

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2020, №4, Том 7 / 2020, N 4, Vol. 7 <https://t-s.today/issue-4-2020.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS420.pdf>

DOI: 10.15862/09SATS420 (<http://dx.doi.org/10.15862/09SATS420>)

Модифицированные битумные вяжущие для дорожного строительства в условиях республики Саха (Якутия)

Лазарева Т.Л., Парфенов А.А.

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лазарева Татьяна Леонидовна, e-mail: 000192@pnu.edu.ru

Аннотация. При внедрении современных технологий строительства дорог в республике Саха (Якутия) необходимо учитывать природно-климатические условия данного региона, которые во многих отношениях характеризуются как экстремальные. Прежде всего, необходимо отметить, что Якутия – самый холодный регион Российской Федерации, территория которого полностью находится в зоне вечномёрзлых грунтов. В центре испытаний строительных материалов Тихоокеанского государственного университета проводились экспериментальные исследования по разработке технологического регламента на приготовление модифицированного битумного вяжущего, предназначенного для устройства дорожного покрытия на автомобильной трассе «Лена» (Якутск – Невер).

В настоящей работе для приготовления полимерно-битумного вяжущего был использован битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 130/200. В процессе исследований была решена задача подбора состава полимерно-битумных вяжущих марок ПБВ 200 и ПБВ 300 с температурой хрупкости, не превышающей -35°C и -40°C при использовании добавок термоэластопластов SBS

LG 502 (Южная Корея) и СБС Р 30-00А (АО «Воронежсинтезкаучук»), а также пластификатора – индустриального масла И-40А. Для оптимизации состава вяжущего и дальнейшего улучшения его характеристик предложено использовать битум с повышенным содержанием мальтеновых фракций и включить в его состав адгезионную добавку амфотерного типа ДАД-1. Полученное полимерно-битумное вяжущее характеризуется широким интервалом работоспособности – повышенной температурой размягчения и пониженной температурой хрупкости, эластичностью (способностью к обратимым деформациям), высокой адгезионной способностью к различным горным породам. Достижение данных целей позволит повысить качество и долговечность асфальтобетонных покрытий в сложных климатических условиях.

Ключевые слова: дорожное строительство; автомобильные дороги общего пользования; природно-климатические условия; битум нефтяной; полимерно-битумное вяжущее; модифицирующие добавки; термоэластопласты; адгезионные добавки

Modified bituminous binders for road construction in the Republic of Sakha (Yakutia)

Tatyana L. Lazareva, Aleksey A. Parfenov

Pacific national university, Khabarovsk, Russia

Corresponding author: Tatyana L. Lazareva, e-mail: 000192@pnu.edu.ru

Abstract. Take into the account climate and environmental conditions of this region are necessary during modern road construction technologies introduction in the Republic of Sakha (Yakutia). This region's climate and environmental conditions in many ways are identified as extreme. First of all, it should be noted that Yakutia is the coldest region of the Russian Federation, its territory is completely located in the permafrost zone. At the constructional materials testing center of the Pacific National University, were executed experimental studies to develop technological regulations for the modified bituminous binder manufacturing intended for paving the Lena highway (Yakutsk – Never).

In this work, for the polymer-bitumen binder manufacturing, was used bitumen petroleum viscous for road building, grade BND 130/200. In the course of the research, the polymer-bitumen binders PBV 200 and PBV 300 with a brittle temperature not exceeding $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ with the thermoplastic elastomers

SBS LG 502 (South Korea) and SBS R 30-00A (JSC "Voronezhskintezkauchuk") additives use the formula selecting problem were solved, as well as plasticizer – industrial oil I-40A. To optimize the composition of the binder and further improve its characteristics, it is proposed to use bitumen with increased content of maltene fractions and to include in its composition an adhesion additive of the amphoteric type DAD-1. The resulting polymer-bitumen binder is characterized by a wide performance range – an increased softening temperature and a low brittleness temperature, elasticity (ability to reversible deformations), high adhesion to various rocks. Achieving these goals will improve the asphalt concrete pavement quality and durability in difficult climatic conditions.

Keywords: road construction; public highways; climate and environmental conditions; petroleum bitumen; polymer-bitumen binder; modifying additives; thermoplastic elastomers; adhesive additives

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием в Республике Саха (Якутия) в 2017 году на 1 тыс. кв. км составила 3,8 км (82 место среди субъектов Российской Федерации). При этом по Дальневосточному федеральному округу плотность автомобильных дорог общего пользования – 9,5 км, а в Российской Федерации – 62 км.

