



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2022, ТОМ 18, НОМЕР 2, 73–83

УДК 625.046:539.4

ХОЛОДНЫЕ ДЕГТЕБЕТОННЫЕ СМЕСИ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СРОКАМИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА НИЖНИХ СЛОЕВ ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**В. И. Братчун, Н. С. Леонов, В. П. Демешкин, Е. А. Протасов, Б. А. Броневский,
Р. А. Кузнецов**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: ada@donnasa.ru*

Получена 05 мая 2022; принята 27 мая 2022.

Аннотация. В настоящей работе развиваются представления об эффективном структурировании маловязких каменноугольных дорожных дегтей в составе холодных дегтебетонных смесей поликонденсаций полиуретанов при взаимодействии диизоцианатов (OCNRNCO) с соединениями, которые содержат не менее двух гидроксильных групп в молекуле, в частности кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида (ОДА). С использованием метода экспериментально-статистического моделирования оптимизированы составы и температурные режимы производства комплексно-модифицированного холодного дегтебетона: температура производства 50...55 °С; массовая концентрация полиизоцианата 4...6 %; массовая концентрация кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида 10...15 %. Установлено, что модифицированный холодный дегтебетон проходит три этапа структурообразования. На протяжении четырех часов смесь сохраняет технологические свойства. На втором этапе полиизоцианат реагирует с фенолсодержащими соединениями каменноугольного дорожного дегтя и функциональными группами кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида. Формируется трехмерная сетка с узлами из частиц активного дисперсного наполнителя ОДА и гибких цепочек из смолистых соединений каменноугольного вяжущего. Третий этап – стабилизация структуры, физических и механических свойств модифицированного дегтебетона. Модифицированный холодный дегтебетон по показателям качества значительно превосходит показатели горячего дегтебетона (ГОСТ 25877).

Ключевые слова: холодный дегтебетон, каменноугольное вяжущее, диизоцианат, структурирование, свойства модифицированного дегтебетона.

ХОЛОДНІ ДЬОГТЕБЕТОННІ СУМІШІ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ТЕРМІНАМИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ НИЖНІХ ШАРІВ ПОКРИТТІВ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**В. І. Братчун, М. С. Леонов, В. П. Демешкін, Є. А. Протасов, Б. А. Броневський,
Р. О. Кузнецов**

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: ada@donnasa.ru*

Отримана 05 травня 2022; прийнята 27 травня 2022.

Анотація. У цій роботі розвиваються уявлення про ефективне структуривання малов'язких кам'яновугільних дорожніх дьогтів у складі холодних дьогтебетонних сумішей поліконденсацій поліуретанів при

взаємодії діізоціанатів (OCNRNCO) із сполуками, що містять не менше двох гідроксильних груп у молекулі, зокрема кубових залишків дистиляції фталевого. З використанням методу експериментально-статистичного моделювання оптимізовано склади та температурні режими виробництва комплексно-модифікованого холодного дьогтебетону: температура виробництва 50...55 °С; масова концентрація поліізоціанату 4...6 %; масова концентрація кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду 10...15 %. Встановлено, що модифікований холодний дьогтебетон проходить три етапи структуроутворення. Протягом чотирьох годин суміш зберігає технологічні властивості. На другому етапі поліізоціанат реагує з фенолвмісними сполуками кам'яновугільного дорожнього дьогтю та функціональними групами кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду. Формується тривимірна сітка з вузлами з частинок активного дисперсного наповнювача ОДА та гнучких ланцюжків із смолистих сполук кам'яновугільного в'язучого. Третій етап – стабілізація структури, фізичних та механічних властивостей модифікованого дьогтебетону. Модифікований холодний дьогтебетон за показниками якості значно перевищує показники гарячого дьогтебетону (ГОСТ 25877).

Ключові слова: холодний дьогтебетон, кам'яновугільне в'язуче, діізоціанат, структурювання, властивості модифікованого дьогтебетону.

COLD TAR-CONCRETE MIXTURES WITH ADJUSTABLE TERMS OF STRUCTURE FORMATION FOR THE INSTALLATION OF THE LOWER LAYERS OF NON-RIGID ROAD PAVEMENTS OF HIGHWAYS

Valery Bratchun, Nikita Leonov, Valentin Demeschkin, Evgeny Protasov, Bogdan Bronevsky, Roman Kuznetsov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

E-mail: ada@domnasa.ru

Received 05 May 2022; accepted 27 May 2022.

