

МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ШИННОЙ РЕЗИНЫ

Согласно современным оценкам, доля дефектов в жизненном цикле асфальтобетонного покрытия, обусловленных качеством вяжущего, составляет от 40 до 90% [1]. Применение традиционных дорожных битумов не отвечает современным требованиям, предъявляемым к покрытиям на автомагистралях с интенсивным движением и сложными природно-климатическими условиями их строительства. Это относится не только к дорожным битумам Российской Федерации [2].

Мировой опыт показывает, что в современных условиях задача повышения долговечности асфальтобетонных покрытий решается за счет введения различных модификаторов, среди которых немаловажную роль играют модификаторы на основе шинной резины, получаемой при переработке изношенных автопокрышек.

К сожалению, в дорожной отрасли РФ бытует ошибочное мнение, что резина, получаемая при утилизации автопокрышек, является низкокачественными отходами, которые пытаются применять в дорожном строительстве исключительно с целью захоронения. Это неверно. Шинная резина является высококачественным полимерным материалом, молекулярная структура которого практически не изменяется в процессе эксплуатации автопокрышек. Основным компонент шинной резины, бутадиен-стирольный каучук, широко применяется для получения полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), наряду с блок-сополимером стирола и бутадиена (СБС). Кроме того, в процессе утилизации покрышек резина проходит специальную обработку с целью очистки от металлического и синтетического корда.

Модификаторы на основе шинной резины уже более 50 лет успешно используются в дорожной отрасли различных стран мира. Асфальтобетоны, изготовленные с применением таких модификаторов, отличаются повышенной сдвигоустойчивостью, устойчивостью к отраженным и низкотемпературным трещинам, повышенной усталостной долговечностью, более низкой стоимостью содержания (эксплуатационные

расходы) дорожного покрытия, повышенной устойчивостью слоев покрытия к старению [3].

Rubber Pavement Association, объединяющая специалистов, имеющих опыт работ по изготовлению и применению резиномодифицированных вяжущих и асфальтобетонов, добавляет к этому перечню следующие преимущества [4]:

- возможность уменьшения толщины покрытия;
- уменьшение затрат на текущий ремонт и содержание автомобильных дорог;
- меньшее расслоение асфальтобетонной смеси при устройстве покрытия;
- повышенная ровность покрытия;
- меньшее разбрызгивание (на мокрой дороге);
- обеспечение безопасности движения на сырой (мокрой) дороге;
- использование как в жарком, так и в холодном климате;
- уменьшение шума при движении автомобильного транспорта;
- экономическая эффективность (окупаемость) строительства автомобильной дороги при применении резиномодифицированных вяжущих;
- выгодное использование утилизированных шин;
- пригодность асфальтобетонов для повторной переработки;
- безвредность для окружающей среды;
- меньшие энергозатраты;
- меньшее выделение CO₂;
- стабильный (способный сохраняться в течение длительного времени) строительный материал;
- совместимость (возможность использования стандартных методов конструирования покрытий);
- соответствие спецификациям штатов и ASTM.

Попытки улучшения свойств битума путем введения в него эластичных наполнителей, от каучука до шинной резины, предпринимались начиная с середины XIX века [5]. Но только в 1960-х годах в Аризоне (США) Charles H. McDonald предложил решение, обеспечившее как технологическую, так и экономическую эффективность процесса. Разработанный им материал – резинобитумное вяжущее (резинобитум), названное Asphalt Rubber (AR) – получали из шеровки – шинной крошки, образующейся при восстановлении протектора [6]. Следует отметить, что в те годы в США не существовало ни проблемы утилизации шин, ни рынка резиновой крошки.

Необходимость поиска путей утилизации покрышек возникла на несколько десятилетий позже, в связи с резким увеличением автопарка и значительным скоплением изношенных шин на полигонах и несанкционированных свалках. Продолжительные пожары, периодически возникавшие в местах скопления шин, вызывали значительную озабоченность общественности и экологов. В связи с этим с 1986 по 1990 год в 49 штатах США было введено нормативное регулирование складирования автопокрышек, а правительство США начало поиск направлений утилизации покрышек, которые позволили бы отказаться от сжигания шин в цементных печах. К тому времени резинобитумные вяжущие, типа Asphalt Rubber, получили распространение в Аризоне, Калифорнии, Техасе и Флориде, а опытные участки с AR были уложены более чем в двадцати штатах [7].

Пытаясь распространить накопленный положительный опыт применения резинобитумных вяжущих и рассматривая это направление как эффективный путь утилизации отработанных шин, Конгресс США в 1991 году издал Intermodal Surface Transportation Efficiently Act (ISTEA). Раздел Section 1038 предписывал департаментам транспорта (DOT) всех штатов начиная с 1993 года исполь-



Figure 1. Asphalt-Rubber Binder



Figure 2. Terminal Blend Binder

Рис. 1 Резино-модифицированные вяжущие: 1 – Asphalt Rubber; 2 – Terminal Blend

зывать определенное количество Asphalt Rubber при строительстве дорог, финансируемых из федерального бюджета, на территории их штатов. При этом объем Asphalt Rubber по отношению к общему объему вяжущих должен был составить 5% в 1993 году; 10% в 1994 году; 15% в 1995 году и 20% в 1996 году, причем уровень в 20% должен был сохраняться и в дальнейшем [8].

