

Научная статья

УДК 691.168

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-34-48

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

А.Г. Загора<sup>1</sup>, А.И. Ткачук<sup>1</sup>, Р.Р. Мухаметов<sup>1</sup>, Г.Б. Эльдяева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Представлен обзор исследований и разработок, связанных с модификацией асфальтобетонных смесей различными типами эпоксидных смол и отвердителей. Развитие мировой экономики невозможно без применения новых технологий в строительстве автомобильных дорог и мостов. Одним из наиболее эффективных вариантов модификации традиционных асфальтобетонных автодорожных покрытий является введение в состав битума эпоксидных композиций. Главный результат применения эпоксидного асфальта – заметное повышение физико-механических характеристик и влагостойкости, по сравнению с обычным асфальтом.

**Ключевые слова:** эпоксидный асфальт, полимерные битумные вяжущие, эпоксидные асфальтобетонные покрытия, эпоксидные смолы

**Для цитирования:** Загора А.Г., Ткачук А.И., Мухаметов Р.Р., Эльдяева Г.Б. Применение эпоксидных композиций при разработке асфальтобетонных покрытий // Труды ВИАМ. 2024. № 2 (132). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-34-48.

Scientific article

## APPLICATION OF EPOXY COMPOSITIONS IN THE DEVELOPMENT OF ASPHALT CONCRETE COATINGS

A.G. Zagora<sup>1</sup>, A.I. Tkachuk<sup>1</sup>, R.R. Mukhametov<sup>1</sup>, G.B. Eldyaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** This work is devoted to a review of researches and developments related to the modification of asphalt concrete mixtures with various types of epoxy resins and hardeners. The development of the world economy is impossible without the use of new technologies in the construction of roads and bridges. One of the most effective options for modifying traditional asphalt concrete road pavements is the introduction of epoxy compositions into the bitumen composition. The main result of using epoxy asphalt is a noticeable increase in physical and mechanical characteristics and moisture resistance compared to a conventional asphalt.

**Keywords:** epoxy asphalt, polymer bitumen binders, epoxy asphalt concrete coatings, epoxy resins

**For citation:** Zagora A.G., Tkachuk A.I., Mukhametov R.R., Eldyaeva G.B. Application of epoxy compositions in the development of asphalt concrete coatings. *Trudy VIAM*, 2024, no. 2 (132), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-2-34-48.

### Введение

Непрерывный рост населения Земли влечет за собой развитие промышленного производства, а следовательно, и логистики. В связи с этим строительство автомобильных дорог – одна из важнейших задач для любого государства. В развитых странах общая протяженность асфальтобетонных покрытий составляет >75 % автомобильных дорог, при этом в России в настоящее время ~70 % грузов перевозят автомобильным транспортом, поэтому существенные денежные средства расходуются на строительство новых дорог и ремонт существующих.

Поскольку постоянно возрастают нагрузки на дорожное покрытие, увеличивается интенсивность движения транспорта, а также возникают специфические условия эксплуатации объектов дорожного строительства (путепроводов, мостов, развязок) в различных климатических условиях, то необходимо предъявлять повышенные требования к дорожным покрытиям.

Интенсивное развитие сети автомобильных дорог по всему миру в XX в. было бы невозможно без битумных вяжущих, получаемых в результате переработки нефти. На протяжении последних десятилетий в состав дорожных битумных вяжущих, являющихся, наряду с каменным наполнителем, обязательной составляющей асфальтобетонных смесей, вводятся различные добавки – олигомерные или полимерные компоненты, пластификаторы, поверхностно-активные вещества, отходы различного происхождения. К недостаткам данных материалов следует отнести недостаточно высокие прочностные характеристики, низкие гидроизоляционные свойства, что в свою очередь не позволяет обеспечить длительную эксплуатацию дорожных покрытий в жестких и разнообразных климатических условиях нашей страны. Кроме того, возросшая интенсивность дорожного движения и повысившиеся требования к качеству дорожного полотна привели к тому, что асфальтобетоны на основе немодифицированного битума уже не в состоянии удовлетворять современным требованиям. Улучшить характеристики асфальтобетона, а значит, и качество автомобильных дорог с твердым покрытием возможно благодаря частичной замене битумных вяжущих синтетическими связующими как термопластичной природы, так и терморективной. Среди термопластичных модификаторов известны: полиэтилен, полипропилен, сополимер этилена и винилацетата, продукты сополимеризации стирола и бутадиена-1,3 и др. [1–3], способные образовывать в битумах сетку, сопротивляющуюся деформированию, повышать эластичность, когезию и адгезионные свойства. Такие термопласты чаще применяют в южных районах России, где недостатки, характерные в целом для полимерно-битумных вяжущих на основе термопластов, такие как недостаточная эластичность и трещиностойкость при низких отрицательных значениях температуры, не проявляются [4, 5]. Применение данных модификаторов позволяет получать асфальтобетонные покрытия, соответствующие многим конструкционным требованиям. Однако они имеют ряд недостатков, среди которых ограниченное улучшение эластичности, стабильности при хранении и высокая термическая чувствительность.

Экономически эффективными модификаторами для нефтяных битумов являются те, которые доступны по стоимости и обладают следующими свойствами:

- не разрушаются при температуре приготовления смеси;
- совместимы с битумом при проведении процесса перемешивания;
- увеличивают сопротивление битумов к воздействию сдвиговых напряжений и делают битум более эластичным при низких температурах;
- химически стабильны, сохраняют свои свойства при работе в дорожном покрытии.

Существенно уменьшить и даже устранить недостатки термопластичных модификаторов возможно благодаря применению реактопластичных модификаторов [6].

Одной из лучших разновидностей терморезактивных матриц для повышения технологических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона является матрица на основе эпоксидных смол [7–9], поскольку они обладают такими преимуществами, как промышленная доступность, низкая стоимость и усадка при отверждении, высокая адгезионная механическая прочность, а также характеризуются хорошей химической стойкостью.

Данная работа посвящена обзору исследований и разработок, связанных с модификацией асфальтобетонных смесей различными типами эпоксидных смол и отвердителей, и выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ».

