

EDN: KIBNRQ

УДК 691.168

**Е. А. РОМАСЮК, Э. Л. РАДЮКОВА, В. А. СНЫГА, Н. Р. МИХАЙЛОВ, Д. Р. КОВТУН, М. А. ХОЛИН,  
Д. А. КОВАЛЬСКИЙ**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований усталостной долговечности щебеночно-мастичных асфальтобетонов при действии кратковременных циклических нагрузок и сравнение их с традиционными горячими асфальтобетонами типов «А» и «Б». Характерно, что щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает большим количеством циклов до разрушения по сравнению с мелкозернистыми асфальтобетонами и обладает меньшей температурной чувствительностью в диапазоне температур от 20 °С до минус 30 °С. Установлено, что комплексная модификация структуры щебеночно-мастичного асфальтополимербетона реакционноспособным термопластом марки «Elvaloy-AM» позволила повысить усталостную долговечность при динамическом нагружении в 1,6 раз. Покрытия из смесей комплексно-модифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов целесообразно устраивать на участках дорог где действуют преимущественно статические нагрузки от автотранспортных средств: остановки общественного транспорта, развязки в одном уровне.

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичный асфальтобетон, усталостная долговечность, прочность, комплексная модификация.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Автомобильные дороги являются важной частью транспортной системы государства и в значительной мере влияют на его социально-экономическое развитие. За последние десятилетия на дорогах первой, второй и третьей технических категорий наблюдается значительный рост среднегодовой суточной интенсивности движения. При этом постоянно увеличивается доля большегрузных автомобилей, среди которых значительную часть занимают крупнотоннажные многоосные автопоезда. Вследствие этого дорожное покрытие автомобильной дороги испытывает воздействие многократных циклических нагрузок, которые приводят к развитию в материале усталостных разрушений, характерных для всех материалов, применяемых для строительства конструктивных слоев дорожной одежды. В результате комплексного воздействия атмосферных факторов и транспортных нагрузок снижается усталостная выносливость дорожного покрытия, возникают макроскопические трещины, увеличивается водопроницаемость слоев и, как следствие, снижается срок службы дорожного покрытия [1].

В настоящее время основным материалом для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог являются дорожные асфальтобетонные смеси.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Теоретической основой для выполнения исследований в области разработки составов модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности являются работы Г. С. Бахраха, В. И. Братчуна, Л. Б. Гезенцева, В. А. Золотарева, С. К. Илиополова, А. В. Руденского, Б. Б. Телтаева, Е. В. Угловой и других отечественных и зарубежных исследователей [1–7].

© Е. А. Ромасюк, Э. Л. Радюкова, В. А. Сныга, Н. Р. Михайлов, Д. Р. Ковтун, М. А. Холин,  
Д. А. Ковальский, 2024



Начиная с 2010-х годов в Российской Федерации все больше применяется щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) для устройства верхних слоев покрытия автомагистралей. Этот материал имеет специфические эксплуатационные показатели, а именно: б?льшую долговечность по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонами, пониженный уровень шума, устойчивость к образованию колеи. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны характеризуются жесткой каркасной структурой из щебня, благодаря которой укладка возможна тонкими слоями, что позволяет снизить удельный расход материала [1–3].

Начиная с 2022 года после вхождения Донецкой Народной Республики в состав Российской Федерации в регионе активно используется ЩМА для капитального ремонта и усиления высоконагруженных республиканских автомобильных дорог. В связи с тем, что недостаточно изучены вопросы усталостной выносливости щебеночно-мастичных асфальтобетонов при действии циклических нагрузок является целесообразным экспериментальное изучение усталостных процессов и разработка способов повышения усталостной долговечности щебеночно-мастичных асфальтобетонов для дорожно-климатических условий ДНР.

**Цели:** экспериментальное исследование усталостной долговечности щебеночно-мастичных асфальтобетонов при действии кратковременных циклических нагрузок и разработка способов её повышения.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для исследования усталостной долговечности при воздействии статических и динамических нагрузок были приняты асфальтобетоны мелкозернистые типов «А» и «Б» (составы проф. В. А. Золотарева), соответствуют ГОСТ 9128-2013 и щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА-10) соответствует ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», с введением в состав гранулированной стабилизирующей целлюлозной добавки на основе битума – Antrocel-G. Гранулометрические составы используемых асфальтобетонов приведены в табл. 1.

