 години та ще 30 хвилин при атмосферному тиску. Підготовлений таким чином зразок розміщували у морозильній камері з температурою мінус 20 ± 1 °С на 4 годин. Після цього зразок переміщали з морозильної камери у ємність з водою з температурою 19-21 °С ще на 4 години. За один день зразок піддавався 2 циклам заморожування-відтавання. З 20-ої годин до 8 годин наступного дня зразок зберігали у воді за тієї ж температури. Після призначеної кількості ЦЗВ (25 чи 50) зразки випробовували на вібростенді при температурах 50, 35, 20, 10, 0 та мінус 10 °С і частотах 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5; 10 Гц. У випадку вимушеної зупинки зразок залишався за температури $20 \pm 0,5$ °С у воді.

В такому ж порядку проводили випробування на морозостійкість за життєвим циклом. Для випробування використовувались балки розмірами 40x40x160 мм. Схема напруженого стану – чотириточковий вигин. На першому етапі визначали міцність асфальтобетону при вигині ($R_{зг}$) за температури 20 ± 1 °С та швидкості деформування 3 мм/хв. Життєвий цикл визначали під навантаженням, що відповідало напруженню $0,2 R_{зг}$. Час руйнування визначався з допомогою кінцевого вимикача.

У четвертому розділі викладено результати експериментальних досліджень за наведеними методиками.

Обов'язковою була умова визначення модулів пружності всіх консольних зразків в області лінійного деформування за критичними напруженнями та деформаціями, вище за які асфальтобетон переходить до зони нелінійного деформування .

Типові залежності «напруження - відносна деформація», наведені на рис. 1, показують, що при однаковій деформації (за даними Радовського Б.С. величина деформації, яка виникає на дорозі складає $0,2 \times 10^{-3}$) величина критичного напруження до ЦЗО істотно вище (в 1,76 рази), ніж після 50 ЦЗВ. Це свідчить про перехід покриття в стан, коли його несуча здатність падає, а транспортні навантаження можуть викликати перенапруження та руйнування.

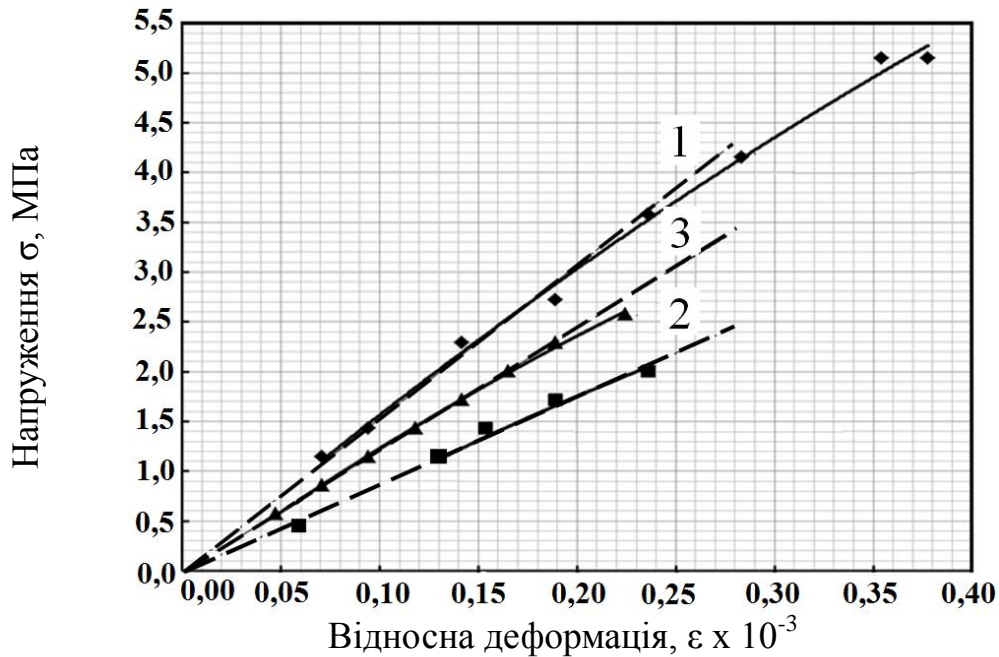


Рис. 1. Залежності між деформаціями та напруженнями асфальтобетону при частоті 0,5 Гц.

1-до ЦЗВ; 2 - після 50 ЦЗВ; 3- після 50 ЦЗВ та впродовж 12 діб температури 20 °С

При гармонійному деформуванні в зв'язку з неспівпадінням синусоїдальних зусиль та деформацій отримують комплексний модуль пружності E^* , що дорівнює $E^* = \sqrt{E' + E''}$. Де E' – модуль накопичення, а E'' – модуль втрат.