Распоряжение Section 1038 ISTEA, направленное на интенсивное внедрение резинобитумных вяжущих, по ряду причин вызвало резкое сопротивление со стороны дорожной отрасли США: документ был подготовлен без консультаций со специалистами; ряд технологий производства Asphalt Rubber еще находился под патентной защитой; многие штаты не обладали ни опытом работы с резинобитумными вяжущими, ни соответствующими кадрами, ни необходимым оборудованием. А самое главное – в 1991 году в США не производилось достаточного для выполнения этого предписания количества измельченной шинной резины, поскольку рынок резиновой крошки только начинал формироваться. Все это привело к дискредитации модифицированных вяжущих на основе шинной резины в ряде североамериканских штатов, к установлению моратория, а затем и к полной отмене распоряжения Section 1038 ISTEA [8].

Тем не менее работа с резинобитумными вяжущими продолжилась, и сегодня использование вторичной шинной резины в качестве модифицирующей добавки для эффективного улучшения реологических характеристик дорожного битума является одним из важных направлений утилизации отработанных автопокрышек, активно

развиваемым в разных странах мира, включая США, Австралию, Южную Африку, Европу, Бразилию и Судан [9]. На прошедшей в 2015 году конференции Rubberized Asphalt Rubber 2015 (RAR 2015) Conference сообщалось об опыте применения шинной резины в дорожной отрасли Китая, Индонезии, Индии, Саудовской Аравии и др.

Использование шинной резины для получения горячих резиномодифицированных смесей позволяет реализовать один из двух сценариев: либо (а) уменьшить толщину слоев при неизменной долговечности покрытия, либо (б) увеличить время жизни (и увеличить межремонтный срок) при неизменной, по сравнению со смесью с немодифицированным вяжущим, толщине слоя. Здесь следует отметить, что известны два традиционных способа использования резины в дорожной промышленности: «мокрый» (wet process) – подразумевающий наличие технологической стадии приготовления модифицированного вяжущего, и «сухой» (dry process) – введение модификатора непосредственно на этапе приготовления асфальтобетонной смеси.

Термин «wet process» фактически объединяет множество технологий, которые могут заметно различаться в зависимости от используемого оборудования и особенностей применяемой резиновой крошки. В большинстве случаев при производстве резинобитумного вяжущего используют резиновую крошку или модификатор на ее основе, с размером частиц менее 1 мм, хотя иногда, в целях удешевления конечного продукта, применяют крошку с размером 2,5–3,0 мм. Процесс модификации обычно проводят в температурном диапазоне

от 170°C до 220°C в течение 1–3 часов. Среди основных типов резинобитумных вяжущих, получаемых по «мокрому» процессу, следует выделить Asphalt Rubber и Terminal Blend, различающиеся в первую очередь размером частиц резины в готовом вяжущем (рис. 1).

Известны проблемы модифицированных вяжущих: это, главным образом, старение битума в процессе приготовления вяжущего и ограниченное время хранения и транспортирования. Модификаторы для «сухого» введения представляют особый интерес, так как их применение снимает эти проблемы.

«Сухой» способ введения резины в асфальтобетонные смеси был разработан в 1960-е годы в Швеции. В общем виде этот способ сводится к введению резиновой крошки (или модификатора на ее основе) непосредственно в смеситель для приготовления асфальтобетонной смеси и не предполагает выделения отдельной технологической стадии приготовления резиномодифицированного вяжущего. Модификатор взаимодействует с битумом ограниченное время (как правило, не более 1,5–3,0 минут) в процессе смешения битума и каменных материалов, нагретых до 160–180°C.

Следует особо подчеркнуть, что «мокрый» способ модификации менее критичен к качеству исходной резиновой крошки, в то время как для «сухого» процесса, протекающего в значительно более короткое время, эффективность модификации, с точки зрения улучшения реологических свойств исходного битума, определяется размером используемых резиновых частиц, их морфологией и степенью девулканизации.

Отметим также, что одним из направлений «сухой» модификация является введение резиновых частиц в качестве замены отдельных фракций каменных материалов с целью уменьшения тормозного пути или снижения уровня шума покрытия, и в таких случаях модификация может не сопровождаться изменением реологических свойств битума [10].

Несмотря на многолетние исследования механизма взаимодействия резины с битумом, до настоящего времени среди специалистов не существует единого мнения по данному вопросу [9]. Принято считать, что в процессе приготовления резино-битумного вяжущего в результате взаимодействия резиновых частиц с битумом происходит их набухание за счет поглощения легких фракций битума [4], но особенность этого процесса может в значительной степени определяться морфологией и размером резиновых частиц [11].

За рубежом распространен преимущественно «мокрый» способ, использующий резиновую крошку, получаемую в процессе традиционной утилизации автопокрышек.

