

УДК 625.7/8
UDC 625.7/8

РОЗШИРЕННЯ БУДІВЕЛЬНОГО СЕЗОНУ ПРИ ВЛАШТУВАННІ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНУ НА ОСНОВІ ТВЕРДИХ ВУГЛЕВОДНІВ

Мозговий В.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет
Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет,
Київ, Україна

Ольховий Б.Ю., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Лаптева Н.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Кравчук А.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Онищенко А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Мозгова Л.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна

EXTENDING OF PAVEMENT APPLYING WARM ASPHALT
MIXTURES BASED ON SOLID HYDROCARBONS

Mozgovyy V., Doctor of science, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Danchuk V., Doctor of science, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Olkhovyy B., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Lapteva N., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Kravchuk A., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Onyshchenko A., Candidate of science, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Mozgova L., National Transport University, Kyiv, Ukraine

РАСШИРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА ПРИ УСТРОЙСТВЕ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОГО
АСФАЛЬТОБЕТОННА НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Мозговой В.В., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Данчук В.Д., доктор физико-математических наук, Национальный транспортный
университет, Киев, Украина

Ольховый Б.Ю., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Лаптева Н.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Кравчук А.Ф., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Онищенко А.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет,
Киев, Украина

Мозговая Л.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми. За останнє десятиріччя у світі набуло розвитку влаштування асфальтобетонних шарів автомобільних доріг із так званих «теплих» асфальтобетонних сумішей. Це пов'язано з можливістю суттєвого зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, що відповідає посиленню екологічних вимог після прийняття Кіотського протоколу про обмеження викидів в атмосферу парникових газів. Також існуюча практика свідчить про можливість розширення будівельного сезону, економії енергоресурсів, підвищення якості доріг за рахунок застосування теплих асфальтобетонів.

Однак на сьогодні в Україні залишаються маловивченими питання щодо технології приготування, транспортування та укладання теплих асфальтобетонних сумішей, а також проблеми забезпечення їх теплостійкості, стійкості до колієутворення, водо- і морозостійкості. Потребує вдосконалення і процедура проектування складу таких сумішей.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш поширеним покриттям автомобільних доріг на даний час є асфальтобетон. Так, в США частка асфальтобетонного покриття серед всіх інших видів становить близько 94 %, в Європі – більше 90%, в Україні та країнах СНД – близько 98 %. Тому асфальтобетон незмінно залишається найпоширенішим матеріалом для будівництва та ремонту автомобільних доріг. Обсяги виготовлення асфальтобетонних сумішей у світі постійно зростають. В Європі щороку виготовляють понад 320 млн. тон асфальтобетонних сумішей, а в США – від 350 до

500млн. тон [1, 2]. Серед них з кожним роком зростає доля теплих асфальтобетонних сумішей. Так, починаючи з 2003 року обсяг виробництва теплих асфальтобетонних сумішей в США зріс до 70,6 млн. тон (станом на 2011 рік), що складає близько 22 % від всього обсягу асфальтобетонних сумішей. За прогнозами фахівців в найближчі роки частка теплих асфальтобетонів досягне 40 %.

Асфальтобетонні суміші за температурою укладання та маркою бітумного в'язучого згідно ДСТУ на асфальтобетон та асфальтобетонні суміші [3] поділяються на гарячі та холодні. В попередніх стандартах на асфальтобетон [4-6] був присутній клас теплих асфальтобетонів. На той час теплі асфальтобетони готували на малов'язкому бітумі марок БНД 130/200 та БНД 200/300. Останнім часом в Європі та США ввели термін «теплий» асфальтобетон, в який вкладають дещо інший зміст. Теплими асфальтобетонними сумішами в Європі та США прийнято називати традиційні гарячі асфальтобетонні суміші, виготовлені з використанням технологій, що дозволяють знизити технологічні температури (приготування, укладання та ущільнення).

Потенціал нової технології виготовлення та укладання теплих асфальтобетонів, після проведених досліджень у Європі та США, в 2003 році було представлено на конференції в Сан Дієго, ініційованій Національною Асоціацією Укладальників Асфальтобетону (NAPA) [7-9]. Станом на 2005 рік у світі було відомо і використовувалося три основні види технологій теплих асфальтобетонів з різним принципом дії: піноутворення за допомогою цеолітів (напр. Asphamin); пластифікування розплавами восків (напр. Sasobit); піноутворення за допомогою емульсій (напр. Evotherm) [6, 9-11].

А в 2008 році вже було відомо понад 16 різних видів технологій теплих асфальтобетонів. Серед них WAM-Foam, Low Emission Asphalt, Advera, REVIX, Cecabase RT, Thiorave, Aqua Foam, Ultrafoam GX, Accu Shear, Aquablack, Double Barrel, Rediset WMX та інші. В Україні також з'являються вітчизняні модифікуючі речовини для отримання теплих асфальтобетонів, такі як, наприклад, К-1 виробництва ЗАТ «Міськдоррембуд», м. Дніпропетровськ) [6, 9-14].

Ефекту зниження технологічних температур досягали за рахунок використання різних підходів, способів і технологій. Серед них:

- введення органічних добавок, що зменшують в'язкість, в бітум або безпосередньо у асфальтобетонну суміш;

- використання піноутворювачів;
- використання бітумних емульсій.

В Україні найбільшого розповсюдження набуло використання спеціальних добавок, що мають широкий спектр дії, таких як структуруючі добавки на основі органічних кислот та їх похідних [15-21]. Такі добавки прийнято називати енергозберігаючими.

Постановка завдання досліджень. Існуючий досвід будівництва автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям свідчить про економічну доцільність розширення будівельного сезону, а також потребу у завершенні об'єктів будівництва до початку несприятливих погоднокліматичних умов.

Одним із шляхів вирішення питання розширення будівельного сезону є використання теплих асфальтобетонів, які забезпечують достатнє ущільнення при низьких температурах і зменшують пошкодження структури за рахунок менших швидкостей охолодження.

