

УДК 625.8

**ПРИМЕНЯЕМЫЕ ИННОВАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ И  
КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ**Дубский А.А.<sup>1</sup>, студент гр. 212-Д, IV курсМосковских И.Ю.<sup>2</sup>, студент гр. СДмоз-241, I курсНаучный руководитель: Козлов С.И.<sup>2</sup>, преподаватель<sup>1</sup>Кузбасский техникум архитектуры, геодезии и строительства<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Инновации в дорожном строительстве предоставляют важные преимущества для промышленности и сообщества, они подразумевают использование передовых технологий и оптимальных материалов для целей дорожного строительства. Для бетонных дорог появились многочисленные инновации в производстве усовершенствованных видов бетона, таких как фибробетон (FRC), сверхвысокопрочный бетон (UHPC), самоуплотняющийся бетон (SCC) и высокопрочный бетон (HPC) [4]. Помимо этого, за последние два десятилетия большое внимание было уделено использованию наноматериалов в качестве добавок к асфальтобетонным смесям, включая наносилику, наноглину и металлическое наножелезо, что привело к снижению показателя проникновения и увеличению вязкости и температуры размягчения, а также к увеличению комплексного модуля и уменьшению угла сдвига фаз в асфальтобетонной смеси. Также было показано, что наноглина, модифицированная полисилоксаном, делает асфальт более твердым и позволяет выдерживать большие нагрузки при высоких температурах.

*Использование полимеров*

Полимеры представляют собой макромолекулярные природные и синтетические соединения, обычно состоящие из миллионов многократно связанных ковалентно связанных единиц, каждая из которых представляет собой относительно легкую и простую молекулу. Полимеры, применяемые для стабилизации и герметизации нижних слоев, оснований и износостойких слоев, чрезвычайно эффективны в повышении прочностных свойств правильно спроектированных дорог с правильной системой водоотвода.

*Использование композитных материалов, армированных волокном (FRP)*

Одной из технологий, демонстрирующих большой успех в строительстве, являются композитные материалы, армированные волокном (FRP). Композиты FRP изготавливаются из волокон, таких как стекло, арамид и углерод, в матрице из смолы, такой как полиэфирная, эпоксидная или виниловая смола. Благодаря своей высокой коррозионной стойкости и усталости, они потенциально могут использоваться в строительстве мостов и

автомобильных дорог в качестве стержней в железобетонном покрытии (взамен традиционных стальных стержней), а также в модернизации и ремонте старых конструкций [4]. Композитные материалы из стекловолокна, используемые при изготовлении строительных элементов, включая трубы, были разработаны и активно применяются при строительстве мостовых конструкций на автомагистралях. С архитектурной и эстетической точки зрения они перспективны благодаря хорошей химической стойкости, давлению стенок и долговечности по сравнению с металлами. Более того, использование обсадных колонн из стеклопластика в мостах приводит к повышению точности конструкции моста в процессе его эксплуатации [4]. Также технология бетонных трубчатых конструкций способствует увеличению грузоподъемности и поглощающей энергии бетонных конструкций. Однако относительно высокая первоначальная стоимость материалов и изделий FRP и сложность самостоятельного смешивания воспринимаются как недостатки.

#### *Асфальтовое покрытие с использованием полимеров*

Асфальт, который является нефтепродуктом, используемым в качестве связующего вещества, уже давно используется в строительстве дорог в качестве связующего для заполнителей. Рецепт стандартного асфальтового покрытия составляет примерно 5% битума и 95% песка, гравия и камня. Однако асфальт может страдать от температурной слабости, включая повреждение трещин при низкой температуре, усталость при средней температуре и колеи при высокой температуре. Свойства битума и битумных смесей могут быть улучшены путем добавления полимерных модификаторов. Обычно используемые модификаторы улучшают свойства битумных бетонных смесей за счет уменьшения воздушных пустот между агрегатами и связывания их вместе, чтобы предотвратить вытекание битума. Температура размягчения, сопротивление колееобразованию, долговечность, вязкоупругие свойства и усталостная долговечность асфальта могут быть улучшены за счет использования различных типов пластиковых отходов и первичных пластиков. Однако почти 80% модифицированного полимерами асфальта использует полимеры типа стирол-бутадиен (SB). Отработанный каучук SB, полученный из отработанных шин, также был использован для улучшения рабочих характеристик, надежности и долговечности гибкого и жесткого дорожного покрытия за счет уменьшения водопоглощения и пористости покрытия [1].

Эффективность связующего на основе вторичного пластика в большей степени зависит от типа полимера, который входит в состав, и условий смешивания, чем от выбранного базового битума. Кроме того, добавление вторичного полистирола объемом до 15% к обычной асфальтобетонной смеси привело к уменьшению глубины проникновения и растяжимости, а также к увеличению точек вспышки и воспламеняемости, температуры размягчения и вязкости модифицированного асфальта [1]. Добавление 4% вторичного полиэтилена высокой плотности в асфальтобетонную смесь с каменным щебнем дало многообещающие результаты испытаний колесных следов и

усталости. Кроме того, включение полиэтиленов низкой и высокой плотности и отходов резиновой крошки в асфальт показало значительное улучшение реологических свойств связующего [5].

