

Наиболее широкой сферой применения битума и его композиций является дорожное строительство[1]. Все дорожные асфальтобетонные покрытия включают два основных компонента: битум и каменный материал. Битум, составляющий 4-7% дорожного покрытия, выполняет функцию вяжущего между различными звеньями щебеночного скелета, создавая достаточную внутреннюю когезию в асфальтобетонном покрытии. Поэтому, важным является обеспечение сильной адгезии битума с поверхностью каменного материала. Известно, что производимые в стране битумы имеют узкий (60-65°C) интервал пластичности и невысокую адгезию к каменным материалам [2, 3], что негативно сказывается на качестве дорожного асфальтобетона, предназначенного для строительства автомобильных дорог. Стремление расширить ассортимент органических вяжущих и улучшить свойства вяжущего в различных направлениях стимулирует исследования по созданию композиционных материалов на базе побочных продуктов химической и других отраслей промышленности. В последнее время также уделяют большое внимание использованию возобновляемых ресурсов и материалов, в том числе и в дорожном строительстве. В качестве добавки в органическое вяжущее в дорожном строительстве могут применяться жидкие продукты термического разложения лигноцеллюлозной биомассы [4]. Применению продуктов термического разложения древесины в дорожных вяжущих и укреплению грунтов посвящено ряд работ ученых СПбГЛТУ и КГАСА [5, 6]. Министерством транспортного строительства, Государственным всесоюзным дорожным научно-исследовательским институтом (СОЮЗДОРНИИ) разработаны методические рекомендации, которые допускают добавление пиролизных смол в качестве компонентов дорожных вяжущих, снижающих себестоимость [19]. Особенно данный подход актуален при вовлечении отходов лесного комплекса и использовании местных возобновляемых материалов в дорожном строительстве. Наибольший выход жидких продуктов (до 60% масс. [7,8,9]) осуществляется при быстром пиролизе - термическом разложении биополимеров в отсутствие окислительной среды при высокой (до 1000°C/сек) скорости нагрева и малом времени пребывания продуктов в реакционном пространстве [10,11, 12]. Исследовательские работы по применению жидких продуктов быстрого пиролиза, а также их фракций в дорожном строительстве проводятся рядом зарубежных исследователей в университете Айовы, США, а также специалистами компании BTG, Нидерланды[13, 14]. Результаты исследований показали весьма многообещающую перспективу их использования в дорожном строительстве. Жидкие продукты быстрого пиролиза включают в себя множество соединений с различными свойствами, образующиеся в результате термического разложения основных биополимеров целлюлозы и лигнина. В частности они включают в себя как водорастворимые (низшие карбоновые кислоты, кетоны, альдегиды, гидроксиацетальдегиды, ангидросахара,

сахара), так и водонерастворимые компоненты (смолы, полимеры, олигомеры лигнина, ароматические углеводороды и др.). Для применения в дорожных вяжущих большой интерес представляют соединения и полимеры, которые не подвержены вымыванию и растворению в воде. Содержащиеся в данных соединениях функциональные гидроксильные, метоксильные, карбонильные и карбоксильные группы потенциально увеличивают адгезию битумов к каменным материалам за счёт химического взаимодействия с основными группами карбонатных пород минеральной части асфальтобетона, а также способны замедлять процессы термоокислительной деструкции битумов [16, 17]. С целью оценки адгезионной прочности композиционного вяжущего были проведены экспериментальные исследования. Продукты быстрого пиролиза были получены на установке УБП-50 из измельченной сухой древесины березы при температуре $500 \pm 20^\circ\text{C}$ [11, 15, 20, 21]. Перед добавлением в битум осуществлялась сепарация жидких продуктов пиролиза путем водной экстракции и отстаиванием водонерастворимой части. При этом водонерастворимая фракция пиролизной жидкости имела следующие параметры: плотность - 1,13 г/мл, пенетрация - 158 мм, температура размягчения - 32°C . Водонерастворимая фракция смешивалась с битумом марки БНД 60/90 при температуре $80-90^\circ\text{C}$ в течении 30 минут в диапазоне от 0 до 100 %. Адгезионное взаимодействие на границе вяжущее - каменный материал определяли прямым измерением по методике [18], суть которой состоит в отрыве друг от друга мраморных пластинок, склеенных тонким слоем композиционного вяжущего (рис. 1). Поверхность полированных мраморных пластин была предварительно хорошо очищена, обезвожена и обезжирена растворителями: этанолом и затем диэтиловым эфиром. Рис. 1 - Схема разрыва мраморной пластиной модифицированного битума: 1 - мраморная пластина; 2 - слой вяжущего. В ходе исследования навески 5 г (битумная композиция, содержащая водонерастворимую фракцию пиролизной жидкости БНД60/90), расплавленные при $80-90^\circ\text{C}$, помещались между полированными поверхностями горизонтально расположенных мраморных пластин. Верхняя пластина прижималась к нижней с нагрузкой 3 кгс/см². В течение 15 мин температура пластин доводилась до комнатной. Данные пластины выдерживались в течении суток, для стабилизации и затем подвергались испытанию. Для определения усилий отрыва пластин друг от друга применялась универсальная испытательная машина ИР 5082-50. Скорость перемещения рабочих тел машины составляла 5 мм/мин. Адгезионная прочность битума определялась выражением (1) где P - разрывная нагрузка в момент разделения пластин, Н; S - суммарная площадь пластин, $S = 0,0006 \text{ м}^2$. Относительная адгезионная прочность (K_0) образцов, модифицированных исходными синтетическими полимерами, и образцов, модифицированных растворами этих же полимеров, определялась относительно адгезионной прочности исходного битума: (2) где $\sigma_{рт}$ - адгезионная прочность