Для застосування таких технологій використовують спеціальні речовини, що призводять до зменшення в'язкості бітумних в'язучих при технологічних температурах. До таких речовин також відносяться тверді вуглеводні.

Тверді вуглеводні в розумінні модифікаторів для дорожнього бітуму – це низько- та високомолекулярні насичені вуглеводні з довжиною молекулярного ланцюга 5 – 115 атомів вуглецю, можуть мати як природне так і синтетичне походження. В науково-технічній літературі такі добавки зустрічаються під різними назвами: органічні добавки на основі синтетичних восків, парафінові добавки, низькотемпературні добавки, енергозберігаючі добавки, структуруючі добавки, добавки що покращують технологічність укладання і ущільнення гарячих асфальтобетонів, спеціальні добавки для зниження технологічних температур, добавки для збільшення текучості бітуму [6, 13, 15]. Використовуються як одна із технологій для виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей.

Більшість таких органічних добавок на основі синтетичних чи природних восків при температурі навколишнього середовища мають консистенцію твердого тіла. З підвищенням температури вони розм'якшуються, а потім плавляться, досягаючи текучого стану з в'язкістю близько 10^{-2} Па·с [1, 6-7]. Така в'язкість є ідеальною для змішування в'язучого і мінеральної частини. Інтенсивне плавлення восків відповідає температурам 100 °С – 140 °С. Принцип дії таких добавок полягає у тому, що розплавляючись до в'язкості значно меншої, ніж в'язкість бітумів при

технологічній температурі їх підігріву, добавки розріджують бітуми і таким чином сприяють зниженню температур змішування та, головним чином, ущільнення сумішей. Охолоджуючись в процесі ущільнення добавки кристалізуються і виконують роль маломіцного наповнювача.

Більшість виробників таких добавок додають до їхнього складу інші речовини, які покращують ті чи інші властивості бітуму або асфальтобетонної суміші в цілому. До таких додаткових складових відносяться: поверхнево-активні речовини, полімерні складові, ортофосфорна кислота, адгезійні добавки, та інші.

Основним завданням є дослідження можливості застосування теплого асфальтобетону, виготовленого з використанням твердих вуглеводнів для розширення будівельного сезону. При цьому важливо дослідити температурний режим при якому відбуваються структурно-фазові переходи у твердих вуглеводнях з різкою зміною їх в'язкості. Крім того, необхідно дослідити вплив твердих вуглеводнів на можливість його ущільнення при низьких температурах та вивчити їх вплив та умови застосування на загальну міцність і довговічність асфальтобетону.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Більшість тестів та методик, що використовуються для дослідження фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей бітумів, можна також використовувати для бітумів, модифікованих полімерами. Хоча в певних випадках деякі аспекти таких досліджень потребують удосконалення методики аналізу.

На підставі отриманих результатів численних структурно-динамічних досліджень різними методами виявлено, що важливе значення у формуванні фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей речовин мають функціональні групи, що присутні в них. У бітумних матеріалах основними функціональними групами є гідроксильні OH – та карбоксильні $COOH$ – групи. Валентні коливання OH -незв'язаної гідроксильної групи для значної частини аліфатичних та ароматичних спиртів і фенолів лежать в інтервалі частот $\sim (3590 - 3650)cm^{-1}$. Міжмолекулярні та внутрішньо молекулярні водневі зв'язки у випадку відсутності резонансних структур призводять до появи широких смуг поглинання в інтервалі $(3200-3450)cm^{-1}$. Інтенсивність цих смуг зазвичай значно перевищує інтенсивність смуг, обумовлених коливаннями вільної OH -групи, а їхня ширина пояснюється утвореннями полімерних форм з водневими зв'язками різних типів так, що спостережувана широка смуга складається з певного ряду більш вузьких смуг. Крім того ширина та форма (структура) даної смуги може також визначатися наявністю певних конформерів відповідних молекулярних сполук.

Розробка технології будівництва довговічних асфальтобетонних шарів з використанням вуглеводневих пластифікаторів (воски, Sasobit, RedisetWMX, тощо) має великий як науковий, так і практичний інтерес. Однак сучасні уявлення про природу, характер та механізми взаємодії в таких бітумокомпозитних матеріалах, а також вплив відповідних пластифікаторів на реологічні властивості цих матеріалів знаходяться на якісному, у кращому випадку, феноменологічному рівні. Тому проведення фундаментальних досліджень в цьому напрямку мають актуальне значення.

Відомо, що бітум є просторово полідисперсною системою, дисперсна фаза якої – асфальтени (полімолекулярні сполуки), маючи ліофобно-ліофільну мозаїчну поверхню, набухають у вуглеводневому дисперсійному середовищі, в свою чергу в різному ступені структурованому смолами. При наявності в бітумі твердих парафінів можливе утворення в ньому додаткових просторових кристалізаційних сіток. Це дає підстави за певних наближень розглядати бітумокомпозитні матеріали як органічні полімерні сполуки, розташовані в реактивному структурованому середовищі, і тому застосовувати для дослідження їх мікрохарактеристик відповідні експериментальні та теоретичні методи.

Поряд з цим, різноманітними методами встановлено, що фізико-хімічні властивості даних матеріалів, мабуть, за рахунок багатоточкових (локальних) взіємодій, вже проявляється на рівні актуальних молекулярних фрагментів, компонентів бітумокомпозитів і можуть бути перенесені за певних застережень на об'єкти більш високого ступеню складності. Тому на першому етапі, мабуть, є доцільним проводити всебічні дослідження властивостей відносно простих (модельних) але водночас, репрезентативних молекулярних вуглеводневих систем, що дозволяють виявляти основні особливості процесів, які відбуваються у бітумокомпозитних матеріалах, і вплив цих процесів на їх реологічні характеристики.

