ВЕСТНИК
ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

ISSN 2519-2817 online
Современные строительные материалы
Выпуск 2021-1(147)

УДК 625.859.3

В. И. БРАТЧУН, В. В. ЖЕВАНОВ, Е. А. РОМАСЮК, Д. О. БАЛЕВ, Б. А. ЕГОРКИН, Д. Ю. КОЛПАКОВ, А. С. ПУСТОВОЙ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ВЛАЖНОГО АСФАЛЬТОПОЛИМЕР-ШЛАКОБЕТОНА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩЕГОСЯ ОПТИМАЛЬНЫМ СОЧЕТАНИЕМ КОАГУЛЯЦИОННО-КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ КОНТАКТОВ

Аннотация. С использованием метода экспериментально-статистического моделирования определена оптимальная концентрация компонентов влажной асфальтополимершлакобетонной смеси. Установлено, что оптимальное соотношение компонентов в смеси в массовых частях: отсева дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, извести негашеной молотой – 2 %, разжиженного битума, модифицированного латексом марки Butonal NS 198 (2 % мас.) – 8 %, воды затворения – 14 %. Установлено, что удельное количество конденсационно-кристаллизационных контактов во влажном асфальтополимершлакобетоне составляет 0,44. Диапазон температур уплотнения, который для влажных асфальтополимершлакобетонных смесей составляет 30...90 °С соответствует наиболее компактному размещению частиц минерального остова. Разработанный состав влажного асфальтополимершлакобетона характеризуется достаточно высокими деформационно-прочностными и коррозионными свойствами наравне с традиционными горячими мелкозернистыми бетонами. Это указывает на целесообразность их применения для текущего ремонта покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог.

Ключевые слова: асфальтополимершлакобетон, оптимизация, свойства, кристаллизационные контакты.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Процесс производства асфальтобетонных смесей энергоемок и сопровождается значительными выбросами вредных веществ. Одним из перспективных способов снижения энергоемкости производства асфальтобетонных смесей является производство и применение влажных органоминеральных смесей (ВОМС) [1–4].

В то же время, принимая во внимание низкие эксплуатационные свойства влажных асфальтобетонных смесей, необходимо решить вопрос интенсификации структурообразования влажного асфальтобетона введением в него добавок или компонентов, обладающих гидравлической активностью. Например, можно применить в качестве минеральных материалов, как это выполнено для влажных дегтебетонных смесей, отсев дробления отвального мартеновского шлака и получить таким образом бетон с коагуляционно-кристаллизационными контактами [5]; а в качестве органического вяжущего использовать жидкие битумы, модифицированные латексом BUTONAL NS 198 [6, 7]. В то же время состав влажных асфальтополимершлакобетонных смесей является не оптимизированным.

Целью исследования является оптимизация состава влажного асфальтополимершлакобетона, представленного отсевом дробления отвального мартеновского шлака, разжиженного битумополимерного вяжущего, извести негашеной молотой, воды затворения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве вяжущего материала принят нефтяной дорожный битум марки СГ 70/130 со следующими характеристиками: условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С – 97 с; количество выпаренного разжижителя – 10,1 %; температура размягчения остатка после определения

© В. И. Братчун, В. В. Жеванов, Е. А. Ромасюк, Д. О. Балев, Б. А. Егоркин, Д. Ю. Колпаков, А. С. Пустовой, 2021

количества выпаренного разжижителя – 41 °С. Разжиженный битум СГ 70/130 получен из битума БНД 60/90 Павлодарского НПЗ (100 %) и технического керосина (8...10 %).

В качестве полимерных модификаторов органического вяжущего были использованы:

1. Стирол-бутадиеновая высококонцентрированная водная дисперсия (латекс) марки Butonal NS 198. Содержание твердых веществ – 63...65 %; pH – 5,0...6,5 %; вязкость – 250...2 000 мПа·с.

2. Блок-сополимер на основе стирола и полибутадиена марки Kraton D 1101: диаметр гранул $(0,1...1,0)\cdot10^{-3}$ м; содержание стирола – 31 % мас.; плотность – 0,94 г/см^3; модуль упругости – 2,9 МПа; удлинение при разрыве – 880 %.

Полимерные модификаторы совмещали с вязким битумом марки БНД 60/90 согласно принятым методикам приготовления битумополимерного вяжущего. Для получения разжиженного модифицированного битума марки СГ 70/130 в полученные полимермодифицированные вяжущие вводился разжижитель (керосин 8...10 %).

В качестве минеральных материалов приняты следующие шлаки:

1. Отсев дробления отвального мартеновского шлака Енакиевского металлургического завода (ЕМЗ). Химический состав (усредненные значения): CaO – 24...38 %, SiO_2 – 18...34 %, Al_2O_3 – 3...5 %, MgO – 6...12, MnO – 6...10 %, $FeO+Fe_2O_3$ – 11...13 %, P_2O_5 – 0,98 %. Химический состав шлаков ЕМЗ отличается непостоянством, так как зависит от выплавляемых марок стали и содержит до 30 химических элементов, среди которых сумма основных четырех оксидов (CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO) составляет до 98 %. Истинная плотность – 3 225 кг/м^3; насыпная плотность 1 675 кг/м^3; марка по дробимости в стальном цилиндре – «1200»; морозостойкость – более 200 циклов; активность 1 МПа; модуль основности 1,9.

2. Доменный гранулированный шлак Донецкого металлургического завода (ДМЗ). Химический состав: CaO – 46 %, SiO2 – 38, Al_2O_3 – 6 %, MgO – 6 %, FeO – 2 % и др.