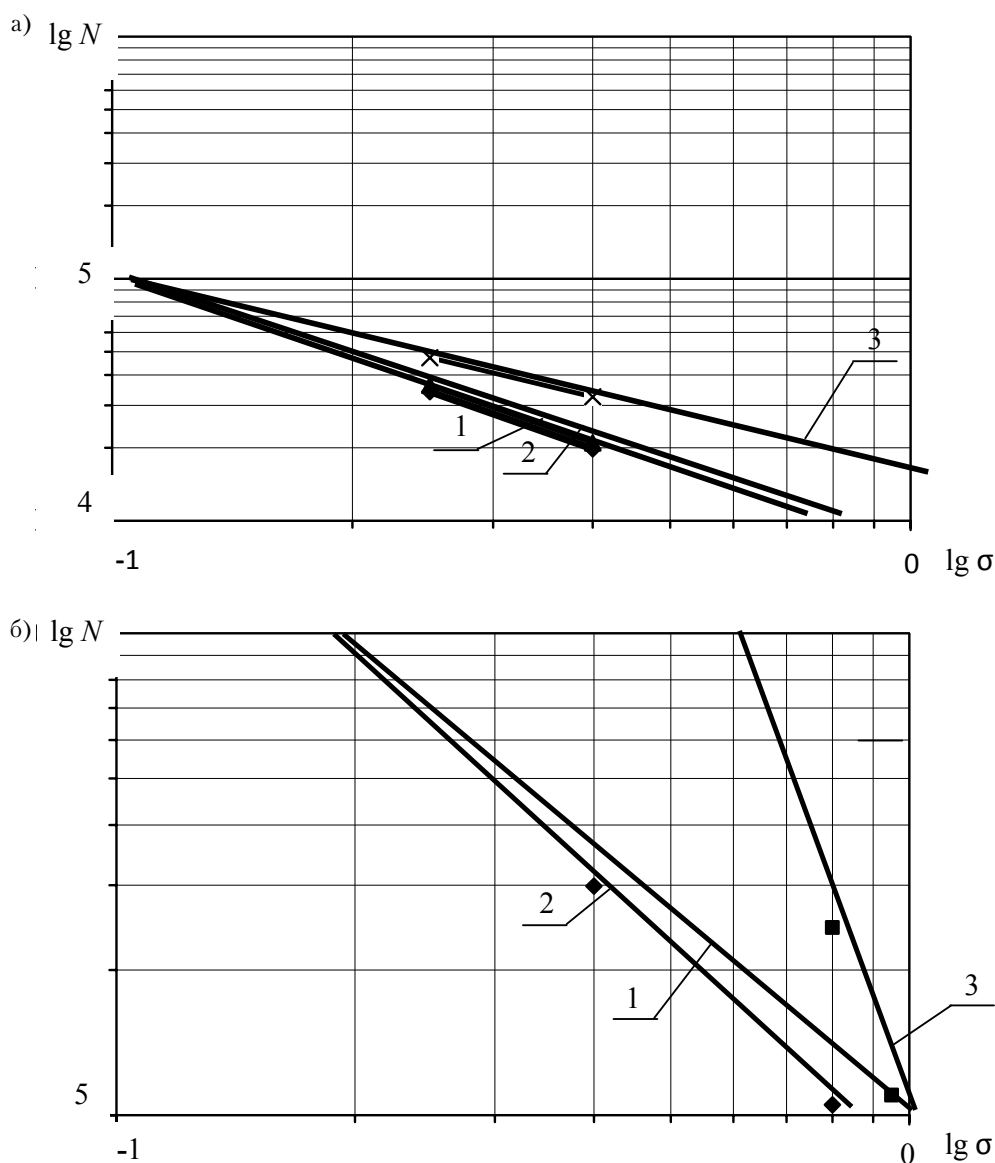
**Таблица 1** – Гранулометрические составы асфальтобетонов

Тип асфальтобетона	Полные остатки на ситах, %									Содержание орг. вяжущего	Добавки в мин. часть
	15–10	10–5	5–2,5	2,5–1,25	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,14	0,14–0,071	< 0,071		
Асфальтобетон плотный горячий, тип «А»	29	21	15	1	8	11	5	3	7	5 %	–
Асфальтобетон плотный горячий, тип «Б»	22,8	17,2	17,2	12,8	8,3	6,5	4,8	3,2	7,2	5 %	–
Щебеночно-мастичный асфальтобетон, ЩМА-10	50	25	5	2	2	2	2	2	10	6 %	Antrocel-G, 0,45 %

Исследование усталостной долговечности асфальтобетонов при действии статических и динамических нагрузок в интервале температур от минус 10 до 20 °С выполнено на установке [1, 4, 5] на стандартных асфальтобетонных образцах-балочках (16×4×4 см) в режиме постоянных циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и замером величин прогиба образца. Режимы циклического нагружения: нагрузка – от 0,1 до 0,5 с; отдых – от 0,2 до 0,9 с.