Такими зручними модельними об'єктами для вивчення, як фундаментальних, так і прикладних проблем розробки технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням вуглеводневих пластифікаторів для розширення будівельного сезону можуть бути, наприклад, нормальні (n-) парафіни C_nH_{2n+2} [22, 23], Rediset WMX і Sasobit [24, 25]. Такий стан речей із необхідністю актуалізує проведення фундаментальних досліджень структурно-динамічних властивостей таких речовин,

механізмів міжмолекулярної взаємодії (ММВ) у них із метою отримання принципово нової інформації як для розвитку загальних уявлень про фізику конденсованого стану, так і визначення наукових основ розробки оптимальних технологічних процесів, що дозволяють отримати відповідні дорожно-будівельні матеріали з комплексом заданих властивостей.

Перспективним в плані реалізації такої мети можна вважати застосування спектральних методів, зокрема, методів коливальної спектроскопії (Раманівського розсіяння, інфрачервоного (ІЧ) поглинання тощо). Тут, зокрема, при дослідженні методом ІЧ спектроскопії ефектів ММВ та динаміки молекул в кристалах гомологічних рядів аліфатичних сполук (н-парафінів, α -олефінів тощо) виявлено температурну залежність положення максимумів частот спектральних смуг давидовських компонентів резонансного розщеплення внутрішньо-молекулярних коливань (ВМК), яка приводить до збігу цих компонентів в області фазового переходу I роду “порядок – орієнтаційна неупорядкованість”, що відбувається при температурах на $5 - 10^{\circ}\text{C}$ нижчих від температури плавлення цих сполук [26, 27]. На цей час не існує єдиної точки зору на природу виявленої температурної залежності [27].

В даному дослідженні на прикладі н-парафінів, RedisetWMX і Sasobit запропоновано механізм, що адекватно описує виявлений ефект. Цей механізм пов'язаний із затуханням внутрішньо-молекулярних коливальних екситонів у кристалі при їхній взаємодії з орієнтаційними дефектами ґратки, які виникають внаслідок збудження лібраційно – обертальних ступенів свободи органічних молекул при переході кристалу в зазначену ротаційну фазу.

З отриманих результатів експериментальних [26] і теоретичних спектральних досліджень температурного фазового переходу I роду в н-парафінах випливає наступний практичний висновок. При такому переході відбувається різка зміна характеру руху молекул у вузлах кристалічної ґратки. Молекули тут внаслідок теплового збудження вже здійснюють вібраційні та обертальні рухи. Це призводить до різких (нелінійних) змін структурно-механічних властивостей вуглеводневих компонентів бітумів – зокрема, різкого, на декілька порядків, зменшення їхньої в'язкості, навіть при температурах нижчих за температуру плавлення. Введення вуглеводневих пластифікаторів (RedisetWMX і Sasobit) у бітум, за рахунок утворення певних хімічних зв'язків призводить до збільшення діапазону температур існування орієнтаційної фази, а значить і до збільшення інтервалу температур пластичності та деформованості бітумів. Отже, є підстави вважати, що одним з чинників, які визначають відповідні реологічні властивості бітумів є існування в певних діапазонах температур ротаційної фази їх вуглеводневих компонентів.

З метою оцінки довговічності асфальтобетонних шарів із теплих асфальтобетонів, виготовлених з використанням твердих вуглеводнів було досліджено ряд факторів, які впливають на довговічність.

Також були проведені дослідження впливу темпів остигання на пошкодженість структури асфальтобетону.

Досліджували температурні режими асфальтобетонної суміші під час транспортування та кінетику її остигання в процесі укладання та ущільнення. Здійснювали науковий супровід капітального ремонту автомобільної дороги М-01 Київ – Москва на ділянці Кіпті – Глухів – Бачівськ. При цьому дальність возки в окремих випадках складала близько 100 км. Мінімальна температура повітря при виконанні робіт була мінус 3 – мінус 7°C (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Влаштування асфальтобетонних шарів при мінусових температурах повітря

На об'єктах будівництва відпрацьовували технологію влаштування асфальтобетонних шарів з мінімізацією втрат тепла до закінчення ущільнення асфальтобетонних шарів. Суміш уклали високопродуктивними асфальтоукладачами, які забезпечували високий коефіцієнт ущільнення (0,94-0,96) з подальшим ущільненням вібраційними гладковальцевими котками.

Вивчали шляхи зниження температури закінчення ущільнення асфальтобетонної суміші з отриманням заданого коефіцієнта ущільнення з метою зниження негативного впливу температурних напружень на асфальтобетонні шари при низьких температурах, а також з метою досягнення потрібного ступеня ущільнення при більш низьких температурах укладання асфальтобетонної суміші. Ця задача найкраще вирішується з використанням теплих асфальтобетонів.

Одним з таких прикладів є укладання асфальтобетонних шарів для тимчасового проїзду транспортної розв'язки на перетині бульвару Дружби народів та Наддніпрянського шосе. Роботи виконувались 28-30 січня 2012 року. Під час укладання були заміряні температури асфальтобетонного шару в процесі укладання, а також протягом остигання асфальтобетонного шару до температури навколишнього середовища. Температуру заміряли в трьох точках: на поверхні шару, в середині шару, на межі укладеного шару і основи.

Отримані дані темпів охолодження асфальтобетонних шарів (рисунок 2) показують хорошу кореляцію із даними графіків програмного засобу MultiCOOL [28-29], а також даними досліджень [9,11]. Найкраще темп охолодження гарячих асфальтобетонних сумішей незалежно від складу, сили вітру і температури повітря описується експоненційними залежностями. Отриману експериментально криву охолодження гарячої асфальтобетонної суміші порівнювали із темпом охолодження теплового асфальтобетону, початкова температура якого 90 °С.

