

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 625.8

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185

Анализ применения новых технологий и материалов на скоростной магистрали М-12

Светлана Вячеславовна Привезенцева, Александр Федорович Иванов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проанализирована значимость строящейся скоростной магистрали М-12 в качестве международного транспортного маршрута. Отмечена целесообразность реализации проекта исходя из интересов России.

Материалы и методы. Рассмотрены конструктивные решения проезжей части на трассе М-12. Приведены материалы для каждого конструктивного и функционального слоя дорожной одежды; краткий обзор опыта применения асфальтобетона, запроектированного по методу Суперпейв за рубежом и в России. Поставлен вопрос о неэффективном расположении дорог по составу и сложным по технологии проектирования слоев из нового асфальтобетона внутри, а не в покрытии конструкции дорожной одежды на скоростной магистрали М-12.

Результаты. Показаны преимущества и недостатки технологии Суперпейв. Проанализированы особенности подбора битумного вяжущего. Представлены организационные, конструктивные, материальные и технологические мероприятия для реализации проектного гранулометрического состава минеральной части в технологии асфальтобетона по методу Суперпейв. Приведена аргументированная критика применения нового вида битумного вяжущего и гранулометрического состава асфальтобетона по методу Суперпейв.

Выводы. Отмечена необходимость дальнейшего изучения и развития технологии асфальтобетона по методу Суперпейв и материалов с добавками сверхабсорбирующего полимера для их эффективного применения. Обозначены вопросы обеспечения удобоукладываемости материалов с полимерными добавками и регулирования их применения стандартами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скоростная магистраль М-12, дорожная одежда, асфальтобетон по методу Суперпейв, сверхабсорбирующий полимер, битумное вяжущее, гранулометрический состав, эффективность

Благодарности. Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам, кафедре градостроительства и НИУ МГСУ.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Привезенцева С.В., Иванов А.Ф. Анализ применения новых технологий и материалов на скоростной магистрали М-12 // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 8. С. 1179–1185. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185

Автор, ответственный за переписку: Светлана Вячеславовна Привезенцева, PrivezentsevaSV@mgsu.ru.

Application of new technologies and materials on the M-12 motorway

Svetlana V. Privezentseva, Alexandr F. Ivanov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The significance of the M-12 motorway under construction as an international transport route is analyzed. The expediency of the project implementation based on the interests of Russia is noted.

Materials and methods. Structural solutions for the roadway on the M-12 motorway were considered. Materials for each structural and functional layer of the roadway are given. A brief review of the experience of using asphalt concrete designed using the Superpave method abroad and in Russia is provided. The question of inefficient arrangement of expensive by composition and complicated by design technology layers of new asphalt concrete inside rather than in the cover of the pavement structure on the M-12 motorway is raised.

Results. Advantages and disadvantages of the Superpave technology are shown. The peculiarities of bituminous binder selection are analyzed. Organizational, constructive, material and technological measures for the implementation of the design granulometric composition of the mineral part in the technology of asphalt concrete by the Superpave method are presented. The reasoned criticism of application of a new type of bituminous binder and granulometric composition of asphalt concrete according to the Superpave method is given.

Conclusions. The necessity of further study and development of the technology of asphalt concrete by the Superpave method and materials with superabsorbent polymer additives for their effective application is noted. The issues of ensuring workability of materials with polymer additives and regulation of their application by standards are outlined.

KEYWORDS: M-12 motorway, road pavement, Superpave asphalt concrete, superabsorbent polymer, bituminous binder, granulometric composition, efficiency

Acknowledgment. The authors would like to thank the anonymous reviewers, the Department of Urban Planning and Moscow State University of Civil Engineering.

FOR CITATION: Privezentseva S.V., Ivanov A.F. Application of new technologies and materials on the M-12 motorway. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1179-1185. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1179-1185 (rus.).

Corresponding author: Svetlana V. Privezentseva, PrivezentsevaSV@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития транспортной инфраструктуры определяет эффективность решения задач устойчивого экономического роста, повышения конкурентоспособности отечественной продукции, укрепления национальной безопасности государства.