Величина циклической нагрузки: 10...50 % от разрушающей. Температурные режимы испытания: –10 °С, 0, 10, 20 °С. Схема приложения нагрузки – двухточечная с целью создания зоны постоянного изгибающего момента в балочке, для обеспечения чистого изгиба образца, т. е. прогиба по линии окружности.

Усталостная долговечность асфальтобетонов в логарифмической системе координат в зависимости от температуры испытаний приведена на рис. 1, 2. Режим действия кратковременной нагрузки: 0,1 с – нагружение; 0,9 с – отдых, т.е. циклическая нагрузка с частотой в 1 Гц.

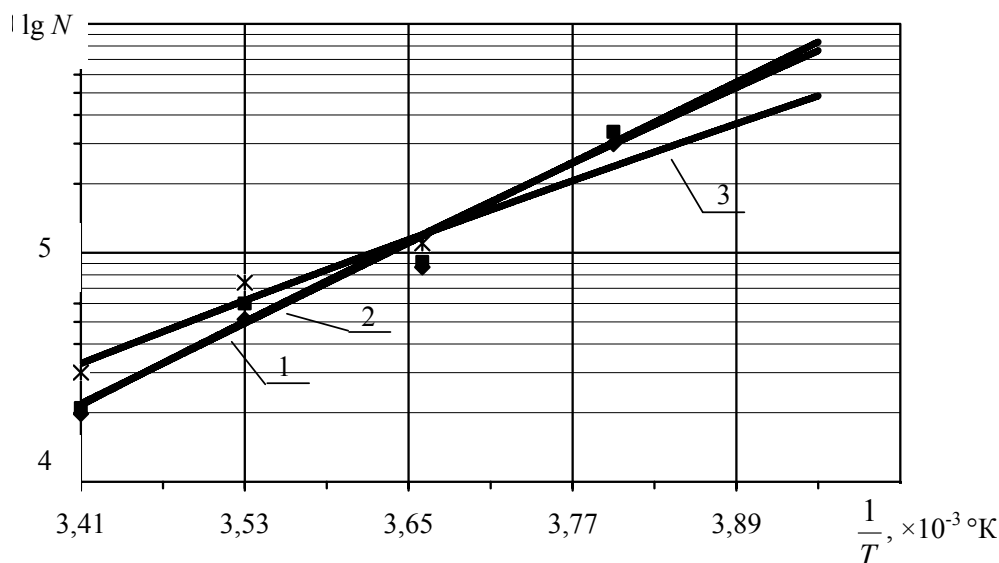


**Рисунок 1** – Усталостная долговечность асфальтобетонов: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»); 3 – ЩМА-10 с добавкой Antrocetel-G: а) 20 °С; б) минус 10 °С.

Исходя из полученных зависимостей (рис. 1), получены коэффициенты усталостной долговечности, рассчитанные по формуле проф. А. В. Руденского (1) [6] для исследуемых асфальтобетонов, которые приведены в таблице 2.

Испытания асфальтобетонов типов «А» и «Б» (ГОСТ 9128-2013) показали, что количество циклов до разрушения крупнозернистого асфальтобетона при заданных напряжениях несколько ниже, чем среднезернистого, и характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала из-за повышенного содержания крупного минерального заполнителя. При этом коэффициенты усталостной долговечности для обоих типов асфальтобетонов различаются незначительно.

Большим количеством циклов до разрушения по сравнению со стандартными асфальтобетонами при всех температурах испытания характеризуется ЩМА, несмотря на повышенное содержание



**Рисунок 2** – Температурная зависимость усталостной долговечности асфальтобетонов при кратковременном циклическом напряжении 0,4 МПа: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»); 3 – ЩМА-10 с добавкой Antrocel-G.