Abstract. In this paper, we develop ideas about the effective structuring of low-viscosity coal tar road tars in the composition of cold tar-concrete mixtures of polycondensations of polyurethane during the interaction of diisocyanates (OCNRNCO) with compounds that contain at least two hydroxyl groups in the molecule, in particular, phthalic anhydride (PDA) distillation bottoms. Using the method of experimental-statistical modeling, the compositions and temperature regimes for the production of complex-modified cold tar concrete were optimized: production temperature 50...55 °C; mass concentration of polyisocyanate 4...6 %; mass concentration of VAT distillation residues of phthalic anhydride 10...15 %. It has been established that modified cold tar concrete goes through three stages of structure formation. For four hours, the mixture retains technological properties. At the second stage, the polyisocyanate reacts with phenol-containing compounds of coal tar and functional groups of distillation bottoms of phthalic anhydride. A three-dimensional grid is formed with nodes from particles of the active dispersed filler ODA and flexible chains from resinous compounds of the coal binder. The third stage is the stabilization of the structure, physical and mechanical properties of the modified tar concrete. Modified cold tar concrete in terms of quality significantly exceeds the indicators of hot tar concrete (GOST 25877).

Keywords: cold tar concrete, coal binder, diisocyanate, structuring, properties of modified tar concrete.

Введение

Одним из мероприятий по снижению энергетических затрат и обеспечению экологической безопасности в дорожном строительстве является

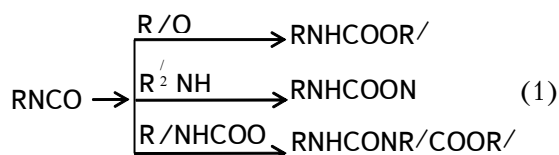
использование для устройства конструктивных слоев дорожных одежд холодных асфальтобетонных и дегтебетонных смесей (ГОСТ 9128-2013).

Это позволяет снизить затраты энергоресурсов в 2–4 раза и экологическую нагрузку на окружающую среду в 3,5–3,9 раза [1].

В то же время холодный асфальтобетон и дегтебетон характеризуются низкими значениями деформационно-прочностных характеристик, неудовлетворительными значениями длительной водостойкости и морозостойкости, а также длительным периодом формирования структуры конструктивного слоя дорожной одежды (в зависимости от температуры окружающей среды, вида органического вяжущего и толщины слоя от 30 до 180 суток).

В связи с этим возникает задача ускорения процесса формирования структуры и эксплуатационных свойств покрытий, построенных из холодных смесей посредством активизации процессов взаимодействия на поверхности раздела «органическое вяжущее–минеральный материал» и структурирования объемных и адсорбционно-сольватных слоев органических вяжущих.

В настоящей работе развиваются представления об эффективном структурировании маловязких каменноугольных вяжущих в составе холодных дегтебетонных смесей синтезом полиуретанов при взаимодействии диизоцианатов с соединениями, которые содержат не менее двух гидроксильных групп в молекуле [2, 3]. Это позволит использовать для производства холодных дегтебетонных смесей, например, каменноугольные дорожные деги вязкостью $C_{30}^{10} = 10 - 50$ с. и значительно снизить температуру производства дорожных смесей (40...70 °С) [4, 5]. В результате взаимодействия полиизоцианата RNCO, например, с кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида (содержит фталевую кислоту) и фенолсодержащими и аминоксодержащими веществами каменноугольного вяжущего по реакции 1. Это позволит сформировать во времени структурированную систему в пленочном органическом вяжущем на поверхности минеральных материалов дегтебетона (образуются полиуретаны):



Цель исследования

Оптимизация состава и технологических режимов производства комплексно-модифицированных полиизоцианатом и кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида холодных дегтебетонных смесей и определение физико-механических свойств композита, предназначенного для устройства конструктивных нижних слоев жестких покрытий автомобильных дорог.

