

УДК 691.5

Е. А. РОМАСЮК, А. А. ВЕРЕЦУН, Д. С. БОЙКО, М. А. АБАЗА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**БЕТОНЫ ИЗ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ХОЛОДНЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Аннотация. В статье приведены сравнительные результаты исследований стандартных (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) и дисперсно-армированных бетонов из холодной органоминеральной смеси с применением синтетического фиброволокна с оценкой физико-механических и деформационно-прочностных показателей. Показано, что введение в состав органо-минеральной смеси полипропиленовых волокон позволяет повысить прочность бетона при сжатии в 1,5 раза и усталостную долговечность при воздействии циклических нагрузок в 1,7 разы. Установлено, что оптимальное содержание полипропиленового волокна в смеси находится в пределах от 0,6 до 0,8 %.

Ключевые слова: полипропиленовое волокно, холодная органо-минеральная смесь, плотность, водонасыщение, прочность, усталостная долговечность.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В последние годы для поддержания сети автомобильных дорог в надлежащем эксплуатационном состоянии внедряется превентивная система ремонтных работ, которая заключается в использовании новых энергосберегающих технологий и применении эффективных материалов: качественных битумных эмульсий, модифицированных битумов и т. д. При этом необходимо обеспечивать возможность круглогодичного проведения работ по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий без снижения их деформационно-прочностных характеристик [1].

Наиболее перспективными и экономически выгодными являются технологии, позволяющие выполнять ремонт при низких температурах окружающей среды с использованием холодной асфальтобетонной смеси, содержащей качественный минеральный материал плотного зернового состава, органическое вяжущее и различные добавки. Данную смесь приготавливают на асфальтобетонном заводе, складируют и укладывают в холодном состоянии. Таким образом, одно из преимуществ технологии производства холодной смеси состоит в возможности проводить ремонтные работы при низких температурах [1, 2].

АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из наиболее эффективных методов повышения сопротивления покрытий автомобильных дорог развитию различного рода разрушений и деформаций является использование дисперсно-армированных строительных материалов [1–9].

В настоящее время использование волокон в составе различных строительных материалов стало промышленной технологией во многих странах: Франции, Германии, Швеции, Финляндии, Польше, Канаде, Австрии и др. Согласно анализу зарубежных публикаций, для армирования асфальтобетонной смеси используют нетканый полипропиленовый материал, пропитанный битумом (США «Retromat», Канада «Geogrid ARI», Великобритания «Tensar ARI», Россия «Полимер»), сварную сетку из стальной проволоки (США, Норвегия), текстильную сетку из стекловолокна (Германия «Armi-pal-G») [5–7].

Отмечается, что использование волокон для армирования асфальтобетона приводит к:

- уменьшению упругой деформации растяжения в нижней части армированного асфальтобетонного слоя дорожного покрытия;
- повышению сопротивления образованию колеи на дорожном покрытии;
- более интенсивному снижению проникновения влаги в земляное полотно через трещины в дорожной одежде;
- снижению развития отраженных трещин в асфальтобетонном дорожном покрытии;

В Польше выполнены исследования по изучению влияния полиэфирных волокон на свойства асфальтобетона. Волокна нарезают отрезками длиной 0...20 мм и вводят в асфальтобетонную смесь в количестве 1...2 %. Отмечается, что определить оптимальное количество волокон трудно из-за ухудшения условий получения однородной массы. Добавка волокон позволила повысить на 20...30 % деформационную способность асфальтобетона при испытании на сдвигоустойчивость по Маршаллу [7].

Большой интерес представляет опыт ряда европейских и отечественных фирм («Normusend» Финляндия; «Fiberglass» Германия; «Полимер», г. Ростов-на-Дону), которые предлагают использовать отходы волокон из термопластов (капроновые, полиэтиленовые, полипропиленовые) в качестве добавок в асфальтобетон. Такие смеси получают перемешиванием расплавленных отходов волокон и термопластичных полимеров с нефтяной смолой и пластификатором. Перед устройством дорожных покрытий измельченную смесь волокон нагревают до температуры плавления и смешивают с сухими наполнителями [5, 7].

В Швейцарии дисперсное армирование асфальтобетона осуществляется волокнами, которые вводят в асфальтобетонную смесь при ее приготовлении или распределении по дорожному покрытию. При уплотнении смеси металлические волокна изгибаются и переплетаются вокруг частиц минерального материала и объединяются друг с другом, создавая достаточно прочную металлическую матрицу из перепутанных волокон [7].