Зерновой состав минеральной части исследуемых влажных асфальтошлакобетонов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Зерновой состав минеральной части исследуемых влажных асфальтошлакобетонов

Тип асфальтобетона	Содержание по массе, % минеральных зерен, которые меньше данного размера, мм									Оптимальное содержание орг. вяжущего
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Холодный асфальтошлакобетон (отсев дробления отвального мартеновского шлака), содержание воды в смеси – 14 %	100	93,0	82,7	70,4	57,1	46,8	35,1	20,8	2,8	7...8 %
Холодный асфальтошлакобетон (доменный гранулированный шлак), содержание воды в смеси – 14 %	100	99,5	98,3	92,3	64,8	45,3	24,3	9,3	4,3	6,5...7,0 %

Процесс приготовления асфальтошлакобетонной смеси включает следующие операции: подогрев шлака до температуры 80 °С, смешение с жидким битумом (битумополимерным вяжущим), подогретым до температуры 80...90 °С, добавление 12...14 % мас. воды и перемешивание смеси. Уплотнение асфальтошлакобетонной смеси выполнено при давлении 30 МПа.

Для сопоставительного анализа свойств влажных асфальтополимершлакобетонов с традиционными горячими асфальтобетонами, отвечающими ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия», принят асфальтобетон мелкозернистый типа «Б».

Для приготовления щебня и искусственного песка использован гранит Каранского месторождения со следующими свойствами: дробимость в водонасыщенном состоянии – 6,2 %; марка гранита – 1 200; износ в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность – 1 410 кг/м^3; истинная плотность – 2 70 кг/м^3; морозостойкость более 200 циклов; содержание зерен лещадной и игловатой формы – 6 %.

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

Минеральный порошок использовался известняковый. Содержание $CaCO_3$ – 96 %; удельная поверхность $S_{1,2}$ = 400 м^2/кг; средняя плотность – 2 715 кг/м^3; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1 880 кг/м^3; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 60,5 %.

При исследовании, кроме стандартных, использован ряд специальных приборов и методов исследования: прибор ХАДИ для изучения уплотняемости асфальтобетонных смесей, прибор Маршалла для определения устойчивости и жесткости асфальтобетона при 60 °С, установка для определения усталостной долговечности, устройство для испытания асфальтобетонных балочек на растяжение при изгибе. Для обработки и анализа результатов экспериментальных исследований использованы методы математической статистики.

ЭКСПЕРЕМИНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установлены режимы производства влажных асфальтополимершлакобетонных смесей, а именно: порядок введения в асфальтосмеситель компонентов асфальтополимершлакобетонных смесей следующий: предварительное сухое перемешивание отсева дробления отвального мартеновского шлака и извести негашеной молотой при температуре 85 °С в течение 15 с; введение на минеральные материалы разжиженного битумополимерного вяжущего и перемешивание органоминеральной смеси 30–45 с; введение воды затворения и перемешивание 30–45 с. При таком порядке ведения процесса производства влажных асфальтополимершлакобетонных смесей под действием нескомпенсированных молекулярных и ионных сил на поверхности частиц шлака формируются адсорбционно-сольватные слои органического вяжущего, которые переходят в структурированное состояние, что положительно сказывается на прочности межфазного контакта.

Оптимальная продолжительность приготовления влажных асфальтошлакобетонных смесей в смесителях принудительного действия должна находиться до полутора – двух минут. За этот промежуток времени происходит полное покрытие олеофильных центров поверхности шлаковых частиц органическим вяжущим, а гидрофильных – прослойками воды. К тому же, за это время происходит равномерное распределение компонентов в единице объема смеси и, как следствие, достигается минимальная межзерновая пустотностъ минерального остова асфальтошлакобетона (коэффициент вариации содержания ключевого компонента, фракции d = 2,5...1,25 мм составляет Кв = 4,4 %).

Оптимальное содержание жидкого битума в асфальтошлакобетоне равно 7...8 % сверх 100 % массы шлака.

Для улучшения показателей механических свойств, водонасыщения, набухания и др. влажного асфальтошлакобетона использован щелочной активатор вяжущих веществ отсева дробления отвального мартеновского шлака.

В исследовании в качестве активатора вяжущих свойств принята известь негашеная молотая, так как она значительно быстрее гидратируется, чем портландцемент (таблица 2) и характеризуется большей водоудерживающей способностью, что обеспечивает благоприятные условия гидратации шлака.

Таблица 2 – Физико-механические свойства шлакобетона с использованием отсева дробления отвального мартеновского шлака в возрасте 28 суток

№ п/п	Состав бетона в массовых частях компонентов	Средняя плотность, ρ_o, кг/м^3	Предел прочности при сжатии, МПа, при		
			0 °С	20 °С	50 °С
1	Отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода – 20 %	2 280	0,8	0,7	0,7
2	Отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода – 20 %, портландцемент М 500 – 3 %	2 285	2,0	1,9	1,9
3	Отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода – 20 %, известь негашеная молотая – 3 %	2 290	2,2	2,1	2,1

Характерно, что прочность образцов влажных асфальтошлакобетонов с течением времени растет. Водный раствор гидроксида кальция создает во влажном асфальтошлаковом бетоне щелочную среду с pH = 11...12, обеспечивающим диспергирование шлака в результате разрыва ковалентных

связей Si – O – Si и Al – O – Si. При достижении степени перенасыщения водного раствора катионами Ca2+ происходит их взаимодействие с кремне- и алюмозолями с образованием целого ряда гидроалюмосиликатов кальция. К тому же предполагается, что упрочнение полученных систем происходит за счет хемосорбционных связей, которые могут возникнуть при взаимодействии основных гидратированных веществ шлака с кислыми соединениями жидкого нефтяного битума прежде всего с асфальтогеновыми кислотами.