Отримані при дотриманні таких умов частотні залежності комплексного модуля (Рис. 2) в діапазоні частот навантаження від 0,01 Гц до 10 Гц (три частотних порядки) і при всіх температурах (мінус 10 °С, 0 °С, 20 °С, 35 °С) близькі до степеневих, що узгоджується з даними, отриманими Huet С.Н. та Sayegh G. При низьких температурах і високих частотах комплексний модуль головним чином визначається E' досягає 15000 МПа, що наближується до рівня цементобетону марки 300. При високій температурі (35 °С) і низькій частоті (0,01 Гц) комплексний модуль знижується до 2300 МПа (в 6,5 разів), що пов'язано зі зниженням значення модуля накопичення. Температурні залежності модулів пружності, встановлені при різних частотах свідчать про постійний, в процесі служби в дорожньому одязі, перехід асфальтобетону з в'язко-пластичного в в'язкопружний, а потім в крихкий стан. Природно, що навіть при температурах нижче 0 °С асфальтобетон практично завжди близький до крихкого тіла. Саме це крихке тіло піддається циклічним напруженням і деформаціям з одночасним впливом води, яка переходить в лід внаслідок чого знижується міцність і модулі пружності асфальтобетону.

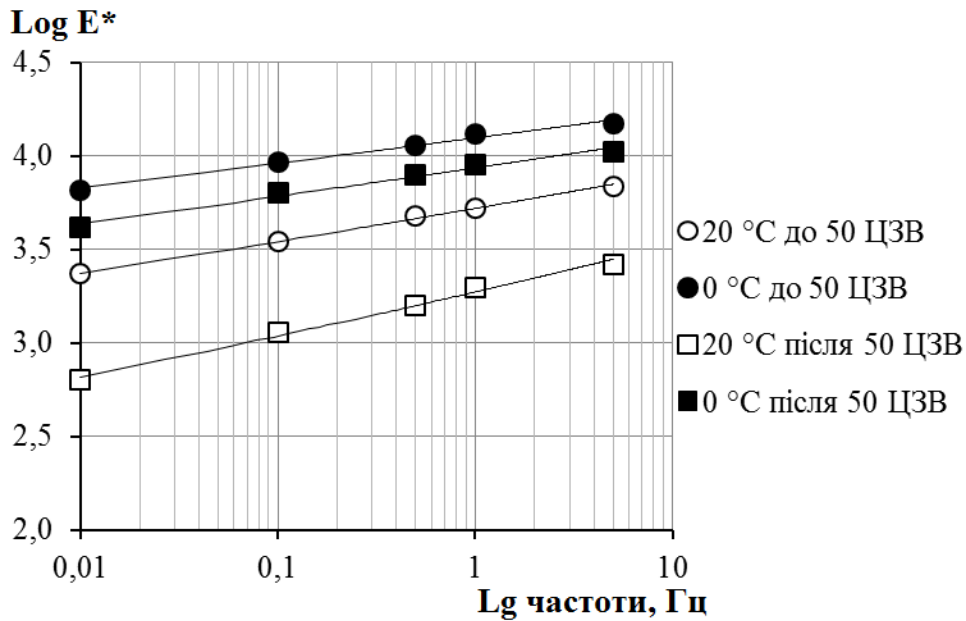


Рис. 2. Залежність комплексного модулю пружності від частоти деформування за температур 0 °C та 20 °C до та після 50 ЦЗВ

Перші дослідження з визначення K_{MP3} за запропонованим методом виявили ефекти, які при звичайних випробуваннях по встановленню температурно-частотних залежностей модулів пружності не зустрічалися. Зразки тривалого зберігання характеризуються набагато більш високими значеннями K_{MP3} , ніж зразки короткострокового зберігання. Різниця K_{MP3} випробуваних таким чином асфальтобетонів за температури 20 °C і частотах від 0,01 Гц до 5 Гц знаходиться в межах 0,24-0,26. Зі зниженням температури випробування від 20 °C до 0 °C ця різниця істотно зменшується і практично нівелюється при температурі мінус 10 °C. Підвищення значення K_{MP3} попередньо витриманих на повітрі зразків ймовірно пов'язано з формуванням у часі в асфальтобетоні структурних зв'язків, за рахунок адсорбційних процесів на межі розділу фаз: кам'яний матеріал-бітум. Це узгоджується з результатами оцінки втоми асфальтобетону після одного, 15-ти, 27-ми та 51 місяці служби в покритті, отриманими Доан Т.Н., коли опір втомлюваності зростає. Така еволюція K_{MP3} і показників втомлюваності дозволяє стверджувати, що укладання асфальтобетонних сумішей в пізній осінній період несприятливо впливає на стійкість асфальтобетону проти ЦЗВ в перехідний весняний період. Другий ефект полягає у тому, що K_{MP3} визначені за температури 35 °C мають більші значення, ніж ті, що випробовувались при більш низьких температурах. Це можна пояснити самозаліковуванням дефектів, що утворились при ЦЗВ в самому бітумі та на границях розподілу фаз з поверхнею кам'яних матеріалів. Отже, визначення коефіцієнта $MP3$ за значеннями модулів пружності при високих температурах деформування недоцільно. Для перевірки можливості самозаліковування дефектів були проведені додаткові досліді з витримкою асфальтобетону, попередньо підданого 50 ЦЗО, впродовж 12 діб за температури 21 °C, а потім впродовж 10 діб за 30 °C. Отримані результати свідчать про істотне зростання K_{MP3} зі збільшенням тривалості і температури (відпочинку). Так після