Объекты и методы исследований

Составленный каменноугольный деготь $C_{30}^{10} = 15$ с (содержание фенолов 2,5%, нафталина 1%; фракционный состав: перегоняется до температуры 180 °С – 1,8%, до 280 °С – 14%; до 300 °С – 24%; температура размягчения остатка после отбора фракций до 300 °С – 36 °С; потери после четырех часов прогрева при 110 °С в слое $1 \cdot 10^{-3}$ м – 18,26%);

Кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида (ОДА) Авдеевского коксохимического заводов. ОДА образуются при термической обработке и дистилляции фталевого ангидрида. Кубовый остаток – смола с примесью от 40 до 60% фталевого ангидрида $C_8H_4O_3$. Кроме того, в ОДА содержится фталевая кислота, минеральные вещества ($CaCO_3$, сульфаты) от 1 до 7% и зола до 3% [6]. ОДА измельчали и просеивали сквозь сито № 0,071; физические показатели качества молотого ОДА: плотность – 1 527 кг/м³; зольность – 7,8%; содержание углерода, C^c – 62,2%; содержание водорода H^c – 3,1%; содержание гидроксильных групп, OH^- – 1,1 мгэкв/г; коэффициент формы частиц 0,8...1,0; удельная поверхность на границе раздела фаз твердое вещество – воздух – 490 м²/кг;

Полиизоцианат (ПИЦ) ($R - N = C = O$; группа – NCO имеет линейную структуру; длина $N = C -$ связи – 0,119 нм (1,19 Å), $C = O -$ связи – 0,118 нм (1,18 Å); угол между группами $R -$ и $NCO -$ может меняться от 120 до 130° в зависимости от природы изоцианата [7]. Изоцианатная группа в ИК-спектре – в области 220–250 см⁻¹. Изоцианат обладает большими дипольными моментами, существенный вклад в которые вносит NCO – группа; 4, 4' / 4'' – трифенилметандиизоцианат, который использовался в настоящей работе имеет температуру замерзания – 91 °С, показатель преломления $n_D^{20} - 1,6150^e$.

Азот и кислород NCO – группы несут отрицательный заряд и обладают электродонорными свойствами, а углерод характеризуется существенным дефицитом электронной плотности. Поэтому группа подвержена как нуклеофильным, так и элетрофильным атакам. Наиболее типичны для изоцианата реакции нуклеофильного присоединения с участием кислород – и азотсодержащих веществ (в том числе и полимерных соединений, содержащих соответствующие концевые группы) (реакция 1).

Для исследования влияния свойств модифицированных каменноугольных вяжущих был принят мелкозернистый бетон (тип В – ДСТУ Б В. 2. 7 119-2003). Для получения минеральных зерен размером 15...0,071 мм был использован щебень Каранского месторождения со следующими свойствами: дробимость в водонасыщенном состоянии – 6,2 %; марка щебня – 1 200; износ в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность – 1 410 кг/м³; плотность – 2 670 кг/м³; морозостойкость – выдерживает более 200 циклов попеременного замораживания-оттаивания; содержание зерен лещадной и игловатой формы – 6 %.

В качестве минерального порошка был принят известняковый, активированный стеарином со следующими показателями качества: удельная поверхность – 445 м²/кг; плотность – 2 710 кг/м³; средняя плотность под нагрузкой – 40 МПа – 1 890 кг/м³; пористость – 30,3 %; дегтеёмкость – 59 %.

Методы исследований

Начальный период структурообразования дегтевяжущего вещества исследовали на пластомет-

ре П. А. Ребиндера. Реологические характеристики дегтебетона (модуль упругости, время релаксации, время ретардации) определяли по методике А. М. Богуславского [6]. Морозостойкость и водостойкость по методике изложенной в ГОСТ 9128-2013.

Экспериментальные исследования

На модифицированное дегтевяжущее вещество действует следующая совокупность факторов: концентрация полиизоцианата (ПИЦ); концентрация кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида (КОДФА); температура производства модифицированного органического вяжущего и бетонной смеси (таблице 1). Параметры оптимизации состава дегтевяжущего вещества и их граничные значения приведены в таблице 2.