В настоящее время в России наблюдается тенденция роста несоответствия между состоянием и развитием дорожной инфраструктуры и спросом на автомобильные перевозки. По оценкам специалистов, сегодня более половины сети федеральных дорог страны не соответствуют нормативным требованиям и эксплуатируются на пределе пропускной возможности либо в режиме перегрузки. По этим причинам суммарные дополнительные издержки достигают в России 1,5–2 % ВВП в год.

Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий в различных условиях эксплуатации — одна из сложнейших проблем дорожного строительства. Поэтому исследования в направлении дальнейшего совершенствования асфальтобетона и разработка новых методов проектирования проводятся во многих странах.

Актуальным вопросом при строительстве дорог является назначение конструкции дорожной одежды необходимой прочности и долговечности с применением современных материалов и технологий.

Цель настоящей работы — анализ целесообразности и эффективности применения новых материалов и технологий на скоростной магистрали М-12.

Строящаяся скоростная магистраль М-12 Москва – Нижний Новгород – Казань, ввод которой в эксплуатацию запланирован на 2024 г., станет частью международного транспортного маршрута Европа – Западный Китай. Ее протяженность составит 810 км.

Дорожная одежда, разработанная акционерным обществом «Институт “Стройпроект”», содержит следующие конструктивные слои:

- дополнительный слой основания из укрепленного грунта земляного полотна комплексным вяжущим на основе извести на глубину 30 см;
- нижний слой основания из оптимальной смеси из шлаков С1 с максимальной крупностью зерен до 70 мм по ГОСТ 3344–83 толщиной 22 см;

- средний слой основания из оптимальной смеси из активных шлаков С4 с максимальной крупностью зерен до 40 мм по ГОСТ 3344–83 толщиной 18 см;

- верхний слой основания из горячей асфальтобетонной смеси SP-32Э по ГОСТ Р 58401.1–2019 на битумном вяжущем PG 64-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 10 см;

- нижний слой покрытия из горячей асфальтобетонной смеси SP-22Э по ГОСТ Р 58401.1–2019 на битумном вяжущем PG 64-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 8 см;

- верхний слой покрытия из горячего щебеночно-мастичного асфальтобетона SMA-16 по ГОСТ Р 58401.2–2019 на битумном вяжущем PG70-28 по ГОСТ Р 58400.1–2019 толщиной 5 см.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — дорожная одежда и материалы для покрытий и верхних слоев оснований.

Для решения поставленной цели применили метод анализа и обобщения данных специальной литературы.

Учитывая большую протяженность и стратегическое значение строящейся скоростной магистрали М-12, рассмотрим конструкцию наиболее важного и дорогого элемента дороги — дорожной одежды, определяющей в значительной степени долговременную провозную способность дороги.

Подробнее остановимся на слоях дорожной одежды, устроенных по технологии Суперпейв. Суперпейв (Superpave или Superior Performance Pavements) является принципиально отличным от традиционных способов методом проектирования составов асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий с повышенными транспортно-эксплуатационными характеристиками¹ [1].

Данная технология была разработана в США по результатам многолетних исследований, направленных на увеличение продолжительности службы асфальтобетонных покрытий. Акцент делается на более полный учет климатических условий эксплуатации автомобильной дороги, а также перспективной интенсивности и состава движения. Метод Суперпейв позволяет получить покрытие, устой-

¹ Горячие асфальтовые смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в северной Америке. Передовой зарубежный опыт. Национальный центр по асфальтовой технологии (NAPA), третье издание, «Росавтодор», 2009. 411 с.

чивое к образованию колеи, низкотемпературной сетки трещин и последующему усталостному разрушению [2, 3].

Система Суперпейв более 20 лет применяется с положительными результатами в США и многих странах Европы [4]. С недавнего времени данная технология начала внедряться и в России [5, 6]. В нашей стране к технологии Суперпейв среди специалистов по технологии строительных материалов отношение неоднозначное, есть сторонники и противники [6, 7].

Представляется конструктивным и целесообразным рассмотреть доводы специалистов, относящихся с осторожностью к новой технологии.

