

## ДОРОЖНЫЕ БЕТОНЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Валерий Иванович Братчун<sup>1</sup>, Ольга Николаевна Нарижная<sup>2</sup>, Элина Львовна Радюкова<sup>3</sup>,  
Вячеслав Владимирович Жеванов<sup>4</sup>, Валентин Павлович Демешкин<sup>5</sup>,  
Александр Гаврилович Яценко<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия,  
<sup>1</sup>v.i.bratchun@donnasa.ru, <sup>2</sup>o.n.narizhnaya@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.l.radyukova@donnasa.ru, <sup>4</sup>v.v.zevanov@donnasa.ru,  
<sup>5</sup>v.p.demeshkin@donnasa.ru, <sup>6</sup>a.g.yatsenco@donnasa.ru

**Аннотация.** С использованием специальных методов физико-химического анализа определения химико-минералогического состава водноорганических эмульсий (отходов производства эпоксидных смол) сформулированы требования к олигомерполимерным отходам производства эпоксидных смол – эффективных модификаторов поверхности минеральных порошков бетонных смесей, приготовленных на органических вяжущих коксохимического производства (каменноугольные дорожные дегти) и нефтепереработки (нефтяные дорожные битумы). На примере дегтеполимербетона, в котором каменноугольный дорожный деготь марки Д-5 вязкостью  $C_{30}^{10} = 180$  с модифицирован 2 % мас. отсевом поливинилхлорида, а доломитовый минеральный порошок с удельной поверхностью 635 м<sup>2</sup>/кг поверхностно-активирован олигомерполимерным отходом производства эпоксидных смол с содержанием олигомеров 19–24 мас. % и полимеров 2–15 мас. % установлено, что активация поверхности доломитовой пыли олигомерполимерным отходом производства эпоксидных смол приводит к значительному упрочнению межфазного контакта «органическое вяжущее – поверхность минерального порошка» при двухпроцентной массовой концентрации олигомерполимерного отхода. Это приводит к существенному повышению предела прочности при сжатии и коэффициента длительной водостойкости дегтеполимербетона.

**Ключевые слова:** дегтеполимербетон, олигомерполимерный отход производства эпоксидных смол, специальные методы физико-химического анализа, комплексно-модифицированные дегтебетоны, эксплуатационные свойства дорожного дегтеполимербетона

**Для цитирования:** Дорожные бетоны, модифицированные отходами производства эпоксидных смол / В. И. Братчун [и др.]. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-1(171) Современные строительные материалы. С. 5–13. doi: 10.71536/vd.2025.1c171.1. edn: pznaqu.

Original article

## ROAD CONCRETES MODIFIED WITH WASTE FROM EPOXY RESIN PRODUCTION

Valery I. Bratchun<sup>1</sup>, Olga N. Narizhnaya<sup>2</sup>, Elina L. Radyukova<sup>3</sup>, Vyacheslav V. Zhevanov<sup>4</sup>,  
Valentin P. Demeshkin<sup>5</sup>, Alexander G. Yatsenko<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia,  
<sup>1</sup>v.i.bratchun@donnasa.ru, <sup>2</sup>o.n.narizhnaya@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.l.radyukova@donnasa.ru, <sup>4</sup>v.v.zevanov@donnasa.ru,  
<sup>5</sup>v.p.demeshkin@donnasa.ru, <sup>6</sup>a.g.yatsenco@donnasa.ru