На рис. 1 приведены значения предела прочности при сжатии холодных асфальтошлакобетонов в зависимости от времени структурообразования (температура структурообразования бетона 20 °С) и вида металлургического шлака.

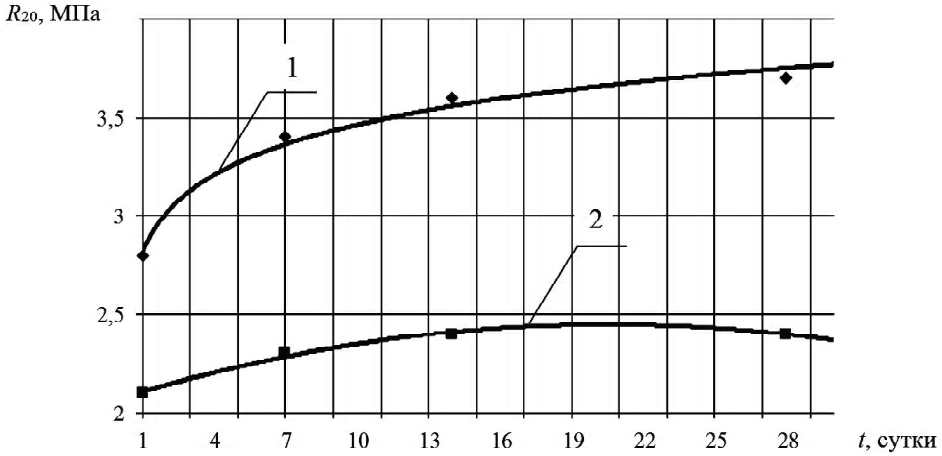


Рисунок 1 – Предел прочности при сжатии при 20 °С (R_{20}) образцов влажного асфальтошлакобетона в зависимости от времени структурообразования (t, сутки): 1 – на отсеве дробления отвального мартеновского шлака (ЕМЗ); 2 – на доменном гранулированном шлаке (ДМЗ).

Образцы влажного асфальтошлакобетона на отсеве дробления отвального мартеновского шлака характеризуются более высокой прочностью, по сравнению с бетонами на доменном гранулированном шлаке. В данном случае играет важную роль начальный период структурообразования асфальтошлакобетона, связанного с формированием коагуляционной структуры. Доменный шлак имеет гранулы с достаточно развитой поровой структурой, при этом большинство пор замкнуто внутри гранулы. Поэтому в процессе смешивания органического вяжущего и доменного гранулированного шлака жидкий битум не полностью заполняет микропоровое пространство гранул. Также значительное количество воды затворения из-за непродолжительного времени смешивания смеси не может диффундировать в замкнутые поры зерен гранулированного шлака. Следовательно, поры в гранулах доменного шлака остаются замкнутыми и являются концентраторами критических напряжений при приложении нагрузки к образцу.

Таким образом, для значительного улучшения деформационно-прочностных характеристик влажных асфальтошлакобетонов необходимо достичь в смеси оптимального сочетания коагуляционных контактов между частицами шлака через адсорбционно-сольватные структурированные прослойки органического вяжущего и кристаллизационно-конденсационных контактов при прямом срастании кристаллов гидратированных минералов шлака.

Введение полимерных модификаторов Butonal NS 198 и Kraton D 1101 в жидкие битумы позволило повысить предел прочности при сжатии влажных асфальтошлакобетонов.

Взаимодействие жидкого битума, воды и отсева дробления отвального мартеновского шлака приводит к более высоким значениям предела прочности по сравнению с холодными асфальтобетонами, в которых минеральная часть представлена гранитным щебнем и известняковым минеральным порошком (рис. 2).

Характерно, что предел прочности при сжатии влажных асфальтошлакобетонов в среднем в 1,6 раза выше, чем традиционного холодного асфальтобетона типа Гх на гранитном щебне и в 1,5 раза выше, чем армированного фиброволокном холодного асфальтобетона типа Гх.

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

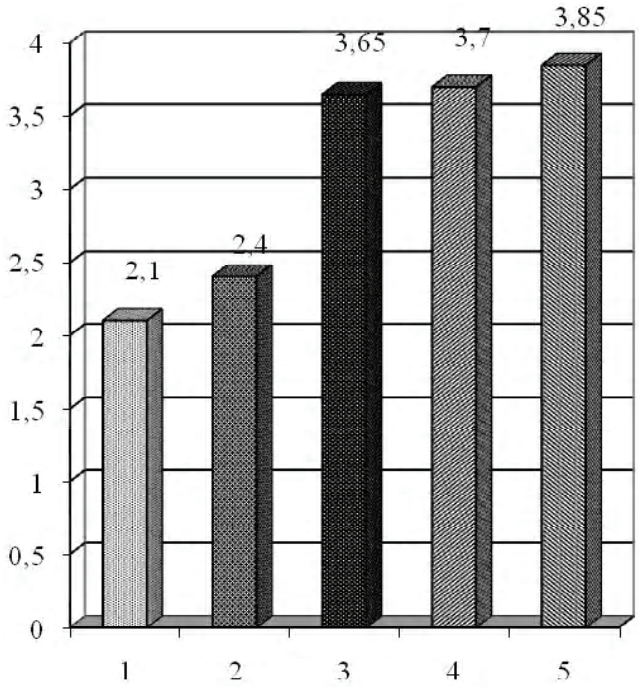


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма значений пределов прочности при сжатии при 20 °С различных образцов асфальтобетонов в возрасте 28 суток: 1 – холодный асфальтобетон тип Гх; 2 – дисперсно-армированный холодный асфальтобетон тип Гх (содержание полипропиленового фиброволокна – 0,7 % мас.); 3 – влажный холодный асфальтошлакобетон на отсеве дробления отвального мартеновского шлака; 4 – влажный асфальтошлакобетон на отсеве дробления отвального мартеновского шлака, модифицированном 2,0 % мас. латексом Butonal NS 198; 5 – влажный асфальтошлакобетон на отсеве дробления отвального мартеновского шлака, модифицированном 2,0 % мас. термоэластопластом Kraton D 1101.

