

УДК 625. 855. 3

**В. І. БРАТЧУН^а, Н. О. СТОЛЯРОВА^а, М. К. ПАКТЕР^а, В. Л. БЕСПАЛОВ^а, В. В. КОНОВАЛОВ^а, М. В. ДЕРКАЧ^а,
І. Ф. РИБАЛКО^а**^аДонбаська національна академія будівництва і архітектури, ^бАвтомобільно-дорожній інститут Донецького
національного технічного університету**ЛИТІ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ РЕМОНТУ ПОКРИТТІВ
НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Розроблені склади литих дьогтешлакових і асфальтополімерсіркобетонних сумішей для ямкового ремонту покриттів нежорстких дорожніх одягів. Литі дьогтешлакові суміші включають відсів подрібнення відвальних мартенівських шлаків – 100 м.ч., кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкістю $C_{50}^{10} = 10 - 20$ с (6-7 м.ч.); воду (19-21м.ч.), вапно негашене мелене (2-3 м.ч.) і характеризуються рухливістю ОК=15-20 с. Литий дьогтешлакобетон має межу міцності при стиску при 0°С, $R_0 = 6,5$ МПа, при 20°С, $R_{20} = 4,0$ МПа, при 50°С, $R_{50} = 1,8$ МПа; коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні – $K_{вд} = 0,82$; коефіцієнт теплового старіння після 600 годин прогріву при температурі 60°С і ультрафіолетовому випромінюванню – $K_{ст} = 2,2$.

Оптимізовано склад асфальтополімерсіркобетонної суміші, що містить механоактивованій 0,5% СКМС-30 мінеральний порошок 12,6-20%, бітумополімерсіркове в'язуче 6,7-10,5% (бітум нафтовий дорожній модифікований 2% бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 і 40% технічної сірки), що забезпечує: рухливість суміші при 170°С – ОК > 30 мм; зачурення штампі при 40°С – $h < 4$ мм; для асфальтополімерсіркобетону межу міцності на розтяг при вигині при 0°С – $R_{виг} > 5,6$ МПа, коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні – $K_{вд} > 0,96$, коефіцієнт морозостійкості після 100 циклів попереминого заморожування – відтавання – $F = 0,72$, коефіцієнт теплового старіння після 1200 годин – $K_{ст} = 1,27$.

литі дьогтешлакові і асфальтополімерсіркобетонні суміші, дефекти покриттів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг, ямковий ремонт

Актуальність теми. У зв'язку із зростанням інтенсивності і вантажонапруженості руху транспортних засобів важливе значення набувають своєчасність і якість робіт з поточного і капітального ремонту покриттів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг [1, 2]. Це обумовлено тим, що більшість доріг у країнах СНД були розраховані на навантаження групи Б (60 кН на вісь). У той же час в Україні розрахункові автомобільні навантаження на вісь колеса автомобіля встановлені 115 кН і навіть 130 кН [3]. Наслідком цього є підвищення вимог, що висуваються до дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються для ремонту, і технологій ремонтних робіт покриттів автомобільних доріг [4].

Витрати, що пов'язані з поточним ремонтом автомобільних доріг (ліквідація вибоїн, просядок, напливів й інших пластичних деформацій, оновлення шорсткості покриттів і заливка тріщин на покритті) складають 60% від вартості дорожнього будівництва [1]. Аналіз світового досвіду поточного ремонту покриттів автомобільних доріг свідчить про те, що для підвищення довговічності відремонтованих покриттів конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів використовують асфальтобетонні суміші, що модифіковані поверхнево - активними речовинами, бітумополімерні суміші, асфальтополімерсіркобетонні суміші, еластомірні суміші, композиції з використанням спінених бітумів, вологі органомінеральні і екзотермічні суміші тощо [1, 2, 5-11]. Найбільш ефективними дорожньо-будівельними матеріалами для ремонту нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг є

вологі органомінеральні суміші та гарячі литі асфальтобетонні суміші, а також модифіковані їх аналоги. У той же час процес формування структури вологих органомінеральних сумішей, укладених у ремонтну карту, є тривалим, що позначається на експлуатаційних характеристиках відремонтованого покриття автомобільної дороги. Недоліками відомих гарячих литих асфальтобетонних сумішей є висока енергоємність (температура виробництва 210-240° С) та вузький температурний інтервал в'язкопружно-пластичного стану (70-80° С).

Метою дослідження є розробка складів ресурсо- і енергоекономічних литих органо-мінеральних сумішей для ремонту покриттів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг на основі встановлення закономірностей формування структури і заданих адгезійно-когезійних і деформаційно-міцнісних характеристик литих органомінеральних бетонів у системі "ремонтоване покриття — контактний шар — новий матеріал".

Об'єкти та методи досліджень. Об'єктами дослідження прийнято: відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку Макіївського металургійного комбінату: насипна щільність 1650-1700 кг/м³; істинна густина 3200-3250 кг/м³; марка за дробильністю в сталевому циліндрі 1200; морозостійкість більше 200 циклів; активність 1 МПа; модуль основності $M_o=1,9$; зерновий склад представлений частковими залишками на ситах з вічками, мм: 10-2%; 5-24%; 1,25-18%; 0,63-14%; 0,315-15%; 0,14-14%; менше 0,071-8%; активізатори в'язучих властивостей відвального мартенівського шлаку: вапно негашене мелене (ДСТУ Б В. 2. 7-90-99) і портландцемент марки 400 (ДСТУ Б В.2.7-46-96); як кам'яновугільне в'язуче прийнято кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкістю $C_{50}^{10}=10c$ (ГОСТ 4641); вода замішування литих дьогтешлакових сумішей відповідала ГОСТ 23732; бітум нафтовий дорожній БНД 40/60 (ДСТУ Б.В.2.7-46-96); каучук синтетичний бутадієнметилстирольний СКМС-30 (ГОСТ 11138); сірка технічна молота (ГОСТ 127).