Отмечается, что особое значение имеет вид обработки поверхности волокон. Лучшими являются волокна с эпоксидным и поливинилакриловыми слоями. Содержание волокон в мастике 1...2 %, в асфальтобетонной смеси – от 0,15 до 0,40 %. Добавление рубленого стекловолокна положительно отразилось на характеристиках композиционного материала при повышенных температурах, температуре размягчения мастик и устойчивости к возникновению пластических деформаций асфальтобетонных покрытий. Деформационная способность дисперсно-армированного асфальтобетона в некоторых случаях повышается до 40 %. Увеличение прочности и деформативности асфальтобетона при 0 °С снижает вероятность возникновения трещин, что особенно важно для гидротехнического строительства [7, 8].

Кроме того, выполненные исследования показали, что дисперсное армирование существенно повышает усталостную долговечность асфальтобетона, прочность на растяжение при изгибе в области отрицательных температур, повышает прочность при сдвиге при положительных температурах [5–8].

Следует отметить и негативные моменты существующих технологий дисперсного армирования. Это прежде всего необходимость предварительной обработки дисперсной арматуры поверхностно-активными веществами для обеспечения хорошей адгезии нефтяного битума к поверхности волокон; невозможность использования многих видов отходов и побочных продуктов промышленности, содержащих полимерные материалы, для дисперсного армирования асфальтобетонных смесей; ограничение длины волокон дисперсной арматуры, вызванные необходимостью обеспечения достаточной однородности смеси [5, 8].

Таким образом, введение дисперсной арматуры в асфальтобетонную смесь должно повышать деформационно-прочностные свойства асфальтобетона, при этом дисперсно-армированные асфальтобетонные смеси целесообразно применять для строительства верхних слоев покрытий автомобильных дорог I–II категорий, а также в городских условиях, на участках повышенной грузонапряженности. Наибольший эффект достигается при использовании дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей для строительства покрытий на участках интенсивного торможения автомобилей [9].

Цель работы состоит в разработке состава холодной органо-минеральной смеси, армированной полипропиленовым волокном, с повышенными деформационно-прочностными свойствами, предназначенной для ремонта дорожных покрытий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Специфика изготовления холодной органоминеральной смеси такова, что для ее получения необходим жидкий нефтяной битум. 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 разбавителя – 10,1 %; температура размягчения остатка после определения количества выпаренного разбавителя – 41 °С. Жидкий битум СГ 70/130 получен из битума БНД 60/90 Павлодарского НПЗ с добавлением разбавителя. В качестве разбавителя использовался технический керосин 12 % по массе с добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ) «Адбит» – 0,5 %.

Для исследования влияния свойств волокна армирующего полипропиленового (ВАП) на показатели качества холодной органоминеральной смеси был выбран холодный мелкозернистый асфальтобетон (тип Гх). Зерновой состав минеральной части органоминеральной смеси (табл. 1) получен дроблением и рассевом щебня непрерывной гранулометрией согласно табл. 5 ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

Таблица 1 – Зерновой состав минеральной части органоминеральной смеси без ВАП

Тип асфальтобетона	Содержание по массе, % минеральных зерен, которые меньше данного размера, мм							Ориентировочное содержание орг. вяжущего
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Асфальтобетон холодный песчаный тип «Гх»	100	72	55	42	32	23	16	6 %

Минеральный порошок использовался известняковый [10].

В качестве дисперсной арматуры принято ВАП в соответствии с ТУ.У.24.7-32781078-001:2006. Технические характеристики ВАП приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ВАП

Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей
Материал	–	полипропилен
Диаметр	мкм	18–20
Длина	мм	12
Плотность	т/м ³	0,91
Прочность на разрыв	Н/мм ²	больше 400
Температура размягчения	°С	165

Повышение содержания ВАП в асфальтобетоне приводит к постепенному снижению его средней плотности (рис. 1), что выражено в повышении пористости структуры материала из-за недостаточного количества органического вяжущего, часть которого переходит на полипропиленовые волокна. При содержании ВАП до 0,6 % средняя плотность остается практически неизменной.

Из рис. 2 видно, что водонасыщение и набухание образцов из холодной органоминеральной смеси происходит с разной интенсивностью, при содержании ВАП от 0,4 до 0,8 % менее интенсивно вследствие тщательного заполнения пор битумом. При содержании ВАП от 0,8 до 1,2 % интенсивность водонасыщения увеличивается значительно. Водонасыщение в интервале от 0,4 до 0,8 % соответствует нормативным значениям.