В Якутии 90 % автомобильных дорог общего пользования регионального значения составляют сезонные дороги (автозимники) и грунтовые дороги V технической категории с низкой пропускной способностью и грузоподъемностью. До настоящего времени 248 населенных пунктов республики из 641 не обеспечены круглогодичной связью с дорожной сетью общего пользования по автомобильным дорогам с твердым покрытием.

Государственная программа «Развитие транспортного комплекса Республики Саха (Якутия) на 2018–2022 годы» предусматривает комплекс мероприятий по дальнейшему развитию сети автодорог общего пользования с учетом внедрения передовых технологий и современных дорожно-строительных материалов. Это необходимо для формирования всесезонной транспортной сети Республики Саха (Якутия), надежно связанной с общенациональной транспортной сетью страны.

Развитие сети автомобильных дорог позволит снизить риски по северному завозу, открыть новые возможности для деловой жизни населения отдаленных районов. Завершение строительства автомобильных дорог «Колыма» (Якутск-Магадан), «Виллой» (Иркутск-Якутск) и «Амга» (Якутск-порт Аян Хабаровского края), реконструкция автомобильной дороги «Лена» (Большой Невер-Якутск) дадут возможность интегрировать дорожную сеть Якутии в межрегиональные транспортные потоки с Магаданской, Иркутской, Амурской областями и Хабаровским краем.

При внедрении современных технологий строительства дорог в Якутии необходимо учитывать природно-климатические условия данного региона, которые во многих отношениях характеризуются как экстремальные. Прежде всего, необходимо отметить, что Якутия – самый холодный регион Российской Федерации. Климат здесь резко-континентальный, отличается большой продолжительностью периода с отрицательной температурой (7–9 месяцев в году) и коротким летним периодом, когда можно вести строительные работы. Важно отметить тот факт, что разница средних температур самого холодного месяца – января и самого тёплого – июля составляет 70–75 градусов, а с учетом того, что абсолютный минимум температуры практически везде в

республике до минус 50 °С и ниже, контрастность температур еще выше. Ввиду ограниченного количества осадков, выпадающих зимой, снежный покров на подавляющей части территории незначителен.

Якутия – единственный регион, территория которого полностью находится в зоне вечномёрзлых грунтов. Вся континентальная территория республики представляет собой зону сплошной многовековой мерзлоты, и только на крайнем юго-западе она становится прерывистой. Сотрудники Института мерзлотоведения СО РАН отмечают, что в регионах залегания вечной мерзлоты нужен гибкий подход к строительству автомобильных дорог, так как главной причиной деформации дорожного полотна являются криогенные процессы, которые происходят в слое сезонного протаивания. Этот факт необходимо учитывать при проектировании конструкции дорожных одежд и выборе материалов для строительства, которые должны отличаться высоким качеством.

Постановка задачи исследований

Research problem statement

В центре испытаний строительных материалов Тихоокеанского государственного университета под руководством профессора Ярмолинской Н.И. проводились экспериментальные исследования по разработке технологического регламента на приготовление модифицированного битумного вяжущего, предназначенного для устройства дорожного покрытия на автомобильной трассе «Лена», расположенной на территории Республики Саха (Якутия). При проведении исследований ставилась задача получения вяжущего, соответствующего условиям эксплуатации асфальтобетонного покрытия на данной территории. Это определяет следующие минимальные требования к его основным эксплуатационным показателям:

- температура хрупкости по Фраасу должна быть равна или ниже расчетной зимней температуры асфальтобетонного покрытия, которая находится в зависимости от температуры наиболее холодных суток района строительства (СНиП 23.01-99);
- температура размягчения вяжущего по методу кольца и шара должна быть не ниже расчетной температуры сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий, основанной на средней температуре воздуха самого теплого месяца района строительства при скорости ветра 0 м/с;
- прочность сцепления вяжущего с поверхностью минеральных материалов должна обеспечивать требуемый коэффициент водостойкости асфальтобетона.

Выполнение этих требований обеспечивает длительную эксплуатацию слоев износа в покрытии без образования трещин, шелушения и выкрашивания.