У роботі, окрім стандартних, використано ряд спеціальних методів досліджень: пластометрія (пластометр МДУ П. О. Ребіндера), резонансно-акустичний метод (установка ІГ-1р І.Г. Гранковського); електронна сканувальна мікроскопія (растровий електронний мікроскоп ІСІ-60 англійської фірми "ЮНІ - ЕКСПЕРТ"); термогравиметрія (дериватограф Q-1500 системи Рaulyc - Рaulyc); диференційно-сканувальна калориметрія (використано ДСК моделі 912 у складі термоаналітичного комплексу Du Pont 9900).

Результати теоретичних і експериментальних досліджень та їх інтерпретація

При проведенні ямкового ремонту покриттів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг у зоні стику утворюється макросистема, у якій можна виділити три основні підсистеми (рис. 1): ремонтоване покриття (старий матеріал СМ), контактний шар (КШ) і новий матеріал (НМ).

Із умови цілності відремонтованого покриття нежорсткого дорожнього одягу повинні виконуватися насамперед наступні умови: напружено-здеформований стан системи повинен відповідати умові (1).

$$НДС_{(СМ)}(E, \eta, \epsilon, \sigma_{виг}, \dots) = НДС_{(КШ)} = НДС_{(НМ)}, \quad (1)$$

де НДС — напружено-здеформований стан старого матеріалу (см), контактного шару (кш) і нового матеріалу (нм), відповідно; $E, \eta, \epsilon, \sigma_{виг}$ — модуль пружності (МПа), в'язкість (Па·с), відносна деформація і межа міцності на вигин (МПа), відповідно.

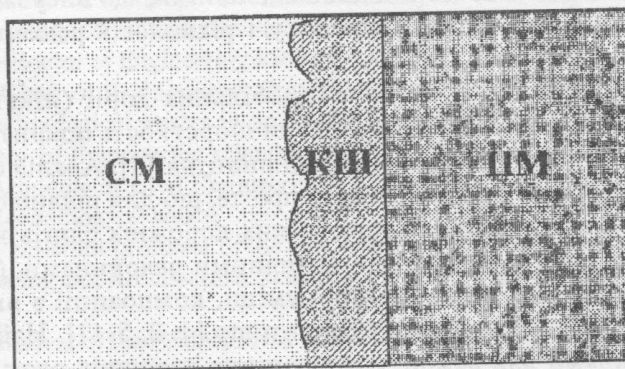


Рисунок 1 — Схема формування макроструктури в ремонтній карті асфальтобетону (дьюгтебетону): СМ — старий матеріал (шар ремонтованого асфальтобетонного покриття); КШ — контактний шар, представлений новим і старим матеріалами; НМ — новий матеріал (лита суміш).

Когезія контактного шару $\sigma_k(\text{кш})$ не повинна перевищувати значення адгезії (σ_a) в системі СМ-КШ-НМ більше чотирьох (2).

$$\sigma_k(\text{кш}) < 4 \sigma_a \text{ (нм і см)}. \quad (2)$$

Для створення міцного з'єднання необхідна присутність в ремонтваній суміші, а також і на поверхнях старого і нового матеріалів, що склеюються, полярних або здатних поляризуватися груп і добре змочування органічним в'язучим, що знаходиться у контактному шарі, з'єднуваних поверхонь ремонтваної карти.

Таким чином, довговічність відремонтованих способом ямкового ремонту нежорстких покриттів визначається факторами, що наведені в залежностях (3 і 4):

$$D_c = f(R_{\text{виг}}^c, F, K_{\text{вд}}, \tau_{\text{зсув}}, T_{\text{скл}}, K_{\text{стар}}), \quad (3)$$

$$R_{\text{виг}}^c = f(R_{\text{виг}}^c \approx R_{\text{нм}}^c \approx R_{\text{кш}}^c \approx R_{\text{рл}}^c), \quad (4)$$

де D_c – довговічність системи (років); F – морозостійкість (кількість циклів); $K_{\text{вд}}$ – коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні; $\tau_{\text{зсув}}$ – межа міцності при зсуву (МПа); $T_{\text{скл}}$ – тріщиностійкість (0°C , МПа); $K_{\text{стар}}$ – коефіцієнт старіння; $R_{\text{виг}}^c, R_{\text{нм}}^c, R_{\text{кш}}^c, R_{\text{рл}}^c$ – межа міцності при вигині системи, нового матеріалу, контактного шару і ремонтваного покриття відповідно з урахуванням зміни його в процесі експлуатації (МПа).

При виготовленні литих дьогтешлакових сумішей назначені наступні режими виробництва. В асфальтобетонну установку подавали відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку з температурою 80°C і вапно негашене мелене; суміш перемішували 15 с; вводили в змішувач кам'яновугільний дорожній дьоготь, підігрітий до температури 80°C і перемішували 45 с, далі додавали воду і перемішували 30с. При такому порядку ведення процесу забезпечується добре змочування поверхні мінеральних частинок кам'яновугільним в'язучим, що містить у своєму складі ненасичені групи у сполуках гамма- і бета- фракцій дьогтю, що мають ароматичну природу з наступною сорбцією в'язучих на олеофільних центрах частинок відвального мартенівського шлаку і формування міцних структурованих еластичних шарів, що склеюють частки мінерального кістяка литого дьогтешлакобетону. Вода ж сорбується на гідрофільних ділянках шлакових часток і забезпечує процеси гідратації гідралічно активних мінералів шлаку [11].

Часточки меленого негашеного вапна осідають на частках шлаку, утворюючи численні центри на поверхні мінеральних зерен, підвищують їх енергетичний потенціал і активність взаємодії з кислотами сполуками кам'яновугільного дорожнього дьогтю. При гідратації вапна або гідролізу аліту – мінералу портландцементу утворюється гідроксид кальцію, у процесі взаємодії якого з фенолвміщувачами сполуками кам'яновугільного в'язучого утворюються феноляти і крезолати кальцію на поверхні поділу фаз "органічне в'язуче – поверхня шлакових часток". Це приводить до суттєвого зміцнення міжфазного контакту.

