

*Дормидонтова Татьяна Владимировна заведующий кафедрой
Самарский государственный технический университет*

Россия, г. Самара

Самошин Георгий Александрович студент

2 курс, Самарский государственный технический университет

Россия, г. Самара

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

***Аннотация:** В статье рассмотрены современные технологии повышения долговечности асфальтобетонных покрытий и борьбы с трещинообразованием в дорожной одежде.*

Проанализированы методы самовосстановления покрытий с применением металлических волокон и индукционного нагрева, углеродных нанотрубок, наночастиц, микрокапсул с подсолнечным маслом, а также капсул с уретановым полимером AR-полимером.

*Отдельно освещена биомиметическая технология с использованием бактерий *Sporosarcina pasteurii*, обеспечивающих заполнение трещин карбонатом кальция и нейтрализацию негативного воздействия противогололёдных материалов.*

Приведены данные об опытной укладке инновационных смесей в ряде стран (Нидерланды, Швейцария, Великобритания) и в России (в том числе в Казани), а также оценены технико-экономические преимущества технологий, включая потенциальное увеличение срока службы дорожных одежд и сокращение эксплуатационных затрат.

***Ключевые слова:** асфальтобетонное покрытие, самовосстанавливающиеся материалы, трещинообразование, дорожная одежды, индукционный нагрев, биомиметические технологии, модификация битума.*

WAYS TO EXTEND THE LIFE OF HIGHWAYS

Abstract: *The article discusses modern technologies for improving the durability of asphalt concrete pavements and preventing cracking in road clothing.*

It analyzes methods of self-healing of pavements using metal fibers and induction heating, carbon nanotubes, nanoparticles, microcapsules with sunflower oil, and capsules with urethane polymer AR-polymer.

*The article also covers the biomimetic technology using *Sporosarcina pasteurii* bacteria, which fill cracks with calcium carbonate and neutralize the negative effects of deicing materials.*

The paper presents data on the experimental installation of innovative mixtures in a number of countries (the Netherlands, Switzerland, and the United Kingdom) and in Russia (including Kazan), as well as the technical and economic benefits of these technologies, including the potential for longer road life and reduced maintenance costs.

Keywords: *asphalt concrete pavement, self-healing materials, crack formation, road clothing, induction heating, biomimetic technologies, bitumen modification*

Дорожная одежда – сложная многослойная конструкция, от стабильности работы которой зависит как транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги, так и безопасность участников дорожного движения. Как показывает практическое наблюдение и многочисленные исследования, наиболее частым дефектом дорожной одежды и покрытия в частности – являются трещины.

Если учесть тот факт, что дорожная одежда сконструирована и рассчитана на прочность верно, укладка асфальтобетонного покрытия производилась без нарушения технологии, а транспортные средства движутся без нарушений по допустимой массе, то причиной возникновения трещин является старение связующего материала в асфальтобетонной

смеси – битума, в результате воздействия внешних условий окружающей среды, связанных с выветриванием, окислением и разрушением под воздействием ультрафиолетового излучения. Для снижения воздействия данных негативных факторов в настоящее время осуществляются разработки «регенерирующего» покрытия. Существует несколько технологий, которые при схожей цели – восстановление целостности покрытия, используют различные методы ее достижения.

В первом случае при подготовке смеси в битум включаются металлические волокна. Укладка такой смеси производится по классической технологии. В случае выявления на покрытии трещин, их ликвидация осуществляется следующим образом: по участку, на котором выявлены дефекты, осуществляет движения индукционная машина, которая посредством электромагнитной индукции осуществляет воздействие на металлические волокна, что приводит к их нагреву. Тепло от волокон в свою очередь разогревает битум, от чего последний становится более пластичным, что позволяет заполнить микротрещины. [1]

Такая асфальтобетонная смесь примерно на четверть дороже приготовленной по классической технологии, однако возможность восстановления целостности покрытия без необходимости его замены малозатратным методом позволяет существенно продлить срок службы покрытия и сэкономить по меньшей мере на одном ремонте дороги.

Первый тестовый участок асфальтобетонной смеси, приготовленной по такой технологии, был уложен в Нидерландах в 2010 году, а к 2017 году их число выросло до 12. Также имеется информация об использовании данной технологии при укладке покрытия на автомобильной дороге A50 в 2023 году.

Наиболее эффективно нагрев позволяет «затягивать» микротрещины в первые 2 года эксплуатации дороги после укладки. По предварительной оценке, несмотря на более высокую стоимость укладка покрытия с использованием в составе асфальтобетонных смесей металлических волокон

позволит сэкономить Нидерландам сумму, эквивалентную 9 млрд. руб. ежегодно. [2]

Российскими учеными разработана схожая технология по производству «самовосстанавливающейся» асфальтобетонной смеси, за тем исключением, что в битум вместо стальных волокон добавляют токопроводящие углеродные многостенные нанотрубки, которые характеризуются высокой индукционной восприимчивостью. При этом в отличие ранее рассмотренной технологии стоимость такой смеси незначительно выше «классической» рецептуры – на 5%, что связано с низким расходом нанотрубок, равном 17 г на 50 кг битума. [3]

Как и в случае с использованием стальных волокон для восстановления асфальтобетонного покрытия необходимо осуществлять нагрев покрытия посредством индукционной машины, при этом в отличие от вышеуказанной технологии использование нанотрубок более энергоэффективна: нагрев производится только тонкой битумной пленки, которой покрыт крупный заполнитель. Учитывая срок, при котором битум способен эффективно заполнять трещины в результате нагрева, такая технология увеличивает срок службы покрытия на 2 года.