Дорожные битумы по ГОСТ 22245-90, получаемые на российских нефтеперерабатывающих заводах методами окисления или компаундирования, не соответствуют требованиям, предъявляемым к ним в природно-климатических условиях Якутии – они обладают недостаточными показателями температурного интервала работоспособности и трещиностойки, а также совершенно не эластичны [1].

Научно доказано, что модификация битумов добавкой синтетических полимеров позволяет повысить долговечность асфальтобетона в дорожном покрытии. Асфальтобетон на битуме, модифицированном полимерами, отличается повышенной устойчивостью поверхности дорожного полотна к колееобразованию в жаркое время года и к образованию трещин при отрицательных температурах [2–6].

Результаты исследований

Research results

К настоящему моменту в России и за рубежом накоплен значительный опыт по применению полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) на основе битума с добавкой блок-сополи-меров типа «стирол-бутадиен-стирол» (СБС) при строительстве и ремонте дорог с асфальтобетонным покрытием. Требования к показателям качества материала регламентирует ГОСТ Р 52056-2003. Учитывая низкие температуры зимнего периода эксплуатации федеральной трассы М-54 «Лена» (Большой Невер – Алдан – Якутск), полимерасфальтобетон для дорожных покрытий должен готовиться на вяжущих ПБВ 200 или ПБВ 300 с температурой хрупкости не выше $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. По мнению специалистов в области модификации битумов, решить эту проблему можно совместным введением в битум добавок полимера и пластификатора, например, мазута, гудрона, масляных фракций переработки нефти и других подобных материалов с высоким содержанием ароматических углеводородов. Их присутствие обеспечивает требуемый температурный режим приготовления полимерно-битумного вяжущего (не выше $160\text{ }^{\circ}\text{C}$) и ускоряет процесс получения материала однородного состава [7; 8].

На первом этапе исследований была поставлена задача подбора состава полимерно-битумного вяжущего марки ПБВ 300 на основе битума БНД 130/200 (показатель пенетрации $P_{25} = 140\text{ мм}^{-1}$) с температурой хрупкости не выше $-41,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (средняя минимальная температура января для г. Якутска) при использовании добавок термоэластопластов SBS LG 502

производства LG Cemical (Ю. Корея) и СБС Р 30-00А (ТУ 2294-019-00148889-2013) производства АО «Воронежсинтезкаучук».

Полимерный модификатор битума класса термоэластопластов СБС Р30-00А характеризуется рядом необходимых преимуществ по сравнению с полимерами других классов (эластомерами, термопластами, реактопластами):

- хорошо совмещается с битумом, имея разветвленную структуру и минимальную молекулярную массу – 80000–100000 вместо 500000–1000000 для других полимеров;
- сочетает в себе высокую прочность при растяжении (до 20 МПа), присущую пластмассам, и одновременно высокую эластичность и очень низкую (до минус 70–80 °С) температуру стеклования, присущую эластомерам.

По результатам предварительных исследований [9] и исходя из экономических соображений, содержание полимерной добавки в битуме было принято равным 3,0–3,5 %.

Чтобы добиться оптимальной совместимости полимера с битумом, необходимо обеспечить в составе вяжущего достаточное количество ароматических мальтеновых соединений посредством увеличения количества масляных компонентов. Эта задача решается введением в битум пластификаторов – нефтяного гудрона, дизельного топлива, минеральных масел.

Введение пластификатора в состав полимерно-битумного вяжущего объясняется рядом причин. Во-первых, применение пластификатора позволяет существенно ускорить процесс приготовления вяжущего, во-вторых, способствует равномерному распределению макромолекул полимера с образованием непрерывной сетки в битуме при содержании полимера от 2,5 % и выше. Применение ПБВ с пластификатором снижает затраты на его приготовление, повышает производительность смесительной установки в заводских условиях, улучшает удобоукладываемость и уплотняемость смеси. Таким образом, наличие пластифицирующих компонентов в вяжущем – не только важное, но и необходимое условие получения качественного ПБВ [10; 11].

В качестве пластификатора было выбрано индустриальное масло И40 А по ГОСТ 20799-88 (чистое, без присадок), так как его температура вспышки превышает 220 °С, содержание нафтено-парафиновых углеводородов составляет 75–80 % и оно при температуре 150–160 °С хорошо совмещается с битумом и полимером. Содержание пластификатора варьировалось в пределах от 10 % и выше, в зависимости от необходимой температуры хрупкости вяжущего.