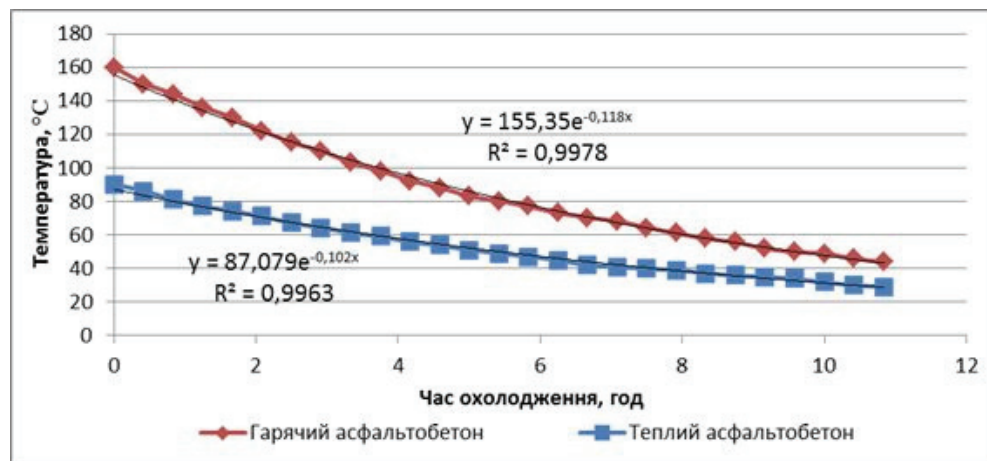


Рисунок 2 – Темп остигання асфальтобетонних шарів в залежності від початкової температури

Високі темпи охолодження можуть викликати значні температурні напруження в асфальтобетонному шарі, що може призвести до виникнення мікротріщин, макротріщин і пошкодженості структури асфальтобетону. Для того щоб спрогнозувати можливі температурні напруження в асфальтобетонному шарі, що охолоджується скористалися інтегралом Больцмана-Вольтера [30], що є найбільш загальною формою зв'язку між напруженням, деформацією і часом в теорії термо-в'язко-пружності. На основі цієї залежності і отриманих експериментально функцій релаксації асфальтобетону були знайдені температурні напруження (Рисунок 3), що виникають в шарі щойно укладеного асфальтобетону при його остиганні до температури навколишнього середовища.

Отримані результати свідчать, що можливі температурні напруження у шарі асфальтобетону, який охолоджується від початкової температури 160 °С, в 1,8 рази більші за температурні напруження, які виникають в шарі асфальтобетону, що охолоджується від початкової температури 90 °С. Таким чином, зменшивши початкову температуру остигання асфальтобетону, тобто зменшивши темпи остигання шару, можна досягти менших температурних напружень у шарі.

На основі виконаних досліджень авторами розроблені практичні рекомендації з виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей із застосуванням твердих вуглеводнів. Згідно цих рекомендацій технологія приготування теплих асфальтобетонних сумішей з енергозберігаючими добавками на основі твердих вуглеводнів аналогічна технології приготування гарячих асфальтобетонних сумішей

з такими змінами: більш низька температура нагрівання складових та додаткові операції по введенню в бітум енергозберігаючої добавки.

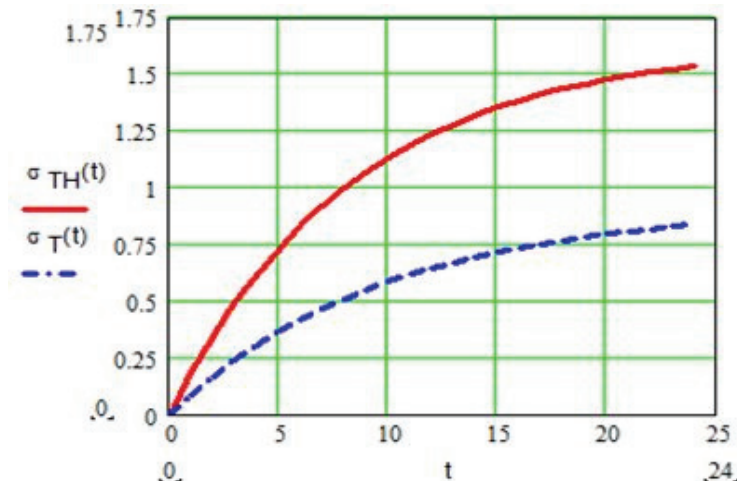


Рисунок 3 – Температурні напруження, що виникають при охолодженні шару асфальтобетону до температури навколишнього середовища: — — — температурні напруження в покритті із гарячого асфальтобетону при початковій температурі 160°C ($\sigma_{TН(t)}$); -.-.- температурні напруження в покритті із гарячого асфальтобетону при початковій температурі 90 °C ($\sigma_T(t)$)

Енергозберігаючі добавки на основі твердих вуглеводнів можна використовувати як з безпосереднім введенням їх у змішувач, або попередньо провівши модифікацію бітуму.

Випуск бітумів з добавками на основі твердих вуглеводнів здійснюється на асфальтобетонних заводах, бітумних дільницях або нафтопереробних заводах, які повинні мати:

- установки для приготування модифікованих бітумів, що оснащені механічними мішалками, колоїдними млинами або іншими системами суміщення компонентів;
- системи нагріву, подачі і дозування вихідних компонентів та готової продукції;
- ємкості для зберігання вихідних та модифікованих бітумів, а також пластифікаторів;
- спеціальне приміщення з обігрівом для зберігання добавок.

Існують різні варіанти модифікації бітумів з енергозберігаючими добавками. Принципову схему технології приготування бітумних в'язучих, модифікованих такими добавками, відповідно до Р В.2.7-218-02071168-740:2008[15] можна описати наступним чином:

- подача нагрітого до температури (160 – 170) °C бітуму в змішувальну установку;
- введення в бітум через дозуючий пристрій при постійному інтенсивному перемішуванні необхідної кількості добавки з витратою (6 – 8) кг/хв;
- після завершення вводу добавки проводять інтенсивне перемішування в'язучого протягом (1,0 -1,5) год;
- вивантаження отриманого в'язучого для споживання або на зберігання.

Виробництво бітумів з енергозберігаючою добавкою супроводжується контролюванням:

- технічних характеристик вихідного бітуму;
- вмісту енергозберігаючої добавки;
- технологічних режимів приготування (температури та часу перемішування компонентів);
- технічних характеристик бітуму, модифікованого добавками.