**Abstract.** Using special methods of physicochemical analysis for determining the chemical and mineralogical composition of water-organic emulsions (epoxy resin production waste), requirements have been formulated for oligomer-polymer waste from the production of epoxy resins – effective modifiers of the surface of mineral



powders of concrete mixtures prepared on organic binders of coke-chemical production (coal road tars) and oil refining (petroleum road bitumens). Using the example of tar-polymer concrete, in which coal tar road tar grade D-5 with a viscosity of  $C_{30}^{10} = 180$  s is modified with 2 % by weight of polyvinyl chloride screenings, and dolomite mineral powder with a specific surface area of  $635 \text{ m}^2/\text{kg}$  is surface-activated by oligomer-polymer waste from the production of epoxy resins with an oligomer content of 19–24 wt. % and polymers of 2–15 wt. % it was established that activation of the dolomite dust surface by oligomer-polymer waste from the production of epoxy resins leads to significant strengthening of the interphase contact «organic binder – surface of mineral powder» at a two percent mass concentration of oligomer-polymer waste. This leads to a significant increase in the compressive strength and the coefficient of long-term water resistance of tar polymer concrete.

**Keywords:** tar polymer concrete, oligomer-polymer waste from the production of epoxy resins, special methods of physical and chemical analysis, complex-modified tar concretes, operational properties of road tar polymer concrete

**For citation:** Road concretes modified with waste from epoxy resin production / V. I. Bratchun [et al.]. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern building materials.* 2025;1(171):5–13. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.1c171.1. edn: pznaqu.

## ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В процессе производства эпоксидных смол на опытно-промышленном предприятии Донецкого НИИП-ластмас образуются отходы в виде водно-органических эмульсий, содержащих значительное количество твердых смол, а также органических растворителей [1, 2]. Кроме того, в общий коллектор поступают жидкие отходы производства смол. В связи с тем, что физико-химический состав полимерных отходов производства эпоксидных смол, содержащих как летучие вещества, твердые компоненты и неорганические вещества является многокомпонентным, то целесообразно изучить их химико-минералогический состав при предположении о целесообразности их использовать в качестве модификатора поверхности минерального порошка органобетонных смесей.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ряде научных исследований и, прежде всего, выполненных на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ФГБОУ ВО ДОННАСА показана целесообразность использования в качестве модификатора поверхности минерального порошка горячего асфальтобетона полимерсодержащих отходов производства эпоксидных смол [1–5]. Использование олигомерполимерсодержащих отходов в качестве активатора поверхности минерального порошка приводит к повышению прочности адгезионно-коагуляционных связей. Это приводит к значительному повышению предела прочности при сжатии и изгибе и длительной водостойкости и морозостойкости конструктивных слоев дорожных одежд. В то же время в Донецкой Народной Республике существует ресурсная база органических вяжущих коксохимического производства. Это позволит использовать альтернативное органическое вяжущее нефтяным дорожным битумам, которое в два раза дешевле нефтяных битумов.

Процессы и явления, происходящие на поверхности раздел фаз органобетонов отличаются высокой сложностью явлений и процессов, которые происходят в таких сложных системах как комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны и дегтеполимербетоны, поэтому в настоящей работе к изучению физико-химических явлений и процессов, происходящих в дегтеполимерных вяжущих и на поверхности раздела фаз, дегтеполимерное вяжущее, поверхностно-активированный олигомерполимерным отходом производства эпоксидных смол, минеральный порошок, привлечены современные методы исследований: потенциометрические; фотометрические; ионная хроматография; газожидкостная хроматография.

**Целью работы является** изучение направленного регулирования адгезионно-когезионных свойств органических вяжущих коксохимического производства (ГОСТ 4641) одновременным воздействием на состав и структуру каменноугольных вяжущих первичными отходами производства поливинилхлорида и механоактивацией поверхности минерального порошка полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Объекты, методы и результаты экспериментальных исследований.

Химико-минералогический состав олигополимерных отходов производства эпоксидных смол определен в соответствии со схемой (рисунок).



**Рисунок** – Схема определения химического состава и методов анализа отходов производства эпоксидных смол (ЭС).

Содержание летучих веществ определяли по ГОСТ 10587-89 (при температуре 140 °С в течение 3-х часов) табл. 1. Массу остатка после прокаливания определяли методом сжигания в открытом тигле при  $t = 550\text{--}600$  °С.