Приготовление вяжущих производилось при температуре 155–160 °С в условиях интенсивного механического перемешивания. Полноту растворения полимера в битуме оценивали по отсутствию инородных включений при растекании капли вяжущего на стекле.

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Влияние вида полимерной добавки термоэластопласта – модификатора на свойства полимерно-битумного вяжущего

The influence of the thermoplastic elastomer polymer additive type – modifier on polymer-bitumen binder properties

Показатели свойств Property indicators	Битум БНД 130/200 Bitumen BND 130/200	Полимерно-битумное вяжущее с добавкой термоэластопласта Polymer-bitumen binders with additive thermoplastic elastomer		ПБВ 300, требования ГОСТ Р 52056-2003 PBV 300, demands GOST R 52056-2003
		СБС Р 30-00А SBS R30-00А	СБС LG-501 SBS LG-501	
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм 1. Needle penetration depth, 0.1 mm				
- при 25 °С / - at 25 °С	140	310	310	не менее 300 not less than 300
- при 0 °С / - at 0 °С	36	236	235	не менее 90 not less than 90
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °С 2. Ring-and-ball softening point, °С	43	48	49	не ниже 45 not lower than 45
3. Растяжимость, см 3. Extensibility, cm				
- при 25 °С / - at 25 °С	112	72	64	не менее 30 not less than 30
- при 0 °С / - at 0 °С	9	65	57	не менее 25 not less than 25
4. Температура хрупкости, °С 4. Brittleness temperature, °С	-20	-42	-44	не выше -40 not above -40
5. Изменение температуры размягчения после прогрева, °С 5. Change in softening temperature after heating, °С	3	4	4	не более 7
6. Эластичность, % 6. Elasticity, %				
- при 25 °С / - at 25 °С		89	92	не менее 85 not less than 85
- при 0 °С / - at 0 °С	-	83	85	не менее 75 not less than 75
7. Оценка качества сцепления с песком и щебнем 7. Assessment of the quality of adhesion to sand and gravel	соотв. контр. образцу № 2 match up to check sample No. 2	соотв. контр. образцу № 2 match up to check sample No. 2	соотв. контр. образцу № 2 match up to check sample No. 2	соотв. контр. образцу № 2 match up to check sample No. 2
8. Температура вспышки, °С 8. Flash temperature, °С	234	243	240	не ниже 220 not lower than 220
9. Однородность 9. Smoothness		однородно uniformly	однородно uniformly	однородно uniformly

Разработано авторами / Developed by the authors

Сравнение полученных показателей свидетельствует о том, что свойства полимерно-битумных вяжущих, полученных при использовании модификаторов отечественного и корейского производства, в целом идентичны. Вяжущие по всем показателям соответствуют требованиям ГОСТ Р 52056-2003 на марку ПБВ 300: температура размягчения превышает необходимый уровень на 3–4 °С, температура хрупкости ниже требуемой на 2–4 °С. Интервал работоспособности вяжущих составляет 90–93 °С, что крайне важно для обеспечения качества асфальтобетона при эксплуатации в условиях резко-континентального климата Якутии. Следует также отметить, что добавка блок-сополимера СБС-Р30-00А обеспечивает высокую растяжимость и эластичность ПБВ при 0 °С.

Вместе с тем следует отметить, что избыток пластификатора отрицательно влияет на отдельные характеристики асфальтобетонного покрытия, в частности, приводит к ухудшению показателя сдвигоустойчивости асфальтобетона, что влечет за собой появление колеи на поверхности дорожного полотна в летний период времени [12].

Еще один отрицательный момент – введение масел приводит к нарушению относительной стабильности структуры битумного вяжущего, сформировавшейся на стадии его изготовления. Это является причиной расслоения ПБВ, особенно при повышенной температуре в статических условиях (в отсутствие перемешивания). Опыт показал, что полимерно-битумные композиции, приготовленные в лабораторных условиях, подвержены существенному расслоению. Так, температуры размягчения вяжущего при отборе из верхних и нижних слоев емкости после 24 часов отстаивания различались на 10–12 °С. В связи с этим некоторые исследователи предлагают использовать для приготовления ПБВ битумы с повышенным содержанием мальтеновой части при минимальной дозировке пластификатора [13]. Поэтому для дальнейших исследований по подбору состава ПБВ нами использовался менее вязкий битум марки БНД 130/200 с показателем пенетрации при 25 °С, равным 170 мм⁻¹.