Анализ действующих PG спецификаций вяжущих, применяемых в различных североамериканских штатах, показывает, что шинная резина используется для улучшения качества дорожных битумов в Калифорнии, Арканзасе, Флориде, Джорджии, Миссури, Неваде, Огайо, Южной Каролине. Причем для различных применений используются как классические резинобитумные вяжущие типа Asphalt Rubber и Terminal Blend, так и гибридные вяжущие, содержащие в своем составе шинную резину и SBS. Кроме того, описывается применение модификаторов на основе резиновой крошки для «сухого» введения.

В практике США не всегда применение резиномодифицированных вяжущих или модификаторов на основе шинной резины специально оговаривается в PG спецификациях. Сведения о применении этих материалов можно найти в других официальных документах. Так, в «Комплексном руководстве по проектированию дорожных покрытий» департамента транспорта штата Нью-Йорк отмечается, что при проектировании

смесей по системе Superpave в качестве вяжущего марок PG 64H-22 (High), PG64E-22 (Extreme), PG58E-34 (Extreme), наряду с полимерно-битумными вяжущими на основе SB и SBS, используется терминальное резинобитумное вяжущее (Terminal Blend Crumb Rubber modified) [12].

Хорошо известно, что в силу большого размера резиновых частиц Asphalt Rubber создает проблемы при уплотнении плотных смесей, вследствие чего используется, как правило, только в Open-Graded и Gap-Graded слоях, тогда как Terminal Blend, содержащее частицы более мелкого размера, применяется и в Gap-Graded, и в Dense-Graded смесях [13]. Большой интерес представляет использование Asphalt Rubber в Калифорнии [14] и ряде других штатов. Так, например, в Аризоне приблизительно 50% покрытий в верхнем слое содержат резиномодифицированные смеси (рис. 2) [15]. Фактически, одной из главных целей использования Asphalt Rubber является снижение отраженных трещин.

Опыт применения резиномодифицированных покрытий в США показал пригодность Asphalt Rubber для восстановления серьезно поврежденных

покрытий с некоторым сохранением структурной целостности, что встречается при увеличении доли тяжелых транспортных средств в общем составе движения. В США во многих случаях уменьшение толщины слоев, содержащих резиновую крошку (до половины толщины слоя плотных горячих смесей) с минимальным значением 1,2 дюйма (30 мм), компенсирует большую часть возрастания первоначальной стоимости. Дополнительные преимущества (снижение расходов на техническое содержание и повышение срока службы), обеспечиваемые при использовании резино-битумных материалов, позволяют вообще компенсировать различие в стоимости.

Приводятся данные о том, что использование измельченной резиновой крошки позволяет увеличивать содержание битума без его стекания за счет увеличения вязкости резиномодифицированного вяжущего. Отмечается, что увеличение вязкости резиномодифицированного вяжущего позволяет повышать содержание вяжущего в смесях, что ведет к увеличению толщины слоя на каменном материале (до 19–25 мкм). А увеличение толщины пленки резинобитумного вяжущего на частицах каменного материала увеличивает устойчивость покрытия

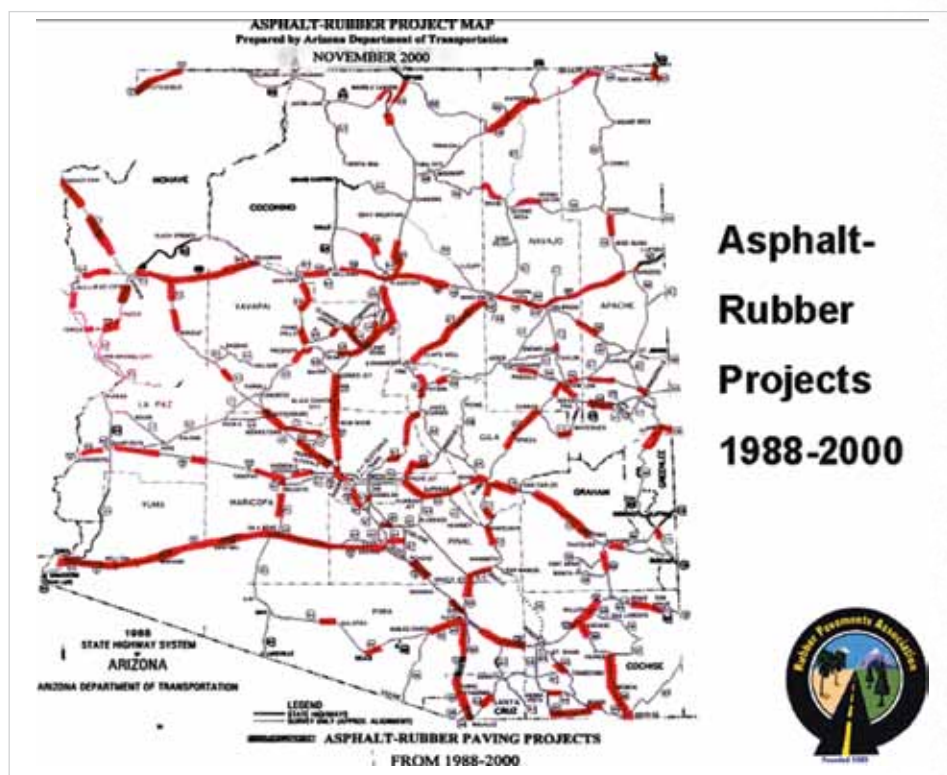


Рис. 2. Применение Asphalt Rubber в 1988–2000 годах в Аризоне. Участки с AR выделены красным цветом

к старению, а также обеспечивает улучшение устойчивости покрытия к трещинообразованию, в то время как в смесях с низким содержанием вяжущего слой битумной пленки на частицах каменного материала составляет 4–5 мкм, и это приводит к его ускоренному старению, потере прочности и эффекту «вышелушивания» каменного материала [16].

