

**ТЕХНОЛОГІЧНІ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
АСФАЛЬТОБЕТОНІВ МОДИФІКОВАНИХ
ЕТИЛЕНГЛІЦИДИЛАКРИЛАТОМ**

**Беспалов В.Л., к.т.н., доц., Братчун В.І., д.т.н., доц., Пактер М.К.,
к.т.н., доц., Стукалов О.А., аспірант, Ромасюк Е.О., аспірант**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна

Актуальність теми. Погодно-кліматичні умови і транспортні навантаження призводять до накопичення необоротних пластичних деформацій, тому що температура поверхні асфальтобетонних покриттів у центральній частині України досягає 60°C. Характерними деформаціями асфальтобетонних покриттів, що експлуатуються в Україні, є також утомленісні тріщини. Це обумовлено високою інтенсивністю руху транспортних засобів, що досягає 15000-45000 авт./добу, а також великою часткою у потоці великовантажних автомобілів, автомобільних поїздів, автобусів. Навантаження на вісь колеса автомобілів досягає від 80 до 110 кН. Після п'яти років експлуатації покриття автомобільних доріг необхідно капітально ремонтувати [1-6].

Одним із ефективних полімерів-модифікаторів нафтових дорожніх бітумів і поверхні мінеральних матеріалів є етиленгліцидилакрилат [7-10]. В той же час асфальтобетонні суміші і асфальтобетони, в яких виконано комплексне модифікування нафтового дорожнього бітуму етиленгліцидилакрилатом у комбінації з поліфосфорною кислотою, а мінеральні матеріали поверхнево активовані етиленгліцидилакрилатом, є не вивченими композиційними матеріалами.

Метою дослідження є розробка складів дорожніх асфальтополімербетонів, що характеризуються підвищеною атмосферостійкістю, зсувостійкістю і утомленісною довговічністю на основі встановлення закономірностей формування оптимальної структури і властивостей асфальтополімербетону, нафтовий дорожній бітум і мінеральні компоненти якого модифіковані етиленгліцидилакрилатом.

Експериментальні дослідження. Інтерпретація результатів.

При встановленні оптимальної концентрації етиленгліцидилакрилату на поверхні мінеральних матеріалів (щебеню, піску і мінерального порошку) враховували оптимальні концентрації етиленгліцидилакрилату в нафтовому дорожньому бітумі (1,5...2,5% мас.) і поліфосфорної кислоти ПФК-105 (0,2...0,3% мас.). У роботі використані нафтовий

дорожній бітум БНД 60/90 ($P_{25}=74 \times 0,1$ мм), який модифікували 2,0% мас. етиленгліцидилакрилату і 0,2% мас. поліфосфорної кислоти ПФК-105. Як змінний фактор прийнята концентрація етиленгліцидилакрилату на поверхні мінеральних матеріалів. Оптимальний вміст бітумополімерного в'язучого у складі дрібнозернистої асфальтобетонної суміші 6,1% мас. зверху 100% мінеральних матеріалів.

Встановлено що, оптимальна концентрація етиленгліцидилакрилату на поверхні мінеральних матеріалів складає 0,7% мас.

За критерій оптимальної температури змішування поверхнево активованих етиленгліцидилакрилатом (0,7% мас.) мінеральних матеріалів і комплексно-модифікованого органічного в'язучого прийнято коефіцієнт однорідності асфальтополімербетонної суміші, що визначається коефіцієнтом варіації вмісту ключового компонента суміші, за який прийнята фракція піску $d = 2,5 \dots 1,25$ мм, а також енергоємність процесу виробництва асфальтобетонних сумішей.

При температурах виробництва модифікованих етиленгліцидилакрилатом асфальтобетонних сумішей 155°C і 165°C досягається нормативна однорідність суміші. У той же час коефіцієнт варіації вмісту ключового компонента в суміші, яка приготовлена при 145°C, $K_v = 12,3\%$, що значно вище від нормативного значення, $K_v < 0,7$.

Енергоємність виробництва модифікованої етиленгліцидилакрилатом асфальтобетонної суміші при 165°C на 8659 кДж більше від енергоємності приготування асфальтополімербетонної суміші при 155°C. Тому доцільно виготовляти модифіковані асфальтобетонні суміші при 155°C.

Інтенсивність технологічного старіння комплексно-модифікованих етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетонних сумішей при приготуванні в інтервалі температур 150...170°C на порядок менше, ніж традиційних гарячих асфальтобетонних сумішей.

Заключною стадією структуроутворення асфальтобетонної суміші на етапі технологічної переробки є укладання і ущільнення її в конструктивних шарах дорожнього одягу.

Дані по вивченню ущільнення асфальтобетонних сумішей дозволяють рекомендувати температуру укладання модифікованих асфальтобетонних сумішей в інтервалі температур 140...155°C.