Учеными из Швейцарии предложено применять в составе смеси наночастицы, нагрев которых обеспечивается в результате воздействия электромагнитного поля от специализированных дорожных машин, оснащенных магнитными катушками. Устройство верхнего слоя асфальтобетонного покрытия с добавкой наночастиц в смесь было выполнено в 2025 году на участке автомобильной дороги, соединяющей Берн и Цюрих, протяженностью 2 км. На текущий момент по результатам эксплуатации уже сделан вывод, что интенсивность трещинообразования покрытия из «классической» смеси на 65% выше, чем у смеси с добавлением наночастиц. [4]

Существует схожая технология восстановления асфальтобетонного покрытия, основанная на разжижении битума, но не в результате нагрева, а

на основании химического взаимодействия капилляров, основанная на эффекте Кафеала. В асфальтобетонную смесь на стадии приготовления вводятся микрокапсулы подсолнечного масла, которые снижают вязкость битума, что позволяет заполнить возникающие в результате эксплуатации дороги микротрещины и препятствует дальнейшему разрушению покрытия. и способствуют заживлению смеси. [5]

Применение такой добавки снижает плотность асфальтобетонной смеси на 0,1-0,2 г/см³ в связи с тем, что плотность капсул ниже, чем плотность компонентов смеси. Данный факт напрямую влияет на прочностные характеристики покрытия. Несмотря на то, что для образцов с содержанием капсул в количестве 0,75-1,00% обеспечивает наиболее продолжительный эффект «регенерации» покрытия, смеси, в которых содержаться 0,5% капсул от общей массы смеси имеют более высокие прочностные характеристики на сжатие и растяжение, а также обеспечивают большую сопротивляемость усталостным трещинам. Затраты на приготовления такой смеси на четверть превышает стоимость приготовления «классических» асфальтобетонных смесей, что компенсируется увеличенным сроком службы покрытия и снижением эксплуатационных затрат. [6]

На рисунке 1 представлен образец асфальтобетона после уплотнения, в состав смеси которого включен капсулированный модификатор.

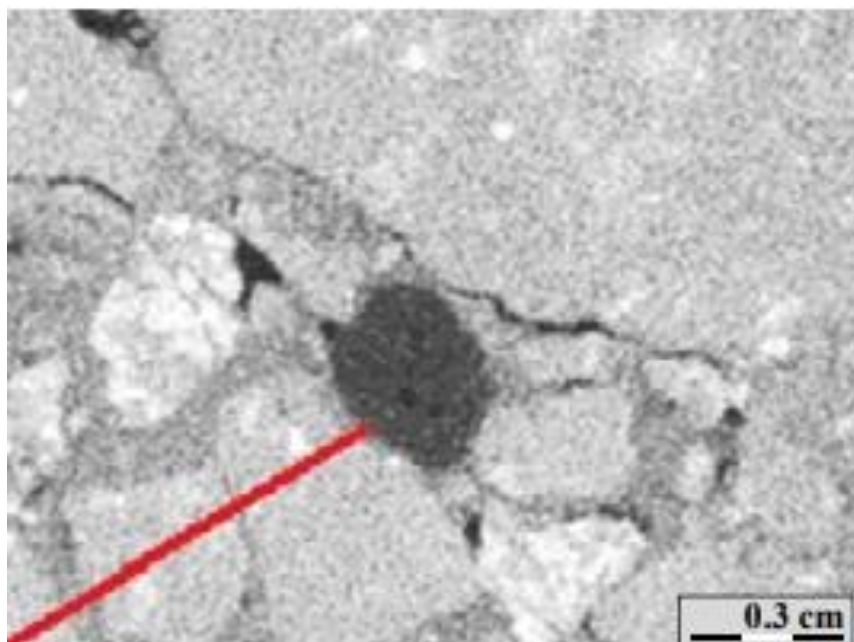


Рисунок 1. Образец асфальтобетона с добавлением капсулированного модификатора.

По вышеуказанной технологии в Великобритании в 2024 году произведена укладка покрытия протяженностью 0,5 км. При сравнении покрытия с использованием микрокапсул с подсолнечным маслом с контрольным участком было выявлено, что на контрольном участке число микротрещин на 40% превышает тестовый участок. Увеличение стоимости смеси с добавлением капсул составило около 20%.