Учитывая, что опытный участок реконструируемого дорожного покрытия располагался на федеральной трассе «Лена» рядом с г. Алдан, где средняя минимальная температура января составляет минус 30,8 °С, в то время как в Якутске эта температурная характеристика равна минус 41,5 °С, было принято решение использовать для приготовления асфальтобетонной смеси вяжущее марки ПБВ 200. Кроме того, для повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетона в состав вяжущего ввели адгезионную добавку.

Как отмечает значительное число исследователей, отечественные битумы для дорожного строительства, выпускающиеся по остаточному

принципу, не обеспечивают соответствие асфальтобетонов для покрытий автодорог со сложными условиям эксплуатации. Более того, введение термоэластопластов в состав вяжущего может даже ослабить взаимодействие между поверхностью зерен минеральных заполнителей и вяжущего. Поэтому рекомендуется в состав вяжущих для дорожного строительства вводить поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные повысить коррозионную стойкость покрытий и продлить срок службы асфальтобетонных покрытий [14].

Это тем более актуально, в связи с тем, что дорожные покрытия в условиях первой дорожно-климатической зоны Якутии в периоды межсезонья находятся при постоянном агрессивном воздействии увлажнения атмосферными осадками в сочетании с переменным замораживанием и оттаиванием. Граница раздела фаз в системе «битумное вяжущее – минеральный материал» в присутствии воды является постоянной зоной риска разрушения, а коррозионная прочность асфальтобетонных покрытий – один из важнейших факторов в решении задачи устройства надежных в эксплуатации дорог общего пользования. Поэтому необходимо свести к минимуму возможность появления «слабых мест» на границе раздела «вяжущее – минеральная подложка» уже на стадии проектирования дорожного композита, принимая во внимание общие закономерности образования и развития этих дефектов. Для этого следует целенаправленно подбирать и оптимизировать состав асфальтобетонной смеси с учетом использования наиболее эффективных добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) для усиления взаимодействий между ее компонентами. Одновременно эти добавки улучшают технологические свойства смесей, такие как удобоукладываемость и удобообрабатываемость, что приводит к уменьшению затрат времени и энергии на их перемешивание, укладку и уплотнение, улучшает качество и снижает стоимость дорожного строительства.

Обобщая имеющийся опыт по применению адгезионных добавок при производстве асфальтобетонных смесей, можно отметить, что наивысшие показатели сцепления битума с минеральными материалами кислого характера можно достичь с помощью добавок катионоактивных веществ класса алифатических и ароматических аминов или четырехзамещенных аммониевых оснований и имидазолинов, полученных на основе стеариновой, каприловой и рицинолевой кислот. В качестве эффективных адгезивов широкого спектра действия используют также добавки амфотерного типа, содержащие в своем составе анионо- и катионоактивные группы.

Анализ коммерческих предложений показывает, что на сегодняшний день рынок адгезионных добавок в битумы и асфальтобетонные смеси представлен разнообразными как импортными ПАВ, так и отечественными

аналогами. Поэтому к выбору адгезива необходимо подходить очень тщательно и грамотно, принимая во внимание не только характеристики свойств поверхностно-активных веществ и их стоимость, но и условия эксплуатации асфальтобетонного покрытия, а также технологические особенности производства органоминеральных смесей на конкретном предприятии.

Для оценки сбалансированности показателей «цена – качество» были проведены сравнительные испытания добавок ПАВ, имеющих предпочтение для применения их в асфальтобетонных смесях на территории севера Дальнего Востока.

Сравнительной оценке подверглись добавки нового поколения – ДАД-1 (ТУ 0257-028-22320188-2005, производитель ООО «Селена») и Rediset WMX-8017 (производитель AkzoNobel, Швеция). Выбор указанных добавок обоснован тем, что эти добавки относятся к классу амфотерных, обладают активными катионными и анионными группами и повышают адгезию вяжущего как к поверхности кислых, так и основных минеральных пород.