Идея применения эпоксидных композиций в строительной отрасли известна с 1960-х гг. XX в. В 1965 г. запатентован способ модификации цемента эпоксидными олигомерами и отвердителями [10]. Однако лишь в конце прошлого века в связи с возросшей интенсивностью дорожного движения и повысившимися требованиями к качеству дорожного полотна на рынке сложилась ситуация, когда асфальтобетоны на основе немодифицированного битума не были в состоянии удовлетворять современным требованиям к качеству покрытия.

Таким образом, лишь в конце прошлого века началась эпоха промышленного использования эпоксидных смол для модификации дорожного битума для создания недорогого и надежного асфальтобетона.

Первым крупным промышленным применением эпоксидных асфальтобетонных покрытий явилось строительство в конце XX в. второго Нанкинского моста через реку Янцзы в Китае [11]. С тех пор разработки рецептур и технологий строительства дорог из эпоксидного асфальта непрерывно развиваются [12, 13].

В настоящее время эпоксидный асфальт – это особый вид материала, сочетающий эпоксидные смолы, отвердители и саму минеральную структуру. Медленно твердеющий эпоксидный асфальтобетон имеет высокие физические свойства и малую чувствительность к температурным перепадам. Основываясь на характеристиках материала, его можно разделить на три основных вида: теплого, горячего и холодного смешения [14].

Мировым лидером по разработке и созданию теплых эпоксидных асфальтобетонных автодорожных покрытий является крупная зарубежная компания ChemCo Systems (США, штат Калифорния) [15], у которой также имеется европейский филиал в Германии. С этой компанией активно сотрудничают китайские партнеры. За последние 20 лет около 40 мостов в Китае построено с применением эпоксидных асфальтобетонных покрытий. Среди достижений компании также следует отметить участие в строительстве моста Сан-Франциско–Окленд Бей. На мост поверх легкого бетона наносили эпоксидный асфальт толщиной 19 мм. Покрытие продемонстрировало высокую износостойкость. Ежедневно по данному мосту проезжает 280000 автомобилей. Теплые эпоксидные асфальтобетоны при приготовлении требуют строжайшего контроля каждого параметра. Температура смешивания должна составлять 110–121 °С, а укладка должна быть закончена в течение 55 мин после приготовления смеси. Вяжущее состоит из двух компонентов – эпоксидной смолы и смеси отвердителя и битума. Покрытие набирает прочность в течение 30–45 дней после завершения укладки.

Горячие эпоксидные асфальтобетоны состоят из эпоксидных вяжущих. Лидером в этой области является японская компания TAF, которая занимается разработкой и производством горячих эпоксидных асфальтобетонов с температурой смешения компонентов 170–185 °С и укладкой в течение 120 мин после приготовления смеси [16]. Вяжущее состоит из трех компонентов: эпоксидной смолы, отвердителя и битума. Покрытие набирает прочность в течение 3–5 дней после завершения укладки.

По сравнению с горячим и теплым эпоксидным асфальтом, эпоксидный асфальт холодного смешения можно рассматривать как «зеленый» материал и материал для мощения [17]. Кроме того, холодный эпоксидный асфальт успешно используют при замене холодной токсичной смолосодержащей эмульсии на взлетно-посадочных полосах.

Применение полиэфирамина в качестве отвердителя позволяет сократить продолжительность отверждения эпоксидного асфальта после его уплотнения до 1 ч при 160 °С и до 3 сут при 60 °С [18]. Для данной цели также применяют капсулированный ускоритель 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол [19].

В настоящее время в России отсутствуют крупные компании, занимающиеся разработками эпоксидного асфальта и его применением в строительной отрасли. Вместе с тем следует отметить появление отечественных работ, проводимых в отраслевых институтах по модификации асфальтобетона с помощью эпоксидных смол и аминных отвердителей [20]. Результаты данной работы показали, что использование смолы ЭД-20 в количестве 3 % от количества битума в составе смеси и полиэтиленполиамина (ПЭПА) (рис. 1), введенного в качестве поверхностно-активного вещества в минеральный порошок (1 % от массы порошка), позволяет существенно улучшить показатели технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей: снижается температура выпускаемой смеси, улучшается качество и снижается продолжительность перемешивания, повышается удобообрабатываемость смеси при укладке и уплотнении. Установлено также, что применение битума с добавкой эпоксидной смолы позволило снизить энергозатраты за счет снижения температуры при перемешивании и уплотнении асфальтобетонной смеси в среднем на 35 %.

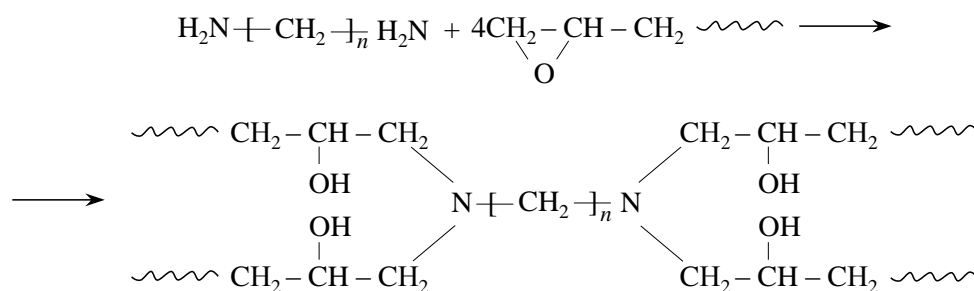


Рис. 1. Схема одного из вариантов химической реакции отверждения эпоксидных групп олигомера ЭД-20 полиэтиленполиамином (ПЭПА)

В работе [4] использовали нефтяной битум марки БНД 90/130, в который при температуре 165 °С одновременно вводили сэвилен марки 11708-210, содержащий 26–28 % винилацетата, и сшивающий агент 3-глицидилоксипропилтриметоксисилан (эпоксисилан производства ООО «Пента-91» по ТУ 2437-210-40245042–88), являющийся гетерофункциональным телехелатным веществом, эпоксигруппа которого способна к химическому взаимодействию с карбоксильной группой асфальтенобитума (рис. 2), а метоксисилановые группы реагируют с ацетильными фрагментами сэвилена. Перемешивание компонентов осуществляли в течение 2 ч с последующей выдержкой при той же температуре в течение времени, необходимого для окончания химической реакции.