Таким образом, предел прочности асфальтошлакобетонов растет с увеличением времени структурообразования, что связано с постепенным развитием процессов гидратации минеральных зерен шлака. В среднем, после 14 суток структурообразования рост предела прочности при сжатии замедляется.

При определении оптимальной концентрации негашеной извести и разжиженного битумополимерного вяжущего в составе влажного асфальтополимершлакобетона выполнено экспериментально-статистическое моделирование.

Факторы варьирования, которые действуют на систему «битумополимерное вяжущее – отсев дробления отвального мартеновского шлака (100 % мас.) – вода затворения (14 % мас.) – негашеная известь»: X_1 – массовая концентрация негашеной молотой извести; X_2 – концентрация разжиженного битума, модиицированного латексом Butonal NS 198 (2 % мас.). Параметры оптимизации: предел прочности при сжатии образцов асфальтополимершлакобетона при 20 °С (Y_1), R20, не менее 3,4 МПа; средняя плотность (Y_2), $\rho_{ср}$, не менее 2,28 г/см^3, коэффициент длительной водостойкости (Y_3), Квд, не менее 0,85.

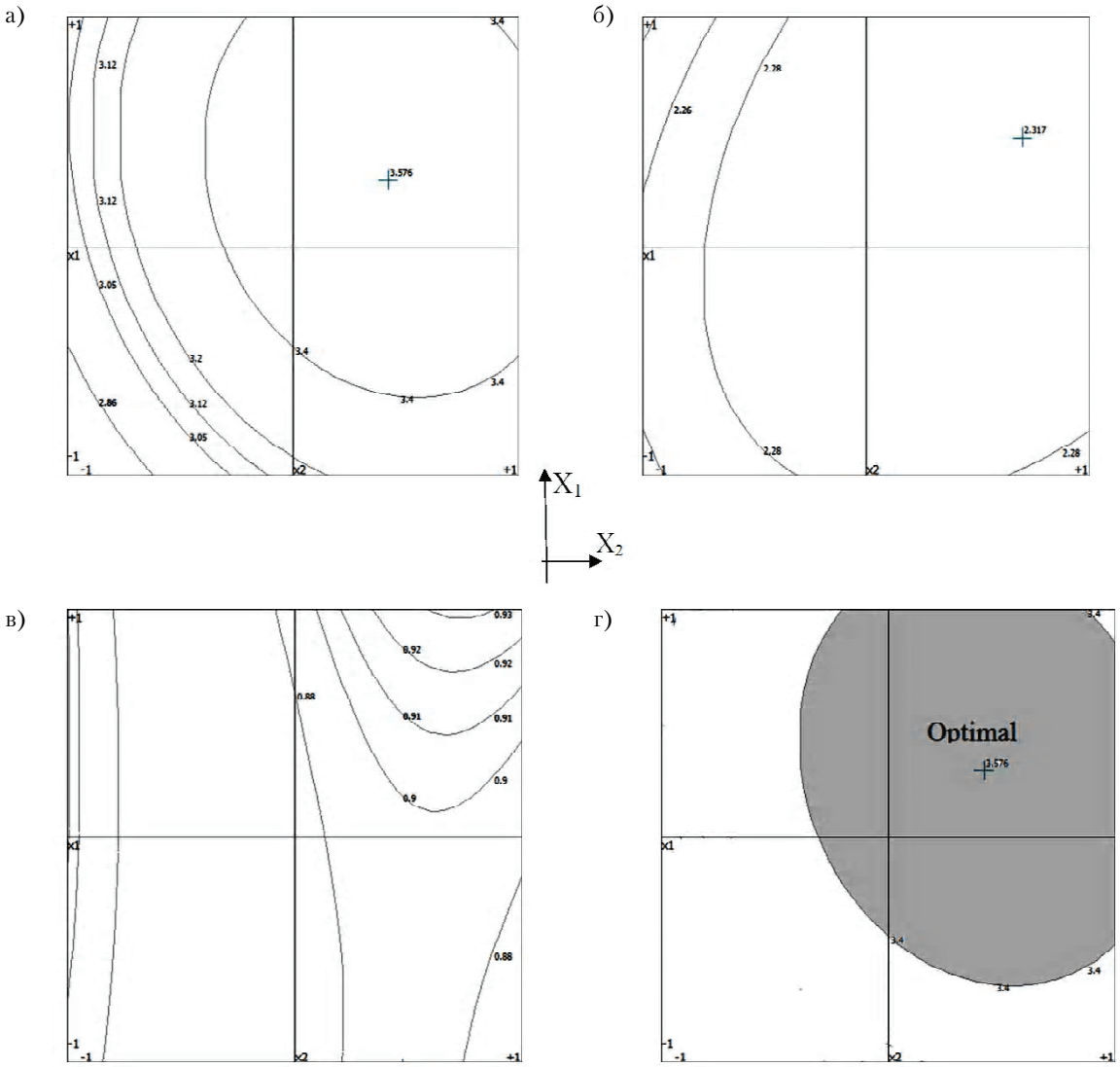
При помощи программы обработки данных двухфакторного, трехуровневого планированного эксперимента типа BD13 «PlanExp B-D13 v.1.0» for Windows выполнен расчет математических моделей в виде полинома второй степени:

$$Y_1(X_1, X_2) = 3{,}502 + 0{,}146x_1 + 0{,}248x_2 - 0{,}201x_1^2 - 0{,}269x_2^2 - 0{,}069x_1x_2, \quad (1)$$

$$Y_2(X_1, X_2) = 2{,}308 + 0{,}006x_1 + 0{,}023x_2 - 0{,}018x_1^2 - 0{,}022x_2^2 + 0{,}016x_1x_2, \quad (2)$$

$$Y_3(X_1, X_2) = 0{,}869 + 0{,}011x_1 + 0{,}094x_2 + 0{,}01x_1^2 - 0{,}078x_2^2 + 0{,}02x_1x_2. \quad (3)$$

Установлено, что оптимальная массовая концентрация негашеной молотой извести во влажном асфальтополимершлакобетоне составляет 2,0...2,5 %. Оптимальное содержание битумополимерного вяжущего, модифицированного латексом Butonal NS 198 (2 % мас.), равно 8,0...8,5 % (рис. 3).



По оси X_1: массовая концентрация негашеной молотой извести. По оси X_2: массовая концентрация разжиженного битума, модифицированного латексом Butonal NS 198 (2 % мас.)

Рисунок 3 – Графики функций: а) предела прочности при сжатии при 20 °С (Y_1); б) средней плотности (Y_2); в) коэффициента длительной водостойкости (Y_3); г) область оптимальных значений.

Условие получения структуры влажного асфальтополимершлакобетона, характеризующейся двумя взаимопроникающими микроструктурами – коагуляционной и конденсационно-кристаллизационной, выполняется при удельном числе упругих связей в подобных системах n_y = 0,4...0,6, количество которых определяли по формуле В. А. Веренько:

$$n_y = (c \cdot R_1 - R_2) / (c - 1) \cdot R_C, \quad (4)$$

где R_1 – предел прочности влажного асфальтополимершлакобетона при скорости деформирования V_1 = 3 мм/мин;
R_2 – предел прочности влажного асфальтополимершлакобетона при скорости деформирования V_2 = 15 мм/мин;
R_C – предельная структурная прочность, соответствующая максиму на зависимости от температуры или скорости деформирования.

Экспериментально определены R_1 и R_2 влажного асфальтополимершлакобетона в зависимости от скорости деформирования и температуры испытания асфальтополимешлакобетона. При оптимальном содержании вяжущего 8 % по массе сверх 100 % отсева дробления отвального мартеновского

шлака определено максимальное значение предела прочности при сжатии асфальтополимершлакобетона, который достигается при минус 30 °С (7,8 МПа), тогда n_y = (5·3,8 – 5,2)/4·7,8 = 0,44.

Таким образом, влажный асфальтополимершлакобетон оптимизированного состава характеризуется количеством кристаллизационных контактов 44 %.

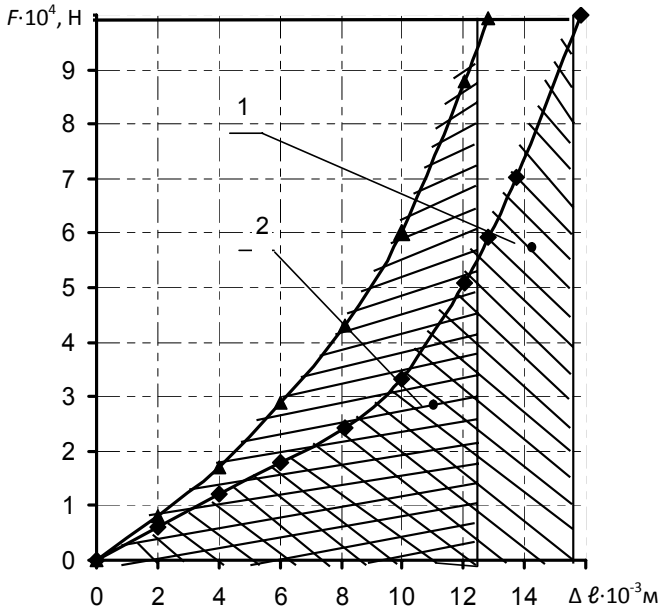


Рисунок 4 – Диаграмма уплотнения асфальтобетонных смесей: 1 – холодная асфальтобетонная смесь типа Гх на битуме СГ 70/130; 2 – влажная асфальтополимершлакобетонная смесь оптимальной структуры (температура построения зависимости $F = f(\Delta\ell)$, T = 70 °С).

Завершающей стадией структурообразования асфальтополимершлакобетонной смеси оптимальной структуры с использованием катионного латекса Butonal NS 198 на этапе технологической переработки является укладка и уплотнение её в конструктивные слои дорожной одежды.

Диапазон температур уплотнения, который для влажных асфальтополимершлакобетонных смесей составляет 30...90 °С соответствует наиболее компактному размещению частиц минерального остова. Таким образом, подготовленная для укладки асфальтополимершлакобетонная смесь должна иметь температуру не менее 40 °С. Процесс уплотнения асфальтополимершлакобетонных смесей менее энергоемкий, чем традиционных холодных асфальтобетонных смесей типа Гх (ДСТУ Б.В.2.7-119:2011) (рис. 4).