першого витримування (12 діб) K_{MP3} , що визначаються за 20 °C, зростають в 1,7-2,1 рази, а за 0 °C в 1,25-1,33 рази. Після додаткового відпочинку протягом 10 діб за 30 °C, вони зростають за 20 °C ще в 1,18-1,28 рази. Третій ефект полягає в тому, що K_{MP3} збільшуються зі зниженням температури при кожній частоті і з підвищенням частоти деформування за прийнятих температур. За температури 20 °C та нижче, значення K_{MP3} зростають при всіх прийнятих частотах деформування. Спільним є й тенденція до збільшення значень K_{MP3} з пониженням температури. Нижче 0 °C значення K_{MP3} стають настільки значними, що вони перестають служити індикатором руйнівної дії ЦЗО, так як асфальтобетон переходить в крихкий стан. Таким чином, необхідний вибір проміжної температури визначення K_{MP3} .

Зазвичай температура (18-20 °C) є базовою температурою порівняння механічних властивостей асфальтобетонів в різних країнах (Duziez M., Arrambide J., Underwood B.S, Kim Y.R. Guddati M.N., NF P98-130). Наведені (Mauduit V., Mauduit K.) результати свідчать на користь випробувань в інтервалі між 20 °C і 0 °C. В той же час можна припустити, що більш об'єктивною є весняна температура, яка використовується при розрахунку дорожніх конструкцій (Aussedat G., Lerolle Y.).

Частотна залежність K_{MP3} при різних температурах подібна до температурної. З ростом частоти деформування в прийнятому діапазоні температур значення K_{MP3} ростуть, що узгоджується з принципом еквівалентності дії частоти деформування і температури. Близькі значення коефіцієнта MP3 можуть бути отримані за низьких температур і низьких частотах або при високих частотах і високих температурах. Наприклад, при температурі 0 °C і частоті 0,01 Гц з одного боку і температурі 20 °C і частоті 5 Гц - з іншого. K_{MP3} близькі 0,63-0,64; за температури 15 °C і частоти 0,01 Гц і температури 20 °C частоті 0,5 Гц вони відповідно 0,35. Ця відповідність, ймовірно, значною мірою відповідає перехідній ділянці узагальненої температурно-частотної залежності модулів, де вплив температури і частоти максимальний.

Природно, меншою мірою цей ефект буде спостерігатися на ділянці виположування узагальненої залежності модулів пружності при максимально низькій температурі і максимально високій частоті (Huet Ch., Sayegh G.).

Вплив консистенції в'язучого на морозостійкість асфальтобетону

Морозостійкість асфальтобетону визначається цілим комплексом властивостей в'язучих: консистенції, адгезії і когезії, змочуючої здатності при технологічних температурах. У зв'язку з цим дослідження насамперед стосувалися консистенції бітумів. Використано бітуми з пенетрацією 72 дмм і 115 дмм. Модулі пружності асфальтобетону на більш в'язкому бітумі ($P_{25} = 72$ дм) в прийнятому діапазоні температур (0-20) °C і частот (0,01-5) Гц перевищують значення модулів пружності асфальтобетону на менш в'язкому бітумі ($P_{25} = 115$ дм) в 1,3-1,9 рази (рис. 3).

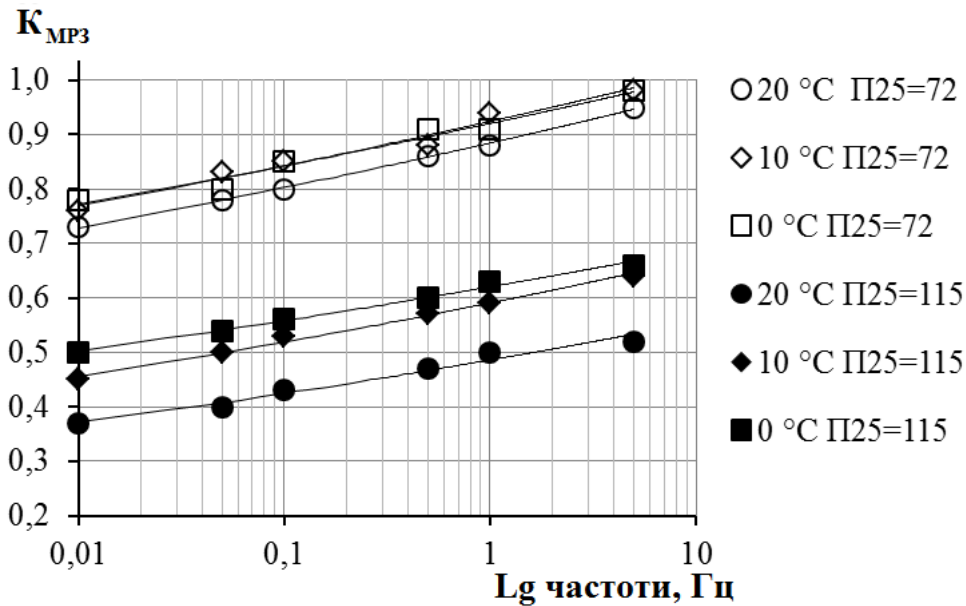


Рис. 3. Залежність коефіцієнта морозостійкості від частоти деформування та температури асфальтобетонів на бітумах з пенетрацією 72 х0,1мм та 115х0,1мм

Коефіцієнт морозостійкості, як і у всіх інших випадках, зростає з частотою і зі зниженням температурою. При цьому різниця між коефіцієнтами МРЗ асфальтобетонів на цих двох бітумах дещо зменшується з пониженням температури. Менш чітко це виражено відносно частоти.