Использован план Бокса-Уилсона [8]. Статистическая обработка результатов эксперимента и определения коэффициентов уравнений регрессии выполнены с помощью пакета MathCAD 7.0. Получены уравнения регрессии в виде неполных полиномов (2–4) и полного полинома (5) второй степени.

$$Y_1 = 5,891 + 0,287 \cdot x_1 + 0,840 \cdot x_2 + 0,415 \cdot x_3 + 0,107 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,154 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,140 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,447 \cdot x_1^2 - 0,304 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

$$C = 0,894$$

$$Y_2 = 4,066 + 0,813 \cdot x_2 + 0,256 \cdot x_3 - 0,219 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,098 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,796 \cdot x_1^2 - 0,145 \cdot x_2^2 + 0,164 \cdot x_3^2 \quad (3)$$

$$C = 0,746$$

Таблица 1. Значение факторов варьирования, которые действуют на систему «каменноугольный дорожный деготь–полиизоцианат-кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида»

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни		
					-1	0	+1
1	X ₁	Температура производства вяжущего и дегтебетонной смеси	°С	15	40	55	70
2	X ₂	Массовая концентрация ПИЦ	%	2	2	4	6
3	X ₃	Массовая концентрация КОДФА	%	5	5	10	15

Таблица 2. Параметры оптимизации состава модифицированного дегтевяжущего вещества мелкозернистого дегтебетона (тип В) и их граничные значения

№ п/п	Код параметра оптимизации	Физический смысл фактора	Размерность	Граничное значение функции отклика
1	Y_1	Предел прочности при сжатии при 0 °С, R_0	МПа	не более 13
2	Y_2	Предел прочности при сжатии при 20 °С, R_{20}	МПа	не менее 2,2
3	Y_3	Предел прочности при сжатии при 50 °С, R_{50}	МПа	не менее 0,9
4	Y_4	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вд}$	–	не менее 0,7

$$Y_3 = 1,959 + 0,070 \cdot x_1 + 0,713 \cdot x_2 + 0,125 \cdot x_3 + 0,110 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,108 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,051 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,351 \cdot x_1^2 + 0,143 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

$$C = 0,920$$

$$Y_4 = 0,677 - 0,014 \cdot x_1 + 0,096 \cdot x_2 - 0,047 \cdot x_3 - 0,046 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,062 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,011 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,028 \cdot x_1^2 + 0,065 \cdot x_2^2 - 0,041 \cdot x_3^2 \quad (5)$$

$$C = 0,951$$

Матрица планирования эксперимента и его результаты приведены в таблице 3.

Область оптимальных составов дегтевяжущего вещества и температурных режимов производства дегтевяжущего вещества и смеси приведены на рисунке 1.

Таким образом, как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 3, на рисунке 1 и в уравнениях 2–5 наибольший вклад в структурировании матрицы холодного модифицированного дегтебетона вносит полиизоцианат, а при оптимальном соотношении влияющих факторов (таблица 1): температура производства 50...55 °С – концентрация полиизоцианата А 4...6 % – концентрация кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида 10...15 % достигаются максимальные значения параметров оптимизации модифицированного дегтебетона с регулируемым сроками формирования структуры композита.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 2, модифицированный холодный дегтебетон во времени проходит три этапа структуро-

образования. На протяжении четырех часов от времени приготовления холодная дегтебетонная смесь, которая содержит в своем составе мало-вязкий каменноугольный дорожный деготь с ОДА и ПИЦ, может транспортироваться, укладываться и уплотняться в конструктивных слоях дорожной одежды.

На втором этапе структурообразования полиизоцианат реагирует с фенолсодержащими соединениями каменноугольного вяжущего и функциональными группами кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида по реакции 1, что приводит к формированию трехмерной сетки с узлами в виде частиц активного дисперсного наполнителя ОДА и гибкими цепочками из смолистых соединений каменноугольного дегтя.

Третий этап – стабилизация структуры дегтевяжущего вещества, а следовательно физических и механических свойств модифицированного дегтебетона.

Холодный модифицированный дегтебетон (тип В), содержащий в своем составе каменноугольный дорожный деготь, который модифицирован 20 % ОДА и 5 % ПИЦ, в течение одних суток формирует структуру (таблицы 4 и 5).

Введение полиизоцианата в органическое вяжущее – каменноугольный дорожный деготь $C_{30}^{10} = 15$ с 20 % ОДА в три раза повышает предел прочности при сжатии. Модифицированный холодный дегтебетон характеризуется коэффициентом длительной водостойкости $K_{вд} = 0,85$; коэффициент морозостойкости после 25 циклов составляет $F = 0,81$. Модуль упругости, определенный по методике А. М. Богуславского, при 20 °С равняется 1 403 МПа, а при 50 °С – 699 МПа.