По приведенной выше конструкции дорожной одежды на скоростной автомобильной дороге М-12 Москва – Нижний Новгород – Казань возникает вопрос: почему два слоя асфальтобетона по методу Суперпейв расположены внутри дорожной одежды. С учетом улучшенных свойств, заявляемых сторонниками новой технологии, логичнее было бы разместить эти слои на поверхности проезжей части. Колея пластичности (температурная) образуется, прежде всего и главным образом, на покрытии, а не в основании. Кроме этого, предложенное АО «Институт “Стройпроект”» конструктивное решение не согласуется с установившимся принципом конструирования дорожной одежды: с учетом затухающего характера эпюры напряжений по глубине следует применять в нижележащих слоях материалы менее дефицитные, прочные и менее дорогие, чем в слоях над ними.

По нашему мнению, на скоростной магистрали М-12 для уменьшения разрушений дорожной одежды целесообразно было бы включить в ее конструкцию материалы, содержащие сверхабсорбирующие полимеры (SAP). SAP — новый, перспективный класс химических добавок, открывающий иные возможности в плане влияния на свойства материалов на основе цемента в свежем, твердеющем и отвержденном состояниях. За последние два десятилетия была проделана большая исследовательская работа, чтобы подготовить почву для внедрения этого действительно многоцелевого агента в практику строительства. В частности, три технических комитета RILEM: 196-ICC, 225-SAP и 260-RSC внесли значительный вклад в соответствующий прогресс, координируя и объединяя усилия международных экспертов в этой области. Основным итогом работы RILEM TC 225-SAP стал отчет о возможностях и перспективах практического применения SAP, опубликованный в 2012 г. Этот всеобъемлющий документ охватывал все темы, относящиеся к применению SAP в качестве добавки к бетону. С тех пор достигнут дальнейший важный прогресс в понимании механизмов работы SAP в бетоне и влиянии добавления SAP на различные свойства бетона. Настоящая статья представляет обновленную инфор-

мацию. SAP рассматривается с акцентом применения в дорожном строительстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ публикаций по технологии Суперпейв показал, что для ее реализации необходим точный подбор битумного вяжущего по шкале PG Grade. Методика назначения марки битумного вяжущего основана на установлении его реологических свойств в конкретном температурном диапазоне, определяемом условиями эксплуатации. Так называемые фундаментальные характеристики битумного вяжущего (модуль сдвига, функция релаксации, динамическая вязкость и др.) регулируются специальными добавками и определяются на специальном оборудовании [7]. Подбор битумного вяжущего по шкале PG Grade, по мнению авторов новой технологии, позволяет максимально продлить срок службы дорог.

Следует отметить, что такие битумы дефицитны и существенно дороже обычных. Кроме того, сложно проконтролировать подрядчиков, какой битум был фактически использован.

Остановимся на критериях подбора и испытания каменного материала.

Большинство характеристик щебня, определяемых по методу Суперпейв, аналогичны ГОСТ 8269.0–97 и ГОСТ 32703–2014. Это износостойкость; морозостойкость; содержание дробленых зерен, пылеватых и глинистых частиц, лещадных и игловатых зерен. При испытаниях по методу Суперпейв стоит обратить внимание на использование более узких фракций granulометрического состава каменного материала и применение сит с квадратными ячейками. Разработчики Суперпейв считают, что это дает возможность достигнуть более плотной упаковки минеральных материалов в составе асфальтобетонной смеси, который сможет одинаково эффективно сопротивляться пластическим деформациям и усталостным разрушениям [8–11].

Однако большинство предприятий по производству щебня в настоящее время не располагают комплектом сит и грохотов для производства нужных фракций каменных материалов для новой технологии асфальтобетона. После переоснащения и переналадки производственного процесса стоимость товарного камня неизбежно возрастет, без существенного прироста качества.