Співвідношення між значеннями модуля пружності асфальтобетону на бітумах різної консистенції до ЦЗО істотно менше, ніж після нього. За температури 20 °С досягає 1,8-2,0 рази, за температури 10 °С - 1,5-1,7 рази, за 0 °С - 1,4 ... 1,6, тобто воно знижується зі зниженням температури і підвищенням частоти. Це узгоджується з висловленою G. Aussedat ідеєю щодо доцільності проводити випробування при повільних навантаженнях і в області помірних температур (відповідають виходу із зимового сезону). Наведені на рис. 3 дані також підтверджують доцільність застосування для підвищення морозостійкості асфальтобетонів на бітумах підвищеної в'язкості.

Вплив модифікованого бітуму на морозостійкість асфальтобетону

Для оцінки впливу модифікації бітуму полімером на морозостійкість асфальтобетону було використано в'язуче, отримане введенням в бітум з пенетрацією 72 дмм 6 % полімеру (табл.1). В результаті цього значення модулів пружності при температурі 20 °С і частоті 0,1 Гц зросли до 2,0 раз, а при частоті 5 Гц до 1,45 рази. З переходом до температури 10 °С це співвідношення зменшується відповідно до 1,3-1,5 рази. При температурі 0 °С значення модулів пружності стають практично однаковими.

Коефіцієнти морозостійкості асфальтобетонів в цьому випадку наслідують зазначеній вище тенденції та зростають з пониженням температури і підвищенням частоти (табл. 3). При цьому відмінність в значеннях K_{MP3} порівнюваних асфальтобетонів не так значні, як у випадку асфальтобетонів різної пенетрації.

Тільки при мінімальній частоті проявляється відчутна перевага асфальтобетону на бітумі, модифікованому полімером.

Можна припустити, що ефективність використання полімеру буде більш очевидною, якщо в якості базового в'язучого використовувати менш консистентні (з більшою пенетрацією) бітуми.

Таблиця 3

Коефіцієнти морозостійкості асфальтобетону на бітумі БНД 60/90 і бітумі, модифікованому полімером

Частота, Гц	Коефіцієнти морозостійкості за температур, °С		
	20	10	0
0,01	0,73 0,80	0,76 0,83	0,78 0,84
0,05	0,78 0,83	0,83 0,86	0,80 0,90
0,1	0,80 0,86	0,85 0,89	0,85 0,93
0,5	0,86 0,87	0,88 0,92	0,91 0,97
1	0,88 0,89	0,94 0,95	0,91 0,98
5	0,95 0,91	0,97 0,95	0,98 0,99

Примітка: У чисельнику значення $K_{МРЗ}$ на БНД 60/90, в знаменнику - на бітумі з 6% полімеру.

Порівняння морозостійкості за модулями пружності та довговічністю

Значення морозостійкості за зміною модулів пружності головним чином стосується надійності дорожнього одягу в цілому. Показники морозостійкості, визначені за стандартними методами по співвідношенню міцності асфальтобетонів після та до ЦЗВ, опосередковано характеризують якість асфальтобетону. На відміну від цього, безпосередньою характеристикою життєздатності асфальтобетону та його довговічності є час його життєвого циклу під статичним (в залежності від міцності при вигині) та циклічним навантаженням або деформуванням (втомленість). Саме цей показник є найбільш чутливим до різних факторів впливу на асфальтобетон за умовами випробування, що доведено в роботах кафедри ТДБМ, починаючи з 1968 року. При цьому доведено, що для об'єктивної оцінки впливу середовища на довговічність асфальтобетону необхідно виконувати дослідження в порівняних станах. Для порівняння впливу різних факторів рівень навантаження прийнято 0,2 від міцності при чотириточковому згині. Міцність визначали за температури 20 °С та швидкості деформування за ДСТУ Б В.2.7-119 – 3 мм/хв. Такий рівень прийнято на основі припущення, що він близький до лінійного деформування асфальтобетону. Саме завдяки такому методу випробування було встановлено, що чутливість до ЦЗВ

асфальтобетонів на бітумі різної консистенції з добавками ПАР та полімеру в 10-30 разів більша.