Так, средний расход энергии на приращение единицы плотности асфальтополимершлакобетонной смеси составляет 512 Дж, а при уплотнении холодной асфальтобетонной смеси типа Гх – 648 Дж (таблица 3). Коэффициент уплотнения, характеризующий удельную работу на уплотнение, также свидетельствует о более высокой уплотняемости асфальтополимершлакобетононых смесей в сравнении с традиционной холодной смесью.

Таблица 3 – Технологические свойства холодных асфальтобетонных смесей

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Работа, затраченная на уплотнение, А, Дж	Коэффициент уплотнения, K_y, $\frac{Дж \cdot м^3}{кг}$	Приращение средней плотности бетона, $\Delta\rho_б^a$, кг/м^3
1.	Холодная мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Гх), приготовленная на битуме СГ 70/130; щебень и отсев щебня гранитные, минеральный порошок известняковый (Т = 80 °С)	648	1,26	508
2.	Влажная асфальтополимершлакобетонная смесь на битуме СГ 70/130, модифицированном 2 % мас. Butonal NS 198; с 2 % мас. негашеной извести (Т = 70 °С)	512	1,03	485

Применение влажной асфальтополимершлакобетонной смеси приводит к повышению плотности и длительной водостойкости модифицированной системы по сравнению с традиционным холодным асфальтобетоном типа Гх (таблица 4).

Методом Маршалла определена устойчивость, условная жесткость и пластичность бетонов на нефтяном дорожном битуме и жидких битумополимерных композициях (таблица 5). Асфальтополимершлакобетон, приготовленный на жидком битумополимерном вяжущем, характеризуется

Таблица 4 – Механические свойства асфальтобетонов

Показатели	Состав холодных асфальтобетонов	
	Битум СГ 70/130, щебень и отсев щебня гранитные (гранулометрический тип Гх), МП известняковый	Битум СГ 70/130, модифицированный 2,0 % Butonal NS 198 мас., отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода – 14 %, негашеная молотая известь – 2 %
Средняя плотность, ρ_0^a, кг/м^3	2 238	2 320
Набухание, Н, % от объема	1,9	1,5
Водонасыщение, W, %, от объема	6,64	4,92
Предел прочности при сжатии, МПа, при: 0 °С 20 °С 50 °С	 5,8 2,40 1,30	 5,9 3,70 1,86
Предел прочности при изгибе, МПа, при 0 °С	1,96	2,10
Коэффициент длительной водостойкости, $К_{вд}$	0,73	0,88

Таблица 5 – Значение показателей, характеризующих сдвигоустойчивость бетонов по методу Маршалла (температура испытания 60 °С)

№ п/п	Тип асфальтобетона	Условная пластичность, 1/10, мм	Устойчивость, Р, кН	Условная жесткость, А, Н/мм
1.	Горячий мелкозернистый асфальтобетон тип «Б» на битуме БНД 60/90; минеральный порошок известняковый	46	15,3	3 316
2.	Холодный мелкозернистый асфальтобетон тип «Гх» на битуме СГ 90/130; минеральный порошок известняковый	68	9,0	1 330
3.	Влажный асфальтополимершлакобетон на битуме СГ 90/130, модифицированный 2 % мас. Butonal NS 198; 14 % воды; 2 % мас. негашеной молотой извести	52	13,1	2 510

более высокими значениями устойчивости и низкой пластичности по сравнению с традиционным холодным асфальтобетоном типа «Гх», приготовленном на битуме СГ 70/130. Это должно обеспечить удовлетворительную сдвигоустойчивость и долговременную прочность асфальтополимершлакобетонных покрытий автомобильных дорог в области высоких положительных эксплуатационных температур.

Одной из основных причин потери эксплуатационных свойств дорожных бетонов во времени и снижения их долговечности, приводящих к изменению их структуры, это воздействие атмосферных, транспортных и грунтогеологических факторов. Под влиянием этих факторов происходят необратимые физико-химические превращения в асфальтошлакобетоне, которые приводят к потере его деформативной и демпфирующей способности, а также коррозионной стойкости.

Данные, приведенные на рис. 5, свидетельствуют о том, что по сравнению с традиционным асфальтобетоном типа «Б» (кривая 2 на зависимости $K_{ст} = f(t)$) асфальтошлакобетоны также являются стабильными конгломератами в условиях постоянного действия высокой температуры (температура прогрева 60 °С). Процесс интенсивного старения, наблюдаемый для асфальтошлакобетона, закономерен и объясняется тем, что в его составе находится маловязкое битумное вяжущее, содержащее в свободном состоянии большое количество легколетучих и легкоиспаряемых фракций с низкой температурой кипения и большим количеством ненасыщенных ароматических соединений. Вследствие интенсивно протекающих процессов испарения и полиоксиконденсации веществ органического вяжущего растет его структурная плотность, что обусловливает рост когезионной прочности органического вяжущего, находящегося в межзерновом пространстве бетона. Это ведет к резкому росту

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

прочности асфальтошлакополимербетона, особенно в первые 400 часов прогрева при t = 60 °С (рис. 5, кривая 3). После 1 000 часов прогрева, что соответствует 5 годам эксплуатации асфальтошлакобетона в покрытии автомобильной дороги, его прочность стабилизируется. Это свидетельствует о том, что процессы капиллярной фильтрации компонентов с малой молекулярной массой в микропоры шлаковых частиц, испарения и полиоксиконденсации ароматических углеводородов закончились.