Таблица 3. Матрица планирования и результаты эксперимента

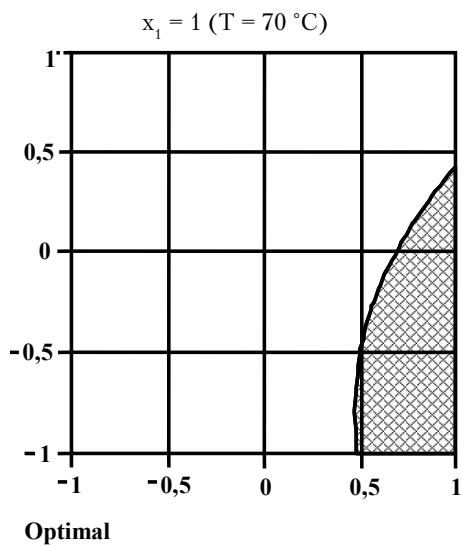
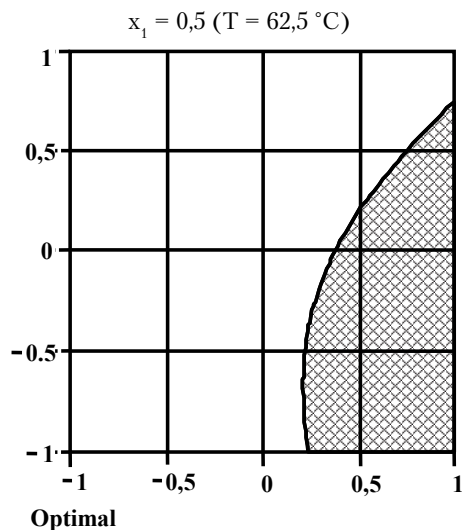
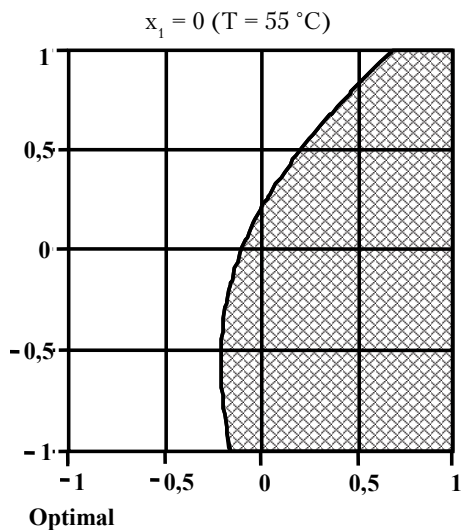
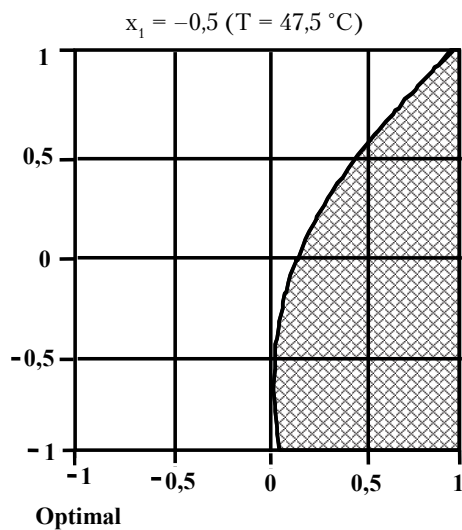
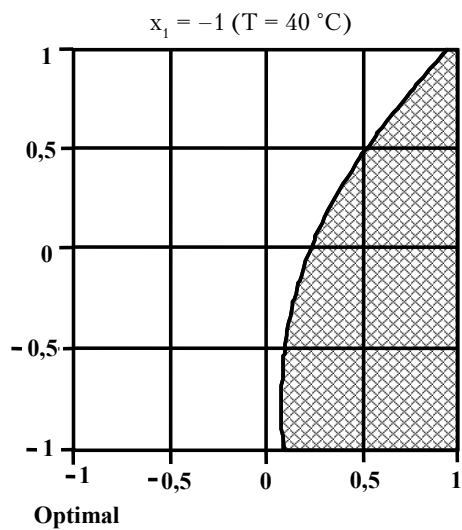
№ п/п	Значение факторов варьирования в кодированных и натуральных значениях			Предел прочности при сжатии, R, МПа, при			Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вд}$
	X_1	X_2	X_3	0 °С, R_0	20 °С, R_{20}	50 °С, R_{50}	
1	+1 (Т = 70 °С)	-1 (2 % ПЩ)	-1 (5 % КЗДФА)	3,737	1,990	0,717	0,627
2	-1 (Т = 40 °С)	+1 (6 % ПЩ)	-1 (5 % КЗДФА)	5,323	3,977	2,523	0,937
3	-1 (Т = 40 °С)	-1 (2 % ПЩ)	+1 (15 % КЗДФА)	4,397	2,783	1,040	0,547
4	+1 (Т = 70 °С)	+1 (6 % ПЩ)	+1 (15 % КЗДФА)	6,870	4,368	2,837	0,573