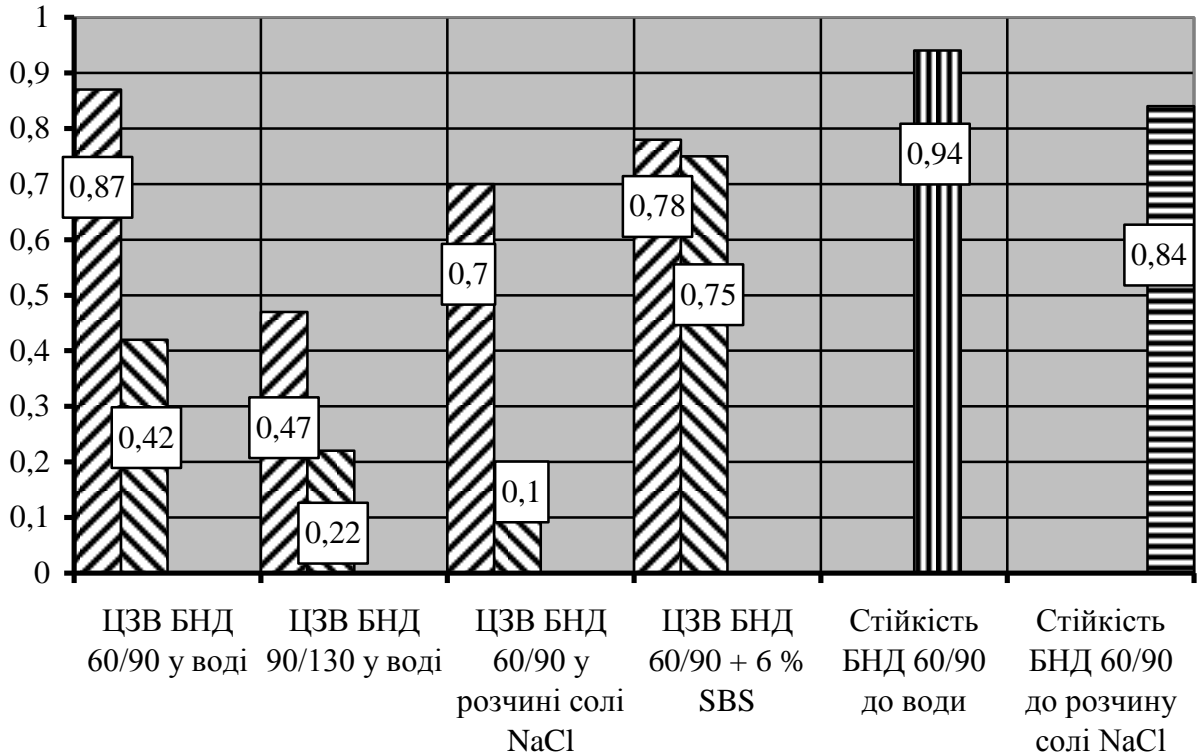


Рис. 4. Коефіцієнти морозостійкості асфальтобетону за модулями пружності (▨) та довговічністю (▩ ▪ ▫)

Наведені на рисунку 4 результати свідчать про наступне: показники морозостійкості за часом життя менші ніж K_{MP3} визначені за модулем пружності. Це стосується випробувань на МРЗ асфальтобетонів на бітумах БНД 60/90 та 90/130 у воді та розчині NaCl. Крім того, отримані результати свідчать про те, що ЦЗВ є набагато агресивніше діючим фактором ніж просте випробування на водостійкість (впродовж часу, що відповідає 50 ЦЗВ, у воді та розчині NaCl).

У п'ятому розділі. Встановлені залежності модуля пружності асфальтобетону під впливом ЦЗВ спонукають до врахування цього впливу на міцність дорожнього одягу, що визначається за співвідношенням розрахункового та потрібного модулів. Для кількісної оцінки цього впливу розглянуто конструкцію дорожнього одягу, наведену в ВБН В.2.3-218-186-2004.

При цьому розглянуто випадок з використанням в асфальтобетоні в'язучих: БНД 60/90; БНД 90/130 та БМП 40/60-84. Наведені в табл. 4 результати розрахунку верхнього шару дорожнього одягу свідчать про набуття товщини шару, що відповідає коефіцієнту міцності дорожнього одягу ($K_{мцo}$) істотно меншої при використанні БМП 40/60-84 (2,5 см) до бітумів БНД 60/90 (4,0 см) та БНД 90/130 (5,4 см).

Вихідні дані та результати розрахунку впливу ЦЗВ на конструктивні показники

Найменування конструктивних показників	Асфальтобетон верхнього шару за різних значень K_{MP3} *								
	БНД 60/90	БНД 60/90 $K_{MP3} = 0,8$	БНД 60/90 $K_{MP3} = 0,6$	БНД 90/130	БНД 90/130 $K_{MP3} = 0,8$	БНД 90/130 $K_{MP3} = 0,6$	БМП	БМП $K_{MP3} = 0,8$	БМП $K_{MP3} = 0,6$
Модуль пружності, МПа	3200	2560	1920	2400	1920	1440	5000	4000	3000
Товщина шару, см, за $K_{MC} = 1,33$	4,0	5,0	6,6	5,4	6,6	8,8	2,5	3,2	4,2
Коефіцієнт запасу міцності за пружним прогином, K_{MC}	2,01	1,61	1,21	1,51	2,21	0,9	3,14	2,51	1,88
Значення K_{MP3} за якого досягається K_{MC} (дорожнього одягу) = 1,33	0,66			0,88			0,43		

Примітка: * - дані модулів пружності для асфальтобетонів на наведених бітумах взято з ВБН В.2.3-218-186-2004

Зменшення модулів пружності за значень $K_{MP3} = 0,8$ та $0,6$ призводить до зниження K_{MC} порівняно з початковим значенням (без ЦЗВ) для всіх бітумів у 1,25 та 1,67 рази. У зв'язку з цим виникає необхідність підвищення товщини шару у випадку БНД 60/90 до 5,0 см та 6,6 см, у випадку БНД 90/130 до 6,6 та 8,8 см, а у випадку БМП 40/60-84 до 3,2 см та 4,2 см.