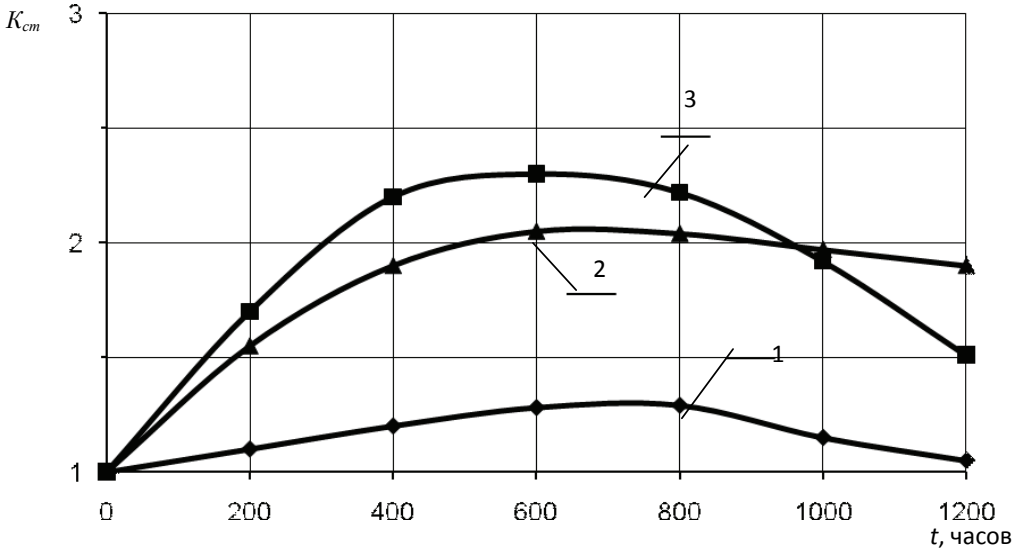


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ ($K_{ст} = R_{20(t)}/R_{20(0)}$) асфальтошлакобетона от времени прогрева t при 60 °С: 1 – отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода затворения – 12 %; 2 – отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода затворения – 14 %, модифицированный битум Butonal NS 198 (2 % мас.) – 8 %; 3 – отсев дробления отвального мартеновского шлака – 100 %, вода затворения – 14 %, модифицированный битум Butonal NS 198 (2 % мас.) – 8 %, негашеная молотая известь – 2 %.

Важнейшим свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность покрытий автомобильных дорог, является устойчивость к воздействию кратковременных циклических (ударных) и длительных статических нагрузок от автотранспорта.

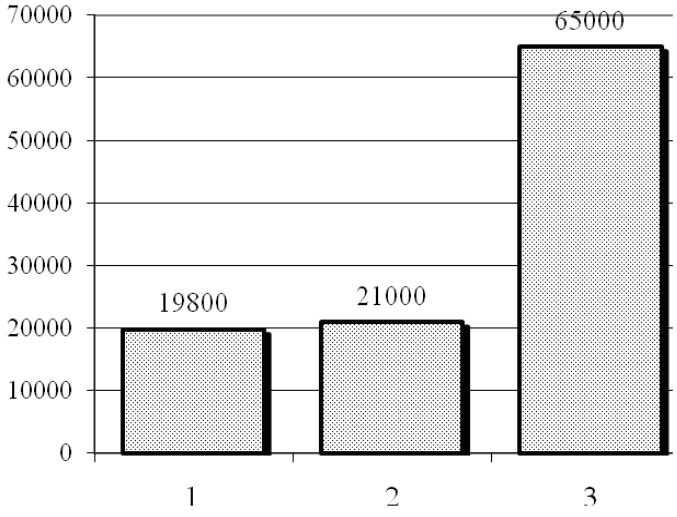


Рисунок 6 – Зависимость усталостной долговечности асфальтобетонов (нагрузка: 0,4 МПа, частота воздействия: 0,1 Гц, температура: 10 °С): 1 – влажный асфальтополимершлакобетон оптимальной структуры на модифицированном битуме СГ 70/130; 2 – холодный асфальтобетон на битуме СГ 70/130 тип «Гх»; 3 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»).

Испытания асфальтополимершлакобетона, холодного асфальтобетона типа «Гх» и горячего мелкозернистого асфальтобетона типа «Б» (ГОСТ 9128-2013) показали, что количество циклов до разрушения асфальтополимершлакобетона оптимальной структуры при заданных напряжениях несколько ниже, чем у холодного асфальтобетона типа «Гх» и горячего асфальтобетона типа «Б», и характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала, появившихся в процессе гидратации мартеновского шлака, а также более низким содержанием органического вяжущего (рис. 6).

Таким образом, результаты исследований показали, что разработанный состав влажного асфальтополимершлакобетона характеризуется достаточно высокими деформационно-прочностными и