Таким образом, авторы смогли за счет химического взаимодействия компонентов в полимерно-битумных композициях обеспечить их однородность и стабильность, что в свою очередь снизило вероятность расслоения композиции из-за разности значений плотности битумов и модификаторов [21].



Содержание асфальта в системе может быть различным. Однако при его повышении до 50–60 % (по массе) наблюдается инверсия фаз. При увеличении массовой доли асфальта увеличивается и размер его твердых сферических частиц из-за низкой совместимости с ними эпоксидных олигомеров при смешении, а также процессов агрегации частиц асфальта. Для улучшения совместимости в состав вводят эпоксидированное соевое масло [27], которое является эффективным флексибилизатором [28]. С увеличением концентрации такого масла снижается вязкость композиции, уменьшается размер частиц асфальта и они более равномерно в ней распределяются. Эпоксидированное соевое масло также увеличивает жизнеспособность эпоксидной композиции.

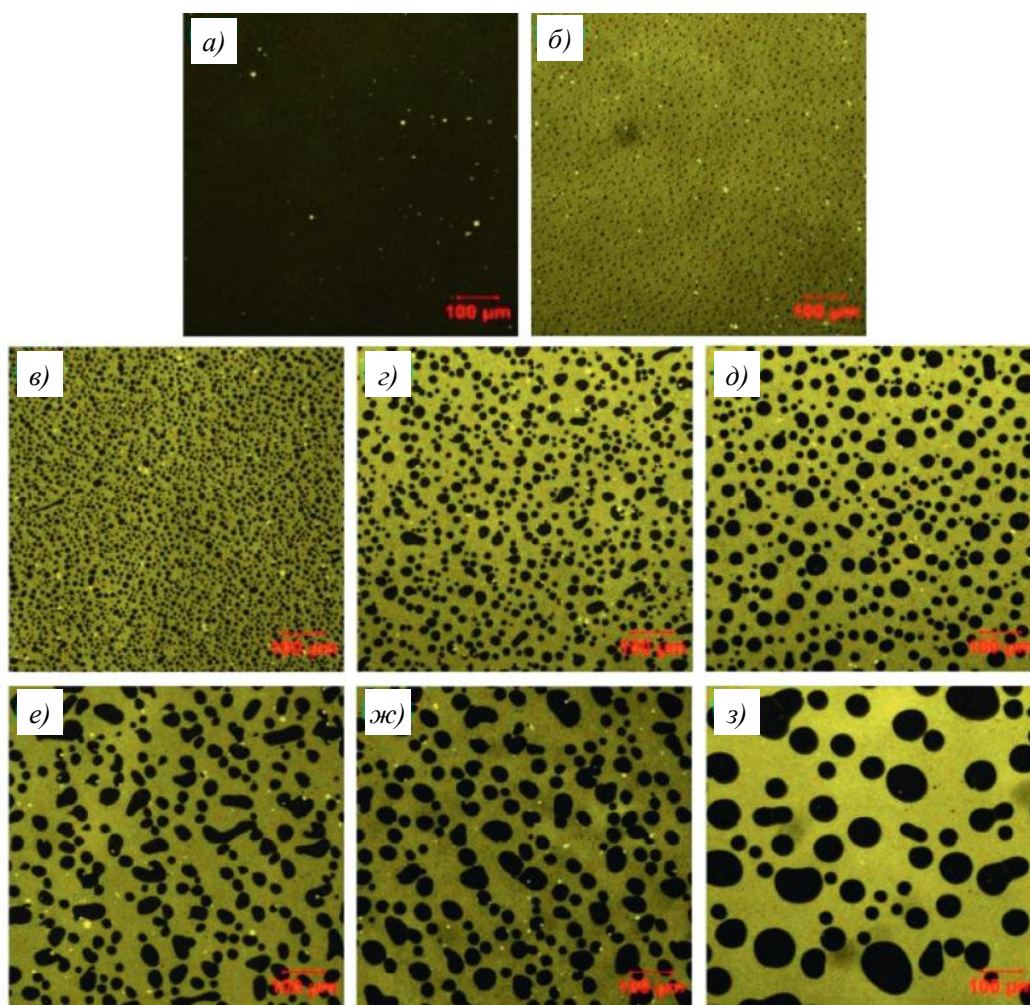


Рис. 4. Микроструктура образцов эпоксидного асфальта с продолжительностью отверждения при температуре 150 °С: 0 (а), 3 (б), 5 (в), 10 (г), 15 (д), 20 (е), 30 (ж) и 60 мин (з)

Применение в дорожном строительстве эпоксидированного соевого масла наряду с другими природными эпоксидными соединениями взамен эпоксидных олигомеров, полученных промышленным путем, в настоящее время является актуальной задачей [29]. Ее решение позволяет снизить использование невозобновляемых природных ресурсов, что особенно важно из-за их непрерывного истощения. Данные экологические технологии являются одним из примеров стремления к принципам «зеленой» химии.

Однако активное внедрение эпоксидных смол на биологической основе в производство конструкционных материалов (клеев, компаундов и эпоксидных связующих) лимитирует их более низкие прочность при растяжении и пластичность по

сравнению со смолами на основе ископаемого топлива. Вследствие этого использование таких продуктов не находит широкого применения в мире, хотя сообщество в разных странах готово принять экологически чистые материалы, но не за счет потери их эффективности и производительности. В то же время для модификации асфальта необходимо использовать компоненты с высокими рабочими температурами эксплуатации ( $>100$  °C), что позволяет применять эпоксидные смолы и отвердители на основе алифатических жирных кислот, модифицировать матрицу для получения гибких фрагментов полимерной цепи и создавать материалы, характеризующиеся высокими эластическими свойствами.

Помимо традиционных отверждающих агентов, применяют также такие природные эпоксидные соединения, как малеиновая трехосновная кислота тунгового масла; отвердитель, полученный из жирных кислот тунгового масла; поликарбоновая кислота на основе крафт-лигнина.

Основные проблемы, возникающие при строительстве автомобильных дорог, следующие: небольшое время строительства, обусловленное процессами гелеобразования и отверждения; высокая температура конструкции и низкая обрабатываемость поверхности, что в конечном счете может повлиять на характеристики дорожного покрытия. Одним из вариантов решения данных проблем является применение вспененного эпоксидного асфальта [30, 31], что позволит снизить температуру смешивания, улучшить обрабатываемость смеси, увеличить адгезию между асфальтом и заполнителями.