Бітуми з енергозберігаючими добавками можуть використовуватись для виготовлення всіх типів, видів, марок гарячих сумішей, передбачених ДСТУ Б В.2.7-119.

Теплі асфальтобетонні суміші, виготовлені на основі твердих вуглеводнів можуть застосовуватись в усіх дорожньо-кліматичних зонах України згідно з ДБН В.2.3-4 при влаштуванні верхніх та нижніх шарів дорожнього одягу, тонких захисних шарів, ямкового ремонту тощо. Також, їх застосовують, як гарячі асфальтобетонні суміші (різних типів, видів і марок) згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 та ДБН В.2.3-4.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку

Удосконалена методика дослідження структурно фазових переходів твердих вуглеводнів та бітумних в'язучих.

Встановлені закономірності фазового переходу на основі спектральних аналізів для найбільш поширених твердих вуглеводнів, що застосовуються для теплового асфальтобетону. Так,

зокрема, при введенні вуглеводневих модифікаторів Rediset WMX і Sasobit у бітум за рахунок утворення певних хімічних зв'язків призводить до збільшення діапазону температур існування орієнтаційної фази, що зумовлює збільшення інтервалу пластичності модифікованих бітумів твердими вуглеводнями.

Отримані експериментальні закономірності зміни динамічної вязкості бітумних вязучих при застосуванні твердих вуглеводнів, що підтверджують температурні інтервали фазових переходів, одержаних на основі спектральних методів дослідження.

Результати дослідження впливу твердих вуглеводнів на можливість ущільнення асфальтобетонних сумішей при низьких температурах дозволили виявити ефект розширення температурного інтервалу ущільнення, що дозволяє регулювати терміни подовження будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонних шарів.

Досліджено вплив твердих вуглеводнів на загальну міцність і довговічність асфальтобетону з урахуванням умов їх застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. J. Keith Davidson P.Eng. Warm asphalt mix technology an overview of the process in Canada. Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements Session Of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, Canada 2008.
2. Статистика виготовлення асфальтобетонних сумішей у світі. ЕАРА [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.eapa.org/asphalt.php>
3. ДСТУ Б В.2.7-119-2003 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. – К.:2003
4. ГОСТ 9128-84 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – М.:1984
5. Дорожний теплий асфальтобетон. Королев И.В., Агеева Е.Н., Головкин В.А., Фоменко Г.Р.. – 2-е изд., испр. И доп. – К.:Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 200с.
6. Радовский Б.С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США// Автомоб. дороги. – 2011. – №8. – С. 29-39.
7. John D'Angelo, Eric Harm, John Bartoszek, eds. U.S. Department of Transportation American Association of State Highway and Transportation Officials National Cooperative Highway Research Program "Warm-Mix Asphalt: European Practice".
8. Temperaturabgesenkte Asphalte. Ratschlidge aus der Praxis für die Praxis [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.asphalt.de/media/exe/134/c773c33a550a0fb325b42ca50226f1e7/temperaturabgesenkte_asphalte.pdf.
9. Koenders, B.G., D.A. Stoker, C. Bowen, P. de Groot, O. Larsen, D. Hardy & K.P. Wilms. Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures. 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, Spain September 2000.
10. Радовский Б.С. Технология теплого асфальтобетона в США // Дорожная техника 2008 с. 24-28
11. Olof Kristjansdottir, "Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving", [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/650.1.pdf>.
12. Soenen, H., Tanghe, T., Redelius, P., De Visscher, J., Vervaecke, F. and Vanelstraete, A. (2008). A laboratory study on the use of waxes to reduce paving temperatures, 4th Eurasphalt and Eurobitume Congress, Copenhagen.
13. Ольховий Б.Ю. Технології теплих асфальтобетонних сумішей.//Автомобільні дороги і дорожнє будівництво// Науково – технічний збірник. К.:НТУ. – 2010. Випуск №21 (Частина1). С.51-54
14. Warm mix asphalt investigation. Martins Zaumanis. Master of science thesis. Denmark. – 201. – 111p.
15. Р В.2.7-218-02071168-740:2008 Рекомендації по використанню в бітумних в'язучих енергозберігаючих добавок для виготовлення та ущільнення асфальтобетонних сумішей. – К.:2008
16. Золотарев В.А., Пыриг Я.И., Галкин А.В.. Особенности влияния парафиновых добавок на технические свойства вязких дорожных битумов. В кн.: В.А. Золотарев. Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды, том. 2. – С.-Петербург.- 2013. – С.116-124.
17. Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 // В.А. Золотарев – 1-е изд. – Санкт-Петербург:Славутич, 2012. – 148 с.: ил.
18. Золотарёв В. А. Смачивание как фактор, определяющий температуры перемешивания асфальтобетонных смесей / Золотарёв В. А., Писанко А. А., Ефремов С. В., Пыриг Я. И., Галкин А. В. // Вісник ДДАБА. – 2002. – Вип. 1(32). – С. 17-21.

19. Мозговий В.В., Герасимов В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю. Досвід застосування вітчизняного модифікатора бітуму К-1, який покращує якість асфальтобетонного покриття// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2008. – Вип.75 – С. 40-45.
20. СОУ 45.2-00018112-068:2011 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі синтетичних восків. Технічні умови – К.:2011
21. Золотарев В.А., Пыриг Я.И., Галкин А.В. Технические свойства вязких дорожных битумов с добавками парафиновых восков. Сучасні будівельні матеріали //Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Випуск 2009/1(75). С. 10–19.
22. Isacson U., Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens. – Chapitne 1 et annexes 1, rapport RILEM 17, – Bifumiaus binders and mixes, L. Fnancken: T& FN Spon, London. – 1998 – 365 p.
23. Эляшберг М.Е., Грибов Л.А., Серов В.В. Колебательная спектроскопия. Современные воздействия. Тенденции развития. – М.: Мир, 1981-268 с.
24. Fraser R.D.V. Infrared dicgroisme in polymer compounds – Chem. Phus – 1958 V.28,N6-P 1113-1121.
25. Суцинский М.М. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристалов. – М.: Наука, 1969 – 576 с.
26. Кальве Э., Прат А. Микрокалориметрия. Применение в физической химии и биологии: пер. с фр. – М.: изд. иностр. лит., 1963- 477с.
27. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М: Транспорт, 1973-261с.
28. Мозговий В.В., Ольховый Б.Ю., Куцман А.М., Баран С.А. Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах.//Сборник статей и докладов ежегодной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2011. –С. 202-211.
29. Olkhovyy V., Mozgovyy V. The improvement of asphalt concrete placement by warm-mix asphalt application // 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul.- P5EE.
30. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 1996 – 406 с.