Изучение химического состава остатка после прокаливания показало, что основным компонентом золы является хлорид натрия, который определяют потенциометрическим методом по ГОСТ 10587-93 титрованием 0,05Н AgNO<sub>3</sub>. Кроме того натрий входит в состав отхода в виде едкого натрия. На это указывает слабощелочная реакция среды (рН 8–9).

Значительную часть отходов производства эпоксидных смол составляют оксиды железа (таблица 2). Содержание железа определяли фотометрически в виде желтого сульфосалицилатного комплекса после растворения отходов производства полимеролигомерных эпоксидных смол в разбавленной азотной кислоте.

Анализ выполнен по методике, изложенной в ГОСТ Р 57628.1-2016. Методом ионной хроматографии установлено, что других анионов кроме хлорида в олигомерно-полимерных отходах производства эпоксидных смол практически нет.

Хлор омыляемый определяли по ГОСТ 10587-93. Результаты исследований приведены в таблице 3. Как следует из данных его содержание существенно зависит от содержания летучих, зольности, влаги.

Содержание воды определяли методом Дина-Старка по ГОСТ 2477-2014. Как следует из данных, приведенных в таблице 3, основную часть летучих составляет вода (~25 – 41,7 %).

Качественный и количественный состав летучих отходов производства эпоксидных смол определяли методом газожидкостной хроматографии. Исследования выполнены в герметизированной ячейке объемом 250 см<sup>3</sup> при 60 °С и насыщенности 0,1 мг/л. Анализ газовой фазы выполнен на хроматографе «Цвет-110» с использованием пламенно-ионизационного детектора и шести колонок различной природы и полярности (апиэзон Z, ПМС-20000, ШГА, ПЭГ с КОН и β-ОДПН на инертоне-супер, а также полисорб-1). Идентификация выполнена сравнением параметров удерживания компонентов газовой фазы с соответствующими параметрами предполагаемых чистых веществ, а также с помощью графических зависимостей логарифмов объемов удерживания от обратной температуры.

Результаты исследований приведены в таблице 3. Как следует из данных, приведенных в таблицах 1, 2, 3, состав олигомерно-полимерных отходов производства эпоксидных смол существенно колеблется в зависимости от места отбора пробы отхода. Наиболее стабильный состав в аварийной емкости, так как здесь отходы усреднены за длительный период времени. Летучие вещества на 47–77 % состоят из воды, толуола 10–15 %, изопротилена 0,8–4,8 %, других растворителей 2–4 %, эпихлоргидрина – 0,08–0,5 %. Зола на 30–73 % состоит из хлорида натрия, соединений железа (вероятно, это продукты коррозии оборудования, трубопроводов, емкостей и др.). Нерастворимая часть олигомерно-полимерных отходов помимо зольных компонентов включает высокомолекулярную полимерную часть (нерастворимые в ацетоне за вычетом золы). Жидкая часть отходов, помимо летучих компонентов и воды, включает олигомеры (эпоксидные, хлоргидриновые эфиры и др.), а также глицерины и полиглицерины.

**Таблица 1.** Результаты определения общего содержания летучих компонентов в некоторых пробах полимеросодержащих отходов производства эпоксидных смол

Шифр пробы	1												2												3																			
	105				140				150				105				140				150				105				140				150											
t, °C																																												
τ	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
C, %	31,2	33,4	39,3	41,3	43,7	46,3	47,2	47,5	44,3	47,0	47,5	47,7	30,5	34,0	37,7	42,2	42,8	44,0	46,3	46,5	44,2	46,5	46,5	46,9	34,3	39,3	47,7	49,9	45,4	50,1	54,0	54,1	48,8	53,1	54,2	54,0								

**Таблица 2.** Состав остатка после прокалывания полимеросодержащих отходов

Шифр пробы	Место отбора пробы	Содержание, %			Общая зольность (п.п.), %
		По Cl в опп	Прямым методом	Na <sup>+</sup>	
1	Аварийная емкость	3,8	3,8	4,0	6,0
2	Свежие отходы проба 1	5,2	5,3	5,6	7,1
	проба 2	4,6	4,7	4,1	4,6