Следует отметить, что введение ВАП в холодную органоминеральную смесь приводит к уменьшению коэффициента водостойкости с 0,90 до 0,76 %, но при этом коэффициент водостойкости находится в нормируемых пределах [11]. Как и отмечалось выше, это происходит вследствие увеличения количества фибры в смеси, которая сорбирует часть битума на себя.

Как отмечено в работе [12], введение аналогичных по свойствам волокон в холодную органоминеральную смесь приводит к повышению пористости асфальтобетона с 18,7 % (при отсутствии ВАП в смеси) до 23,9 % (содержание волокон 1,3 %) при нормативном значении – не выше 21 %. Введение ВАП в количестве 0,3...0,8 % приводит к равномерному незначительному увеличению пористости

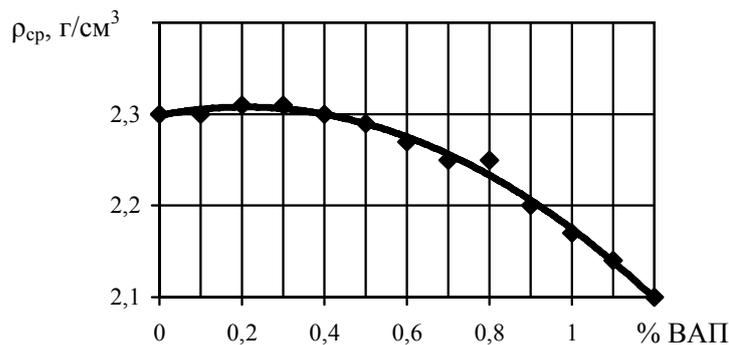


Рисунок 1 – Средняя плотность холодного асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП.

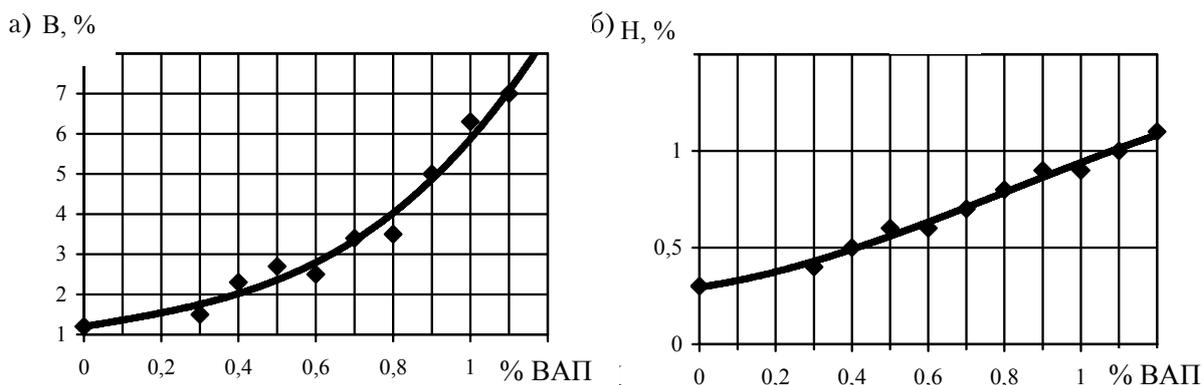


Рисунок 2 – Водонасыщение (а) и набухание (б) образцов холодного асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП.

образцов с холодной органо-минеральной смеси, это может свидетельствовать о том, что содержание битума в асфальтобетонной смеси достаточно для заполнения пор. С увеличением количества ВАП (0,8...1,3 %) происходит увеличение пористости более интенсивно.

При введении 0,3...0,5 % ВАП в органо-минеральную смесь происходит небольшой рост предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона. С увеличением содержания ВАП до 0,8 % увеличивается и предел прочности при сжатии до 2,4 МПа. Дальнейшее увеличение количества ВАП приводит к «переармированию» органо-минеральной смеси и снижению ее прочности. Но при этом прочность дисперсно-армированной смеси находится в пределах нормативного значения. Очевидно, что оптимальное содержание полипропиленового волокна будет находится в пределах от 0,6 до 0,8 %. В данном интервале наблюдается наибольший предел прочности при сжатии образцов из холодной органо-минеральной смеси при удовлетворяющих нормативным значениям водонасыщения и набухания (рис. 3).