Водний розчин гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ створює високе значення $\text{pH} > 12$, що забезпечує диспергування поверхневих шарів шлаку у результаті розриву ковалентних зв'язків $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ і $\text{Al} - \text{O} - \text{Si}$, руйнує оболонку з $\text{Al}(\text{OH})_3$ і $\text{Si}(\text{OH})_4$. Внаслідок цього оголюються і стають доступними для води більш глибокі ділянки склоподібної фази шлакових часток. Це приводить до подальшого гідролізу і гідратації гідралічно активних мінералів шлаку. Визначальну роль у процесах кристалізаційного структуроутворення відіграють катіони Ca^{2+} , які при взаємодії з кремне- і алюмосолями створюють такі кристалогідрати, як тоберморит ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), ксонотліт ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), ріверсайдит ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), гіроліт ($2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$), гідрогранат ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) і ін.

Виходячи із заданої рухливості ($\text{OK} = 15-20 \text{ см}$), коефіцієнта розшарування суміші (K_p не $> 15\%$), а також концентрації кам'яновугільного в'язучого у суміші, при якому забезпечується максимальна міцність литого дьогтешлакобетону ($D_{\text{ж}} = 6-8\%$), встановлено оптимальний вміст води замішування (рис. 2), який дорівнює $\text{B} = 19-21\%$ від маси відсіву подрібнення відвального мартенівського шлаку.

При даному співвідношенні компонентів у литому дьогтешлакобетоні кількість конденсаційно-кристалізаційних контактів у віці 28 діб складе (5):

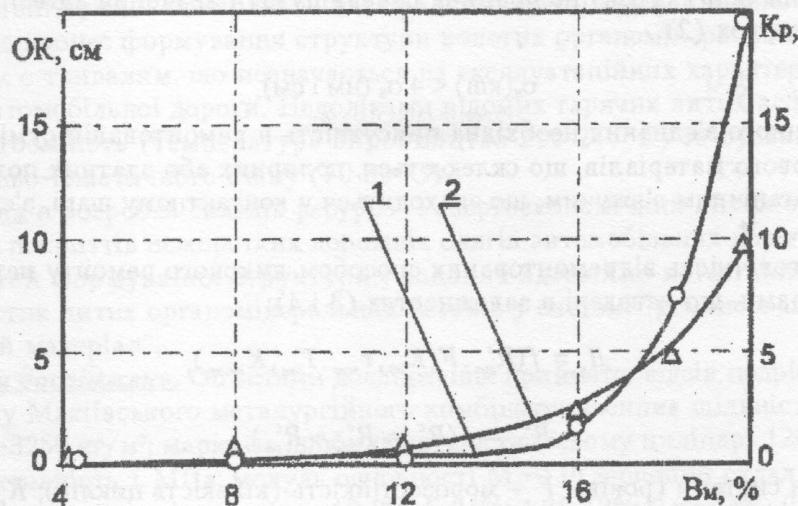


Рисунок 2 — Залежність осадки конуса ОК (1) і коефіцієнта розшарування K_p (2) литої дьогтешлакової суміші складу в масових частках компонентів: відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку — 100; кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкості $C_{30}^{10} = 10c - 7$ від вмісту води по осі абсцис.

$$n_y = (C \cdot R_1 - R_2) / (C - 1) \cdot R_c,$$

$$n_y = (5 \cdot 4 - 5,5) / (5 - 1) \cdot 8,0 = 0,45, \quad (5)$$

де R_1, R_2 — межа міцності при швидкості деформування $V_1 = 3$ мм/хв. і $V_2 = 15$ мм/хв., відповідно; C — коефіцієнт, що дорівнює $C = V_2 / V_1$; R_c — гранична структурна міцність, що відповідає максимуму на залежності межі міцності литого дьогтешлакобетону від температури або швидкості деформування.

Таким чином, у литому дьогтешлакобетоні складу у масових частках компонентів: відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку — 100, кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкості $C_{30}^{10} = 10c - 7$, вода — 20, вапно негашене мелене -3, утворюється комбінована мікроструктура, яка представлена сполученням взаємопроникаючих мікроструктур — коагуляційної (55%) і конденсаційно-кристалізаційної (45%). Така комбінована мікроструктура забезпечить необхідну зсувостійкість відремонтованого покриття в ділянці високих позитивних температур і деформативність в області негативних температур, а також рекомбінаційну здатність покриття.

Дані, що отримані реологічним та резонансо-акустичним методами, свідчать про збереження рухливості литою дьогтешлаковою сумішшю протягом п'яти годин (термін транспортування і укладання литої дьогтешлакової суміші у ремонтвану карту покриття нежорсткого дорожнього одягу).

Дані, що наведені на рис. 3, свідчать про те, що зростання міцності литого дьогтешлакобетону у часі не є сумою міцності конденсаційно-кристалізаційних і коагуляційних контактів.

Так, межа міцності при стиску у 28-добовому віці шлакового каменю складає 0,7 МПа, а дьогтебетону дискретної структури (індекс складу 2, рис. 3) $R_{20} = 1,9$ МПа. В той же час межа міцності при стиску при 20° С литого дьогтешлакобетону у віці 28 діб складає 3 МПа. Основними факторами, що визначають зміцнення структури бетону, яка характеризується коагуляційно-кристалізаційними контактами, є синтез кристалогідратів і формування на їх основі кристалізаційної сітки, формування хемосорбційних зв'язків на межі міцності розділу фаз "дьогтева емульсія — лужні сполуки шлаку", структурування плівкового дьогтю гідратними новоутвореннями, інтенсифікація основними сполуками кам'яновугільного в'язучого синтезу гелевих новоутворень гідратованого шлаку.