**Таблица 3.** Состав полимеросодержащих отходов производства эпоксидных смол

Шифр пробы	Летучие компоненты																										
	Валовое содержание, %		Органические вещества (растворители)																								
1	Место отбора проб	В т.ч. вода	30,4	Толуол	11,2	Изопропанол	0,9	Метил – изобутил – кетон	1,4	Бензол + этилен – бензол	1,4	Ацетон	0,4	Эпихлоргидрин	0,08	Полимер (нелетучий остаток 100% – % летуч. – % золь)	46,8	Нерастворимые в ацетоне, %	–	Зола о.п.п. 600 °С, %	6,0	Хлорид натрия (по иону), %	3,8	% от золь	63	Омыляемий, %	5,8
		В т.ч. вода	47,2	Толуол	–	Изопропанол	–	Метил – изобутил – кетон	–	Бензол + этилен – бензол	–	Ацетон	–	Эпихлоргидрин	–	Полимер (нелетучий остаток 100% – % летуч. – % золь)	–	Нерастворимые в ацетоне, %	–	Зола о.п.п. 600 °С, %	–	Хлорид натрия (по иону), %	–	% от золь	–	Омыляемий, %	–
2	Свежие отходы: проба 1	В т.ч. вода	25,0	Толуол	10,3	Изопропанол	4,8	Метил – изобутил – кетон	1,0	Бензол + этилен – бензол	0,9	Ацетон	0,5	Эпихлоргидрин	0,05	Полимер (нелетучий остаток 100% – % летуч. – % золь)	38,9	Нерастворимые в ацетоне, %	11,3	Зола о.п.п. 600 °С, %	7,1	Хлорид натрия (по иону), %	5,2	% от золь	73	Омыляемий, %	5,5
		В т.ч. вода	54,0	Толуол	–	Изопропанол	–	Метил – изобутил – кетон	–	Бензол + этилен – бензол	–	Ацетон	–	Эпихлоргидрин	–	Полимер (нелетучий остаток 100% – % летуч. – % золь)	–	Нерастворимые в ацетоне, %	–	Зола о.п.п. 600 °С, %	–	Хлорид натрия (по иону), %	–	% от золь	–	Омыляемий, %	–

В таблице 4 приведены показатели качества, которым должен соответствовать полимерный отход производства эпоксидных смол как модификатор поверхности минеральных порошков и дисперсионной среды каменноугольных органических вяжущих, и нефтяных дорожных битумов.

**Таблица 4.** Физико-механические свойства дегтеполимербетонов, содержащих в своем составе минеральные порошки составов

Физико-механические свойства дегтеполимербетона приготовленного на каменноугольно-дорожном дегте вязкостью $C_{30}^{10} = 180$ с	Составы смесей, отличающихся содержанием доломитовой пыли (числитель) и отхода производства эпоксидных смол (знаменатель) в %				
	$\frac{99,5}{0,5}$	$\frac{99,0}{1,0}$	$\frac{98,5}{1,5}$	$\frac{98,0}{2,0}$	$\frac{97,5}{2,5}$
Водонасыщение, % от объема	3,6	3,5	3,3	3,15	3,15
Набухание, % по объему	0,17	0,12	0,1	0,1	0,1
Предел прочности при сжатии, МПа при 0 °С 20 °С 50 °С	4,2	4,5	4,7	5,0	4,8
	1,8	2,0	2,2	2,3	2,0
	0,6	0,7	0,75	0,8	0,7
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,7	0,71	0,75	0,8	0,7
Оптимальное содержание каменноугольного дорожного дегтя в смеси	8,1	7,5	7,2	7,0	6,9

В настоящей работе показана возможность направленного регулирования адгезионно-когезионных свойств каменноугольных вяжущих (ГОСТ 4641-80) одновременным воздействием на состав и структуру дисперсионной среды каменноугольных вяжущих первичными отходами производства поливинилхлорида и механоактивацией поверхности минерального порошка олигомерполимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол [6; 7].