Ученые из Чанъаньского университета (г. Сиань, Китай) изучали реологические и усталостные свойства асфальтобетонного вяжущего [32]. Битумную массу модифицировали эпоксидной композицией, в состав которой входили: эпоксидный олигомер на основе диглицидилового эфира бисфенола А с содержанием эпоксидных функциональных групп 0,52 моль/100 г производства компании Shanghai Xinhua Resin Co, Ltd (Китай); отвердитель, представляющий собой ароматический амин производства компании Jiaxing Fine Chemical Co, Ltd (Китай). Результаты исследования показали, что модифицированные эпоксидными композициями битумные вяжущие обладают более высокой способностью сохранять вязкость и эластичность, по сравнению с традиционными составами. Кроме того, разработан подход по прогнозированию усталостной долговечности асфальтобетонных эпоксидных систем.

Учеными из США [33] разработаны и изучены свойства эпоксидных асфальтобетонных вяжущих для фрикционных покрытий. Установлено, что применение термоактивных композиций в асфальтобетонных смесях (по сравнению с термопластичными) позволяет повысить устойчивость к деформации, жесткость, стойкость к старению и охрупчиванию, термическую стабильность асфальтового материала.

Анализ ряда работ [34–37] показал значимость повышения адгезионного взаимодействия между асфальтобетоном, заполнителями и стальными поверхностями благодаря модификации эпоксидными связующими.

Еще одно перспективное направление применения эпоксидных смол – периодический ремонт с их помощью трещин, выбоин и ям, образующихся в асфальтобетонном покрытии. Китайские ученые обнаружили [38], что нанесение эмульгированного асфальтобетона является эффективным методом ухода за дорожным покрытием, который совместим с текущими тенденциями развития технологии асфальтобетонных покрытий. По сравнению с асфальтобетонной смесью горячего смешения, эмульгированная асфальтобетонная смесь имеет много преимуществ при использовании в качестве строительного материала, включая улучшение условий строительства, снижение воздействия факторов окружающей среды, экономию энергии и т. д., поэтому получила широкое применение при профилактическом и ежедневном

уходе за дорожным покрытием. Однако использование эмульгированного асфальтобетона в качестве цементирующего материала имеет ряд недостатков (таких как низкая прочность на ранних стадиях схватывания, недостаточная когезия и плохая водо- и температурная стабильность), каждый из которых ограничивает популяризацию и применение эмульгированного асфальтобетона.

Для того чтобы преодолеть эти проблемы, некоторые исследователи изучили применение эпоксидной смолы на водной основе. Эпоксидно-эмульгированные асфальты на водной основе, полученные путем модификации эпоксидными смолами на водной основе, могут отверждаться во влажных условиях при комнатной температуре и, как оказалось, обладают высокими плотностью и вязкостью, а также хорошей химической стабильностью [39]. Для получения вяжущих материалов с высокой прочностью сцепления при высоких температурах и высокой гибкостью при низких температурах исследовано несколько методов получения эпоксидно-эмульгированных асфальтов на водной основе (ЭЭАВ). Установлено, что ЭЭАВ обладают: превосходной прочностью сцепления, трещиностойкостью и противоударными свойствами, а также, в зависимости от технологии приготовления, высокой водостойкостью и повышенной адгезией к заполнителям [40]. Смеси ЭЭАВ с тригидроксидом алюминия и боратом цинка в качестве добавок использовались при строительстве туннелей [41]. С учетом недостаточной долговечности битумных эмульсий, нанесенных с использованием традиционных методов профилактического обслуживания, некоторые исследователи изучали эффективность ЭЭАВ в качестве материала для профилактического обслуживания дорожного покрытия. Результаты показали, что эпоксидная смола на водной основе равномерно распределяется в асфальтовой матрице и значительно улучшает устойчивость к скольжению и долговечность дорожных покрытий, обслуживаемых с помощью слоев асфальтоэмульсионных покрытий [42]. В других исследованиях смеси ЭЭАВ использовали в качестве проникающих и отверждающих материалов для герметизирующих покрытий, которые можно считать новым поколением профилактических средств для обслуживания асфальтобетонных покрытий [43]. Обнаружено, что техническая совместимость отвержденной смеси ЭЭАВ улучшается по мере увеличения содержания эпоксидной смолы на водной основе в диапазоне <30 % [44].

При разработке эпоксидных асфальтов перспективными являются следующие направления.

– *Выбор олигомерной составляющей термореактивной композиции.* В настоящее время широко применяются следующие разновидности эпоксидных смол: эпоксидиановые и эпоксиноволачные блок-сополимеры.

– *Выбор отверждающей системы.* Состав отверждающей системы в первую очередь определяет технологию укладки асфальта: теплого, горячего или холодного смешения. В составе могут применяться один или несколько сшивающих агентов. В современных эпоксидных композициях часто используют отвердители следующих химических классов: аминные или ангидридные. При отверждении могут использоваться различные ускорители: третичные амины, производные имидазола и др.

– *Выбор типа и размера частиц асфальта.* Размер частиц асфальта влияет на величину их адгезии к полимерной матрице и на характер распределения внутренних напряжений в материале, а также его монолитность.

– *Выбор технологии смешения компонентов:* температурно-временного режима формования полимерного композита и величины прикладываемого давления. В зависимости от вязкости битума и эпоксидного олигомера возможно смешение компонентов при различных степенях нагревания с использованием специальных смесителей.

Например, температура асфальтобетонной композиции горячего смешения может составлять 110–121 °С, а продолжительность смешения и укладки – не более 55 мин (до точки гелеобразования). После окончания укладки покрытие в течение 1–1,5 мес набирает прочность. Режим формования эпоксидного асфальта оказывает существенное влияние на термостойкость полимерной матрицы, физико-механические характеристики полученного композита, а значит, и на эксплуатационные свойства автомобильной дороги.