С другой стороны, модификация каменноугольного битума полимерами для снижения его канцерогенности и улучшения технологических и качественных свойств применяется уже многие годы. Было упомянуто, что добавление фенолформальдегидной смолы к угольному пеку приводит к повышению температуры размягчения и вязкости, а также увеличивает его тепловую и механическую стойкость, в то время как добавление полиэфирных смол приводит к заметным изменениям реологических и вязкоупругих свойств [1]. Бытовые пластиковые отходы и измельчители могут быть переработаны в гранулы и хлопья, затем добавлены в асфальтовую смесь в качестве дополнительного связующего. Помимо уменьшения количества пластика, отправляемого на свалку, модифицированный асфальтовый продукт является экологически чистым, более долговечным и экономичным. Хотя все эти полимеры в той или иной степени улучшают свойства битума, все еще существуют некоторые недостатки, ограничивающие будущее развитие модифицированного полимерами битума, такие как низкая устойчивость к старению и плохая стабильность хранения, высокая стоимость, трудности с диспергированием и проблемами разделения.

#### *Использование геополимеров*

В дорожной строительной индустрии требуются более экологичные строительные материалы. В настоящее время для современной реабилитации и строительства дорожных покрытий и замены традиционного портландцемента геополимер является будущим экологически безопасным строительным материалом, который может альтернативно использоваться в дорожных покрытиях.

Геополимерный бетон – это новый класс бетона, основанный на неорганической системе связующих алюмосиликатов по сравнению с системой связующих гидратированных силикатов кальция в бетоне. Всё большее число промышленных отходов и переработанных материалов используется в дорожной отрасли, включая золу-унос, шлак и кремнезёмную дымку в качестве предшественников алюмосиликата для сохранения природных ресурсов. Алюмосиликатные предшественники активируются щелочными жидкостями (гидроксид натрия или калия и силиката натрия или калия) для производства связующего. Соответствующий уровень концентрации щелочного раствора привел к увеличению прочности. В то же время высокое содержание кальция в стандартных дорожных базовых материалах может быстро реагировать с щелочными активаторами, так что может быть использована самовысыхающая геополимерная композиция. Геополимеры используются для стабилизации почвы, в качестве материалов для дорожных оснований и в качестве успешных стабилизаторов для материалов дорожных оснований, а также в качестве быстротвердеющих материалов для быстрого ремонта бетонных конструкций [6]. Покрытия с использованием геополимеров показали уменьшение усадки

при высыхании и удовлетворительные показатели прочности и механических свойств, а также увеличение вязкости, комплексного модуля сдвига и температуры разрушения связующего асфальта. Прочность на одноосное сжатие переработанного асфальтового покрытия-геополимера на основе золы-уноса показала увеличение при снижении соотношения  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$  как при комнатной температуре, так и при отверждении геополимерной смеси при  $40^\circ\text{C}$  [6].

#### *Использование биоасфальта*

С ростом цен на асфальтобитум на нефтяной основе в последние годы люди начали искать альтернативные связующие вместо асфальта на нефтяной основе, которые можно использовать в строительстве дорог. Преимущество использования альтернативных связующих заключается в том, что они могут помочь сэкономить природные ресурсы и снизить энергопотребление, сохраняя и иногда улучшая характеристики асфальта. Примером альтернатив асфальту являются биологические асфальты. Связующие на основе биобитума имеют экономические, социальные и экологические выгоды и, следовательно, могут частично заменять связующие на основе нефти; хотя биобитум пока не используется в окончательных протоколах, биоасфальт используется по нескольким причинам, таким как асфальтобетонные смеси, полученные из растений и деревьев, могут заменить смеси на основе нефти [2].

Биополимеры используются в дорожных покрытиях в качестве альтернативы полимерам на нефтяной основе. Биополимеры производятся живыми организмами. Большинство биополимеров являются биоразлагаемыми, а некоторые из них растворимы в воде. Натуральный каучук является лучшим примером биополимера. Он может быть химически сшит или соединён вулканизацией для улучшения своих полезных свойств. Резина или эластичные суставы через звенья представляют собой трёхмерные молекулярные сети с длинными молекулами, соединёнными химическими связями. Она впитывает растворители и набухает, но не плавится. Биомодификаторы, полученные из использованного кулинарного масла, были использованы для восстановления старого асфальтового связующего на основе механизма омоложения асфальта. Было предсказано, что введение (6%-8%) биомодификаторов в асфальт приведет к эффективному снижению вязкости и жесткости старого асфальтового связующего, что полезно как для усталостной, так и для трещинообразования при низких температурах, в то время как 23% кокосовой скорлупы-биоасфальта и 17% битутех РЭП-биоасфальта являются оптимальным количеством биоасфальта в качестве омолаживающего средства [2].