Дані, що наведені на рис. 4, свідчать про те, що у 28-добовому віці зерна шлаку покриваються нати́ними масами гелеподібного матеріалу, концентрація якого на поверхні шлакових часток зростає до двох років тверднення.

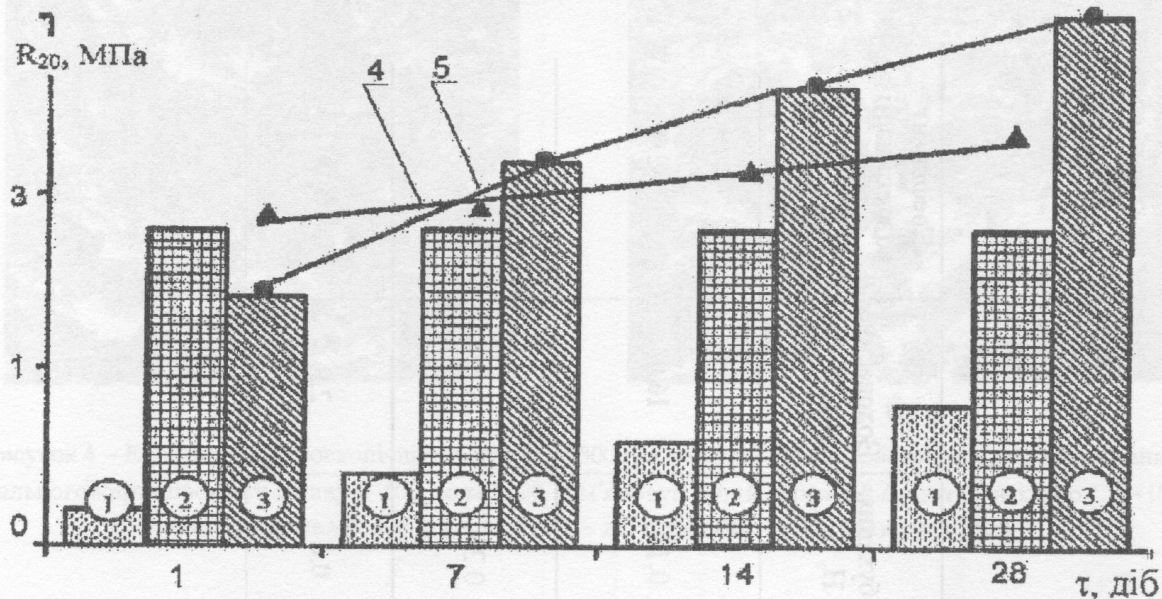


Рисунок 3 — Діаграма межі міцності при стиску при 20° С литого дьогтешлакобетону R_{20} від часу структуроутворення τ ; склади бетонів в масових частках компонентів: 1 — відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку — 100; вода — 20; 2 — відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку — 100; кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкістю $C_{50}^{10}=10c-7$; 3 — відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку — 100, вода — 20, кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкістю $C_{50}^{10}=10c-7$; 4 — крива, що характеризує зміну межі міцності при стиску литого дьогтешлакобетону у часі з урахуванням адитивності міцності коагуляційних і конденсаційних контактів; 5 — крива, що характеризує зміну межі міцності при стиску литого дьогтешлакобетону у часі структуроутворення.

Методом ДТА встановлені широкі екзотермічні ефекти у дьогтешлакобетонах з екстремумом 400° С, що характеризують процеси кристалізації при нагріві гелевих новоутворень Al — Si — Ca складу, а також ендоефект декарбонізації з екстремумом 800-820° С.

Із зростанням ступеня гідратації криві ендоефекту зміщуються в зону більш високих температур, що свідчить про підвищення щільності гелю, а також удосконалення кристалічних структур карбонатів. Для литого дьогтешлакобетону характерна мала залежність межі міцності і модуля пружності від температури (табл. 1).

Коефіцієнт теплового старіння після 600 годин прогріву при температурі 60° С і ультрафіолетовому випромінюванні $K_{ст} = 2,2$; коефіцієнт морозостійкості після 50 циклів поперемінного заморожування — відтавання $F = 0,52$.

Для оптимізації складу бінарної системи "бітумополімерсіркове в'язуче (бітум П₂₅ = 59 град., модифікований 2% бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 і 40% технічної сірки) в межах 6,5-10,5% — механоактивований мінеральний порошок (МП) (масова концентрація СКМС-30 на поверхні МП 0,5%) в межах 10-20% використано двофакторний композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1) з коефіцієнтом кореляції між факторами $r_{ij} < 0,1$, $i, j = 1, 2$ и $i \neq j$.

За параметри оптимізації складу матриці асфальтополімерсіркобетону прийняті: межа міцності при вигині при 0° С, $Y_1 (R_{виг}$, не менше 5,6 МПа); коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні, Y_2 (Квд, не менше 0,96); рухливість суміші при 170° С (Y_3 , не менше 30 мм); глибина занурення штампку при 40° С, Y_4 (h, не більше 4 мм).

Регресійний аналіз виконано з використанням програми "Астат 2,0". Отримані рівняння регресії у вигляді неповних і повних поліномів 2-го ступеня (6, 7, 8):

$$Y_1 = 4,96 + 1,68 \cdot X_1 + 1,36 \cdot X_2 + 1,28 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,24 \cdot X_1^2, \quad (6)$$

(м.к.к. = 0,981, $C_v = 10,6\%$)

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості бетонів

№ з/п	Склад бетону в масових частках компонентів	Середня щільність, ρ_0 , кг/м ³	Межа міцності при стиску, R, МПа, при			Набухання, H, %	Водонасичення, W, %	Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні, $K_{зд}$
			0°C	20°C	50°C			
1	Відсів подрібнення відвального марганєвого шлаку – 100; вода – 20; кам'яноугільний дорожній дьоготь в якості $C_{50}^{10} = 10$; 7; вапно негашене мелене – 3	2315	6,5	4,0	1,8	0,15	16,0	0,82
2	Дьогтебетон дрібнозернистий, тип В на гранітних мінеральних матеріалах і вапняковому мінеральному порошку, КД – $C_{50}^{10} = 75$ – 7,5	2400	10,4	3,9	0,9	0,26	3,6	0,74
3	Гарячий асфальтобетон, тип Б на гранітних мінеральних матеріалах і вапняковому мінеральному порошку, Б – $T_{25} = 59$ град – 6,0	2338	6,8	3,1	1,2	0,6	2,9	0,78