Теперь перейдем на другое предприятие по производству полуфабриката — асфальтобетонный завод (АБЗ). Привезенные с дробильно-сортировочного предприятия узкие фракции каменного материала складываются, а затем перемешиваются в сушильном барабане. Для разделения смеси каменных материалов на фракции необходимых размеров снова нужны сита с определенным размером ячейки, которые отсутствуют сейчас на большинстве АБЗ. К тому же предварительное объемное,

достаточно грубое дозирование узких фракций каменного материала при подаче в сушильный барабан нередко приводит к переполнению одного или нескольких расходных бункеров и недонаполнению других после «горячей» разрыхотки минеральной смеси. В такой ситуации точное соблюдение проектной рецептуры по гранулометрическому составу весьма проблематично.

Остановимся подробнее на обосновании применения SAP. В области химии SAP многочисленные исследования, связанные со строительными материалами на основе цемента, были опубликованы после анализа соответствующей главы отчета о состоянии дел в 2012 г. [12], включая четыре обзора [13, 14].

Как и любая химическая добавка к бетону, SAP имеет ограниченный срок хранения. Требуется строго соблюдать рекомендации производителей и поставщиков по условиям хранения, например темное, сухое помещение, комнатная температура и срок годности. Химические изменения могут со временем повлиять на сорбционные свойства и, следовательно, на качество бетонов, модифицированных таким материалом SAP [12, 13]. В одной научной статье сообщается о сроке годности не менее восьми лет для некоторых сшитых SAP на акрилатной основе, используемых в вяжущих материалах [14].

Несколько исследований связали отдельные синтезы SAP и фундаментальные химические анализы с ориентированными на эксплуатационные характеристики тестами полимерами, включенными в материалы на основе цемента. Многочисленные публикации раскрывают полимерно-химические детали, которые позволяют продвинуть отношения структура/эффективность и молекулярные механизмы работы различных полимерных композиций [15].

Такие подходы и глубина предоставленной информации дают возможность понять химические и физические механизмы работы SAP и их влияние на макроскопические свойства строительных материалов. К сожалению, в значительном количестве публикаций по SAP в строительных материалах не содержится достаточной информации о химическом составе используемых полимеров.

Во многих трудах фундаментальная химическая природа используемого SAP определяется как сшитая сеть на основе акрилата, причем акриловая кислота и акриламид являются наиболее важными мономерами вдоль основных цепей [15].

Обычные сшиватели включают бифункциональные мономеры, сополимеризующиеся вдоль первичных цепей [16]. Для эффективного самовосстановления растрескавшегося бетона наиболее подходящими оказались pH-чувствительные SAP, которые меньше набухают при щелочном pH, но больше набухают при более низком pH, когда вода проникает в трещины [17]. Бактерии также могут быть включены в структуру SAP [18].

Процедура синтеза определяет форму частиц. В результате обратной суспензионной полимеризации образуются сферические частицы [15, 17]. Узкий гранулометрический состав регулируется параметрами синтеза, эмульгаторами и сопутствующим просеиванием. С другой стороны, полимеризация в массе раствора дает гель-блок. Продукт синтеза затем измельчают или измельчают и просеивают для получения наиболее подходящего гранулометрического состава. Таким образом ограничивают содержание неправильных частиц SAP [13, 15].

Этапы постобработки, такие как поверхностное сшивание, могут придавать особые свойства частицам SAP. Например, свойства набухания могут быть точно настроены для оптимизации производительности в определенных условиях ионной или механической нагрузки [19–22].

Краткий обзор инструментальной аналитики для характеристики SAP был предоставлен тремя членами TC 260-RSC. Помимо аналитических методов, ориентированных на химию, здесь собраны многочисленные экспериментальные подходы для количественной оценки характерного поведения SAP при абсорбции и десорбции при воздействии типичных солевых растворов [12]. Два из методов, оцененных в работе [13], оказались наиболее эффективными при тестировании сорбционных характеристик SAP перед применением в материалах на основе цемента. По наименованию так называемые «метод чайных пакетиков» и «метод фильтрации» специально рекомендованы ТС. Круговой тест, организованный и оцененный ТС, подтвердил хорошее функционирование и статистическую значимость этих двух процедур [12].