В борьбе с дефектами может помочь также более новая разработка российских ученых из Национального исследовательского Московского государственного строительного университета. Научными сотрудниками были разработаны специальные капсулы, которые включаются в состав асфальтобетонной смеси в заводских условиях. Внешний вид и процесс укладки такой смеси не отличается от «классических» смесей, а особенность изобретения проявляется уже в процессе эксплуатации. [7]

Капсулы, размер которых не превышает 1,2 мм, в своем составе имеют высокоадгезионный уретановый полимер - AR-полимер, производство которого осуществляется в Республике Татарстан (на рисунке 2 выделены красным).



Рисунок 2. Образец самовосстанавливающегося асфальтобетонного покрытия.

При нарушении целостности покрытия происходит также повреждение капсулы, что высвобождает полимер, который заполняет трещины и предотвращает дальнейшее разрушение.

В отличие от упомянутых выше капсул с маслами, которые осуществляют восстановление асфальтобетонного покрытия при возникновении трещин в результате старения битума, разработка российских ученых направлена на ликвидацию дефектов, связанных с температурными перепадами. Более того, работа капсул с маслами при образовании трещин в покрытии в результате хрупкого разрушения будет способствовать размягчению асфальтобетона, что может привести к образованию колеи.

Немаловажным преимуществом технологии в отличие от вышеперечисленных является отсутствие необходимости применения дополнительных приборов и механизмов, запускающих процесс восстановления поврежденного покрытия.

По предварительной оценке, применение таких капсул позволит увеличить срок службы дорожных одежд на 30%. Опытный участок

протяженность 40 метров уже устроен в 2025 году в Казани, по результатам эксплуатации которого будет сделан вывод о возможности масштабирования вышеуказанной технологии.

Схожей технологией по своей сути являются самовосстанавливающиеся асфальтобетонные покрытия, работающие по принципу биомиметики, который заключается в использовании биологических процессов, необходимых для реализации человеческих потребностей. Впервые технология была представлена в Нидерландах в 2015 году.

В частности, для восстановления асфальтобетонных покрытий применяются бактерии *Sporosarcina pasteurii*, которые находятся в биоразлагаемых капсулах. При нарушении целостности покрытия и попадании влаги, капсулы разрушаются, при этом жидкость также активизирует работу бактерий, которые начинают производить карбонат кальция, заполняющий трещины и предотвращающий дальнейшие разрушения. Сами бактерии не подвержены влиянию вредных веществ, образующихся при эксплуатации дорог, и могут находиться в ожидании до 200 лет. [8]

Бактерии способны ликвидировать трещины шириной раскрытия до 0,8 мм, при этом протяженность трещин не имеет значения.

Немаловажным в вопросе разрушения покрытия дорог является необходимость применения противогололедных материалов, в частности технической соли – хлорида кальция. Попадая в тело покрытия, соль вступает в реакцию с гидроксидом кальция, который содержится в асфальтобетоне, в результате чего образуется соль, разрушающая дорогу изнутри. В целях снижения вышеуказанного негативного воздействия от применения противогололедных материалов ученые США разработали технологию применения в дорожном строительстве бактерии *Sporosarcina pasteurii*. При этом суть технологии заключается в следующем: процесса своей жизнедеятельности бактерии «поглощают» хлорид кальция, в результате чего формируется карбонат кальция, который не только не

разрушает покрытие, а напротив «запечатывает» существующие трещины.
[9]

Использованные источники:

1) Иванова О. И., Седов Д. В. Технология «самозалечивающегося» асфальта, используемая при строительстве дорог // Актуальные вопросы инженерно-технических экспертиз: сб. ст. Иркутск: Изд-во Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2018. С. 81-85.

2) Рыбушкин М. С., Ляшенко Д. А., Кузьменко А. В., Технологии самовосстанавливающихся асфальтовых покрытий // Инновационная наука. 2019. №12.

3) Иноземцев С.С., До Тоан Чонг. Состояние и перспективы развития технологии самовосстанавливающихся дорожных материалов // Вестник МГСУ. 2020. №10.

4) Игнатьев Алексей Александрович ДОБАВКИ В АСФАЛЬТОБЕТОН. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ // Известия КазГАСУ. 2023. №1 (63)/

5) Максимов В.А., Ушаков В.В. Анализ зарубежных технологий самовосстанавливающихся асфальтовых покрытий автомобильных дорог// Материалы VII Международной студенческой научной конференции «В мире научных открытий». Ульяновск: УлГАУ, 2017. С. 2227 – 2230.

6) Котенко Наталья Петровна, Щерба Юлия Сергеевна, Евфорицкий Александр Сергеевич Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2019. №1 (201).

7) До Чонг Тоан «Самовосстанавливающийся асфальтобетон с капсулированным полимерным модификатором» автореф. дисс... канд. техн. наук – Москва, 2023 – 22 с.

8) АО «ТРК ВС РФ «ЗВЕЗДА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tvzvezda.ru/>.

9) Чепелева К.В., Никитина О.С., Банникова А.С., Сиротская К.В.
Технологии биоминерализации: возможности и перспективы использования /
Технические науки // Эпохи науки. 2016. N 8. 5 с.