Ущільнення асфальтополімербетонних сумішей з комплексно-модифікованою макро-, мезо- і мікроструктурою необхідно вести в інтервалі температур 70-140°C. Процес ущільнення модифікованих етиленгліцидилакрилатом асфальтобетонних сумішей при 110°C і

120°C складає 0,79 і 0,81 $\frac{\text{Äæ} \cdot \text{i}^3}{\hat{\text{e}}\tilde{\text{a}}}$ відповідно, а традиційних асфальтобетонних сумішей 1,27 $\frac{\text{Äæ} \cdot \text{i}^3}{\hat{\text{e}}\tilde{\text{a}}}$.

Розгляд впливу комплексної модифікації мікро-, мезо- і макроструктури етиленгліцидилакрилатом гарячого асфальтобетону на стандартні фізико-механічні властивості і порівняння їх з нормативними свідчать, що комплексно-модифіковані етиленгліцидилакрилатом асфальтобетони характеризуються більш високою середньою щільністю і довготривалою водостійкістю, меншою температурною чутливістю механічних властивостей в інтервалі температур – 0...75°C, більш високими значеннями межі міцності, особливо при температурах 50 і 75°C (табл. 1).

Методом Маршалла визначені стійкість, умовні пластичність і жорсткість дрібнозернистих асфальтобетонів типу Б, що відрізняються за видом модифікованого нафтового дорожнього бітуму, видом мінерального порошку (МП) і активатора поверхні МП.

Характерно, що асфальтополімербетон з комплексно-модифікованою мікро-, мезо- і макроструктурою характеризується суттєво більш високими значеннями стійкості (30 кН > 15 кН) і жорсткості. Це узгоджується з визначеними коефіцієнтами пластичності за М.М. Івановим і рухомості за І.О. Риб'євим. Так, за відносним значенням коефіцієнта пластичності модифікований етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетон (K_2) у 7,2 жорсткіший, ніж немодифікований гарячий асфальтобетон (K_1):

$$\hat{E}_{\text{а\tilde{a}i\tilde{f}}} = \frac{\hat{E}_1}{\hat{E}_2} = \frac{0,065}{0,009} = 7,2$$

Аналогічне співвідношення рухомості немодифікованого (α_1) і модифікованого етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетону (α_2) складає

$$\alpha_{\text{а\tilde{a}i\tilde{f}}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{33 \cdot 10^{-7}}{16 \cdot 10^{-8}} = 20,65$$

Межа міцності на згин асфальтополімербетону, модифікованого етиленгліцидилакрилатом, при 20°C при швидкості руху поршня преса 3 мм/хв. дорівнює 1,9 МПа у порівнянні з 1,1 МПа немодифікованого гарячого асфальтобетону, а при швидкості руху поршня 5 мм/хв. 2,2 МПа у порівнянні з 1,6 МПа відповідно.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості асфальтобетону

Показник	Склад дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу Б	
	Асфальтобетонна суміш, що приготовлена на бітумі П ₂₅ =59 x0,1 мм; вапняковий мінеральний порошок неактивованій	Асфальтобетонна суміш, в якій бітум П ₂₅ = 74 x 0,1 мм, модифікований етиленгліцидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбінації с поліфосфорною кислотою ПФК-105 (0,2% мас.); мінеральні матеріали (щебінь, пісок, мінеральний порошок) поверхнево активовані етиленгліцидилакрилатом (0,7% мас.)
Середня щільність, $\rho_0^a, \text{кг/м}^3$	2338	2453
Набрякання, Н, % від об'єму	0,6	0,0
Водонасичення, W, % від об'єму	2,94	0,25
Межа міцності при стиску, МПа, при:		
0°C	6,8	7,9
20°C	3,12	6,1
50°C	1,1	2,3
75°C	0,2	1,1
Коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні, $K_{вд}$	0,78	1,0
Коефіцієнт теплостійкості, $K_T = R_0/R_{75}$	34	7,9

Модифікований етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетон у порівнянні з гарячим асфальтобетоном типу Б, що приготовлений на бітумі БНД 60/90 (П₂₅=74x0,1 мм), характеризується більш високою утомленісною довговічністю при 20°C. Так, при згинальному короткочасному циклічному навантаженні 180 кН (згинальне напруження 0,4 МПа; режими циклічного навантаження: термін навантаження – 0,1 с; термін відпочинку – 0,9 с; частота навантаження – 1 Гц), кількість циклів до руйнування модифікованого асфальтополімербетону дорівнює 65110 циклів проти 19600 циклів для гарячого асфальтобетону.

Модифіковані етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетони більш водостійкі при водонасиченні протягом 90 діб, $K_{вд(90)}=0,85$ у порівнянні з $K_{вд(90)}=0,57$ для традиційного гарячого асфальтобетону.