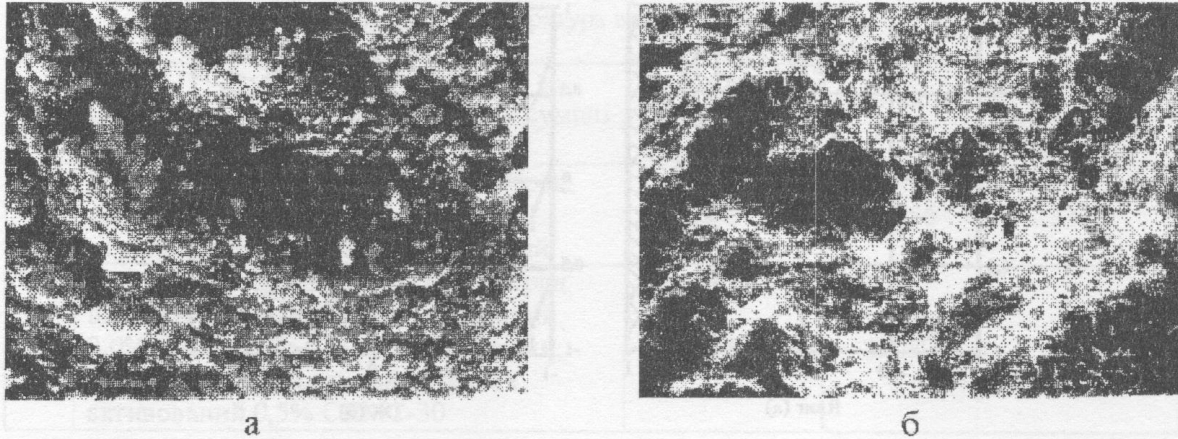


Рисунок 4 – Електронномікроскопічні фотографії (х3000) литого дьогтешлакобетону (відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку – 100, вода – 20, кам'яновугільний дорожній дьоготь в'язкістю $C_{50}^{10}=10c-7$, вапно негашене мелене -3 у віці: а) 28 – діб гідратації; б) 2 – роки гідратації.

$$Y_3 = 32 + 15,5 \cdot X_1 + 7,3 \cdot X_2 - 2,39 \cdot X_1^2, \quad (7)$$

(м.к.к. = 0,975, $C_v=14,4\%$)

$$Y_4 = 3,43 + 0,33 \cdot X_1 + 0,52 \cdot X_2 + 0,39 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,22 \cdot X_1^2 + 0,32 \cdot X_2^2. \quad (8)$$

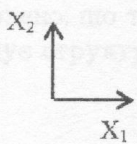
(м.к.к. = 0,985, $C_v = 4,7\%$)

Характерно, що при всіх значеннях факторів варіювання коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні (Y_2) забезпечується.

Виходячи із обмежень за показником пластичності литого асфальтополімерсіркобетону (глибина занурення штапу) і за показником рухливості при $170^\circ C$ (осадка конуса), а також враховуючи економічність литого асфальтополімерсіркобетону, встановлено, що оптимальний вміст у суміші активованого мінерального порошку повинен бути 17-18%, а модифікованого органічного в'язучого 8-9,5% (рівняння 6, 7, 8, рис 4.).

Як свідчать дані термограми, наведеної на рис. 5, до температур $38,11^\circ C$ спостерігаються температурні переходи, які можна інтерпретувати як розморожування молекулярної рухливості окремих структурних елементів бітуму з температурою склування $-32,13^\circ C$, $0,66^\circ C$, $38,11^\circ C$. В подальшому в діапазоні температур $106,03-108,62^\circ C$ виникає розчинення технічної сірки, яка структурує бітумополімерне в'язуче.

Формули переходу від кодованих значень факторів до натурних



$$X_1 = \frac{x_1 - 15}{5}; \quad x_1 = 15 + 5 \cdot X_1, \quad (9)$$

$$X_2 = \frac{x_2 - 8,5}{2}; \quad x_2 = 8,5 + 2 \cdot X_2. \quad (10)$$

Литі асфальтополімерсіркобетони характеризуються більш високими значеннями щільності і коефіцієнтом тривалої водостійкості, меншою температурною чутливістю механічних властивостей у порівнянні з традиційними асфальтобетонами.

Дані, що наведені в табл. 2; свідчать про те, що литі асфальтополімерсіркобетони більш зсувостійкі, ніж традиційні гарячі асфальтобетони.

Вони більш атмосферостійкі. Так, коефіцієнт старіння (тепловий прогрів виконано при температурі $75^\circ C$ і ультрафіолетовому опромінуванні в кліматичній камері ШП-1) після 1200 годин прогріву дорівнює $K_{ст} = 1,27$, а для гарячого асфальтобетону $K_{ст} = 1,44$.

Коефіцієнт водостійкості при водонасиченні протягом 90 діб для литого асфальтополімерсіркобетону складає 0,82 проти 0,57 для гарячого асфальтобетону. Коефіцієнт морозостійкості після 100 циклів поперемінного заморожування -відтавання складає 0,72, а для традиційного асфальтобетону 0,4.