В качестве минерального порошка использовали доломитовую пыль – побочный продукт доломитового комбината Доломитное (Донецкая Народная Республика), в котором в процессе обжига и отсева доломита (он используется в металлургическом производстве в качестве флюса) образуется порошкообразный отход, улавливаемый циклонами. Химический состав доломитовой пыли:  $SiO_2 = 1,96-3,8\%$ ;  $Al_2O_3 = 1,73-1,90\%$ ;  $Fe_2O_3 = 0,33-1,82\%$ ;  $CaO = 37,3-50,15\%$ ;  $MgO = 3,91-23,0\%$ ;  $SO_3 = 0,11-1,47\%$ ; п.п.п. =  $30,14-41,16\%$ . Физико-химические свойства доломитовой пыли: удельная поверхность –  $635\text{ м}^2/\text{кг}$ ; плотность –  $2\,715\text{ кг}/\text{м}^3$ ; плотность под нагрузкой 40 МПа –  $1\,806\text{ кг}/\text{м}^3$ ; пористость –  $35,5\%$ ; дегтеемкость –  $67\%$ .

В качестве первичного отхода производства поливинилхлорида применяли отсев, который образуется в процессе отсева высушенного полимера на мельничных ситах и представляет собой белый порошок с размерами зерен  $(6,3-63) \cdot 10^{-5}$  м и характеризуется следующими показателями качества: константа Фикентчера, характеризующая среднечисленную молекулярную массу 63–69; насыпная плотность –  $390-410\text{ кг}/\text{м}^3$ ; удельная поверхность  $295-305\text{ м}^2/\text{кг}$ ; остаток на ситах: № 04 –  $81\%$ ; № 0,25 –  $13\%$ ; № 0,125 –  $4\%$ ; № 0,063 –  $2\%$ ; менее 0,063 – нет; влажность –  $0,4\%$ ; истинная плотность  $1\,390-1\,410\text{ кг}/\text{м}^3$ .

Каменноугольный дорожный деготь использовали марки Д-5 вязкостью  $C_{30}^{10} = 180$  с, массовые концентрации  $\alpha_m = 18,79\%$ ;  $\beta_m = 8,16\%$ ;  $\gamma_m = 75,98\%$ ; плотность  $\rho = 1\,240\text{ кг}/\text{м}^3$ ; температура размягчения  $T_p = 16,5\text{ °С}$ ; температура хрупкости  $T_{xp} = -15\text{ °С}$ ; растяжимость  $D_{25} = 0$  см,  $D_0 = 1$  см; эффективная вязкость при напряжении сдвига  $1\,000$  Па, Па·с, при  $0\text{ °С} = \lg \eta = 6,17$ ;  $20\text{ °С} = 3,77$ ;  $25\text{ °С} = 3,47$ ;  $50\text{ °С} = 2,00$ ;  $60\text{ °С} = 1,40$ ; предел прочности дегтебетона при  $20\text{ °С} R_{20} = 1,9$  МПа при  $50\text{ °С} R_{50} = 0,65$  МПа. По показателям качества он соответствует требованиям ГОСТ 4641-80.

Полимерный отход производства эпоксидных смол характеризуется содержанием летучих веществ  $45-55\%$ ; полимеров  $2-15\%$ ; зольностью  $4,6-9,6\%$ ; олигомеров  $19-24\%$ .

Дегтеполимерное вяжущее готовили в лабораторной мешалке с числом оборотов 300 об/мин объединением каменноугольного вяжущего и 1,5 мас. отсева поливинилхлорида при температуре  $110-115\text{ °С}$  в течение 60 минут.

Активированный минеральный порошок получали совместным измельчением в течение четырех часов в шаровой мельнице доломитовой пыли и пастообразного олигомерполимерного отхода производства эпоксидных смол.