В патенте [45] разработан способ получения асфальтобетонных составов, модифицированных термореактивными композициями. Наиболее предпочтительным типом матрицы считается эпоксидная. В патенте описаны различные примеры конкретных составов связующих. Так, в одном из них в качестве олигомерной составляющей используется эпоксидная смола Е-12, в качестве сшивающего агента предлагается дициандиамид. Процесс отверждения проводят по механизму полиприсоединения аминных групп к эпоксидным с использованием ускорителя 2-метилимидазола. В другом примере состава помимо эпоксидного олигомера содержится ускоритель трис(диметиламинометил)фенол (DMP-30). Полученные данными способами асфальтобетонные покрытия обладают термостабильностью и повышенными химической и климатической стойкостью. Рекомендуются применять их при мощении и ремонте стальных мостовых настилов, туннелей, взлетно-посадочных полос в аэропортах, шоссе и магистральных улиц.

Изобретателями компании BASF (Германия) запатентован [46] один из способов модификации асфальтобетона термореактивными композициями с наиболее оптимальным их содержанием в смесях 0,1–10 % (по массе).

В патенте [47] разработаны модифицированные составы асфальтовых смесей. Один из вариантов модификации – введение в систему эпоксидной эмульсии на водной основе. В качестве сшивающего агента предлагается использовать алифатический амин – диэтилентриамин (ДЭТА). Получаемая смесь высокопроизводительна и проста в приготовлении.

В работах [17, 48, 49] показано, что в результате модификации асфальтобетона эпоксидной матрицей повышаются физико-механические характеристики, такие как устойчивость к деформации, предел прочности и относительное удлинение при растяжении, ударная вязкость, устойчивость к усталостному растрескиванию, стойкость к истиранию и др. В частности, благодаря модификации эпоксидной композицией исходного асфальтобетона разработчикам удалось повысить модуль упругости при непрямом растяжении с 4500 до 10000 МПа.

### Заключения

Ассортимент эпоксидных олигомеров и сшивающих агентов, применяемых при научных разработках эпоксидных асфальтобетонных покрытий, достаточно широк, но чаще всего используют эпоксидные олигомеры на основе бисфенола А. В подавляющем большинстве случаев разработчики применяют компоненты эпоксидной матрицы, произведенные в Китае, поскольку эта страна является мировым лидером по их объему производства, доступности на рынке и приемлемому качеству.

Ведение различных эпоксидных олигомеров и соответствующих им сшивающих агентов в асфальтобетонные смеси позволяет повысить эластические свойства будущего автодорожного покрытия, в результате чего снижается вероятность образования колес, охрупчивание, замедляется скорость роста трещин, а также повышаются пределы прочности при сжатии и растяжении, относительное удлинение при растяжении, ударная вязкость, стойкость к усталостным нагрузкам, окислению, старению, устойчивость к растрескиванию при низких температурах. Кроме того, в результате проведенной

модификации повышается водостойкость и долговечность автомобильных дорог, снижается шум от проезжающего по ним автотранспорта.

Существенная часть опубликованных в данной области работ выполнена учеными из Азии, в первую очередь – из Китая.

Главный результат абсолютного большинства работ – увеличение механических характеристик асфальтобетона после его модификации эпоксидной композицией.

Разработки составов и технологий получения эпоксидных асфальтобетонных покрытий в последние десятилетия активно развиваются. Особенно это заметно в сфере мостостроения. В перспективе во всем мире на смену традиционному асфальту будет приходиться эпоксидный асфальтобетон.

#### Список источников

1. Закиева Р.Р., Гуссамов И.И., Гадельшин Р.М. и др. Влияние модифицирования сополимером этилена с винилацетатом на эксплуатационные свойства вяжущего и асфальтобетона на его основе // *Химия и технология топлив и масел*. 2015. № 5 (591). С. 36–39.
2. Fang C., Zhou S., Zhang M. et al. Optimization of the modification technologies of asphalt by using waste EVA from packaging // *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2009. No. 15. P. 199–203. DOI: 10.1002/vnl.20189.
3. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt // *Journal of Applied Polymer Science*. 2008. No. 109. P. 135–143. DOI: 10.1002/app.27764.
4. Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Сундуков В.И. и др. Нерасслаивающиеся трехкомпонентные полимерно-битумные вяжущие // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 51–55.
5. Беляев П.С., Полушкин Д.Л., Макеев П.В., Фролов В.А. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2016. № 22. С. 264–271.
6. Yang F., Gong H., Cong L. et al. Investigating on polymerization process and interaction mechanism of thermosetting polyurethane modified asphalt // *Construction and Building Materials*. 2022. No. 335. DOI: 10.2139/ssrn.4008099.
7. Кузнецова П.А., Ткачук А.И., Любимова А.С., Эльдяева Г.Б. Характеристики расплавленного эпоксидного связующего ВСЭ-62 для изготовления высоконагруженных деталей конструкционного значения инъекционными методами // *Труды ВИАМ*. 2023. № 5 (123). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.11.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-5-43-53.
8. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Свойства эпоксидных полимерных связующих и их переработка в полимерные композиционные материалы // *Новости материаловедения. Наука и техника*. 2018. № 3–4 (30). Ст. 06. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 08.11.2023).
9. Загора А.Г., Ткачук А.И., Терехов И.В., Мухаметов Р.Р. Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 7 (101). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.11.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85.
10. Inorganic cement-epoxy resin composition containing animal glue: pat. 3198758 US; appl. 05.12.1961; publ. 03.08.1965.
11. Luo S., Qian Z., Wang H. Condition survey and analysis of epoxy asphalt concrete pavement on Second Nanjing Yangtze River Bridge: A ten-year review // *Journal of Southeast University (English Edition)*. 2011. No. 27 (4). P. 417–422. DOI: 10.3969/j.issn.1003 7985.2011.04.014.
12. Han Y., Zhang Z., Tian J., Ni F. Long-Term In Situ Performance Evaluation of Epoxy Asphalt Concrete for Long-Span Steel Bridge Deck Pavement // *Coatings*. 2023. No. 13 (3). P. 545. DOI: 10.3390/coatings13030545.
13. Ma B., Zhou X., Wei K. Preparation and properties evaluation of shape memory epoxy asphalt composites with high toughness and damping // *Applied Sciences*. 2017. No. 7. P. 523.