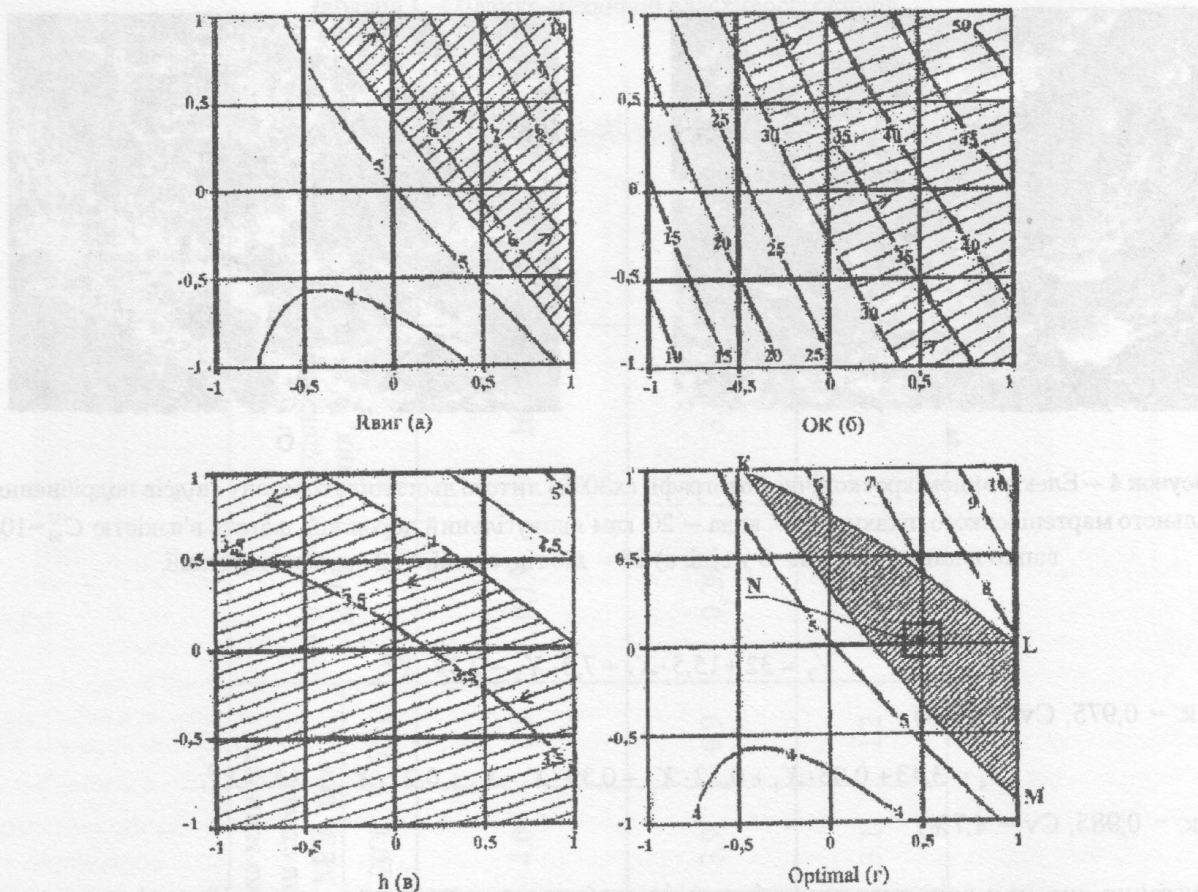


Рисунок 5 – Залежність: межі міцності при вигині $R_{виг}$ (МПа), (а) при 0°C (Y_1); рухливості асфальтополімерсіркобетонної суміші ОК (мм) при 170°C (б) (Y_2); глибини занурення штампів при 40°C h (мм), (в) (Y_3) і області оптимальних складів Optimal (г) асфальтополімерсіркобетонних в'язучих речовин від співвідношення у системі механоактивованого бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 вапнякового мінерального порошку і бітумополімерсіркового в'язучого.

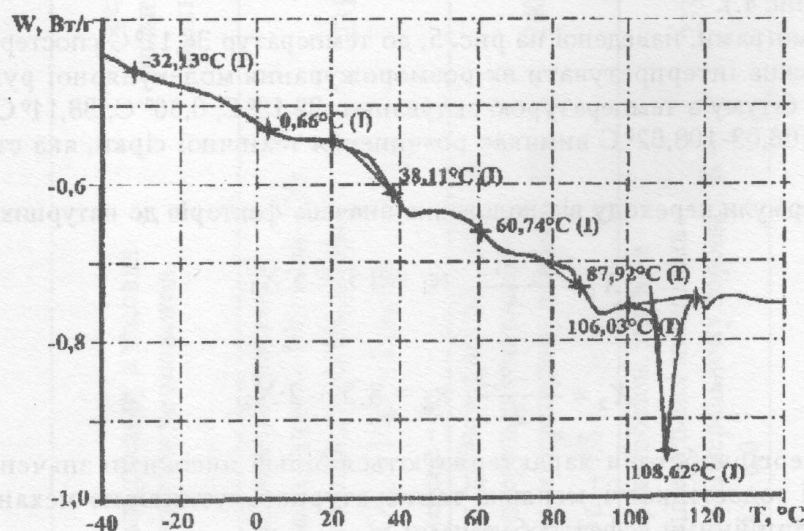


Рисунок 6 – Залежність теплового потоку W від температури T в бітумополімерсіркової в'язучій речовині складу у масових частках компонентів: бітум нафтовий дорожній $\Pi_{25} = 59$ град. – 100; бутадієнметилстирольний каучук СКМС-30 - 2; технічна сірка – 30; вапняковий мінеральний порошок, активований 2% СКМС-30 – 60.