**Таблица 2** – Значения коэффициентов усталостной долговечности

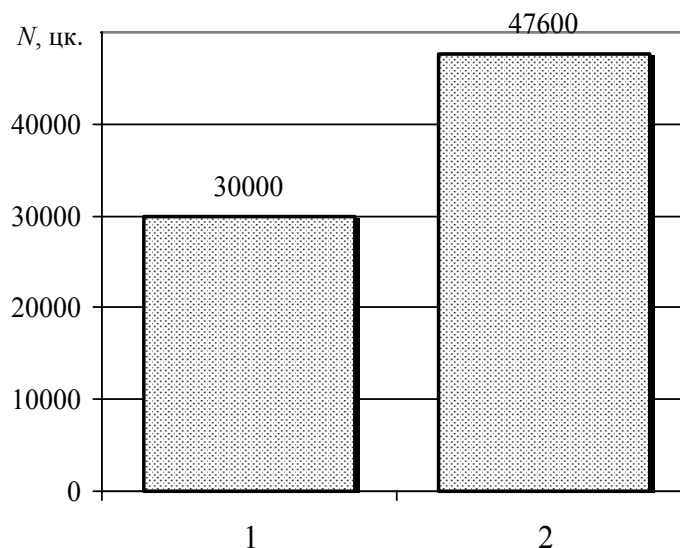
Температура испытания, °С	Коэффициенты усталостной долговечности* ( <i>m</i> ) асфальтобетонов следующих типов		
	Тип «А»	Тип «Б»	ЩМА-10
+20	0,65	0,67	0,83
-10	0,46	0,41	0,40

\*Примечание: меньшие значения коэффициента *m* свидетельствуют о большей усталостной долговечности асфальтобетона.

крупных фракций щебня. Это свидетельствует о том, что структура ЩМА имеет более жесткий пространственный каркас, который способен более эффективно воспринимать заданные динамические напряжения. Повышенное содержание асфальтовязущего вещества в ЩМА приводит к снижению остаточной пористости и, следовательно, источников концентраторов напряжений и повышению усталостной долговечности. Но в то же время, на зависимостях (рис. 1, б) заметно, что линия наклона усталостной долговечности к линии абсцисс имеет более пологий угол по сравнению с другими асфальтобетонами, поэтому коэффициент *m* для ЩМА оказался самым высоким из всех типов асфальтобетонов. Следовательно, при большом количестве циклов динамической нагрузки усталостные разрушения в материале будут развиваться быстрее, чем в традиционном мелкозернистом асфальтобетоне. Это связано с тем, что слабоструктурированный битум раздвигает зерна минерального остова ЩМА. Присутствие слабоструктурированного битума в ЩМА способствует некоторому увеличению пластической деформативности при растяжении (особенно при отрицательных температурах), а также снижению когезионной прочности материала при положительных температурах. Это подтверждается в работе [7], в которой показано, что в результате испытаний на прочность при сжатии ЩМА имел более низкие показатели в сравнении с горячими асфальтобетонами типов «А» и «Б», тогда как предел прочности при изгибе достаточно высок (выше, чем у типов «А» и «Б»).

Температурная зависимость динамической циклической усталостной долговечности бетонов на органических вяжущих (рис. 2) свидетельствует о том, что ЩМА-10 имеет более пологий характер в диапазоне температур от 20 °С до минус 30 °С, что свидетельствует об его меньшей температурной чувствительности. С повышением температуры снижается выносливость асфальтобетонов при заданных режимах нагружения.

Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют об усилении однородности коагуляционных контактов в ЩМА с комплексно-модифицированной микро-, мезо-, макроструктурой и более высокой



**Рисунок 3** – Сравнительные данные усталостной долговечности (20 °С, 0,4 – 0,45 МПа): 1 – стандартный ЩМА-10; 2 – ЩМА-10 с комплексно-модифицированной структурой реакционно-способным термопластом марки «Elvaloy-AM» [4].

адгезионной прочностью и меньшей величины относительной деформации пленочного модифицированного органического вяжущего. В частности, модифицированный этиленглицидилакрилатом (2 % мас.) нефтяной дорожный битум БНД 130/200 ( $P_{25} = 151$  град.) имеет интервал пластичности (ИП) 78 °С против ИП БНД 130/200 57 °С, эластичность при 0 °С – 62 %, против 0 %, а при 25 °С  $\mathcal{E}_{25} = 77$  % против 0 %, адгезия по ГОСТ Р 58952.10-2020 составляет 89 % против 18 %, когезия – 0,039 МПа против 0,022 МПа [1, 4].

### ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется большим количеством циклов до разрушения по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонами типов «А», «Б» и обладает меньшей температурной чувствительностью в диапазоне температур от 20 °С до минус 30 °С. Установлено, что комплексная модификация структуры щебеночно-мастичного асфальтополимербетона реакционноспособным термопластом марки «Elvaloy-AM» позволила повысить усталостную долговечность при динамическом нагружении (напряжение – 0,45 МПа, частота воздействия – 1 Гц) в 1,6 раз.

Таким образом, одним из эффективных способов повышения усталостной долговечности ЩМА при воздействии кратковременных циклических нагрузок является комплексная модификация его структуры высокоэффективными полимерными модификаторами (термоэластопластами). Структурно-упрочненный слой термоэластопласта на поверхности механоактивированного минерального материала обеспечивает высокую адгезию битумополимерного вяжущего в результате увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований полимерного модификатора с олеофильной поверхностью и диффузии в адсорбционные слои полимера на поверхности минеральных материалов. Это приводит к снижению количества пор и дефектов в структуре асфальтобетона, что положительно отражается и на усталостной долговечности материала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО НП «Фолиант», 2020. – 244 с. – ISBN 978-5-60439707-4-6. – Текст : непосредственный.
2. Кирюхин, Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. – Москва : ООО Издательство «Элит», 2009. – 176 с. – ISBN 978-5-902405-80-1. – Текст : непосредственный.
3. Калгин, Ю. И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография / Ю. И. Калгин. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 2006. – 272 с. – ISBN: 5-9273-0788-4. – Текст : непосредственный.

4. Ромасюк, Е. А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ромасюк Евгений Александрович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2016. – 175 с. – Текст : непосредственный.
5. Измерение упругой деформации асфальтобетонных образцов-балочек с применением емкостного датчика / В. И. Братчун, В. В. Ставцев, Е. А. Ромасюк [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – Выпуск 2018-1(129) Современные строительные материалы. – С. 5–10. – URL : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2018/vestnik\\_2018-1\(129\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-1(129).pdf) (дата публикации: 23.03.2018).
6. Телтаев, Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог / Б. Б. Телтаев. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2011. – № 2. – С. 88–100.
7. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дровалева Ольга Валерьевна ; Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с. – Текст : непосредственный.

Получена 19.12.2023

Принята 26.01.2024

EVGENIY ROMASYUK, ELINA RADYUKOVA, VASILIIY SNYGA,  
NIKOLAY MIKHAILOV, DMITRIY KOVTUN, MICHAIL KHOLIN,  
DMITRIY KOVALSKY  
FATIGUE DURABILITY RESEARCH CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT  
CONCRETE

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Donetsk People's Republic, Makeevka

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the fatigue life of crushed stone-mastic asphalt concrete under the action of short-term cyclic loads and compares them with traditional hot asphalt concrete of types «А» and «В». It is characteristic that crushed stone-mastic asphalt concrete has a greater number of cycles before failure compared to fine-grained asphalt concrete and has less temperature sensitivity in the temperature range from 20 °C to minus 30 °C. It was established that the complex modification of the structure of crushed stone-mastic asphalt-polymer concrete with a reactive thermoplastic of the Elvaloy-AM brand made it possible to increase the fatigue life under dynamic loading by 1.6 times. It is advisable to install coatings made from mixtures of complex-modified crushed stone-mastic asphalt concrete on road sections where there are predominantly static loads from vehicles: public transport stops, interchanges at one level.

**Keywords:** crushed-mastic asphalt concrete, fatigue durability, strength, complex modification.

**Ромасюк Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов технологичных и долговечных асфальтобетонов для устройства и ремонта конструктивных слоев жестких дорожных одежд.

**Радюкова Элина Львовна** – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны повышенной долговечности.

**Сныга Василий Александрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Михайлов Николай Русланович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Ковтун Дмитрий Романович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Холин Михаил Андреевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Ковальский Дмитрий Александрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Romasyuk Evgeniy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of compositions of technological and durable asphalt concrete for the device and repair of structural layers of non-rigid road clothes.

**Radyukova Elina** – post-graduate student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: complex modified asphalt polymer concrete of increased durability.

**Sniga Vasily** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

**Mikhailov Nikolay** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

**Kovtun Dmitriy** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

**Kholin Michhail** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

**Kovalsky Dmitriy** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.