Добавление SAP также оказывает влияние на свойства бетона, делая его более долговечным и износостойким [12, 14]. Поскольку многие свойства, такие как самогерметизация и самовосстановление с помощью SAP, изучены недавно, все еще необходимы дополнительные исследования для более подробного изучения и получения информации о свойствах в долгосрочной перспективе. Дополнительные усилия по моделированию необходимы для повышения применимости SAP для приложений, связанных с долговечностью, для оптимизации как смеси, так и добавления SAP. Эти свойства следует изучить, одновременно исследуя изменение микроструктуры и, возможно, связанное с этим снижение механических характеристик. Полученные результаты и информация могут быть использованы для моделирования срока службы бетонных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненный анализ очевидных преимуществ и недостатков асфальтобетонной технологии Суперпейв показал необходимость ее дальнейшего изучения и развития для эффективного применения.

Поставлен вопрос о неэффективном расположении дорогих по составу и сложных по технологии проектирования слоев из нового асфальтобетона внутри, а не в покрытии конструкции дорожной одежды на скоростной магистрали М-12.

Несмотря на большой объем исследований и объединение экспертов из многих стран, до сих пор остаются открытыми вопросы по применению SAP в строительной отрасли. Примеры использования SAP в полевых условиях показывают многообещающие результаты, но на данном этапе их все еще

мало. Решение задач, связанных с характеристиками бетонов с SAP, имеет первостепенное значение для содействия более широкому применению этой перспективной добавки на практике. Одним из таких вопросов является то, как бороться со снижением удобства укладки без существенного увеличения содержания водоредуцирующих добавок или содержания воды в бетоне [20]. Другая проблема — отсутствие стандартов, регулирующих применение SAP производителями бетона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Радовский Б.С.* Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв // Дорожная техника. 2008. С. 12–22.
2. *Радовский Б.С.* Концепция вечных дорожных одежд. Дорожная техника. Каталог-справочник: Дорожная техника. 2011. С. 120–132.
3. *Крестинина М.О., Орехов С.А., Дергунов С.А., Сатюков А.Б.* Современный подход к проектированию составов асфальтобетонов // Молодой ученый. 2017. № 21–1 (155). С. 144–145. EDN YUHSYV.
4. *Василенко С.Д.* Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу суперпейв : технические рекомендации (извлечение). СПб. : ЗАО «Кодекс», 2012. 25 с.
5. *Беляев Н.Н.* Американская система Superpave: проверка на российских дорогах // Автомобильные дороги. 2014. № 6. С. 62–64.
6. *Берилин А., Никольский В., Красоткина И.* Опыт применения стандартов Superpave // Автомобильные дороги. 2016. № 3. С. 73–80.
7. *Кирюхин Г.Н.* Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона «суперпейв» // Мир дорог. 2014. № 74. С. 51–54.
8. *Радовский Б.С.* Суперпейв: требования к каменному материалу // Автомобильные дороги. 2014. № 7. С. 56–67.
9. *Радовский Б.С.* «Суперпейв»: проектирование состава смеси // Автомобильные дороги. 2014. № 9. С. 46–59.
10. *Мухаметшина Р.М., Кошкин И.А.* Современные технологии строительства автомобильных дорог // Техника и технология транспорта. 2021. № 1 (20). С. 16. EDN UCSTAN.
11. *Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Денисов В.П., Лашин М.В.* Особенности метода объемного проектирования асфальтобетона по технологии superpave // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 8–14. DOI: 10.34031/article_5ca1f62f6b9a09.67742444. EDN VVZUTB.
12. *Mechtcherine V., Reinhardt H.W.* Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction // State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP. 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-2733-5
13. *Schröfl C., Snoeck D., Mechtcherine V.* A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based construction materials: report of the RILEM TC 260-RSC // Materials and Structures. 2017. Vol. 50. Issue 4. DOI: 10.1617/s11527-017-1060-4
14. *Mechtcherine V., Snoeck D., Schröfl C., De Belie N., Klemm A.J., Ichimiya K., et al.* Testing superabsorbent polymer (SAP) sorption properties prior to implementation in concrete: results of a RILEM Round-Robin Test // Materials and Structures. 2018. Vol. 51. Issue 1. DOI: 10.1617/s11527-018-1149-4
15. *Vandenhaute M., Snoeck D., Vanderleyden E., De Belie N., Van Vlierberghe S., Dubruel P.* Stability of Pluronic® F127 bismethacrylate hydrogels: reality or utopia? // Polymer Degradation and Stability. 2017. Vol. 146. Pp. 201–211. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.10.003
16. *Snoeck D., De Belie N.* Autogenous healing in strain-hardening cementitious materials with and without superabsorbent polymers: an 8-year study // Frontiers in Materials. 2019. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmats.2019.00048
17. *Cunha T.A., Agostinho L.B., Silva E.F.* Application of nano-silica particles to improve the mechanical properties of high performance concrete containing superabsorbent polymers // 3rd International Conference on the Application of Superabsorbent Polymers (SAP) and Other New Admixtures Towards Smart Concrete. 2020. Pp. 211–221 DOI: 10.1007/978-3-030-33342-3_23
18. *Kong X.-M., Zhang Z.-L., Lu Z.-C.* Effect of pre-soaked superabsorbent polymer on shrinkage of high-strength concrete // Materials and Structures. 2015. Vol. 48. Issue 9. Pp. 2741–2758. DOI: 10.1617/s11527-014-0351-2