Присутствие в составе резины, особенно шинной, специальных химических добавок – антиоксидантов и антистарителей – обуславливает повышенную устойчивость резиномодифицированных вяжущих к старению. При модификации битумов резиной эти добавки диффундируют в объем композиционного вяжущего, стабилизируя его структуру [10].

Расширение температурного интервала пластичности резинобитумного вяжущего делает дорожное покрытие более устойчивым к трещинообразованию при низких температурах и более устойчивым к колееобразованию при высоких температурах. Более толстый слой резинобитумного вяжущего на поверхности каменного материала вносит вклад в увеличение долговечности покрытия. Натурные испытания покрытий показывают, что слои с резинобитумным вяжущим проявляют более чем удвоенную усталостную долговечность по сравнению со слоями покрытий, содержащими немодифицированный битум [17].

В некоторых случаях использование резиномодифицированных горячих асфальтобетонных смесей позволяет отказаться от применения геотекстильных материалов. Приводятся данные об уменьшении стоимости содержания участков дорог с резиномодифицированными покрытиями. Отмечается, что после восьми лет эксплуатации стоимость содержания таких участков дорог может уменьшаться вдвое по сравнению с контрольными участками [18].

Сообщается об успешных экспериментах по применению резинобитумных вяжущих для производства теплых смесей [4, 19]. Сообщается также, что добавление резиновой крошки к асфальтобетонным смесям увеличивает устойчивость смесей к воздействию мороза и увеличению коэффициента трения между шинами и поверхностью

покрытия, что позволяет уменьшить тормозной путь приблизительно на 25% [10]. Сокращение тормозного пути из-за увеличения трения может быть особенно сильно выражено для поверхности слоев, уложенных из асфальтобетонов, модифицированных резиновой крошкой по «сухому» методу.

Накопленный к настоящему времени опыт применения резиновой крошки в дорожных покрытиях штата Калифорния показывает, что материалы на основе резино-битумного вяжущего могут вести себя очень хорошо при надлежащем проектировании и строительстве. В изданном Калифорнийским департаментом транспорта «Руководстве по использованию резинобитумного вяжущего» Asphalt Rubber (то есть содержащего крупные частицы резины), отмечается «необходимость строгого соблюдения технологии укладки резиномодифицированных смесей, в том числе в отношении соблюдения температурно-временных режимов». В частности, указывается, что к 1995 году в городах и округах Калифорнии было выполнено около 400 проектов с резинобитумным вяжущим, включая участки с поверхностной обработкой. Однако наблюдались некоторые проблемы, включая случаи преждевременного разрушения. Как оказалось, часть этих проблем была явно связана с технологией строительства: многие из подрядчиков, участвовавших в этих проектах, имели мало (или вообще не имели) опыта работы с резиномодифицированными смесями [20].

Очень важным результатом является то, что разрушения, наблюдаемые в резиномодифицированных покрытиях, прогрессируют с более медленной скоростью, чем можно было ожидать в структурно эквивалентных обычных покрытиях на основе плотных горячих смесей. Во многих случаях, когда наблюдалось преждевременное разрушение резиномодифицированных покрытий, в частности, образование трещин, для достижения адекватного срока службы покрытия требовался сравнительно небольшой ремонт, так как последующие разрушения развивались медленно.

Экономическая эффективность применения резиномодифицированных асфальтобетонных покрытий должна

оцениваться с учетом анализа стоимости жизненного цикла (LCCA), для чего Caltrans в 2006 году была разработана процедура применения, включающая график типового эксплуатационного содержания и ремонта автомобильных дорог для Калифорнии по климатическим регионам (побережье, долины, пустыни, горные районы), округа, тип поверхности и M&R работы, время эксплуатации, а также удельную стоимость затрат на строительство для различных стратегий ремонта (восстановления).

Известны многочисленные примеры использования резиномодифицированных покрытий в регионах с теплым и умеренным климатом. Поэтому большой интерес вызывает информация, касающаяся возможности использования резиновой крошки в более суровых климатических условиях.

Согласно данным, приведенным в ряде публикаций, в последние годы Swedish Transport Administration начато активное использование резинобитумных вяжущих (Asphalt Rubber) на автомобильных магистралях страны, в частности в Стокгольме, для уменьшения образования усталостных трещин, снижения годовых затрат и стоимости жизненного цикла покрытия, уменьшения уровня шума, увеличения безопасности движения и снижения экологической нагрузки на окружающую среду. Оценивается также устойчивость покрытия к воздействию шипованных шин. Работа выполняется при участии Аризонского университета (США). Проекту придается большое экономическое значение. В случае положительных результатов ожидается, что годовая стоимость обслуживания может быть снижена почти на 10 млн евро, при том, что увеличение расходов на строительство участков с Asphalt Rubber составляет около 25% [21].