14. Покровский А.В. Литой асфальтобетон и системы мостовых покрытий в Китае // Дороги. Инновации в строительстве. 2019. № 77. С. 84–89.
15. Yao B., Chen C., Loh K. Performance characteristics of diluted epoxy asphalt binders and their potential application in chip seal // Journal of Materials in Civil Engineering. 2019. No. 31 (12). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002943.
16. Liu Y., Wang S. Research Progress of Epoxy Asphalt Material for Roads // Journal of World Architecture. 2023. No. 7. DOI: 10.26689/jwa.v7i3.4854.
17. Chen Y., Hossiney N., Yang X. et al. Application of Epoxy-Asphalt Composite in Asphalt Paving Industry: A Review with Emphasis on Physicochemical Properties and Pavement Performances // Advances in Materials Science and Engineering. 2021. No. 1. P. 1–35. DOI: 10.1155/2021/3454029.
18. Kang Y., Wu Q., Jin R. et al. Rubber-like quasi-thermosetting polyetheramine-cured epoxy asphalt composites capable of being opened to traffic immediately // Scientific Reports. 2016. No. 6. DOI: 10.1038/srep18882.
19. Song M., Liang R., Deng J., Kang Y. Sealed accelerants facilitate epoxy asphalt concretes opening to traffic quickly // Construction and Building Materials. 2017. No. 147. P. 1–8.
20. Турончик С.А. Модифицирование асфальтобетона с помощью эпоксидной смолы // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: сб. мат. III Междунар. конф. Минск, 2022. С. 358–362.
21. Аюпов Д.А., Потапова Л.И., Мурафа А.В., Фахрутдинова В.Х., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами // Известия КГАСУ. 2011. № 1 (15). С. 140–146.
22. Каблов Е.Н., Валуева М.И., Зеленина И.В., Хмельницкий В.В., Алексагин В.М. Углепластики на основе бензоксазиновых олигомеров – перспективные материалы // Труды ВИАМ. 2020. № 1 (85). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.11.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-1-68-77.
23. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
24. Kablov E.N. New Generation Materials and Technologies for Their Digital Processing // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 90. P. 225–228.
25. Колобков А.С. Полимерные композиционные материалы для различных конструкций авиационной техники (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6–7 (89). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.11.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44.
26. Su W., Han X., Gong J. et al. Toughening epoxy asphalt binder using core-shell rubber nanoparticles // Construction and Building Materials. 2020. No. 258 (12). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119716.
27. Ткачук А.И., Любимова А.С., Кузнецова П.А. Перспективы развития эпоксидных смол на растительной основе (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 8 (114). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.11.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-49-64.
28. Si J., Li Y., Wang J. et al. Improving the compatibility of cold-mixed epoxy asphalt based on the epoxidized soybean oil // Construction and Building Materials. 2020. No. 243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118235.
29. Al Fuhaid A.F. Biobased Epoxy Asphalt Binder (BEAB) for Pavement Asphalt Mixtures Mixtures // USF Tampa Graduate Theses and Dissertations. 2018. URL: <https://digitalcommons.usf.edu/etd/7599> (дата обращения: 08.11.2023).
30. Huang M., Wen X., Wang L. Influence of foaming effect, operation time and health preserving properties of foam epoxy asphalt mixtures // Construction and Building Materials. 2017. No. 151. P. 931–938. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.083.
31. Yu X., Dong F., Ding G. et al. Rheological and microstructural properties of foamed epoxy asphalt // Construction and Building Materials. 2016. No. 114. P. 215–222. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.179.

32. Cong P., Liu N., Shang H., Zhao H. Rheological and fatigue properties of epoxy asphalt binder // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2015. No. 8 (5). P. 370–376. DOI: 10.6135/ijprt.org.tw/2015.8(5).370.
33. Moraes R. Evaluation of Epoxy Asphalt Binders for Open-Graded Friction Course (OGFC) Application // *RILEM. Bituminous Materials: Proceedings of the International Symposium*. 2022. P. 787–794. DOI: 10.1007/978-3-030-46455-4\_100.
34. Sun Y., Han X., Su W., Gong J. Mechanical and bonding properties of pristine montmorillonite reinforced epoxy asphalt bond coats // *Polymer Composites*. 2020. No. 41 (8). DOI: 10.1002/pc.25595.
35. Bahmani H., Sanij K.H., Peiravian F. Estimating moisture resistance of asphalt mixture containing epoxy resin using surface free energy method and modified Lottman test // *International Journal of Pavement Engineering*. 2021. No. 23 (2). P. 1–13. DOI: 10.1080/10298436.2021.1904236.
36. Sun Y., Gong J., Liu Y. et al. Viscous, damping, and mechanical properties of epoxy asphalt adhesives containing different penetration-grade asphalts // *Journal of Applied Polymer Science*. 2019. No. 136 (5). DOI: 10.1002/app.47027.
37. Jamshidi A., White G., Kurumisawa K. Rheological Characteristics of Epoxy Asphalt Binders and Engineering Properties of Epoxy Asphalt Mixtures- State-of-the-Art // *Road Materials and Pavement Design*. 2022. No. 23 (9). P. 1957–1980. DOI: 10.1080/14680629.2021.1963814.
38. Cai X., Huang W., Liang J., Wu K. Study of Pavement Performance of Thin-Coat Waterborne Epoxy Emulsified Asphalt Mixture // *Frontiers in materials*. 2020. No. 7. P. 88. DOI: 10.3389/fmats.2020.00088.
39. Yu D. *Study on Waterborne Epoxy Resin Modified Emulsified Asphalt and the Performance of Mixture*: Master's thesis. Chongqing Jiaotong University, 2018. P. 215–222.
40. Yang G., Wang C., Fu H. et al. Waterborne epoxy resin–polyurethane–emulsified asphalt: preparation and properties // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019. No. 31. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002904.
41. Chen R., Gong J., Jiang Y. et al. Halogen-free flame retarded cold-mix epoxy asphalt binders: rheological, thermal and mechanical characterization // *Construction and Building Materials*. 2018. No. 186. P. 863–870. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.018.
42. Hu C., Zhao J., Leng Z. et al. Laboratory evaluation of waterborne epoxy bitumen emulsion for pavement preventative maintenance application // *Construction and Building Materials*. 2019. No. 197. P. 220–207. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.223.
43. Liang H., Wang D., Wang G. et al. Numerical simulation and laboratory testing verification on the performance of an asphalt pavement seal coat with superficially permeating and solidifying properties // *Journal of Testing and Evaluation*. 2019. No. 47. P. 4427–4451. DOI: 10.1520/JTE20170625.
44. Gu Y., Tang B., He L. et al. Compatibility of cured phase-inversion waterborne epoxy resin emulsified asphalt // *Construction and Building Materials*. 2019. No. 229. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116942.
45. Thermoset modified additive for asphalt mixture, preparation method thereof and asphalt mixture: pat. 10030146B2 US; appl. 23.05.14; publ. 24.07.18.
46. Asphalt composition comprising thermosetting reactive compounds: pat. 11059749B2 US; appl. 04.06.18; publ. 13.07.21.
47. Waterborn polymer-modified emulsified asphalt mixture and process for producing the same: pat. 9982136B2 US, appl. 11.08.15; publ. 29.05.18.
48. Jiang L., Hu K., Liu Z. et al. Aliphatic diamide as novel asphalt-modified epoxy curing agent for enhanced performance // *Advances in Polymer Technology*. 2018. No. 37. P. 830–836. DOI: 10.1002/adv.21726.
49. Wang X., Wu R., Zhang L. Development and performance evaluation of epoxy asphalt concrete modified with glass fibre // *Road Materials and Pavement Design*. 2019. No. 20. P. 715–726. DOI: 10.1080/14680629.2017.1413006.