19. Mignon A., Vermeulen J., Snoeck D., Dubruel P., Van Vlierberghe S., De Belie N. Mechanical and self-healing properties of cementitious materials with pH-responsive semi-synthetic superabsorbent polymers // *Materials and Structures*. 2017. Vol. 50. Issue 6. DOI: 10.1617/s11527-017-1109-4

20. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing // *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088

21. Pelto J., Leivo M., Gruyaert E., Debbaut B., Snoeck D., De Belie N. Application of encapsulated superabsorbent polymers in cementitious materials for stimulated autogenous healing // *Smart Materials and Structures*. 2017. Vol. 26. Issue 10. P. 105043. DOI: 10.1088/1361-665X/aa8497

22. Wyrzykowski M., Igarashi S.-I., Lura P., Mechtcherine V. Recommendation of RILEM TC 260-RSC: using superabsorbent polymers (SAP) to mitigate autogenous shrinkage // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Issue 5. DOI: 10.1617/s11527-018-1241-9

Поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 30 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 7 июля 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Вячеславовна Привезенцева — старший преподаватель кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-4407-1789; PrivezentsevaSV@mgsu.ru;

Александр Федорович Иванов — кандидат технических наук, доцент кафедры градостроительства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; IvanovAF@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Привезенцева С.В. — постановка актуальной проблемы конструирования экономичной дорожной одежды с применением современных материалов, обзор литературы, написание исходного текста.

Иванов А.Ф. — анализ обоснованности применения новых материалов в конкретных конструктивных слоях дорожной одежды на автомагистрали М-12, редактирование и доработка текста, выводы. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Radovskiy B.S. The current state of development of the American method of designing asphalt concrete mixtures Superpave. *Road Machinery*. 2008; 12-22. (rus.).

2. Radovsky B.S. *The concept of eternal pavement*. Road equipment. Catalog-reference book: Road equipment. 2011; 120-132. (rus.).

3. Kretinina M.O., Orekhov S.A., Dergunov S.A., Satyukov A.B. Modern approach to the design of asphalt concrete compositions. *Young Scientist*. 2017; 21-1(155):144-145. EDN YUHSYV. (rus.).

4. Vasilenko S.D. *The design of the composition of asphalt mixes in the US by the method of superpave : technical recommendations (extract)*. St. Petersburg, ZAO "Code", 2012; 25. (rus.).

5. Belyaew N.N. American Superpave system: checking on Russian roads. *Automobile Roads*. 2014; 6:62-64. (rus.).

6. Berilin A., Nikolskiy V., Krasotkina I. Experience using Superpave standards. *Automobile Roads*. 2016; 3:73-80. (rus.).

7. Kiryukhin G.N. Pros and cons of the superpave asphalt concrete design system. *World of Roads*. 2014; 74:51-54. (rus.).