Техніко-економічний розрахунок свідчить про те, що для запобігання передчасному зниженню K_{MC} найбільш ефективним є використання асфальтополімербетону. Критичне зниження K_{MP3} за однакового рівня $K_{MC} = 1,33$ у випадку асфальтополімербетону становить 0,43, а асфальтобетонів на БНД 60/90 та БНД 90/130 відповідно 0,66 та 0,88.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено дієздатність неруйнівного методу визначення морозостійкості асфальтобетону шляхом визначення модулів пружності у границях лінійної поведінки матеріалу до та після дії циклічного заморожування-відтавання. Існуючий нині спосіб оцінки морозостійкості асфальтобетону зводиться до визначення втрати міцності асфальтобетону при стиску по твірній після певної кількості циклів заморожування-відтавання за ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Об'єктивний метод

оцінки МРЗ повинен базуватися на результатах визначення фундаментальних характеристик механічної поведінки, однією з яких є деформативність, що безпосередньо пов'язана з модулем пружності асфальтобетону.

2. Запропоновано метод оцінки МРЗ асфальтобетону за коефіцієнтом МРЗ, що визначається як співвідношення модуля пружності після заданої кількості ЦЗВ до модулів пружності до ЦЗВ. Принциповою умовою є обов'язковість визначення модулів пружності в області лінійного в'язкопружного деформування. При цьому частота та температура, за яких визначають модулі пружності, мають відповідати категорії дороги та розрахунковій температурі дорожньо-кліматичної зони району.
3. Встановлено, що величини K_{MRZ} залежать від умов проведення дослідження. Їх значення збільшуються зі збільшенням проміжку часу між завершенням виготовлення зразків та початком ЦЗВ. Чим більше цей час, тим вище морозостійкість, що в практичному аспекті означає необхідність завершення осіннього будівельного сезону задовго до початку ЦЗВ.
4. Визначено, що морозостійкість асфальтобетонів після ЦЗВ може відновлюватись тим більше, чим більше проміжок часу його «відпочинку» при додатних температурах. Це обумовлено заліковуванням мікродефектів, що утворилися під час ЦЗВ.
5. Встановлено, що коефіцієнт морозостійкості асфальтобетону залежить від частоти та температури, за яких він визначався. При цьому підтверджується принцип температурно-часової аналогії, у відповідності до якого значення коефіцієнту морозостійкості зростають по мірі зниження температури дослідження та частоти деформування.
6. Запропоновано метод визначення морозостійкості за співвідношенням життєвих циклів під дією статичного навантаження після та до ЦЗВ. Схемою напруженого стану в цьому випадку рекомендується чистий вигин під дією постійного навантаження, що відповідає 0,2 від міцності при вигині за цією ж схемою та швидкістю деформування 3 мм/хв згідно ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Значення коефіцієнтів морозостійкості асфальтобетону, визначених за цим методом, суттєво нижчі ніж визначених за модулями пружності.
7. Встановлено, що значення коефіцієнтів морозостійкості, визначених за обома методами: зменшуються у меншій мірі під дією розчину $CaCl_2$ ніж $NaCl$; зростає з підвищенням в'язкості (зниження пенетрації) бітумів; зростає при збільшенні вмісту бітуму в межах значень, що допускаються за колієстійкістю асфальтобетону, а також при використанні поверхнево-активних речовин та бітумів модифікованих термоеластопластами типу стирол-бутадієн-стирол. Зменшення значень модулів пружності асфальтобетонів після ЦЗВ, що може досягти 20-30 % після 50 ЦЗВ, суттєво знижує несучу здатність шару. Це повинно враховуватись при розрахунку нежорстких дорожніх одягів за пружним прогином шляхом введення коефіцієнтів запасу міцності на величину розрахункових модулів пружності верхніх шарів покриттів дорожніх одягів на рівні 0,9.

8. Техніко-економічним розрахунком показано, що для компенсації втрат несучої здатності дорожнього одягу від ЦЗВ доцільно використовувати асфальтобетони на бітумах підвищеної консистенції та доведено, базуючись на розрахунку коефіцієнтів запасу міцності, що використання БМП більш ефективно ніж використання традиційних бітумів.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Наукові статті у фахових виданнях України:

1. Золотарєв В.А., Ильин Я.В. Влияние циклического замораживания-оттаивания на модуль упругости асфальтобетона. *Дороги и мосты*. Вып. 37/1. 2017. С. 236-250.

Особистий внесок: виготовлення зразків, визначення їх модулів пружності до та після проведення циклічних заморожувань-відтавань.