Добавка Rediset WMX в последнее время нашла применение в практике строительства автомобильных дорог в Дальневосточном регионе в виде опытного строительства. Это многофункциональная добавка, которая позволяет не только улучшить адгезивные свойства битума к каменному материалу, но и снизить температуру приготовления, укладки и уплотнения смеси на 20–30 °С, обеспечивая при этом хорошее покрытие. Продукт поставляется в виде сыпучего гранулированного материала, вводится в вяжущее на стадии разогрева битума или же непосредственно в смесительный узел установки АБЗ. Дозировка от 1,0 до 2,0 %.

Добавка ДАД-1 производится из абсолютно безопасного для человека экологически чистого сырья, имеет низкую рыночную стоимость. Добавка доступна в различных вариантах по вязкости, адаптированных для ручного и автоматического введения. Эффективная дозировка от 0,3 до 0,8 %. Присадка ДАД-1 апробирована на территории всех климатических зон России [15].

Адгезионные характеристики органического вяжущего вещества (битума, модифицированного поверхностно-активными добавками) изучались методом адсорбции красителя метиленового голубого, разработанным А.С. Колбановской [16]. Этот краситель легко адсорбируется на поверхности чистых минеральных материалов, но не имеет сродства к битуму, поэтому при контакте с полностью битуминизированными поверхностями его концентрация в растворе не изменяется. Если на поверхности минералов появляются открытые участки,

концентрация красителя снижается пропорционально степени отслоения битума.

Адгезия вяжущего, модифицированного добавками ПАВ, определялась по ГОСТ 11508 (метод А), по отношению к кислым (песок кварцево-полевошпатный, гранодиорит) и основным (мрамор) породам. В качестве адгезионных добавок использовали ДАД-1 и Rediset WMX.

Контроль качества сцепления битума, модифицированного адгезионными добавками, с минеральными материалами осуществлялся методом адсорбции из раствора красителя метиленового голубого, концентрация которого определялась на фотоэлектрическом калориметре КФК-3-01. Результаты исследований представлены графически на рисунке 1.

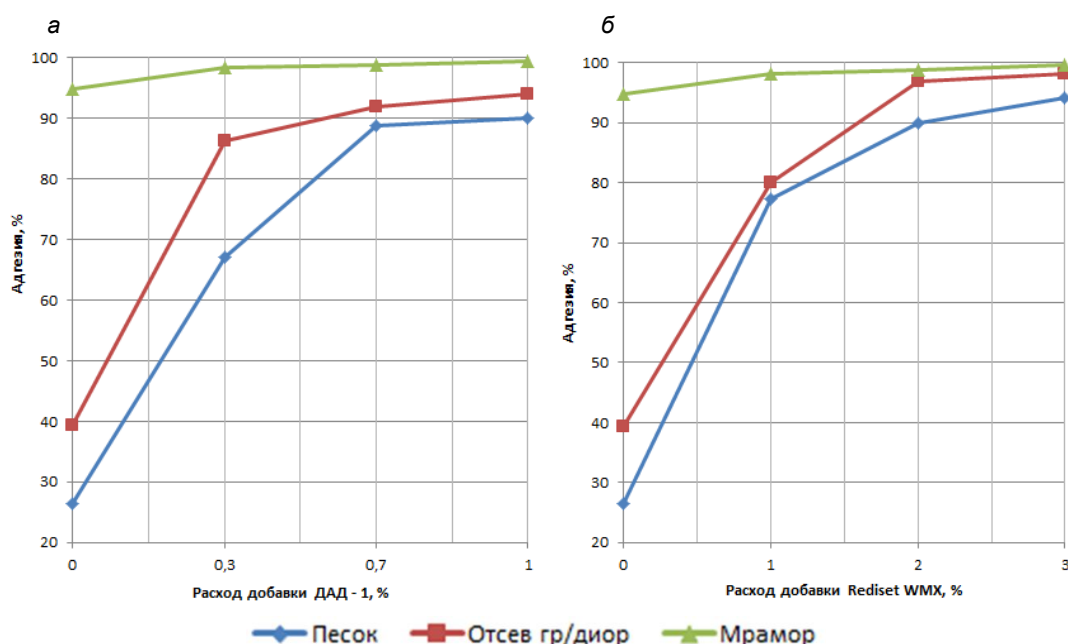


Рисунок 1. Влияние адгезионных добавок на прочность сцепления битума с минеральными материалами: а – ДАД-1; б – Rediset WMX (разработано авторами)