С другой стороны, в мире в основном повторно используются отработанные растительные масла для производства биодизеля. В ходе этого процесса образуется около 10% черного вязкого тяжелого масляного побочного продукта; этот побочный продукт рассматривается как потенциальный биомодификатор для производства асфальта на основе отработанного растительного масла, который может использоваться в качестве

возможной замены традиционного нефтяного асфальта. Испытания реологического поведения показали, что добавление биомасла смягчило жесткость и повысило устойчивость контрольного асфальта к усталости. Кроме того, биочар, полученный в результате производства биотоплива посредством пиролиза, использовали для модификации асфальта; он улучшает рабочие характеристики асфальтового связующего против старения и деформации в теплых тропических климатических условиях. Лигнин – это тип органического полимера, содержащегося в стенках клеток растений, придающего им форму и структуру. Это также побочный продукт бумажной промышленности. Лигнин исследовался как частичная альтернатива битуму. Использование лигнина в сочетании с битумом продемонстрировало полимероподобное поведение и, таким образом, функционально дополнило асфальтовое связующее, кроме того, оно могло быть использовано для замедления окислительного старения и продления срока службы асфальтобетонных покрытий [3]. Исследовалась возможность использования натурального торфяного волокна и тонкомолотого торфяного порошка в качестве модификатора для улучшения сопротивления колееобразованию битума. Реологические данные показали эффект затвердевания фракции порошка и наличие волокнистой сетки, которая зависела от напряжения и демонстрировала упругие эффекты [3].

Несмотря на то, что использование биоасфальта является одним из примеров применения зеленых технологий в дорожных покрытиях, где биосвязующие асфальта используются в качестве частично замещаемых связующими на основе нефти, и его значительных преимуществ, включая экономические, социальные и экологические выгоды, тем не менее, некоторые исследования показывают, что большинство биоматериалов могут улучшить реологические свойства при низких температурах, но одновременно влияют на реологические свойства модифицированного асфальта при высоких температурах [3].

#### *Технология пластиковых дорог*

Хотя концепция использования пластиковых отходов в дорожном строительстве является относительно новой, различные виды переработанных пластмасс уже нашли применение по всему миру для замены заполнителей или в качестве модификаторов-связующих. Тем не менее, технология пластиковых дорог (дорог, полностью построенных из пластика) представляет собой глобальную инновационную экосистему для переработки пластика в дороги, в которой лидируют такие страны, как Индия, Нидерланды, Шотландия и США. Пластиковая дорога – это модульная и полая дорожная конструкция, изготовленная из переработанных пластмасс [1]. По сравнению с традиционными дорожными конструкциями, малый вес, модульная конструкция и изготовление пластиковой дороги на заводе делают строительство и ремонт дорог проще, быстрее и эффективнее. Основным материалом пластиковых дорог изготавливается из смеси клея на основе полимеров, сделанной из измельченных пластиковых отходов и битума. В

отличие от обычных дорог, пластиковые дороги имеют ряд преимуществ: они имеют меньший углеродный след и более высокую температуру плавления около 66°C, отсутствуют выбоины или трещины по сравнению с обычными дорогами. Пластиковые дороги изготавливаются с использованием отходов, а не новых материалов, что делает производственный процесс экономически эффективным. Пространство под верхней поверхностью пластиковой дороги может использоваться в качестве накопительной емкости для воды, что снижает риск наводнений, а также для прокладки кабелей и трубопроводов, предотвращая разрушение при раскопках, а также для установки устройств зарядки электромобилей и датчиков. Несмотря на указанные преимущества технологии пластиковых дорог, долгосрочные последствия пока неясны.

### **Список литературы:**

1. Николаев, С. А. Интеллектуальные транспортные системы и их применение в дорожном хозяйстве / С. А. Николаев. – Москва : МАДИ, 2023. – 224 с.
2. Петров, Р. Д. Экологические аспекты применения новых материалов в дорожном строительстве / Р. Д. Петров. – Саратов : СГТУ, 2022. – 176 с.
3. Сидоров, А. П. Нанотехнологии в дорожном строительстве / А. П. Сидоров. – Москва : Наука, 2019. – 240 с.
4. Соколов, В. Н. Инновационные решения в проектировании дорожных одежд / В. Н. Соколов. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – 216 с.
5. Федоров, Л. И. Конструкции дорожных покрытий с использованием резиновой крошки / Л. И. Федоров. – Воронеж : ВГТУ, 2023. – 160 с.
6. Яковлев, Г. И. Инновационные методы контроля качества дорожных работ / Г. И. Яковлев. – Москва : Стройиздат, 2022. – 256 с.