5	+1 (Т = 70 °С)	-1 (2 % ПЩ)	+1 (15 % КЗДФА)	5,323	2,702	1,062	0,602
6	-1 (Т = 40 °С)	+1 (6 % ПЩ)	+1 (15 % КЗДФА)	5,733	4,203	2,235	0,707
7	+1 (Т = 70 °С)	+1 (6 % ПЩ)	-1 (5 % КЗДФА)	6,117	4,542	2,783	0,850
8	-1 (Т = 40 °С)	-1 (2 % ПЩ)	-1 (5 % КЗДФА)	3,590	1,690	0,760	0,533
9	+1 (Т = 70 °С)	0 (4 % ПЩ)	0 (10 % КЗДФА)	5,390	3,080	1,565	0,622
10	-1 (Т = 40 °С)	0 (4 % ПЩ)	0 (10 % КЗДФА)	5,523	3,513	1,703	0,687
11	0 (Т = 55 °С)	+1 (6 % ПЩ)	0 (10 % КЗДФА)	6,303	4,050	2,150	0,848
12	0 (Т = 55 °С)	-1 (2 % ПЩ)	0 (10 % КЗДФА)	4,897	3,847	1,817	0,647
13	0 (Т = 55 °С)	0 (4 % ПЩ)	+1 (15 % КЗДФА)	6,183	4,610	2,560	0,667
14	0 (Т = 55 °С)	0 (4 % ПЩ)	-1 (5 % КЗДФА)	5,588	3,903	1,697	0,617
15	0 (Т = 55 °С)	0 (4 % ПЩ)	0 (10 % КЗДФА)	5,873	3,957	1,857	0,655