REFERENCES

1. J. Keith Davidson P.Eng. Warm asphalt mix technology an overview of the process in Canada. Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements Session Of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, Canada 2008.(Eng)
2. Statistics of asphalt mixtures production. ЕАРА [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.eapa.org/asphalt.php>(Eng)
3. DSTU B V.2.7-119-2003 Asphalt concrete mixtures and asphalt concreteodromnyi. Tekhnichni umovy. – К.:2003(Ukr)
4. GOST 9128-84 Asphalt concrete mixtures for road and aerodromes, asphalt concrete. Tehnicheskie uslovija. – М.:1984(Rus)
5. Warm asphalt mixtures. Korolev I.V., Ageeva E.N., Golovko V.A., Fomenko G.R.. – 2-e izd., ispr. I dop. – К.:Vishha shk. Golovnoe izd-vo, 1984. – 200 s.(Rus)
6. Radovskij B.S. Progress of warm asphalt mixtures production in USA// Avtomob. dorigi. - 2011. - №8. - S. 29-39.(Rus)
7. John D'Angelo, Eric Harm, John Bartoszek, eds. U.S. Department of Transportation American Association of State Highway and Transportation Officials National Cooperative Highway Research Program “Warm-Mix Asphalt: European Practice”.(Eng)
8. Temperaturabgesenkte Asphalte. Ratschldge aus der Praxis fьr die Praxis [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.asphalt.de/media/exe/134/c773c33a550a0fb325b42ca50226f1e7/temperaturabgesenkte_asphalte.pdf.(Ger)
9. Koenders, B.G., D.A. Stoker, C. Bowen, P. de Groot, O. Larsen, D. Hardy & K.P. Wilms. Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures. 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, Spain September 2000. (Eng)
10. Radovskiy B.S. Technology of warm asphalt mixture in USA// Doroznaya tehnika 2008 s. 24-28.(Rus)
11. Olof Kristjansdottir, “Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving”, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/650.1.pdf>. (Eng)
12. Soenen, H., Tanghe, T., Redelius, P., De Visscher, J., Vervaecke, F. and Vanelstraete, A. (2008). A laboratory study on the use of waxes to reduce paving temperatures, 4th Eurasphalt and Eurobitume Congress, Copenhagen. (Eng)

13. Olkhovyy B.J. Technologies of warm asphalt mixtures.//Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo// Naukovo – tekhnichniy zbirnyk. K.:NTU. – 2010. Vypusk #21 (Chastyna1). S.51-54(Ukr)
14. Warm mix asphalt investigation. Martins Zaumanis. Master of science thesis. Denmark. – 201. – 111p. (Eng)
15. R V.2.7-218-02071168-740:2008 Recommendations for using warm asphalt mixtures additives in road bitumen for production and compaction of asphalt mixtures. – K.: 2008.(Ukr)
16. Zolotarev V.A., Pyrig Ja.I., Galkin A.V. Specifics influence of using paraffinic additives on technical characteristics of road bitumen. V kn.: V.A. Zolotarev. Bitumy, modifitsirovannyye polimerami i dobavkami. Izbrannyye trudy, tom. 2. - S.-Peterburg.- 2013. -p.116-124.(Rus)
17. Technical, rheological and surface properties of road bitumen. Izbrannyye trudy. Tom 1 // V.A. Zolotarev – 1-e izd. – Sank-Peterburg:Slavutich, 2012. – 148 p.: il.(Rus)
18. Zolotarjov V. A. Moistening as a factor of temperature of asphalt concrete mixing determining factor./ Zolotarjov V. A., Pisanko A. A., Efremov S. V., Pyrig Ja. I., Galkin A. V. // Visnik DDABA. – 2002. – Vip. 1(32). – p. 17-21.(Rus)
19. Mozgovyi V.V., Herasymov V.V., Onyshchenko A.M., Aksonov S.Yu. Experience of applying of Ukrainian additive that improves characteristics of asphalt concrete// Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. - 2008. -Vyp.75 - p. 40-45.(Ukr)
20. SOU 45.2-00018112-068:2011 Building materials. Road bitumen, modified with additives on wax basis. Tekhnichni umovy – K.: 2011.(Ukr)
21. Zolotarev V.A., Pyrig Ja.I., Galkin A.V. Technical properties of road bitumen with paraffinic additives. Suchasni budivel'ni materialy //Visnik Donbas'koï nacional'noï akademii budivnictva i arhitekturi. Vipusk 2009/1(75). S. 10–19.(Rus)
22. Isacsson U., Lu X. Testing and appraisal of polymer modified road bitumens. - Chapitne 1 et annexes 1, rapport RILEM 17, - Bifumiaus binders and mixes, L. Fnancken: T& FN Spon, London. - 1998 - 365 p. (Eng)
23. Jeljashberg M.E., Gribov L.A., Serov V.V. Kolebatel'naja spektroskopija. Sovremennyye vozdejstvija. Tendencii razvitija. - M.: Mir, 1981-268 s.(Rus)
24. Fraser R.D.B. Infrared digroisme in polymer compounds - Chem. Phus - 1958 V.28, N6-P 1113-1121. (Eng)
25. Sushhinskij M.M. Specters of combinational dispersion of molecules and cristals. - M.: Nauka, 1969 - 576 s.(Rus)
26. Kal've Je., Prat A. Mikrokalorimetrija. Using of physical chemistry and biology: per. s fr. - M.: izd. inostr. lit., 1963- 477p.(Rus)
27. Kolbanovskaja A.S., Mihajlov V.V. Road bitumen. - M: Transport, 1973 - 261p.(Rus)
28. Mozgovyj V.V., Olkhovyy B.J., Kucman A.M., Baran S.A. Paving of asphalt concrete layers in cold weather conditions.//Sbornik statej i dokladov ezhegodnoj sessii Asociacii issledovatelej asfal'tobetona. – M.:MADI, 2011. –S.202-211.(Rus)
29. Olkhovyy B., Mozgovyy V. The improvement of asphalt concrete placement by warm-mix asphalt application // 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul.- P5EE. (Eng)
30. Mozgovoj V.V. Scientific basis of ensuring temperature cracks resistance of asphalt concrete pavements.: Dis. dokt. tehn. nauk: 05.22.11 - K., 1996 – 406 s.(Rus)