2. Ильин Я.В. Влияние среды замораживания на показатели времени жизни асфальтобетона. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 23 (1245). С. 22-26 (**Index Copernicus**)

Особистий внесок: виготовлення зразків та визначення їх фізико-механічних властивостей, систематизація отриманих даних, аналіз літературних джерел

3. Ільїн Я.В. Вплив тріщин на модулі пружності та життєвий цикл асфальтобетону. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 32 (1254). С. 25-29. (**Index Copernicus**)

Особистий внесок: виготовлення зразків та визначення їх фізико-механічних властивостей, систематизація отриманих даних

4. Ільїн Я.В. Визначення зміни показників морозостійкості асфальтобетону при підвищенні процентного складу полімеру. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Збірник наукових праць. Луцьк.: Луцький НТУ. Вип. 10. 2018. С 58-63.

Особистий внесок: експериментальні дослідження щодо визначення модулів пружності зразків асфальтобетону до та після проведення циклічних заморожувань-відтавань.

5. Маляр В.В., Ільїн Я.В. Вплив випадкових дефектів на концентрацію напружень в асфальтобетоні та на визначення його модуля пружності. *Вісник ХНАДУ*. Х.: ХНАДУ. Вип. 79. 2017. С. 101-106. (**Index Copernicus**)

Особистий внесок: участь у аналізі літературних джерел, виготовлення зразків та визначення їх фізико-механічних властивостей

6. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Свилярьов М.А., Корюк В.П., Ільїн Я.В. Асфальтополімербетони, виготовлені шляхом введення полімеру безпосередньо в суміш. *Вісник ХНАДУ*. Х.: ХНАДУ. Вип. 68. 2015. С. 85-91. (**Index Copernicus**)

Особистий внесок: виготовлення зразків та визначення їх фізико-механічних властивостей

Інші публікації, що відображають зміст роботи:

7. Корюк В.П., Ильин Я.В. Лабораторное и производственное уплотнение асфальтобетонных смесей. *Вісник ХНАДУ*. Х.: ХНАДУ. Вип. 79. 2017. С. 138-142. **(Index Copernicus)**

Особистий внесок: виготовлення зразків та визначення їх фізико-механічних властивостей

Патенти:

8. Спосіб неруйнуючого визначення морозостійкості асфальтобетону: пат. 116328U Україна: МПК (2017.01) G01N 3/00. № 201613229; заява 21.12.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

Особистий внесок: проведення пошукового експерименту для визначення оптимальної методики визначення морозостійкості асфальтобетону.

Праці апробаційного характеру

9. Victor Zolotaryov, Yaroslav Ilyin Evaluation of Asphalt Mixture Frost-Resistance based upon its Stiffness *Proceedings of the 7th Eurasphalt & Eurobitume Congress v1.0*, first published 1st July 2020, ISBN: 9789080288461. 8 p.

Особистий внесок: виготовлення зразків, визначення їх модулів пружності та участь у перекладі тексту

10. Ильин Я.В. Визначення зміни показників морозостійкості асфальтобетону при підвищенні процентного складу полімеру *III Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція молодих учених та студентів «інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва»*. Режим доступу: <https://sites.google.com/a/lntu.edu.ua/ipirc-2018/tezi-konferencii> (Луцьк, 2018)

11. Ильин Я.В. Вплив додавання полімеру на показники морозостійкості асфальтобетону. *Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури* Режим доступу: <http://dl.khadi.kharkov.ua/mod/forum/view.php?id=36280> (Харків, 2018)

АНОТАЦІЯ

Ільїн Я. В. Обґрунтування і розробка неруйнуючого деформаційного методу оцінки морозостійкості асфальтобетону – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробництво – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2020 р.

Дисертаційна робота присвячена розробці, випробуванню та обґрунтуванню неруйнуючого методу визначення морозостійкості асфальтобетону, що зумовлено визначенням ведучої реологічної та розрахункової характеристики – модулю пружності. Особливість розробленого методу полягає у дослідженні асфальтобетону шляхом деформування в області лінійної в'язкопружності. Такий підхід дозволив розробити неруйнівний метод визначення коефіцієнту морозостійкості, що в свою чергу гарантує об'єктивність результатів щодо впливу технологічних та структурних дефектів на морозостійкість асфальтобетону. Крім того, у роботі розглянуто вплив різних, за своєю агресивністю, середовищ на морозостійкість асфальтобетонів.

Ключові слова: лінійне деформування, модулі пружності, циклічне та статичне деформування, коефіцієнт морозостійкості, асфальтобетон, бітуми, поверхнево-активні речовини, полімер, протиожеледні розчини.

АННОТАЦИЯ

Ильин Я.В. Обоснование и разработка неразрушающего деформационного метода оценки морозостойкости асфальтобетона. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия» – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2020 г.

Диссертационная работа посвящена разработке, испытанию и обоснованию неразрушающего метода определения морозостойкости асфальтобетона, что обусловлено определением его ведущей реологической и расчётной характеристики – модуля упругости. Особенность разработанного метода исследования асфальтобетона заключается в исследовании асфальтобетона путём деформирования в области линейной вязкоупругости. Такой подход позволил разработать неразрушающий метод определения коэффициента морозостойкости, что, в свою очередь, гарантирует объективность результатов на счёт влияния технологических и структурных дефектов на морозостойкость асфальтобетона. В работе также рассмотрено влияние разных, по своей агрессивности, сред на морозостойкость асфальтобетонов.