Для ТОВ ДАК "Автомобільні дороги України" дочірнього підприємства "Донецький облавтодор" розроблені рекомендації з виробництва і використання литих бетонних сумішей для ямкового ремонту нежорстких дорожніх одягів в несприятливих погодних умовах. На асфальтобетонному

Таблиця 2 – Значення показників, що характеризують зсувостійкість дрібнозернистих бетонів (тип Б) за методом Маршала (температура випробування 60° С)

№ з/п	Вид асфальтов'язучої речовини в суміші	Умовна пластичність, 1/10, мм	Стійкість, Р, Н	Умовна жорсткість, А, Н/мм
1	Нафтовий дорожній бітум П ₂₅ =59град. шкали пенетрометра, мінеральний порошок вапняковий неактивований	46	15256	3316
2	Нафтовий дорожній бітум П ₂₅ =59град. шкали пенетрометра, модифікований 2,0% СКМС-30 і 40% технічної сірки; вапняковий мінеральний порошок, активований 0,5% СКМС-30	38	23080	5980

заводі Горлівського ПС ДРБУ ВАТ "Облрембуд" виготовлено 15 тонн литих дьогтешлакових сумішей, які використані у поточному ямковому ремонті асфальтобетонного шляхопроводу Кузнецова-Зубарева у м. Горлівка Донецької області.

ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовані і запроектовані склади та розроблено технологію виробництва литих дьогтешлакових сумішей, що включають відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку (100 м.ч.), кам'яновугільні дорожні дьогті в'язкістю $C_{50}^{10} = 10-20с$ (6-7 м.ч.), воду (19-21 м.ч.), вапно негашене мелене (2-3 м.ч.), що характеризується рухливістю ОК = 15-20 см, які після укладання у ремонтвану карту покриттів нежорстких дорожніх одягів формують у часі комбіновану мікроструктуру, що представлена оптимальним сполученням коагуляційних (контакти між частками шлаку здійснюються через адсорбційно-сольватні структуровані прошарки органічного в'язучого) і конденсаційно-кристалізаційних контактів прямого зрощування кристалів гідратованих мінералів тонкодисперсних часток відвального мартенівського шлаку; питома кількість конденсаційно-кристалізаційних контактів складає 0,43-0,45; коагуляційна структура забезпечує релаксацію внутрішніх напружень, що виникають при механічних навантаженнях і термічних впливах, а конденсаційно-кристалізаційна забезпечує міцність дорожнього покриття в ділянці високих температур (встановлено реологічним, резонансно-акустичним, електронномікроскопічним методами і методом ДТА).

2. З використанням методу планування експерименту оптимізовано склад асфальтополімерсіркової в'язучої речовини литої асфальтополімерсіркобетонної суміші оптимального складу (масова концентрація механоактивованого 0,5% СКМС-30 у вуглеводневих розчинниках вапнякового мінерального порошку 12,6-20,0%, бітумополімерсіркового в'язучого 6,7-10,5%), що забезпечує: рухливість суміші при 170°С – ОК > 30 мм; занурення штампу при 40°С – h < 4 мм; для асфальтополімерсіркобетону межу міцності на розтяг при вигині при 0°С – $R_{\text{внг}} > 5,6$ МПа; коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні – $K_{\text{вд}} > 0,96$. Методом диференційно-сканувальної калориметрії встановлено, що технічна сірка при температурах 115-118°С переходить у бірадикали і диполі, що забезпечує структурування бітумополімерного в'язучого у асфальтополімерсіркобетоні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калиниченко Н.М. Текущий ремонт усовершенствованных дорожных покрытий при неблагоприятных погодных условиях / Н.М. Калиниченко, Л.Я. Несвитская. М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1985. – Вып. 5. – 28с.
2. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. П-Г. 1-218-113-97 / Українська державна корпорація по будівництву, ремонту та утриманню автомобільних доріг. – Київ: Укравтодор, 1997. – 184с.
3. Мозговой В.В. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд / В.В.Мозговой, А.Е.Мерзликин, Л.А. Мозговая и др. // Дорожная техника, 2007. – Каталог – справочник, технология строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог. – С. 126-139.
4. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу. – Київ: Державна служба автомобільних доріг України. "Укравтодор", 2004. – 176с.
5. Линцер А.В. Холодные технологии ремонта // Автомобильные дороги. / А.В. Линцер. – 2006. – №4. – С. 47-50.

6. Рекомендации по применению органоминеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд // Минавтодор РСФСР, Гипродорнии. - М.: 1986. - 44 с.
7. Баринов Е.Н. Применение вспененных битумов в дорожном строительстве. / Е.Н. Баринов // ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. — М., 1986. — 34 с.
8. Зарубежный опыт устройства дорожных покрытий из литого асфальтобетона. Обзорная информация. Центральный институт нормативных исследований и научно-технической информации "Оргтрансстрой" Министерства транспортного строительства, 1976. — 29 с.
9. ВСН 60-97. Инструкция по устройству и ремонту дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона. — 1997-07-22 00:00:00.
10. Братчун В.И. Литые асфальтобетоны повышенной долговечности. / В.И. Братчун, Н.А. Столярова, В.Л. Беспалов, И.Ф. Рыбалко // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. МОНУ. Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ. — 2007. — № 1(4). — С. 143-146.
11. Братчун В.И. Модифицированные дегты и дегтебетоны повышенной долговечности. / В.И. Братчун, В.А. Золотарев. — Макеевка: МОН Украины, ДонГАСА, 1998. — 226 с.

В. И. БРАТЧУН^а, Н. А. СТОЛЯРОВА^б, В. Л. БЕСПАЛОВ^а, М. К. ПАКТЕР^а,
В. В. КОНОВАЛОВ^а, М. В. ДЕРКАЧ^а, И. Ф. РЫБАЛКО^а

ЛИТЫЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ РЕМОНТА ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

^аДонбасская национальная академия строительства и архитектура,

^бАвтомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета

Разработаны составы литых дегтешлаковых и асфальтополимерсеробетонных смесей для ямочного ремонта покрытий нежестких дорожных одежд. Литые дегтешлаковые смеси включают отсев измельчения отвалных мартеновских шлаков — 100 г.ч., каменноугольный дорожный деготь вязкостью $C_{50}^{10} = 10-20c$ (6-7 г.ч.); вода (19-21 г.ч.), известь негашеная молотая (2-3 г.ч.), характеризуются подвижностью ОК=15-20с. Литой дегтешлакобетон имеет границу прочности при сжатии при 0°С, $R_0 = 6,5$ МПа, при 20°С, $R_{20} = 4,0$ МПа, при 50°С, $R_{50} = 1,8$ МПа; коэффициент водостойкости при продолжительном водонасыщении — $K_{вл} = 0,82$, коэффициент теплового старения после 600 часов прогрева при температуре 60°С и ультрафиолетовом излучении — $K_{ст} = 2,2$.