Таблица 4. Предел прочности при сжатии при 20 °С (R_{20} , МПа) мелкозернистого дегтебетона (тип В)

Время, сутки				
1	2	3	4	5
3,3	3,4	3,3	3,4	3,5

Таблица 5. Предел прочности при сжатии контрольного состава, мелкозернистого дегтебетона типа В, в котором органическое вяжущее: КД, $C_{30}^{10} = 15$ с с 20 % ОДА.

Время, сутки				
1	2	3	4	5
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1



$$X_1 = 55 + 15 \cdot x_1 \quad (6)$$

$$X_2 = 4 + 2 \cdot x_2 \quad (7)$$

$$X_3 = 10 + 5 \cdot x_3 \quad (8)$$

Рисунок 1. Область оптимальных составов дегтевяжущего вещества. Переход от кодированных значений факторов к натурным осуществляется по формулам (6, 7, 8).

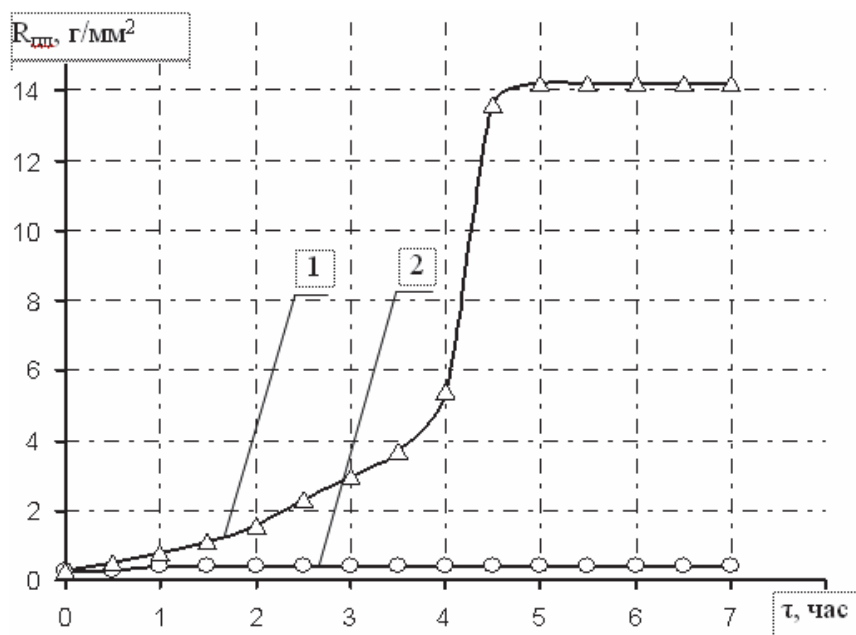


Рисунок 2. Зависимость пластической прочности $R_{пл}$ дегтевяжущего вещества состава: каменноугольный дорожный деготь: известняковый минеральный порошок 1:3 м. ч. от времени структурообразования t ; состав органического вяжущего: 1 – каменноугольный дорожный деготь вязкостью $C_{30}^{10} = 15$ с 10 % ОДА и 5 % ПИЦ от массы дегтя; 2 – каменноугольный дорожный деготь вязкостью $C_{30}^{10} = 15$ с 10 % ОДА по массе; температура производства и испытания пасты – 55 °С.

Как следует из данных, характеризующих качество зарубежных инновационных дорожно-строительных материалов с использованием модифицированных органических вяжущих дорожные асфальтобетоны, содержащие в своем составе полиизоцианаты соответствуют мировым тенденциям [9–12].

Выводы

Для управления процессом структурообразования холодного дегтебетона необходимо маловязкие каменноугольные дегти модифицировать кубовыми остатками дистилляции фталевого

ангидрида и полиизоцианатом. С использованием метода экспериментально-статистического моделирования (план Бокса-Уилсона) установлены оптимальные соотношения в холодном дегтебетоне полиизоцианата 4...6 % мас., массовая концентрация кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида 10...15 % при температуре производства смеси 50...55 °С. Установлено, что модифицированный холодный дегтебетон проходит ряд характерных этапов структурообразования: обеспечение технологических свойств; этап формирования структуры асфальтобетона; стабилизация структуры дорожного асфальтобетона в конструктивном слое дорожной одежды.

Литература

- Надыкто, Г. И. Дорожный асфальтобетон и полимерасфальтобетон : учебное пособие / Г. И. Надыкто, В. Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2018. – 211 с. – Текст : непосредственный.
- Дорожкин, В. П. Образование, структура и свойства сетчатых полиуретанов / В. П. Дорожкин, П. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный //

Reference

- Nadykto, G. I.; Galdina, V. D. Road Asphalt Concrete and Polymer Asphalt Concrete : tutorial. – Omsk : SARI, 2018. – 211 p. – Text : direct. (in Russian)
- Dorozhkin, V. P.; Kirpichnikov, P. A. Formation, structure and properties of reticulated polyurethanes. – Text : direct. – In: *Advances in Chemistry: scientific journal*. – 1989. – Issue 3. – P. 521. (in Russian)