РЕФЕРАТ

Мозговий В.В. Розширення будівельного сезону при влаштуванні асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів. / В.В. Мозговий, В.Д. Данчук, Б.Ю. Ольховий, Н.С. Лаптева, А.П. Кравчук, А.М. Онищенко, Л.А. Мозгова // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.

В статті досліджують питання розширення будівельного сезону за рахунок використання теплих асфальтобетонів, які забезпечують достатнє ущільнення при низьких температурах і зменшують пошкодження структури завдяки меншим швидкостям охолодження.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонні шари із теплого асфальтобетону, виготовленого з використанням твердих вуглеводнів.

Мета роботи – дослідження можливості застосування теплого асфальтобетону, виготовленого з використанням твердих вуглеводнів для розширення будівельного сезону.

Методи дослідження – аналітико-експериментальні.

Результати теоретичних і експериментальних спектральних досліджень температурного фазового переходу I роду в n-парафінах в'язучого дозволяють зробити висновок, що при такому

переході відбувається різка зміна характеру руху молекул у вузлах кристалічної ґратки. Молекули внаслідок теплового збудження вже здійснюють вібраційні та обертальні рухи. Це призводить до різких змін структурно-механічних властивостей вуглеводневих компонентів бітумів – зокрема, різкого, на декілька порядків, зменшення їхньої в'язкості, навіть при температурах нижчих за температуру плавлення. Введення вуглеводневих пластифікаторів (Rediset WMX і Sasobit) у бітум, за рахунок утворення певних хімічних зв'язків призводить до збільшення діапазону температур існування орієнтаційної фази, а значить і до збільшення інтервалу температур пластичності та деформованості бітумів. Тому можна вважати, що одним з чинників, які визначають відповідні реологічні властивості бітумів є існування в певних діапазонах температур ротаційної фази їх вуглеводневих компонентів.

Проведено дослідження впливу темпів остигання на пошкодженість структури асфальтобетону. На основі отриманих експериментально функцій релаксації асфальтобетону були знайдені температурні напруження, що виникають в шарі щойно укладеного асфальтобетону при його остиганні до температури навколишнього середовища. Встановлено, що зменшивши початкову температуру остигання асфальтобетону, тобто зменшивши темпи остигання шару, можна досягти менших температурних напружень у шарі.

За результатами виконаних досліджень розроблені практичні рекомендації з виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей із застосуванням твердих вуглеводнів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСФАЛЬТОБЕТОННІ ШАРИ, ТЕПЛІ АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ, ТВЕРДІ ВУГЛЕВОДНІ, РОЗШИРЕННЯ БУДІВЕЛЬНОГО СЕЗОНУ.

ABSTRACT

Mozgovyy V.V., Danchuck V.D., Olkhovyy B.J., Lapteva N.S., Kravchuck A.P., Onyshchenko A.M., Mozgova L.A. Extending of paving season applying warm asphalt mixtures based on solid hydrocarbons. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 29.

The article is dedicated to study of the issue of extending of pavement season applying warm asphalt mixtures based on solid hydrocarbons that provide adequate compacting at low temperatures and reduce damage of the structure due to the lower cooling rate.

Object of the study – asphalt layers of warm asphalt mixtures produced using solid hydrocarbons.

Purpose of the study – researching of the possibility of using warm asphalt mixtures produced using solid hydrocarbons to extend the paving season.

Research methods – analytical and experimental.

The results of theoretical and experimental studies of spectral phase transition temperature and the kind of n- paraffins binder shows that with this transition there is a sharp change in the nature of the molecules in the crystal grid. Molecules due to thermal excitation are carried out vibration and rotational motion. This leads to changes in structural and mechanical properties of hydrocarbon components of bitumen – in particular, abrupt, several orders of magnitude, reducing their viscosity, even at temperatures below the melting point. Introduction hydrocarbon plasticizers (Rediset WMX and Sasobit) in bitumen, due to the formation of certain chemical bonds leads to an increase in the temperature range of existence of the orientation phase, and thus increase in the temperature range of plasticity and deformability of bitumen. Therefore, we can assume that one of the factors that determine the appropriate rheological properties of bitumen is the existence of a certain range of temperatures rotational phase of hydrocarbon components.

It was held research of the influence of cooling rates on the damage of asphalt concrete structure. Based on the experiments of the relaxation functions of asphalt concrete were calculated thermal stresses occurring in a layer of asphalt that just concluded in its cooling to ambient temperature. It was set that reducing the initial temperature of the cooling asphalt, namely reducing the rate of cooling layer can achieve lower thermal stresses in the layer.

Based on the results of the research it was drafted practical recommendations for the production of warm asphalt mixtures using solid hydrocarbons.

KEYWORDS: ASPHALT LAYERS, WARM ASPHALT MIXTURES, SOLID HYDROCARBONS, EXTENDING OF PAVING SEASON.