модифицированного вяжущего, кПа; $\sigma_{рб}$ – адгезионная прочность исходного битума, кПа. Зависимость изменения адгезионной прочности от содержания водонерастворимой фракции пиролизной жидкости (ПЖ) в композиции представлена на рис. 2. Точками обозначены экспериментальные значения, а линией отображены средние значения адгезионной прочности. Рис. 2 - Зависимость адгезионной прочности от содержания водонерастворимой фракции пиролизной жидкости в составе композиций битумного вяжущего. Из данной зависимости (рис.2) видно, что наилучшие показатели прочности показал образец, содержащий 10% пиролизной жидкости. Как видно из данной зависимости кривая адгезионной прочности имеет сложный характер и три характерных участка. На первом участке, (при содержании пиролизной жидкости от 0 - 10 %) происходит нелинейное возрастание адгезионной прочности в 1,94 раза с максимумом в 10%. Причем наиболее интенсивное возрастание адгезионной прочности наблюдается в диапазоне 5-10%. Второй участок кривой характеризуется снижением адгезионной прочности в диапазоне содержания пиролизной жидкости в составе битумной композиции от 10 до 90%. Причем в диапазоне 10-80 % снижение адгезионной прочности происходит практически линейно с достижением среднего значения прочности $\pm 198,67$ кПа. При увеличении содержания водонерастворимой фракции пиролизной жидкости от 80 до 90% в составе битумной композиции происходит резкое снижение прочности в 3,76 раз. Третий участок кривой (90-100%) характеризуется стабилизацией значения адгезионной прочности на уровне $26,4 \pm 5$ кПа, что соответствует адгезионной прочности исходной пиролизной жидкости. Данный сложный характер зависимости можно объяснить тем, что с увеличением концентрации водонерастворимой фракции пиролизной жидкости до определенной степени увеличивается количество адсорбированных на поверхности мицелл асфальтенов соединений пиролизной жидкости (смола, олигомеров и полимеров) с функциональными группами, увеличивающими адгезионную прочность. При этом, при концентрации, близкой к 10 % водонерастворимой фракции пиролизной жидкости, в составе битумной композиции, по всей видимости, происходит насыщение поверхности битумных мицелл, и достигается максимальная адгезионная прочность композиции. Дальнейшее увеличение содержания водонерастворимой фракции пиролизной жидкости приводит к снижению адгезионной прочности до значения прочности исходной пиролизной жидкости с увеличением концентрации дисперсной среды. Таким образом, в результате взаимодействия битума и пиролизной жидкости получается материал, имеющий адгезионную прочность выше, чем оба исходных материала. При этом наилучшие показатели по адгезионной прочности показали битумные композиции, содержащие в своем составе водонерастворимую фракцию пиролизной жидкости от 5 до 80%. Ввиду улучшения адгезионных свойств композиционного вяжущего, оно может быть

использовано в качестве дорожного покрытия для сельских и отдаленных районов, являющихся важнейшей составной частью общей инфраструктуры лесного и аграрного комплексов. Тем не менее, для формирования утвердительного заключения о возможном использовании пиролизной жидкости в качестве компонента вяжущего для дорожного строительства необходимо провести ряд дополнительных исследований. В частности научно-практический интерес представляют определение и исследования структурных свойств битумной композиции, а также пенетрации, окислительной способности, водопоглощения, прочности в составе дорожного полотна, морозостойкости и других свойств.