- Успехи химии: научный журнал. – 1989. – Выпуск 3. – С. 521.
3. Майер-Вестус, Ульрих. Полиуретаны. Покрытия, клеи и герметики / Ульрих Майер-Вестус; перевод с английского [Л. Н. Машляковского, В. А. Бурмистрова]. – (Серия: Полиуретаны). – Москва : Пэйнт-Медиа, 2009. – 399 с. – ISBN 978-5-902904-07-6. – Текст : непосредственный.
 4. Братчун, В. І. Холодний дьогтебетон з підвищеними фізико-механічними властивостями / В. І. Братчун, А. В. Поліщук. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 2000. – № 4. – С. 29–30.
 5. Братчун, В. И. Технологичные дегтебетонные смеси для строительства покрытий нежестких дорожных одежд / В. И. Братчун, Н. Н. Кумейко, И. Ф. Рыбалко. – Текст : непосредственный // Моделирование в компьютерном материаловедении МОК'46 : Материалы к 46-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов (25–26 апреля 2007 г.). – Одесса : Астропринт, 2007. – С. 59–60.
 6. Богуславский, А. М. Основы реалогии асфальтобетона / А. М. Богуславский, А. А. Богуславский. – Москва : Высшая школа, 1972. – 200 с. – Текст : непосредственный.
 7. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашов, В. Г. Савельев. – Москва : Стройиздат, 1981. – 335 с. – Текст : непосредственный.
 8. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – 2-е издание. – Москва : Финансы и статистика, 1981. – 263 с. – Текст : непосредственный.
 9. Jahromi, S. Gh. Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete / S. Gh. Jahromi, A. Khodaii. – Текст : непосредственный // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2008. – Volume 33, № 2B. – P. 355–364.
 10. Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests / M. R. Mitchell, R. E. Link, K. E. Kaloush [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Testing and Evaluation. – 2010. – Volume 38, № 4. – P. 12. – DOI: 10.1520/jte102442.
 11. Ye, Qunshan. Rheological Properties of Fiber Reinforced Asphalt Binders / Qunshan Ye, Shaopeng Wu. – Текст : непосредственный // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. – 2009. – Volume 16. – P. 93–99.
 12. Lee, S. J. Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete / S. J. Lee. – Текст : непосредственный // Textile Research Journal. – 2005. – Volume 75, № 2. – P. 123–128.
 3. Mayer-Vestus, Ulrikh. Polyurethanes. Coatings, adhesives and sealants ; translation from English [L. N. Mashlyakovsky, V. A. Burmistrova]. – (Series: Polyurethanes). – Moscow : Paint-Media, 2009. – 399 p. – ISBN 978-5-902904-07-6. – Text : direct. (in Russian)
 4. Bratchun, V. I.; Polishchuk, A. V. Cold tar concrete with improved physical and mechanical properties. – Text : direct. – In: *Road builder of Ukraine*. – 2000. – № 4. – P. 29–30. (in Ukrainian)
 5. Bratchun, V. I.; Kumeiko, N. N.; Rybalko, I. F. Technological tar-concrete mixtures for the construction of non-rigid pavement pavements. – Text : direct. – In: *Modeling in Computer Materials Science IOC '46 : Proceedings for the 46th International Seminar on Modeling and Optimization of Composites*. – Odessa : Astroprint, 2007. – P. 59–60. (in Russian)
 6. Boguslavsky, A. M.; Boguslavsky, A. A. Fundamentals of asphalt concrete realogy. – Moscow : Higher School, 1972. – 200 p. – Text : direct. (in Russian)
 7. Gorshkov, V. S.; Timashov, V. V.; Savelyev, V. G. Methods of physical and chemical analysis of binders. – Moscow : Stroyizdat, 1981. – 335 c. – Text : direct. (in Russian)
 8. Voznesensky, V. A. Statistical methods of experiment planning in feasibility studies. – 2-nd edition. – Moscow : Finance and statistics, 1981. – 263 p. – Text : direct. (in Russian)
 9. Jahromi, S. Gh.; Khodaii, A. Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete. – Text : direct. – In: *The Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2008. – Volume 33, № 2B. – P. 355–364. (in English)
 10. Mitchell, M. R.; Link, R. E.; Kaloush, K. E. [et al.]. Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests. – Text : direct. – In: *Journal of Testing and Evaluation*. – 2010. – Volume 38, № 4. – P. 12. – DOI: 10.1520/jte102442. (in English)
 11. Ye, Qunshan; Wu, Shaopeng. Rheological Properties of Fiber Reinforced Asphalt Binders. – Text : direct. – In: *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. – 2009. – Volume 16. – P. 93–99. (in English)
 12. Lee, S. J. Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete. – Text : direct. – In: *Textile Research Journal*. – 2005. – Volume 75, № 2. – P. 123–128. (in English)

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». 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.

Леонов Никита Сергеевич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Демешкин Валентин Павлович – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Протасов Евгений Анатольевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Броневский Богдан Андреевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Кузнецов Роман Александрович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Леонов Микита Сергійович – асистент кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Демешкін Валентин Павлович – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Протасов Євген Анатолійович – магістрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Броневський Богдан Андрійович – магістрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Кузнецов Роман Олександрович – магістрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

Bratchun Valery – DSc (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, 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 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.

Leonov Nikita – Assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Demeschkin Valentin – Senior Lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in the components of materials of compositions.

Protasov Evgeny – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Bronevsky Bogdan – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Kuznetsov Roman – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.