Для исследования влияния модифицированной микроструктуры на свойства дегтеполимербетона приняты мелкозернистый дегтебетон по гранулометрии тип В (ГОСТ 25877).

Теоретические предпосылки, положенные в основу настоящей работы, заключаются в следующем [6–16].

В процессе совместного измельчения минеральных частиц и эпоксидосодержащего олигомера как в олигомере, так и в доломите образуются радикалы. Так, при динамических механических воздействиях в цепях эпоксидного олигомера возможен разрыв связей С...С, С...Н и С...О, что может привести к разветвлению, сшиванию, цикло- и узлообразованию.

Следует ожидать, что кроме взаимодействия активных участков свежесформированных поверхностей минеральных частиц и олигомеров по радикал-радикальному механизму существует возможность реализации донорно-акцепторных связей. Это обусловлено тем, что полярные олигомеры содержат в цепи атомы с неподеленными парами электронов, выступающие в роли доноров.

В молекуле эпоксидной смолы – атомы кислорода  $[-\ddot{\text{O}}-\text{R}-\ddot{\text{O}}-\text{CH}_2-\underset{\text{:OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-]_n$ .

В то же время катионы кальция имеют свободные орбитали (акцепторы). Это позволит обеспечить при взаимодействии катиона кальция и олигомеров химическую связь в результате обобществления неподеленных пар электрона.

Оптимальная концентрация олигомера на поверхности минерального порошка (МП) должна быть тогда, когда сформируется адсорбционный слой эпоксидного олигомера (ЭО) с максимальной адгезией к поверхности доломитового минерального порошка.

В этом случае, при объединении дегтеполимерных вяжущих с поверхностно-активированными минеральными порошками следует ожидать увеличение адгезии дегтеполивинилхлоридного вяжущего (ДПВ) в результате улучшения смачиваемости дегтеполимерным вяжущим механоактивированной олигомерполимерным отходом производства эпоксидной смолы и повышения уровня межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «механоактивированный ЭО – МП – ДПВ» вследствие увеличения количества компонентов сегментов пластифицированных надмолекулярных образований ПВХ с активными центрами органотфильной поверхности МП. Это должно привести к образованию прочной, эластичной, с высокой адгезией пространственной матрицы – микроструктуры дегтеполимербетона [8–10].

Характерно, что прочность дегтеполимербетона в зависимости от концентрации на поверхности доломитовой пыли олигомерполимерного отхода производства эпоксидных смол имеет экстремум при 2 % (таблица 2).

Одновременное воздействие отсева поливинилхлорида на структуру дисперсионной среды каменноугольного дорожного дегтя и активация поверхности минерального порошка олигомерполимерным отходом производства эпоксидосодержащих олигомеров приводит к значительному повышению стойкости дегтеполимербетона в водной среде. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении равен  $K_{\text{вд}} = 1,0$ . Этому способствует ряд физико-химических процессов в системе комплексно-модифицированный дорожный дегтебетон: при температуре 110–115 °С эпоксидные группы раскрываются и реагируют с фенолами каменноугольного дегтя и функциональными группами поливинилхлорида, благодаря чему на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» формируется химическая связь. В результате этого исключается способность ионов кальция гидратироваться. Резко сокращается число открытых пор, о чем свидетельствует снижение водонасыщения дегтеполимербетона с активированной поверхностью, уменьшается набухание дегтеполимербетона (таблица 4).

Опытно-промышленное внедрение дегтеполимербетонных смесей, модифицированных отсевами поливинилхлорида и олигомерполимерными отходами производства эпоксидных смол внедрены на Макеевском участке ООО «Донецкремдорстрой».

При опытно-промышленном внедрении дегтеполимербетонная смесь приготавливалась в асфальтосмесителе принудительного действия Д-597 при температуре 115 °С.