Эти работы интересны, поскольку в 1970–1990-е годы Швеция имела опыт применения резинобитумного вяжущего. В то время отмечалось, что резинобитумное вяжущее, хотя и улучшает устойчивость к колееобразованию обычных асфальтобетонов, но не дает эффекта при применении в щебеночно-мастичных смесях, а также не уменьшает отраженные трещины [22].

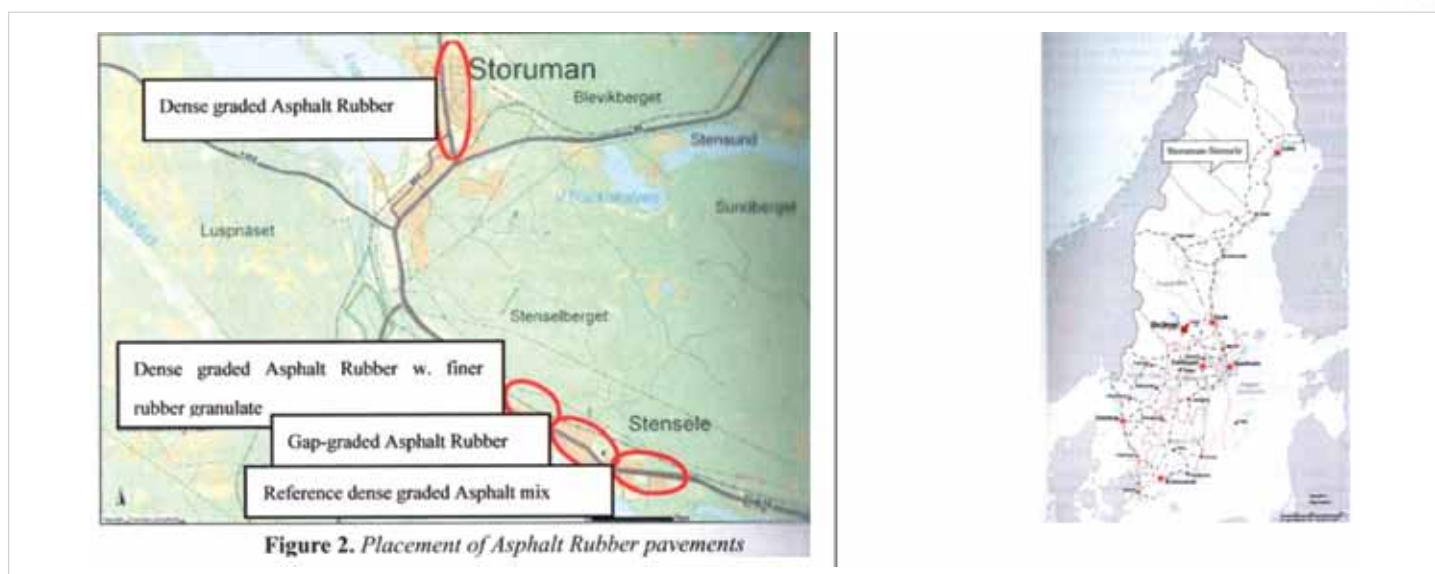


Рис. 3. Карты с указанием мест расположения участков асфальтобетонных покрытий с использованием резинобитумного вяжущего (2011 год)

В опубликованных к настоящему времени отчетах подтверждаются шумопоглощающие свойства резиномодифицированных покрытий, по сравнению с немодифицированными покрытиями. Приводятся также данные о проведении сравнительных экспериментов по испытаниям опытных участков покрытий с обычным битумом, полимер-модифицированных вяжущим, содержащим 3–6% полимера, и резинобитумным вяжущим с содержанием резины 21%. Предварительные испытания лабораторных образцов, выполненные в США, показали преимущества смесей, содержащих резинобитумное вяжущее, в части усталостной прочности [23].

Результаты испытаний кернов, взятых из уложенных на стохольмских улицах покрытий (смеси с прерывистым составом на немодифицированном, полимер-модифицированном и резинобитумном вяжущем), показали, что смеси, в составе которых использовано модифицированное шинной резиной вяжущее, имеют наилучшие эксплуатационные свойства. Они превосходят другие образцы в части долговечности, устойчивости к низкотемпературному трещинообразованию и сопротивлению образованию колеи [24].