коррозионными свойствами наравне с традиционными горячими мелкозернистыми бетонами. Это указывает на целесообразность их применения для текущего ремонта покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение влажной органоминеральной смеси для устройства конструктивных слоев дорожной одежды при строительстве автодорожного подхода к Керченскому мосту со стороны Тамани / М. В. Катасонов, А. И. Лескин, А. В. Кочетков [и др.]. – Текст : электронный // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – № 3. – Том 5. – С. 1–10. URL : https://t-s.today/PDF/03SATS318.pdf (дата обращения: 20.12.2020).
2. Горелышева, Л. А. Органоминеральные смеси в дорожном строительстве / Л. А. Горелышева. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги: обзорная информация. – 2000. – Вып 3. – С. 114.
3. Velkamp, L. J. T. Hochwertige dunne Deckschicten aus Splittmastixasphalt 0/6 und 0/3 / L. J. T. Velkamp, H. Ezdlen. – Текст : непосредственный // Asphalt. – 1997. – № 7/8. – P. 36–39.
4. ГОСТ 30491-2012. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1979-ст : введен впервые : дата введения 2013-11-01 / разработан ФАУ «ФЦС». – Москва, 2013. – 16 с. – Текст : непосредственный.
5. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Международный научно-технический журнал «Наука и техника в дорожной отрасли». – 2014. – № 4. – С. 22–25.
6. Беспалов, В. Л. Холодные асфальтошлакобетоны для устройства полужестких покрытий автомобильных дорог / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, В. В. Жеванов. – Текст : электронный // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2017. – № 3(5). – Ч. 2 – С. 100–104. – URL : https://izdat.dahluniver.ru/images/archive/35-.2_2017.pdf. (дата обращения: 20.12.2020).
7. Братчун, В. И. О закономерностях формирования структуры и свойств асфальтошлакобетонов, приготовленных на жидких битумах, модифицированных латексом BUTONAL NS 198 / В. И. Братчун, В. В. Жеванов, Е. А. Ромасюк. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020 – Вып. № 1(141) Современные строительные материалы. – С. 53–59. – URL : http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1(141).pdf. (дата обращения: 25.12.2020).

Получена 22.12.2020

В. І. БРАТЧУН, В. В. ЖЕВАНОВ, Є. О. РОМАСЮК, Д. О. БАЛЄВ, Б. О. ЄГОРКІН, Д. Ю. КОЛПАКОВ, О. С. ПУСТОВИЙ

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ВОЛОГОГО АСФАЛЬТОПОЛІМЕРШЛАКОБЕТОНУ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЄТЬСЯ ОПТИМАЛЬНИМ ПОЄДНАННЯМ КОАГУЛЯЦІЙНО-КРИСТАЛІЗАЦІЙНИХ КОНТАКТІВ

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. З використанням методу експериментально-статистичного моделювання визначена оптимальна концентрація компонентів вологої асфальтополімершлакобетонної суміші. Встановлено, що оптимальне співвідношення компонентів в суміші в масових частинах: відсіву подрібнення відвального мартенівського шлаку – 100 %, вапна негашеного меленого – 2 %, розрідженого бітуму, модифікованого латексом марки Butonal NS 198 (2 % мас.) – 8 %, води замішування – 14 %. Встановлено, що питома кількість конденсаційно-кристалізаційних контактів у вологому асфальтополімершлакобетоні становить 0,44. Діапазон температур ущільнення, який для вологих асфальтополімершлакобетонних сумішей становить 30...90 ° С відповідає найбільш компактному розміщенню частинок мінерального кістяка. Розроблений склад вологого асфальтополімершлакобетону характеризується досить високими деформаційно-міцнісними і корозійними властивостями нарівні з традиційними гарячими дрібнозернистими бетонами. Це вказує на доцільність їх застосування для поточного ремонту покриттів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг.

Ключові слова: асфальтополімершлакобетон, оптимізація, властивості, кристалізаційні контакти.

VALERY BRATCHUN, VYACHESLAV ZHEVANOV, EVGENY ROMASYUK, DMITRY BALEV, BOGDAN EGORKIN, DMITRY KOLPAKOV, ALEXANDER PUSTOVOY

DESIGNING THE COMPOSITION OF WET ASPHALT POLYMER-SLAG CONCRETE CHARACTERIZED BY THE OPTIMAL COMBINATION OF COAGULATION-CRYSTALLIZATION CONTACTS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Using the method of experimental-statistical modeling, the optimal concentration of the components of the wet asphalt-polymer slag concrete mixture was determined. It was found that the optimal ratio of components in the mixture in mass parts: screening of crushing of dump open-hearth slag – 100 %, burnt lime – 2%, liquefied bitumen modified with Butonal NS 198 latex (2 % wt.) – 8 %, mixing water – 14 %. It was found that wet asphalt slag concrete of optimized composition is characterized by the number of crystallization contacts 0,44. The compaction temperature range, which for wet asphalt-polymer slag concrete mixtures is 30...90 ° C, corresponds to the most compact arrangement of the particles of the mineral skeleton. The developed composition of wet asphalt-polymer slag concrete is characterized by sufficiently high deformation-strength and corrosive properties along with traditional hot fine-grained concrete. This indicates the expediency of their application for the current repair of the coatings of non-rigid road pavements of highways.

Key words: asphalt-polymer-slag concrete, structure, properties, patterns of structure formation.

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 формирования оптимальной структуры комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов.

Жеванов Вячеслав Владимирович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

Ромасюк Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Балев Дмитрий Олегович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Егоркин Богдан Александрович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Колпаков Дмитрий Юрьевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Пустовой Александр Сергеевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка формування оптимальної структури комплексно-модифікованих дорожніх асфальтобетонів.

Жеванов В'ячеслав Володимирович – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

Ромасюк Євген Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і

довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'яжучих.

Балєв Дмитро Олегович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'яжучих.

Єгоркін Богдан Олександрович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'яжучих.

Колпаков Дмитро Юрійович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'яжучих.

Пустовий Олександр Сергійович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'яжучих.

Bratchun Valery – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical mechanics of the formation of the optimal structure of complex-modified road asphalt concrete.

Zhevanov Vyacheslav – assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

Romasyuk Evgeny – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

Balev Dmitry – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

Egorkin Bogdan – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

Kolpakov Dmitry – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

Pustovoy Alexander – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.