Состав минеральной части мелкозернистого дегтебетона (тип В), отвечающий принципу оптимально плотных смесей, был следующий: гранитные высевки – 100 %; дегтеполимерное вяжущее – 8,8 %.

Приготовленная дегтеполимербетонная смесь уложена на опытном участке (подъездная дорога к Харьцкому трубному заводу) длиной 100 м при ширине проезжей части 4 м. Конструкция дорожной одежды – основание щебеночное высотой 5 см и однослойное дорожное покрытие толщиной 6 см.

Укладка дегтеполимербетонной смеси производилась асфальтоукладчиком Д-150А. После остывания до температуры 70–80 °С уплотнена 30 проходами семянокатком по одному следу.

Параллельно построен контрольный участок из дегтебетона на окисленном дегте с условной вязкостью  $C_{50}^{10} = 70$  с.

Укладка и уплотнение горячих дегтеполимербетонных смесей при строительстве верхних слоев дорожных одежд показало, что дегтеполимербетонные смеси отличаются повышенной удобоукладываемостью. При этом нормативная плотность бетона наступала при меньшем числе проходов катка. Так, результаты испытаний вырубок мелкозернистого дегтеполимербетона типа Б, взятые через сутки после строительства опытного участка, показали степень уплотнения бетона на дегтеполимерном вяжущем – 0,98, а на окисленном дегте – 0,96.

Дегтеполимербетоны, приготовленные на ДПВ невысокой вязкости  $C_{50}^{10} = 35$  с, характеризуются как меньшей температурной чувствительностью механических свойств, так и лучшей уплотняемостью. При этом, при равновеликой вязкости вяжущего, бетоны на его основе характеризуются более высокими прочностными показателями, особенно в области высоких положительных температур, что свидетельствует о его повышенной сдвигоустойчивости.

## ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что эффективным способом повышения деформационно-прочностных характеристик и коррозионной стойкости дорожных дегтебетонов является модификация каменноугольных дорожных дегтей отсевом поливинилхлорида 1,5–2,0 % мас., в комплексе с поверхностной механоактивацией поверхности минерального порошка – доломитовой пыли олигомерполимерным отходом производства эпоксидных смол 1,5–2,0 % мас.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Братчун, В. И. Отходы промышленности эффективные модификаторы дорожно-строительных материалов / В. И. Братчун, А. И. Повзун, С. С. Поливцев. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – 1997. – Выпуск 97-3 (7). – С. 94.
2. Отходы промышленности Донбасса – эффективные компоненты дорожных дегтебетонных и асфальтобетонных смесей / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Строитель Донбасса. – 2022. – Выпуск 3-2022. – С. 45–50. – ISSN 2617-1848.
3. Об использовании отходов промышленности в составе модифицированных асфальтобетонов / В. Л. Беспалов, Э. Н. Габидулин, В. Ю. Кичигин [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 60–67. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/2020-1\(141\)/st\\_08\\_bespalov\\_gabidulin\\_kichigin\\_kuzminykh\\_dzyuba\\_novikov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-1(141)/st_08_bespalov_gabidulin_kichigin_kuzminykh_dzyuba_novikov.pdf) (дата обращения: 14.11.2024). – ISSN 2519-2817.
4. Оптимизация состава асфальтовяжущего вещества «Битум-Элвалой АМ шлам нейтрализации травильных растворов (ШН)», активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол (ПОЭС) / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, М. К. Пактер [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2006. – Выпуск 2006-5(61) Сучасні будівельні конструкції і матеріали. – С. 133–138.
5. Братчун, В. И. О формировании граничных слоев на поверхности раздела фаз «активированная поверхность минерального порошка – модифицированное органическое вяжущее» / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ. – 2008. – Москва : МГСУ. – С. 78–82.
6. Братчун, В. И. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. А. Золотарев ; МОН Украины – ДонГАСА. – Макеевка : ДонГАСА, 1998. – 226 с. – Текст : непосредственный.
7. Будівельні матеріали з відходів виробництва / В. І. Братчун, В. А. Матвієнко, О. І. Повзун, А. В. Назарова. – Текст : непосредственный // Наукові записки. – 1998. – Выпуск 1-Крещатик. – С. 352–360.
8. Братчун, В. И. Оптимизация состава комплексно-модифицированного дегтевяжущего вещества дегтеполимербетона / В. И. Братчун, И. Ф. Рыбалко. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – 1999. – Выпуск 1999-2(16). – С. 105–109.
9. Встановлення оптимальних концентраційних співвідношень у системі «кам'яновугільний дьоготь – шлам нейтралізації – полімермісткий відхід виробництва епоксидних смол» / В. І. Братчун, І. Ф. Рибалко, С. С. Полівцев, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 1999. – № 3. – С. 42–43.
10. Влияние строения граничных слоев в системе «минеральные частицы – активатор – модифицированное органическое вяжущее» на свойства композиционных материалов / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Моделирование и оптимизация в материаловедении – МОК' 43. – 2004. – Одесса : ОТАСА. – С. 104–105.