В 2011 году на севере Швеции уложено несколько опытных участков с использованием Asphalt Rubber. Среднегодовая температура региона составляет -2°C , температурный минимум соответствует -40°C , снеговой покров лежит в течение 200 дней в году; продолжительность

светлого времени суток в зимний период составляет 3,5 часа, а летом солнце скрывается за горизонтом на 1 час. Покрытия уложены на участках трасы E12, являющейся частью сети, соединяющей европейские страны, и простирается от Хельсинки (Финляндия) до Мо I Rama (Норвегия). Уровень интенсивности движения на участке Storman трасы E12 составляет около 1500 транспортных средств в день (из них 100 автомобилей – тяжелые) в каждом направлении. Уровень интенсивности движения на участке Stensele составляет 2200 транспортных средств в день (из них 160 – тяжелые) в каждом направлении. Уложено три опытных участка:

- а) плотная горячая асфальтобетонная смесь с резинобитумным вяжущим Asphalt Rubber, для приготовления которого использована резиновая крошка обычного гранулометрического состава;
- б) плотная горячая асфальтобетонная смесь с Asphalt Rubber, для приготовления которого использована тонкая резиновая крошка;
- в) резиномодифицированная смесь gap-grade с Asphalt Rubber. Карты с указанием мест расположения контрольных участков приведены на рис. 3. Ведется мониторинг покрытий [21].

Сегодня добросовестные европейские производители вяжущих, использующие для оценки качества своей продукции, наряду с традиционными эмпирическими методами, стандарты SUPERPAVE, добровольно накладывают ограничения на область применения выпускаемых

ими немодифицированных битумов. Так, например, компания Orlen Asphalt еще в 2012 году провела испытания своих вяжущих на сдвигоустойчивость в соответствии с MSCR тестом (см. ПНСТ 88-2016) при температурах 58 и 64°C (см. табл. 1) [2]. По результатам этих испытаний с учетом требований к показателю $J_{nr3,2}$ (см. табл. 2), компания ограничила использование битумов марок 50/70 и 70/100 в слоях износа на дорогах с высокой интенсивностью движения, отметив, что «дорожный битум 50/70 может использоваться... в слоях износа на дорогах с небольшим и средним транспортным движением при условии соблюдения требований устойчивости смеси к колееобразованию» (см. п. 4.2.3 [2]), а «дорожный битум 70/100 в ограниченной степени может применяться для асфальтобетона и SMA в слоях износа при условии подтверждения устойчивости смеси к колееобразованию...» (см. п. 4.2.4 [2]). Дополнительно отметим, что в тех случаях, когда фактическая максимальная температура эксплуатации превышает 60°C , испытания смесей должны выполняться при этой фактической максимальной температуре, поскольку температура проведения испытаний смесей на устойчивость к колееобразованию по EN 12697-22 ограничена 60°C .

Несмотря на значительные объемы применения резиномодифицированных покрытий за рубежом, до настоящего времени среди специалистов дорожной отрасли России, к сожалению, бытует мнение, что резина не только не

улучшает, а наоборот, ухудшает свойства дорожных покрытий. Истоки этого убеждения восходят к отрицательному отечественному опыту применения резиновой крошки в соответствии с изданными в 1986 году «Методическими рекомендациями по применению асфальтобетонных смесей с полимерными отходами промышленности» (СоюзДорНИИ, СССР). Этот документ предписывал использование «сухим» методом резиновой крошки, полученной традиционным механическим измельчением. В нем особое внимание было обращено на «размер зерен вулканизированных полимеров (дробленной резины); показано, что максимальные плотность и прочность асфальтобетона обеспечиваются при использовании тонкодисперсной резины, содержащей не менее 60% частиц мельче 0,63 мм». Отмечалось также, что «улучшения уплотняемости смесей с дробленной резиной можно достигнуть, применяя мягчители (пластификаторы и

ПАВ, соответственно, 4–7% и 0,4–0,6% от массы битума), а также выдерживая готовые смеси в бункерах-накопителях в течение 1–2 ч.». Кроме того, говорилось, что «применение в асфальтобетонных смесях эластомеров (дробленной резины)... обеспечивает снижение хрупкости асфальтобетона при пониженных температурах, повышает устойчивость покрытий к динамическим воздействиям». Рекомендованное количество дробленной резины при введении в асфальтобетонную смесь составляло 1,5–2%, от массы минеральных материалов. Отмечалось, что «конструктивные слои из асфальтобетона с дробленной резиной характеризуются большей трещиностойкостью и повышенным сцеплением с шинами автомобиля». Однако полученные результаты привели к дискредитации резиновой крошки как модификатора асфальтобетона, поскольку зачастую образование трещин в покрытии увеличивалось. Это не

удивительно, ведь такая крошка может эффективно модифицировать битум только по «мокрой» технологии, либо выступать в качестве части заполнителя с соответствующей корректировкой состава смеси. Использование ее в «сухом» процессе, даже в сочетании с мягчителями и выдержкой в бункерах-накопителях, естественным образом привело к отрицательному результату и дискредитации идеи использования резины в качестве модификатора битума и асфальтобетона.

К настоящему времени в РФ накоплен более чем десятилетний практический опыт применения резинобитумных вяжущих и модификаторов на основе шинной резины. К сожалению, отсутствие государственного мониторинга за уложенными резиномодифицированными покрытиями и уменьшение объема научных исследований в дорожной отрасли вследствие ограничения финансирования привели к тому, что этот опыт не был должным образом систематизирован. Тем не менее, при надлежащем уровне качества модифицированных вяжущих и модификаторов на основе шинной резины, а также при соблюдении технологии приготовления асфальтобетонных смесей и их укладки, опыт отечественных лабораторных и полевых испытаний согласуется с положительным мировым опытом применения резиномодифицированных покрытий.