Оптимизирован состав асфальтополимерсеробетонной смеси, содержащей механоактивированный 0,5% СКМС-30 минеральный порошок 12,6-20%, битумополимерсерное вяжущее 6,7-10,5% (битум нефтяной дорожный модифицированный 2% бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30 и 40% технической серой), которая обеспечивает: подвижность смеси при 170°С — ОК > 30 мм; погружение штампа при 40°С — $h < 4$ мм; для асфальтополимерсеробетона граница прочности на растяжение при изгибе при 0°С — $R_{изг} > 5,6$ МПа, коэффициент водостойкости при продолжительной водостойкости — $K_{вл} > 0,96$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов попеременного замораживания — оттаивания — $F = 0,72$, коэффициент теплового старения после 1200 часов — $K_{ст} = 1,27$.

литые дегтешлаковые и асфальтополимерсеробетонные смеси, дефекты покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог, ямочный ремонт

V. I. BRATCHUN^а, N. O. STOLAROVA^б, V. L. BESPALOV^а, M. K. PAKTER^а,
V. V. KONOVALOV^а, M. V. DERKACH^а, I. F. RIBALKO^а

COMPOSITIONS OF THE ORGANIC MINERAL MIXTURES FOR REPAIR OF COVERAGES OF NON-RIGID ROAD CLOTHES OF HIGHWAYS

^аDonbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^бAutomobile Institute of Donetsk National Technical University

The compositions of the cast tar slag and asphalt polymer sulphur concrete mixtures for the repairing work of non-rigid road coverings have been developed. The cast tar slag mixtures include crushing sifting of martin slag wastes — 100 m.p.; coal road tar by viscosity $C_{50}^{10} = 10-20c$ (6-7 m.p.); water (19-21 m.p.), unslaking thrashed lime (2-3 m.p.) characterizing by the mobility of ОК = 15-20 cm, and cast tar slag concretes having strength limit at the compression at 0°С, $R_0 = 6,5$ МПа, at 20°С, $R_{20} = 4,0$ МПа, at 50°С, $R_{50} = 1,8$ МПа; coefficient of water firmness at the protracted water inundating of $K_{вл} = 0,82$; age thermal coefficient after a 600 hours of warming up at the temperature of 60°С and ultraviolet irradiation — $K_{ст} = 2,2$. Compositions of asphalt polymer sulphur concrete mixtures including the a mechanic activation of 0,5%

SRMS-30 mineral powder 12,6-20% and bitumen polymer sulphur astringent 6,7-10,5% (the road oil bitumen is modified by 2% butadiene methyl stirob rubber of SRMS-30 and 40% technical sulphur) have been optimized: mobility of mix at 170°C — OK >30 mm; stamp immersion at 40°C h<4 mm; for asphalt polymer sulphur concrete: limit strength on a bend at tension of 0°C $R_{b, \text{амд}}$ >5,6 MPa; coefficient of water firmness while the lasting water saturation — $K_{\text{в}}$ >0,96, coefficient of frost-resistance after 100 variable cycles frost — melt — $F=0,72$, coefficient of age thermal after 1200 hours $K_{\text{т}}$ =1,27 are provided.

cast tar slag and asphalt polymer sulphur mixtures, defects of coverings of non-rigid road clothes of highways, repairing work

Братчун Валерій Іванович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Заслужений діяч науки і техніки України. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих та комплексного модифікування мікроструктури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Столярова Наталія Олександрівна — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг Автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: модифіковані литі асфальтбетонні суміші для улаштування і ремонту нежорстких покриттів автомобільних доріг.

Беспалов Віталій Леонідович — кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Пактер Михайло Костянтинівич — кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Коновалов Володимир Васильович — старший викладач кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Деркач Михайло Васильович — кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Рибалко Іван Федотович — кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Братчун Валерій Іванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика получения технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих и комплексного модифицирования микроструктуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Столярова Наталья Александровна — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. Научные интересы: модифицированные литые асфальтобетонные смеси для устройства и ремонта нежестких покрытий автомобильных дорог.

Беспалов Виталий Леонидович — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: Синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

Пактер Михаил Константинович — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Коновалов Владимир Васильевич — старший преподаватель кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Деркач Михаил Васильевич — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Рыбалко Иван Федотович — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Bratchun Valery Ivanovich — doctor of Engineering sciences, professor, the Head of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coverings on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure concretes modification elaboration of effective technologies of technogenous raw material processing into the components of composition materials.

Stolyarova Natal'ya Oleksandrivna — the candidate of Engineering sciences, senior lectures of "Building and Exploitation of Motor-Car-Roads" Chair of the Automobile Institute of Donetsk National Engineering University. Scientific interests: modified cast asphalt concrete mixture for arrangement and repair of non-rigid highways coverings.

Bespalov Vitaly Leonidovich — the candidate of Engineering sciences, assistant professor of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic astringent for producing of compositional, road materials using while building of structural layers of non-rigid road coverings of highways with the high lasting.

Pakter Mykola Konstantinovich — the candidate of Engineering sciences, assistant professor of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: elaboration of effective technologies of processing of tekhnogenous raw materials in to the components of composition materials.

Konovalov Volodymyr Vasil'evych — senior lecturer of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw materials in to the components of composition materials.

Dercach Michael Vasil'evych — a candidate of Engineering sciences, assistant professor of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: elaboration of effective technologies of technogenous raw materials in to the components of composition materials.

Rybalko Ivan Fedotovych — the candidate of engineering sciences, assistant professor of the "Structural Materials Technologies and Motor Ways" Chair of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw materials in to the components of composition materials.