11. Порадек, С. В. Еще раз о технологии улучшения битума добавками / С. В. Порадек. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 3(39). – С. 30–31.
12. Золотарев, В. А. Влияние совместного введения полимеров и адгезионных добавок на свойства битумов / В. А. Золотарев, С. В. Кудрявцева, С. В. Ефремов. – Текст : непосредственный // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 68–75.
13. Калгин, Ю. П. Улучшение свойств асфальтобетонных смесей добавками синтетических каучуков / Ю. П. Калгин, Н. И. Свиридова. – Текст : непосредственный // Дороги Башкирии-2003 : материалы научно-практической конференции, Уфа, 2003. – Уфа : Изд-во ГУП ИНХП, 2003. – С. 54.
14. Нерасслаивающиеся трехкомпонентные полимерно-битумные вяжущие / Ю. Н. Хакимуллин, Д. А. Аюпов, В. И. Сундуков [и др.]. – Текст : электронный // Строительные материалы. – 2017. – № 10. – С. 51–55. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30507159> (дата обращения: 11.11.2024). – EDN: ZRPNIR.
15. Гохман, Л. М. Теоретические основы строения битумов и других органических вяжущих материалов / Л. М. Гохман. – Текст : непосредственный // Химия и технология топлив и масел. – 1993. – № 3. – С. 25–28.
16. Иноземцев, С. С. Технико-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона / С. С. Иноземцев, Е. В. Королев. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2018. – Том 13, № 4(115). – С. 536–443. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35003224> (дата обращения: 11.11.2024). – DOI: 10.22227/1997-0935.2018.4.536-543. – EDN: XOUNIT.

### Информация об авторах

**Братчун Валерий Иванович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Нарижная Ольга Николаевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: физико-химические и аналитические исследования синтетических смол и полимерных материалов.

**Радюкова Элина Львовна** – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны повышенной долговечности.

**Жеванов Вячеслав Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

**Демешкин Валентин Павлович** – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Яценко Александр Гаврилович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: механика взаимодействия автомобильных шин транспортных средств с асфальтобетонным покрытием.

### Information about the authors

**Bratchun Valery I.** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.

**Narizhnaya Olga N.** – Ph. D. (Chemical), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: physical and chemical and analytical researches of synthetic resins and polymeric materials.

**Radyukova Elina L.** – post-graduate, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: complex modified asphalt polymer concretes of increased durability.



**Zhevanov Vyacheslav V.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

**Demeschkin Valentin P.** – senior teacher, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in the components of materials of compositions.

**Yatsenko Aleksandr G.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: focus on the mechanics of the interaction between vehicle tires and asphalt concrete surfaces.

*Статья поступила в редакцию 20.12.2024; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 24.01.2025.*

*The article was submitted 20.12.2024; approved after reviewing 17.01.2025; accepted for publication 24.01.2025.*