В 2015–2016 годах была предпринята попытка провести испытания модифицированных вяжущих и модификаторов на основе шинной резины по системе SUPERPAVE в лаборатории ФКУ «Центр-автомагистраль». При этом программа испытаний не была согласована с производителями модифицированных вяжущих и модификаторов на основе шинной резины, накопивших большой опыт их применения. За пределами внимания авторов программы остался огромный объем структурных и реологических исследований дорожных вяжущих, выполненных в мире за последние 10–15 лет.

Следствием этого стало то, что при проведении испытаний в ОКК ФКУ «Автоммагистраль»:

- были выборочно использованы методики «ранней» PG спецификации SUPERPAVE на вяжущие, созданной в процессе выполнения работ в рамках «Стратегической программы исследо-

Вид битума	Классификация движения при температуре	
	58°C	64°C
Дорожный 20/30	(E)	E
Дорожный 35/50	нет данных	V
Дорожный 50/70	V	S
Дорожный 70/100	S	*
Модифицированный ORBITON 10/40-65	(E)	E
Модифицированный ORBITON 25/55-60	E	E
Модифицированный ORBITON 45/80-55	E	E
Модифицированный ORBITON 45/80-55 EXP	(E)	V
Модифицированный ORBITON 45/80-65	(E)	E
Модифицированный ORBITON 65/105-60	(E)	E

классификация в скобках на основании результата при высшей температуре измерения
 * вне классификации, требования не выполнены
 S – обычное движение
 H – интенсивное движение
 V – очень интенсивное движение
 E – экстремально интенсивное движение

Табл. 1. Маркировка вяжущих Orlen Asfalt по системе SUPERPAVE с учетом интенсивности движения при температурах 58 и 64°C (приводится по [2])

Определение движения	Нагрузка (количество стандартных эквивалентных осей и условия движения)	Требования для вяжущего при верхней температуре PG	
		Требование для J _w 32	Дополнительное требование для J _w diff (*) (от англ. Stress sensitivity parameter*)
S – обычное (от англ. Standard)	< 10 миллионов осей и стандартное движение	≤ 4,0	≤ 75%
H – интенсивное (от англ. Heavy)	10–30 миллионов осей или движение на невысокой скорости	≤ 2,0	
V – очень интенсивное (от англ. Very Heavy)	> 30 миллионов осей или стоянка для транспортных средств	≤ 1,0	
E – экстремально интенсивное (от англ. Extreme)	> 30 миллионов осей и стоянка для транспортных средств	≤ 0,5	

*) Показатель чувствительности битума к изменениям напряжения

$$J_{w, diff} = \frac{J_{w, 3.2 \text{ кПа}} - J_{w, 0.1 \text{ кПа}}}{J_{w, 0.1 \text{ кПа}}} \cdot 100$$

Табл. 2. Маркировка вяжущих и требования относительно интенсивности движения и его характеристик в соответствии с требованиями SUPERPAVE (приводится по [2])

вания автомагистралей» (SHARP, США) более 20 лет назад и ориентированной в первую очередь на оценку качества немодифицированных битумов [25];

■ не был учтен достигнутый современный технический уровень и не была использована ни одна из современных методик, разработанных применительно к модифицированным вяжущим;

■ была сделана попытка подменить имеющийся опыт практического применения модифицированных вяжущих и модификаторов на основе шинной резины в РФ за последние 10 лет результатами лабораторных испытаний, выполненных в отдельной неаккредитованной лаборатории, причем не специализирующейся на проведении научных исследований. Следует особо отметить, что применимость метода BBR для оценки низкотемпературных свойств вяжущих и PG маркировки битумов (даже в том случае, когда объектом исследования являются традиционные немодифицированные отечественные дорожные битумы) требует дополнительного подтверждения [26].

С сожалением констатируя ослабление отечественной научной школы (включая и неоправданное закрытие известного всему международному научному сообществу научно-исследовательского института СоюзДорНИИ) вследствие многолетнего недофинансирования, подчеркиваем, что выбор и использование конкретных стандартов при проведении испытаний требует высокой квалификации персонала, критического подхода к планированию и проведению исследований, а также аккуратной интерпретации полученных результатов ввиду сложности объектов испытаний в целом, причем результаты таких испытаний должны быть в первую очередь предметом обсуждения в рамках академической дискуссии.

Считаем необходимым объединение усилий специалистов дорожной отрасли, включая научные и учебные организации, а также академических институтов и отечественных производителей модифицированных вяжущих и моди-

фикаторов для публичного обсуждения проблем дорожной отрасли в целом и для оценки эффективности применения тех или иных модификаторов в России.

Авторы данной статьи имеют более чем 10-летний опыт создания и исследования модификаторов на основе активного резинового порошка, получаемого методом высокотемпературного сдвигового измельчения. Созданный нами модификатор ПОЛИЭПОР-Р прошел в 2015–2016 годах масштабные испытания в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук и ООО «ЦМИиС», в том числе по стандартам SUPERPAVE. Основные результаты испытаний были опубликованы и доступны для специалистов [26, 27].