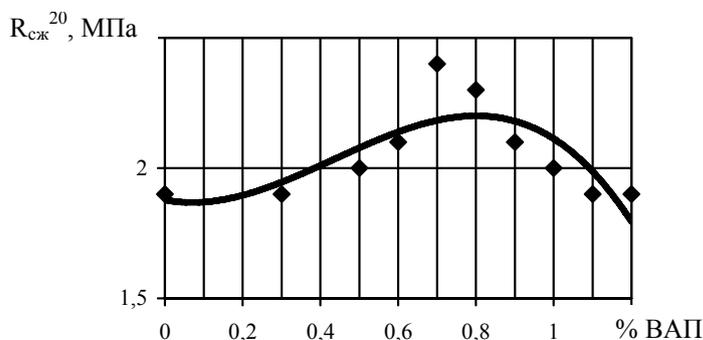


Рисунок 3 – Предел прочности при сжатии образцов асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП при температуре 20 °С.

Исследования усталостной долговечности выполнены в соответствии с работой [10] при температуре 20 °С и кратковременной нагрузки 0,8 МПа с частотой воздействия 1 Гц (нагрузка – 0,1 с, отдых – 0,9 с). Сравнительная диаграмма полученных результатов приведена на рис. 4.

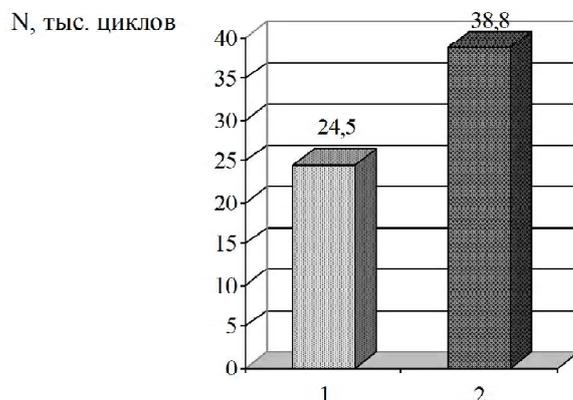


Рисунок 4 – Сравнительная диаграмма усталостной долговечности традиционного асфальтобетона типа Гх (1) и дисперсно-армированного асфальтобетона типа Гх (2) (содержание ВАП – 0,7 %).

Оптимальное содержание полипропиленового волокна – 0,7 % от массы органоминеральной смеси позволило в 1,6 раза повысить усталостную долговечность асфальтобетона типа Гх. Это свидетельствует об усилении коагуляционных связей в органоминеральной смеси вследствие переплетения волокон вокруг частиц минерального материала и объединения друг с другом, создавая достаточно прочную пространственную матрицу из перепутанных волокон. Это значительно снижает рост магистральных усталостных трещин, так как при встрече развивающейся трещины с полипропиленовыми волокнами, ВАП воспринимает растягивающие напряжения благодаря достаточно большой прочности волокон на разрыв (более 400 Н/мм²) и тем самым минимизирует развитие усталостного разрушения. Это согласуется с данными, приведенными в работе [12], в которой отмечено, что для дисперсно-армированной смеси подобного состава за счет присутствия распределенных в нем волокон, в процессе испытаний по определению остаточной деформации при постоянной нагрузке, характерен более длительный период работоспособности при высокой температуре.

Кроме того, во время выполнения испытаний наблюдалась такая закономерность – с увеличением количества ВАП в органоминеральной смеси визуально повышалась трещиностойкость лабораторных образцов. При определении предела прочности при сжатии, когда давление в плитах пресса достигло разрушительного, образцы из армированной смеси не разрушались мгновенно, как образцы, приготовленные из традиционной холодной асфальтобетонной смеси, а продолжали выдерживать нагрузки. С увеличением нагрузки образцы из армированной смеси меняли форму, но не теряли сплошность (в отличие от образцов из асфальтобетонной неармированной смеси), при этом показания силоизмерителя пресса уменьшались незначительно.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена возможность повышения физико-механических и деформационно-прочностных свойств холодного асфальтобетона введением в смесь армирующих полипропиленовых волокон. Экспериментально установлено, что оптимальное содержание ВАП в холодной органоминеральной смеси составляет 0,6...0,8 %. Это приводит к повышению предела прочности при сжатии на 26 % и усталостной долговечности на 60 % по отношению к образцам без содержания ВАП. При этом значения средней плотности и водонасыщения соответствуют нормативным значениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусел, А. В. Ремонт автомобильных дорог [Текст] : Учеб. пособие / А. В. Бусел. – Мн. : Арт Дизайн, 2004. – 208 с.
2. Зубков, А. Ф. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, Т. И. Любимова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.