РЕФЕРАТ

Мозговой В.В. Расширение строительного сезона при устройстве асфальтобетонного покрытия за счет использования теплого асфальтобетона на основе твердых углеводородов. / В.В. Мозговой, В.Д. Данчук, Б.Ю. Ольховый, Н.С. Лаптева, А.П. Кравчук, А.М. Онищенко,

Л.А. Мозговая // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 29.

В статье исследуют вопросы расширения строительного сезона за счет использования теплых асфальтобетонов обеспечивающих достаточное уплотнение при низких температурах и уменьшают повреждение структуры благодаря меньшим скоростям охлаждения.

Объект исследования – асфальтобетонные слои из теплого асфальтобетона, изготовленного с использованием твердых углеводородов.

Цель работы – исследование возможности применения теплого асфальтобетона, изготовленного с использованием твердых углеводородов для расширения строительного сезона.

Методы исследования – аналитико-экспериментальные.

Результаты теоретических и экспериментальных спектральных исследований температурного фазового перехода I рода в n-парафинах вязущего позволяют сделать вывод, что при таком переходе происходит резкое изменение характера движения молекул в узлах кристаллической решетки. Молекулы вследствие теплового возбуждения уже осуществляют вибрационные и вращательные движения. Это приводит к резким изменениям структурно-механических свойств углеводородных компонентов битумов – в частности, резкого, на несколько порядков, уменьшения их вязкости, даже при температурах ниже температуры плавления. Введение углеводородных пластификаторов (Rediset WMX и Sasobit) в битум за счет образования определенных химических связей приводит к увеличению диапазона температур существования ориентационной фазы, а значит и к увеличению интервала температур пластичности и деформируемости битумов. Поэтому можно считать, что одним из факторов, которые определяют соответствующие реологические свойства битумов является существование в определенных диапазонах температур ротационной фазы их углеводородных компонентов.

Проведено исследование влияния темпов остывания на поврежденность структуры асфальтобетона. На основе полученных экспериментально функций релаксации асфальтобетона были найдены температурные напряжения, возникающие в слое свежеложенного асфальтобетона при его остывании до температуры окружающей среды. Установлено, что уменьшив начальную температуру остывания асфальтобетона, т.е. уменьшив темпы остывания слоя, можно достичь меньших температурных напряжений в слое.

По результатам выполненных исследований разработаны практические рекомендации по изготовлению теплых асфальтобетонных смесей с применением твердых углеводородов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СЛОИ, ТЕПЛЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСЕЙ, ТВЕРДЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, РАСШИРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА.

АВТОРИ:

Мозговий Володимир Васильович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: mozgoviy@gmail.com, тел. +380442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 317.

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри електроніки і обчислювальної техніки, e-mail: danchuk@ntu.edu.ua, тел. +380442846439, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 317.

Ольховий Богдан Юрійович, Національний транспортний університет, молодший науковий співробітник кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: b.olkhovyy@gmail.com, тел. +380442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1., к. 326.

Лаптева Наталія Сергіївна, Національний транспортний університет, старший науковий співробітник кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, тел. +380442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1., к. 326

Кравчук Анатолій Пилипович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри електроніки і обчислювальної техніки, тел. +380442846439, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1., к. 317.

Онищенко Артур Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, докторант кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: artur_onish@bigmir.net, тел. +380442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1., к. 317.

Мозгова Людмила Анатоліївна, Національний транспортний університет, старший науковий співробітник кафедри електроніки і обчислювальної техніки, тел. +380442846439, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 326.

AUTHOR:

Mozgovyy Volodymyr V., Doctor of science, professor, National Transport University, chairman of road building materials and chemistry department, e-mail: mozgoviy@gmail.com, tel. +380442859528, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 317.

Danchuk Viktor. D., Doctor of science, professor, National Transport University, chairman of electronics and computer technology department, e-mail: danchuk@ntu.edu.ua, tel. +380442846439, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 317.

Olkhovyy Bogdan. Y., National Transport University, research scientist of road building materials and chemistry department, b.olkhovyy@gmail.com, tel. +380442859528, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 326.

Lapteva Nataliya S., National Transport University, senior research scientist of road building materials and chemistry department, tel. +380442859528, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 326.

Kravchuk Anatolij P., National Transport University, senior lecturer of electronics and computer technology department, tel. +380442846439, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 317.

Onyshchenko Arthur M., Candidate of science, National Transport University, doctoral student of road building materials and chemistry department, e-mail: artur_onish@bigmir.net, tel. +380442859528, 01010 Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 317.

Mozgova Lyudmila A., senior research scientist of electronics and computer technology department, tel. +380442859528, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 326.

АВТОРЫ:

Мозговой Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: mozgoviy@gmail.com, тел. +380442859528, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 317.

Данчук Виктор Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой электроники и вычислительной техники, e-mail: danchuk@ntu.edu.ua, тел. +380442846439, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 317.

Ольховый Богдан Юрьевич, Национальный транспортный университет, младший научный сотрудник кафедры дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: b.olkhovyy@gmail.com, тел. +380442859528, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1., к. 326

Лаптева Наталья Сергеевна, Национальный транспортный университет, старший научный сотрудник кафедры дорожно-строительных материалов и химии, тел. +380442859528, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 326

Кравчук Анатолий Филиппович, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры электроники и вычислительной техники, тел. +380442846439, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1., к. 317

Онищенко Артур Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, докторант кафедры дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: artur_onish@bigmir.net, тел. +380442859528, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1., к. 317.

Мозговая Людмила Анатольевна, Национальный транспортный университет, старший научный сотрудник кафедры электроники и вычислительной техники, тел. +380442846439, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1., к. 326.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гоц В.І., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, декан будівельно-технологічного факультету, Київ, Україна.

Славінська О.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан дорожньо-будівельного факультету, Київ, Україна.

REVIEWER:

Goc V.I., Doctor of science, professor, Kyiv National University of building and architecture, dean of building-technology faculty, Kyiv, Ukraine.

Slavinska O.S., Doctor of science, professor, National Transport University, dean of road building faculty, Kyiv, Ukraine.