А.А. Берлин, академик РАН,
С.И. Дубина, канд. техн. наук,
В.А. Лобачев, **А.В. Сорокин**,
В.Г. Никольский, канд. физ.-мат. наук,
И.А. Красоткина, **Т.В. Дударева**

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM. – Springer, 2013, Vol. 9.6 fig. 2.4.
2. К. Блажеёвский, Я. Ольшакский, Х. Печаковский. «Битумный справочник». Copyright by ORLEN Asfalt sp. z o.o. ul. Chemikyw 7 09-411 Plock, Poland www.orlen-asfalt.pl 2014.
3. G.B. Way. «Asphalt-Rubber Standard Practice Guide – An Overview». Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012. P. 23–40.
4. G.B. Way et al. Final Report «Asphalt Rubber Standard Practice Guide». Arizona State University, 2011.
5. Rubber World, Those Amazing Rubber Roads, March-April, 1967; Heitzman, M.A., State of the Practice – Design and Construction of Asphalt Paving Materials With Crumb Rubber Modifier, Report FHWA A-SA-92-022. FHWA, May, 1992.
6. G.B.Way. «Asphalt-Rubber 45 Years of Progress». Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012. P. 41–52.
7. Douglas D. Carlson, Han Zhu. «Asphalt-Rubber An Anchor to Crumb Rubber Markets». Third Joint UNCTAD/IRSG Workshop on Rubber and the Environment International Rubber Forum Veracruz, Mexico, October 7, 1999.
8. M.H. Blumental. «The Impacts of Federal and State Policies on Asphalt Rubber in the United States». Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012.
9. Davide Lo Presti «Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review» Construction and Building Materials, Vol. 49, Dec. 2013, P. 863–881; Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference. Munich, Germany, October 2012. Edited by Dr. J. Bourne B. Sous
10. I. Gawel et al. «Rubber modified bitumen» // «Polymer Modified Bitumen. Properties and characterization». Woodhead Publishing Cambridge, UK, 2011.
11. V.G. Nikolskii et al. «Development and Properties of New Nanomodifiers for Road Pavement». Russian Journal of Physical Chemistry B, 2014, Vol. 8, No. 4, pp. 677–583.
12. New York State Department of Transportation «COMPREHENSIVE PAVEMENT DESIGN MANUAL». Chapter 6 – Materials Revision 6 (May 14, 2014) Section 6.2.6 Special Note Development, Appendix 6A Example Special Note for Downstate Polymer Modified PG Binder, PG 64E-22 (Extreme)
13. S. Shatnawi. «White Paper on Comparisons of Rubberized Asphalt Binders: Asphalt-Rubber and Terminal Blend» Rubber Pavements Association, 2011.
14. ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE, State of California Department of Transportation 2006.
15. A. Zareh and G.B. Way. «Asphalt-rubber 40 years of use in Arizona». Proc Asphalt Rubber 2009 Conf, Nanjing, China, 25–45, 2009.
16. «Guidelines for Use of Modified Binders. Final Report». University of Florida, Florida DOT, 2005.
17. J. Epps. «Used of Recycled Rubber Tires in Highways», NCHRP Synthesis, 198, Washington, DC, TRB, 1994.
18. «Polymer Modified Bitumen. Properties and characterization», Woodhead Publishing Cambridge, UK, 2011.
19. D. Jones et al. «Research Findings on the Use of Rubberized Warm-Mix Asphalt in California». Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012.
20. ASPHALT RUBBER USAGE GUIDE, State of California Department of Transportation 2006.
21. T. Nordgren, L. Preinfalk. Asphalt Rubber – a new concept for asphalt pavements in Sweden. Progress report – February 2009, Swedish Transport Administration, Gothenburg, Sweden.
22. Frank M. Rich «Use of tire rubber in asphalt pavements in Sweden» North Dakota Division, 2004.
23. W. Zeiada et al. «Comparison of Conventional, Polymer and Rubber Asphalt Mixtures Using Viscoelastic Continuum Damage Model» Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012.
24. K.E. Kaloush et al. «Laboratory Evaluation of Asphalt-Rubber Gap Graded Mixtures Constructed on Stockholm Highway in Sweden». Proceeding of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Germany, Oct. 2012.
25. David A. Anderson, Donald W. Christensen, Hussein U. Bahia et al. SHRP-F-369 Binder Characterization and Evaluation. Vol. 3 Physical Characterization. Washington, DC, 1994.
26. Дубина С.И., Никольский В.Г., Дударева Т.В., Красоткина И.А., Степанов В.Ф., Карпеев С.В. «Современные представления о строении битума. Методы тестирования битумных вяжущих». Автомобильные дороги. 2016. №№ 05-07 (1016).
27. Берлин А.А., Никольский В.Г., Дударева Т.В., Красоткина И.А., Зверева У.Г., Гордеева И.В., Сорокин А.В., Рожков И.М., Харпаев А.В. «Опыт применения стандартов Superpave». Автомобильные дороги. 2016. № 03 (1012). С. 73–80.