3. Рабинович, Ф. Н. Некоторые вопросы дисперсного армирования бетонных материалов стекловолокном [Текст] / Ф. Н. Рабинович // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них : тезисы докладов / Госстрой СССР, ВНИИТПИ. – Рига : ЛатИНТИ, 1975. – С. 68–72.
4. Строев, Д. А. Зависимость деформативных свойств асфальтогранулобетонов от вида применяемых вяжущих и скоростей нагружения [Текст] / Д. А. Строев, С. Я. Гаркавенко // Известия высших учебных заведений «Строительство». – Новосибирск, 2009. – № 8. – С. 72–77.
5. Строев, Д. А. Дисперсно-армированные бетоны на битумно-цементном вяжущем для строительных и ремонтных работ [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Д. А. Строев. – Ростов-на-Дону, 2013. – 192 с.
6. Скрьльников, В. Зима не помеха для ямочного ремонта [Текст] / В. Скрьльников // Дороги России XXI века. – М., 2009. – № 2. – С. 58–59.
7. Маргайлик, Евгений. Дисперсно-армированный асфальтобетон в конструкциях дорожных одежд [Электронный ресурс] / Евгений Маргайлик // Строительство и недвижимость. – [2010]. – Режим доступа : <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/44/sn84421.htm>.
8. Маргайлик, Евгений. Армирование асфальтобетонных покрытий: Применение трещинопрерывающих прослоек в конструкциях дорожных одежд [Электронный ресурс] / Евгений Маргайлик // Унипром. – [2010]. – Режим доступа : <http://uniprom.com.ua/ru/technology/asfaltarming>.
9. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий [Текст] : Методические рекомендации / [В. Н. Шестаков, В. Б. Пермяков, В. М. Ворожейкин, Г. Б. Старков.]. – 2-е изд., с доп. и изм. – Омск : ОАО «Омский дом печати», 2004. – 256 с.
10. Ромасюк, Е. А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Е. А. Ромасюк. – Макеевка, 2016. – 175 с.
11. ГОСТ 9128-2009. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9128-97 ; введ. 2011-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 33 с.
12. Полякова, С. П. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон [Текст] / С. П. Полякова // Дороги и мосты. – М. : РосдорНИИ, 2013. – № 1. – С. 247–260.

Получено 09.12.2016

Є. О. РОМАСЮК, О. О. ВЕРЕЦУН, Д. С. БОЙКО, М. А. АБАЗА
 БЕТОНИ З ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ ХОЛОДНИХ ОРГАНО-
 МІНАРЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ДЕФОРМАЦІЙНО-
 МІЦНІСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті наведено порівняльні результати досліджень стандартних (ДСТУ Б В.2.7-119: 2011) і дисперсно-армованих бетонів з холодної органо-мінеральної суміші із застосуванням синтетичного фіброволокна з оцінкою фізико-механічних і деформаційно міцнісних показників. Показано, що введення до складу органо-мінеральної суміші поліпропіленових волокон дозволяє підвищити міцність бетону при стисканні в 1,5 рази і утомленісну довговічність при впливі циклічних навантажень в 1,7 разу. Встановлено, що оптимальний вміст поліпропіленового волокна в суміші знаходиться в межах від 0,6 до 0,8 %.

Ключові слова: поліпропіленове волокно, холодна органо-мінеральна суміш, щільність, водонасичення, міцність, усталісна довговічність.

EVGENY ROMASYUK, ALEXANDER VERETSUN, DARIA BOYKO,
 MARINA ABAZA
 CONCRETE OF GLASS FIBER COLD ORGANIC-COMPOUNDS WITH
 IMPROVED DEFORMATION-STRENGTH PROPERTIES
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article presents the results of organic-compound studies of standard and fiber concrete from the cold organic-compound mixture with synthetic fiberglass with the assessment of the physical and mechanical deformation and strength characteristics. It has been shown that the introduction of the organic-compound mixture of polypropylene fibers can increase the strength of concrete in compression to 1.5 times the fatigue life when subjected to cyclic loading in 1.7 times. It has been found out that the optimum content of the polypropylene fibers in the mixture ranges from 0.6 to 0.8 %.

Key words: polypropylene fiber by organic mixture is cool, density, water saturation, durability, fatigue life.

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.

Верещун Александр 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.

Бойко Дарья Сергеевна – 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.

Абаза Марина Анатольевна – 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.

Ромасюк Євген Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Верещун Олександр 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.

Бойко Дар'я Сергіївна – 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.

Абаза Марина Анатоліївна – 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.

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 traveling concretes for building of structural layers of non-rigid traveling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

Veretsun Alexander – Master's student, 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.

Boyko Daria – Master's student, 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.

Abaza Marina – Master's student, 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.