8. Radovsky B.S. Superpave: requirements for stone material. *Automobile Roads*. 2014; 7:56-67. (rus.).

9. Radovskiy B.S. "Superpejv": proektirovanie sostava smesi. *Automobile Roads*. 2014; 9(994)46-59. (rus.).

10. Mukhametshina R.M., Koshkin I.A. Modern technologies of road construction. *Technique and Technology of Transport*. 2021; 1(20):16. EDN UCSTAN. (rus.).

11. Trautvain A., Akimov A., Denisov V., Lashin M. Features of the method of surrounded design of asphalt-concrete on superpave technology. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019; 3:8-14. DOI: 10.34031/article_5ca1f62f6b9a09.67742444. EDN VVZUTB. (rus.).

12. Mechtcherine V., Reinhardt H.W. Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction. *State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP*. 2012. DOI: 10.1007/978-94-007-2733-5

13. Schröfl C., Snoeck D., Mechtcherine V. A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based con-

struction materials: report of the RILEM TC 260-RSC. *Materials and Structures*. 2017; 50(4). DOI: 10.1617/s11527-017-1060-4

14. Mechtcherine V., Snoeck D., Schröfl C., De Belie N., Klemm A.J., Ichimiya K. et al. Testing superabsorbent polymer (SAP) sorption properties prior to implementation in concrete: results of a RILEM Round-Robin Test. *Materials and Structures*. 2018; 51(1). DOI: 10.1617/s11527-018-1149-4

15. Vandenhaute M., Snoeck D., Vanderleyden E., De Belie N., Van Vlierberghe S., Dubruel P. Stability of Pluronic® F127 bismethacrylate hydrogels: reality or utopia? *Polymer Degradation and Stability*. 2017; 146:201-211. DOI: 10.1016/j.polyimdegradstab.2017.10.003

16. Snoeck D., De Belie N. Autogenous healing in strain-hardening cementitious materials with and without superabsorbent polymers: an 8-year study. *Frontiers in Materials*. 2019; 6. DOI: 10.3389/fmats.2019.00048

17. Cunha T.A., Agostinho L.B., Silva E.F. Application of nano-silica particles to improve the mechanical properties of high performance concrete containing superabsorbent polymers. *3rd International Conference on the Application of Superabsorbent Polymers (SAP) and Other New Admixtures Towards Smart Concrete*. 2020; 211-221 DOI: 10.1007/978-3-030-33342-3_23

18. Kong X.-M., Zhang Z.-L., Lu Z.-C. Effect of pre-soaked superabsorbent polymer on shrinkage of high-strength concrete. *Materials and Structures*. 2015; 48(9):2741-2758. DOI: 10.1617/s11527-014-0351-2

19. Mignon A., Vermeulen J., Snoeck D., Dubruel P., Van Vlierberghe S., De Belie N. Mechanical and self-healing properties of cementitious materials with pH-responsive semi-synthetic superabsorbent polymers. *Materials and Structures*. 2017; 50(6). DOI: 10.1617/s11527-017-1109-4

20. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Van Vlierberghe S., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing. *Frontiers in Microbiology*. 2015; 6. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088

21. Pelto J., Leivo M., Gruyaert E., Debbaut B., Snoeck D., De Belie N. Application of encapsulated superabsorbent polymers in cementitious materials for stimulated autogenous healing. *Smart Materials and Structures*. 2017; 26(10):105043. DOI: 10.1088/1361-665X/aa8497

22. Wyrzykowski M., Igarashi S.-I., Lura P., Mechtcherine V. Recommendation of RILEM TC 260-RSC: using superabsorbent polymers (SAP) to mitigate autogenous shrinkage. *Materials and Structures*. 2018; 51(5). DOI: 10.1617/s11527-018-1241-9

Received November 29, 2023.

Adopted in revised form on May 30, 2023.

Approved for publication on July 7, 2023.

BIONOTES: Svetlana V. Privezentseva — Senior Lecturer of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4407-1789; PrivezentsevaSV@mgsu.ru;

Aleksandr F. Ivanov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; IvanovAF@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Svetlana V. Privezentseva — statement of the actual problem of designing economical road clothing using modern materials, literature review, writing the source text.

Aleksandr F. Ivanov — analysis of the validity of the use of new materials in specific structural layers of pavement on the M-12 motorway, editing and revision of the text, conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.