Ключевые слова: линейное деформирование, модули упругости, циклическое и статическое деформирование, коэффициент морозостойкости,

асфальтобетон, битумы, поверхностно-активные вещества, полимер, противогололёдные растворы.

SUMMARY

Ильин Ya. Justification and development of a non-destructive deformation method for determining frost resistance of asphalt concrete. – Qualification scientific work as manuscript.

The thesis submitted for a PhD degree in specialty 05.23.05 – Construction materials and products – Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the development, testing and substantiation of the non-destructive method for determining the frost resistance of asphalt concrete, which is due to the definition of the leading rheological and design characteristics - the modulus of elasticity. The peculiarity of the developed method is the study of asphalt concrete by deformation in the field of linear viscoelasticity. This approach allowed developing a non-destructive method for determining the coefficient of frost resistance, which in turn guarantees the objectivity of the results on the impact of technological and structural defects on the frost resistance of asphalt concrete.

There are many methods for determining the frost resistance of asphalt concrete, but they are not systematized and have significant differences between themselves. Globally, there are two main types of methods: the first - adopted on the territory of CIS countries and the second - close to the American method of SHARP. However, the disadvantage of these methods is the use of destruction of samples during testing, which leads to the need to use a large number of tests for testing at different temperatures. A feature of the method for studying asphalt concrete is deformation in the field of linear viscoelasticity. This approach allows creating a non-destructive method for determining frost resistance indicators, in turn, the objectivity of the results regarding technological and structural defects in frost resistance of asphalt concrete.

Typical dependences of "stress - relative deformation" show that under the condition of the same deformation (close to those occurring on the road - 0.2×10^{-3}) the value of the critical stress to the FTC is significantly 1.76 times higher than after 50 FTC. This means that the coating after FTC goes into a state when its bearing capacity is reduced accordingly, and transport loads can cause stresses exceeding the linearity limits.

The test results show that the process of increasing the modulus at the stage of its holding in air and its reduction after cyclic freezing-thawing can be traced on one object of research. Thanks to such studies, it can be assumed that in order to objectively assess the change in the value of the current modulus of elasticity of asphalt concrete on roads, and thus determine the durability of asphalt concrete in the pavement, you should make several beam samples from the mixture used and store them conditions close to the operating conditions of the coating.

The influence of the binder brand on the value of the modulus of elasticity was studied. For this purpose, in addition to the frost resistance data of asphalt concrete on

BND 60/90 bitumen, asphalt concrete samples made on compound bitumen with a penetration of 115×0.1 mm were additionally tested. Besides, to study the effect of viscosity determination of the modulus of elasticity of the addition of polymer type SBS and surfactants.

Bitumens with lower viscosity are usually characterized by less adhesion to stone materials, which can have a negative effect on the frost resistance of asphalt concrete. According to the obtained data, it can be concluded that greater penetration of bitumen contributes to less frost resistance of asphalt concrete and vice versa.

Based on the data presented in the work, we can conclude that the frost resistance of asphalt concrete from the aged mixture is higher than the control sample of asphalt concrete. This is possible due to the fact that during the aging of the mixture in the bitumen increases the viscosity, which in turn helps to improve its adhesion to stone materials.

In this case, it will be possible to constantly monitor the change in the modulus of elasticity of asphalt concrete and more reasonably set limits on the speed and number of truck journeys in summer, as well as to simulate the actual FTC, which take place in winter, not normalized, differ from real climatic conditions. For full compliance, it remains to develop a method of simulating the impact of cars on the surface, which includes both the wear of the sample under the action of pneumatic wheels or their imitation, and temperature increase due to friction.

The established dependences of the modulus of elasticity of asphalt concrete under the influence of frost resistance induce taking into account this effect on the strength of the pavement, which is determined by the ratio of the calculated and required moduli. The calculation carried out on the basis of these dependencies shows the need to take into account the influence of frost damage in the design of the pavement. The change in the thickness of the asphalt concrete layer on different binders is shown to ensure the minimum allowable coefficient of strength (1.33) taking into account the coefficient of frost resistance. The economic calculation shows the advantages of using asphalt polymer concrete as a more frost-resistant material through the determination of the economic effect per 1 km of coverage and economic efficiency.

This paper describes the results of a study on the impact of asphalt and modulus of elasticity coefficients resistance, defined by them, preparing asphalt; rest time and temperature after FTC; deformation parameters (deformation frequency and temperature); quality of binders, additives, polymer, anti-icing solutions.

Key words: linear deformation, elasticity moduli, cyclic and static deformation, frost-resistance coefficient, asphalt concrete, bitumen, surfactants, polymer, anti-icing solutions.

Підписано до друку 04.12.2020 р. Формат 60×84¹/₁₆.
Умов. друк. арк. 1,39. Папір офсетний. Наклад 120 прим. Зам. № 751.

КП «Міська друкарня»
м. Харків, 61002, вул. Алчевських, 44.
Свідоцтво про державну реєстрацію
серія ДК, № 5495, від 22.08.2017 р.