## References

1. Zakieva R.R., Gussamov I.I., Gadelshin R.M. et al. The influence of modification with a copolymer of ethylene with vinyl acetate on the performance properties of binders and asphalt concrete based on it. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*, 2015, no. 5 (591), pp. 36–39.
2. Fang C., Zhou S., Zhang M. et al. Optimization of the modification technologies of asphalt by using waste EVA from packaging. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2009, no. 15, pp. 199–203. DOI: 10.1002/vnl.20189.
3. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, no. 109, pp. 135–143. DOI: 10.1002/app.27764.
4. Khakimullin Yu.N., Ayupov D.A., Sundukov V.I. et al. Non-separating three-component polymer-bitumen binders. *Stroitelnye materialy*, 2017, no. 10, pp. 51–55.
5. Belyaev P.S., Polushkin D.L., Makeev P.V., Frolov V.A. Modification of petroleum road bitumen with polymer materials to obtain asphalt concrete pavements with increased performance characteristics. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 22, pp. 264–271.
6. Yang F., Gong H., Cong L. et al. Investigating on polymerization process and interaction mechanism of thermosetting polyurethane modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 2022, no. 335. DOI: 10.2139/ssrn.4008099.
7. Kuznetcova P.A., Tkachuk A.I., Lyubimova A.S., Eldjaeva G.B. Characteristics of the molten epoxy resin system VSE-62, processed by the injection methods, for the manufacture of highly loaded structural polymer composite materials. *Trudy VIAM*, 2023, no. 5 (123), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 08, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-5-43-53.
8. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Properties of epoxy polymer binders and their processing into polymer composite materials. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2018, no. 3–4 (30), art. 06. Available at: <http://www.materialsnews.ru> (accessed: November 08, 2023).
9. Zagora A.G., Tkachuk A.I., Terekhov I.V., Mukhametov R.R. Methods of chemical modification of epoxy oligomers (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 7 (101), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 08, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85.
10. *Inorganic cement-epoxy resin composition containing animal glue*: pat. 3198758 US; appl. 05.12.1961; publ. 03.08.1965.
11. Luo S., Qian Z., Wang H. Condition survey and analysis of epoxy asphalt concrete pavement on Second Nanjing Yangtze River Bridge: A ten-year review. *Journal of Southeast University (English Edition)*, 2011, no. 27 (4), pp. 417–422. DOI: 10.3969/j.issn.1003 7985.2011.04.014.
12. Han Y., Zhang Z., Tian J., Ni F. Long-Term In Situ Performance Evaluation of Epoxy Asphalt Concrete for Long-Span Steel Bridge Deck Pavement. *Coatings*, 2023, no. 13 (3), pp. 545. DOI: 10.3390/coatings13030545.
13. Ma B., Zhou X., Wei K. Preparation and properties evaluation of shape memory epoxy asphalt composites with high toughness and damping. *Applied Sciences*, 2017, no. 7, p. 523.
14. Pokrovsky A.V. Cast asphalt concrete and bridge systems in China. *Dorogi. Innovatsii v stroitelstve*, 2019, no. 77, pp. 84–89.
15. Yao B., Chen C., Loh K. Performance characteristics of diluted epoxy asphalt binders and their potential application in chip seal. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2019, no. 31 (12). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002943.
16. Liu Y., Wang S. Research Progress of Epoxy Asphalt Material for Roads. *Journal of World Architecture*, 2023, no. 7. DOI: 10.26689/jwa.v7i3.4854.
17. Chen Y., Hossiney N., Yang X. et al. Application of Epoxy-Asphalt Composite in Asphalt Paving Industry: A Review with Emphasis on Physicochemical Properties and Pavement Performances. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, no. 1, pp. 1–35. DOI: 10.1155/2021/3454029.
18. Kang Y., Wu Q., Jin R. et al. Rubber-like quasi-thermosetting polyetheramine-cured epoxy asphalt composites capable of being opened to traffic immediately. *Scientific Reports*, 2016, no. 6. DOI: 10.1038/srep18882.