Вони більш атмосферостійкі. Так, коефіцієнт старіння (тепловий прогрів виконано в кліматичній камері ШП-1 при температурі 75°C і ультрофіолетовому опроміюванні) після 1200 годин прогріву дорівнює $K_{ст}=1,15$, а для гарячого асфальтобетону – 1,5.

Методом диференційної сканувальної калориметрії встановлено, що у результаті фізичної і хімічної сорбції на поверхні мінерального порошку етиленгліцидилакрилату знижується його інтервал плавлення; у бітумополімерних в'язучих, сорбованих на поверхні мінерального порошку, підвищується температура розморожування молекулярної рухливості компонентів мальтенової фракції і міцел бітуму, виникає його додаткове структуроутворення. Формування адсорбційно-солватних шарів на поверхні мінеральних матеріалів, модифікованих етиленгліцидилакрилатом, приводить до суттєвого підвищення структурно-механічних характеристик асфальтобетону.

Практична реалізація досліджень. Для ТОВ ДАК «Автомобільні дороги України» ДП «Донецький облавтодор» розроблені «Рекомендації з виробництва і використання модифікованих асфальтобетонів підвищеної атмосферостійкості, зсувостійкості і утомленісної довговічності». Результати досліджень впровадженні в навчальний процес у Донбаській національній академії будівництва і архітектури при підготовці фахівців з напрямку 6.060101 «Будівництво» зі спеціальності «Автомобільні дороги і аеродроми» в дисципліні «Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів». Економічний ефект на 1 т модифікованого етиленгліцидилакрилатом асфальтополімербетону складає 766,7 грн.

Summary

The article is devoted to the development of warehouses road asphalt organic concrete containing 2,0% of fixed mass modified with ethylglycideacrylate in combination with 0,2% of fixed mass and polyphosphoric acid PPHC-105, bitumen and oil in surfactant activated mineral materials (gravel, artificial sand, limestone mineral powder) 0,7% of fixed mass of ethylglycideacrylate that are different with higher atmospheric durability, and shear strength, fatigue and durability to environmental conditions and traffic loads of Ukraine.

Література

1. ВБН В.2.3 – 218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу : [Текст]. Дорожня служба автомобільних доріг України. – Київ: 2004. – 176 с.
2. Золотарев В.А. Как оценить сдвигоустойчивость : [Текст] / В.А. Золотарев // Автомобильные дороги, 2009. – №12 (937). – С. 51-54.
3. Бахрах Г.С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа : [Текст] / Г.С. Бахрах // Наука и техника в дорожной отрасли. М. : 2002. – №2. – С. 17-20.
4. Углова Е.В. Моделирование динамического воздействия транспортных средств на дорожные конструкции эксплуатируемых автодорог с учетом неровностей дорожного покрытия : [Текст] / Е.В. Углова, Д.А. Николаенко, А.Ю. Дроздов. – Дальний Восток: Автомобильные дороги, безопасность движения. Хабаровск, 2004. – Вып. 4. – С. 54-60.
5. Радовский Б.С. Влияние содержания вяжущего на выносливость битумно-минерального слоя при изгибе : [Текст] / Б.С. Радовский. – Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. Избранные труды. – К.: ООО Полиграф Консалтинг, 2003. – С. 91-94.
6. Радовский Б.С. Проблема повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США : [Текст] / Б.С. Радовский // Дорожная техника, 2006. – С. 68-81.
7. Братчун В.И. Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой : [Текст] / В.И. Братчун, В.Л. Беспалов, М.К. Пактер, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар // Наука и техника в дорожной отрасли. – М.: Издательство «Дороги», 2013. – №3. – С. 35-41.
8. Полимернобитумные вяжущие и асфальтобетоны на основе битумов, модифицированных Элвалоом : [Текст] / В.А. Золотарев, С.В. Ефремов, Я.И. Пыриг, С.А. Чугуенко // Вісник Харківського автомобільно-дорожного університету: зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ХНАДУ. – Харків, 2002. – Вип. 19. – С. 88-93.
9. Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалоом АМ в комбинации с полифосфорной кислотой : [Текст] / В.И. Братчун, Е.Э. Самойлова, В.Л. Беспалов, М.К. Пактер // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2007. – Вип. 2007-1, том 31: Сучасне промислове та цивільне будівництво. – С. 17-27.
10. Оптимизация состава асфальтовяжущего вещества «Битум – Элвалой АМ – шлам нейтрализации травильных растворов (ШН)», активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол (ПОЭС) : [Текст] / В.И. Братчун, Е.Э. Самойлова, В.Л. Беспалов [и др.] // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2006. – 5(61): Сучасні будівельні конструкції і матеріали. – С.133-138.