19. Song M., Liang R., Deng J., Kang Y. Sealed accelerants facilitate epoxy asphalt concretes opening to traffic quickly. *Construction and Building Materials*, 2017, no. 147, pp. 1–8.
20. Turonchik S.A. Modification of asphalt concrete using epoxy resin. *Road construction and its engineering support: III Int. conf. Minsk, 2022*, pp. 358–362.
21. Ayupov D.A., Potapova L.I., Murafa A.V., Fakhruddinova V.Kh., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Study of the features of the interaction of bitumen with polymers. *Izvestia KGASU*, 2011, no. 1 (15), pp. 140–146.
22. Kablov E.N., Valueva M.I., Zelenina I.V., Khmel'nitskiy V.V., Aleksashin V.M. Carbon plastics based on benzoxazine oligomers – perspective materials. *Trudy VIAM*, 2020, no. 1, paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 08, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-1-68-77.
23. Kablov E.N., Startsev V.O. Systematical analysis of the climatic influence on mechanical properties of the polymer composite materials based on domestic and foreign sources (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 2 (51), pp. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
24. Kablov E.N. New Generation Materials and Technologies for Their Digital Processing. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 90, pp. 225–228.
25. Kolobkov A.S. Polymer composite materials for various aircraft structures (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 08, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44.
26. Su W., Han X., Gong J. et al. Toughening epoxy asphalt binder using core-shell rubber nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 2020, no. 258 (12). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119716.
27. Tkachuk A.I., Lyubimova A.S., Kuznetcova P.A. Opportunities of the development of plant-based epoxy resins (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 8 (114), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 08, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-49-64.
28. Si J., Li Y., Wang J. et al. Improving the compatibility of cold-mixed epoxy asphalt based on the epoxidized soybean oil. *Construction and Building Materials*, 2020, no. 243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118235.
29. Al Fuhaid A.F. Biobased Epoxy Asphalt Binder (BEAB) for Pavement Asphalt Mixtures Mixtures // *USF Tampa Graduate Theses and Dissertations*. 2018. Available at: <https://digitalcommons.usf.edu/etd/7599> (accessed: November 08, 2023).
30. Huang M., Wen X., Wang L. Influence of foaming effect, operation time and health preserving properties of foam epoxy asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 2017, no. 151, pp. 931–938. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.083.
31. Yu X., Dong F., Ding G. et al. Rheological and microstructural properties of foamed epoxy asphalt. *Construction and Building Materials*, 2016, no. 114, pp. 215–222. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.179.
32. Cong P., Liu N., Shang H., Zhao H. Rheological and fatigue properties of epoxy asphalt binder. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2015, no. 8 (5), pp. 370–376. DOI: 10.6135/ijprt.org.tw/2015.8(5).370.
33. Moraes R. Evaluation of Epoxy Asphalt Binders for Open-Graded Friction Course (OGFC) Application. *RILEM. Bituminous Materials: Proceedings of the International Symposium*, 2022, pp. 787–794. DOI: 10.1007/978-3-030-46455-4\_100.
34. Sun Y., Han X., Su W., Gong J. Mechanical and bonding properties of pristine montmorillonite reinforced epoxy asphalt bond coats. *Polymer Composites*, 2020, no. 41 (8). DOI: 10.1002/pc.25595.
35. Bahmani H., Sanij K.H., Peiravian F. Estimating moisture resistance of asphalt mixture containing epoxy resin using surface free energy method and modified Lottman test. *International Journal of Pavement Engineering*, 2021, no. 23 (2), pp. 1–13. DOI: 10.1080/10298436.2021.1904236.
36. Sun Y., Gong J., Liu Y. et al. Viscous, damping, and mechanical properties of epoxy asphalt adhesives containing different penetration-grade asphalts. *Journal of Applied Polymer Science*, 2019, no. 136 (5). DOI: 10.1002/app.47027.

37. Jamshidi A., White G., Kurumisawa K. Rheological Characteristics of Epoxy Asphalt Binders and Engineering Properties of Epoxy Asphalt Mixtures-State-of-the-Art. *Road Materials and Pavement Design*, 2022, no. 23 (9), pp. 1957–1980. DOI: 10.1080/14680629.2021.1963814.
38. Cai X., Huang W., Liang J., Wu K. Study of Pavement Performance of Thin-Coat Waterborne Epoxy Emulsified Asphalt Mixture. *Frontiers in materials*, 2020, no. 7, p. 88. DOI: 10.3389/fmats.2020.00088.
39. Yu D. *Study on Waterborne Epoxy Resin Modified Emulsified Asphalt and the Performance of Mixture*: Master's thesis. Chongqing Jiaotong University, 2018, pp. 215–222.
40. Yang G., Wang C., Fu H. et al. Waterborne epoxy resin–polyurethane–emulsified asphalt: preparation and properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2019, no. 31. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002904.
41. Chen R., Gong J., Jiang Y. et al. Halogen-free flame retarded cold-mix epoxy asphalt binders: rheological, thermal and mechanical characterization. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 186, pp. 863–870. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.018.
42. Hu C., Zhao J., Leng Z. et al. Laboratory evaluation of waterborne epoxy bitumen emulsion for pavement preventative maintenance application. *Construction and Building Materials*, 2019, no. 197, pp. 220–207. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.223.
43. Liang H., Wang D., Wang G. et al. Numerical simulation and laboratory testing verification on the performance of an asphalt pavement seal coat with superficially permeating and solidifying properties. *Journal of Testing and Evaluation*, 2019, no. 47, pp. 4427–4451. DOI: 10.1520/JTE20170625.
44. Gu Y., Tang B., He L. et al. Compatibility of cured phase-inversion waterborne epoxy resin emulsified asphalt. *Construction and Building Materials*, 2019, no. 229. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116942.
45. *Thermoset modified additive for asphalt mixture, preparation method thereof and asphalt mixture*: pat. 10030146B2 US; appl. 23.05.14; publ. 24.07.18.
46. *Asphalt composition comprising thermosetting reactive compounds*: pat. 11059749B2 US; appl. 04.06.18; publ. 13.07.21.
47. *Waterborn polymer-modified emulsified asphalt mixture and process for producing the same*: pat. 9982136B2 US, appl. 11.08.15; publ. 29.05.18.
48. Jiang L., Hu K., Liu Z. et al. Aliphatic diamide as novel asphalt-modified epoxy curing agent for enhanced performance. *Advances in Polymer Technology*, 2018, no. 37, pp. 830–836. DOI: 10.1002/adv.21726.
49. Wang X., Wu R., Zhang L. Development and performance evaluation of epoxy asphalt concrete modified with glass fibre. *Road Materials and Pavement Design*, 2019, no. 20, pp. 715–726. DOI: 10.1080/14680629.2017.1413006.

**Информация об авторах**

**Загора Артем Григорьевич**, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Ткачук Анатолий Иванович**, начальник сектора, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Мухаметов Рамиль Рифович**, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Эльдяева Галина Борисовна**, техник 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Information about the authors**

**Artyom G. Zagora**, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Anatoly I. Tkachuk**, Head of Sector, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Ramil R. Mukhametov**, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Galina B. Eldyaeva**, First Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 28.12.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 29.12.2023.  
The article was submitted 28.12.2023; approved and accepted for publication after reviewing 29.12.2023.