Figure 1. The effect of adhesive additives on the bitumen bond strength with mineral materials: a – DBP-1; b – Rediset WMX (developed by the authors)

Результаты определения прочности сцепления битума БНД 130/200, модифицированного добавкой ДАД-1, с каменными материалами, свидетельствуют о том, что при расходе ПАВ в количестве 0,7 % от массы битума, поверхность, покрытая битумом после кипячения, составляет для песка – 88 %, гранодиоритового отсева – 92 % и мрамора – 99 %. Полученные результаты позволяют прогнозировать хорошую водо- и морозостойкость асфальтового бетона, приготовленного на модифицированном битуме.

Применение добавки Rediset WMX также позволяет повысить адгезионную способность вязкого дорожного битума к каменным

материалам. Так, определение адсорбции битума к минеральным материалам показывает, что после кипячения образцов в воде поверхность, покрытая битумом, составляет: для песка – 89 %, для гранодиоритового отсева – 97 %, мрамора – 98 %.

При окончательном выборе состава композита было отдано предпочтение добавке отечественного производства ДАД-1, обеспечивающей отличные адгезионные качества при отсутствии токсичности и сравнительно невысокой стоимости.

Таким образом, в следующей серии исследований для приготовления вяжущего ПБВ 200 использовали битумы марки БНД 130/200 с пенетрацией при 25 °С, равной 140 мм⁻¹ и 170 мм⁻¹, термоэластопласт СБС Р30-00А, пластификатор – индустриальное масло И-40А в количестве, достаточном для растворения полимерной добавки и обеспечения нормативного уровня температуры хрупкости, а также адгезионную добавку ДАД-1. Составы полимерно-битумных вяжущих, подвергнутых испытаниям, представлены в таблице 2, а показатели их свойств – в таблице 3.

Таблица 2 / Table 2
Экспериментальные составы полимерно-битумных вяжущих

Polymer-bitumen binders experimental compositions

Экспериментальные составы ПБВ PBV experimental compositions	Состав полимерно-битумных вяжущих, % Polymer-bituminous binders composition, %				
	БНД 130/200 (П ₂₅ = 140 мм ⁻¹) BND 130/200 (P ₂₅ = 140 mm ⁻¹)	БНД 130/200 (П ₂₅ = 170 мм ⁻¹) BND 130/200 (P ₂₅ = 170 mm ⁻¹)	СБС Р30-00А SBS R30-00A	И-40А I-40A	ДАД-1 DBP-1
	1	76,5	-	3,5	20
2	-	81,5	3,5	15	-
3	-	85,8	3,5	10	0,7

Разработано авторами / Developed by the authors

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить следующее. В образце № 2 при замене битума БНД 130/200 (П₂₅ = 140 мм⁻¹) на битум с большим содержанием мальтеновых фракций БНД 130/200 (П₂₅ = 170 мм⁻¹) удалось снизить содержание пластификатора с 20 % до 15 %.

При этом образцы модифицированных вяжущих № 1 и № 2 характеризовались температурой хрупкости по Фраасу минус 40 °С и минус 36 °С при требовании стандарта к марке ПБВ 200 не выше минус 35 °С.

В составе образца № 3 содержание пластификатора уменьшили до 10 %, ввели добавку ПАВ и при этом удалось сохранить температуру хрупкости ПБВ на уровне требований ГОСТ Р 52056-2003. С помощью адгезионной добавки ДАД-1 улучшился показатель прочности сцепления битума с поверхностью каменных материалов, – при испытании качества сцепления модифицированного вяжущего с песком и щебнем из кислых

пород по ГОСТ 11508 (метод А) результат соответствовал контрольному образцу № 1, что равнозначно оценке «отлично» и является предпосылкой повышения физико-механических характеристик асфальтобетона, увеличения его коррозионной стойкости и долговечности.

Таблица 3 / Table 3

**Влияние экспериментального состава
на свойства полимерно-битумных вяжущих**

The experimental composition influence on the polymer-bitumen binders properties

Показатели свойств Property indicators	Экспериментальные составы ПБВ Experimental compositions of PVB			ПБВ 200, требования ГОСТ Р 52056-2003 PBV 200, demands GOST R 52056-2003
	1	2	3	
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм 1. Needle penetration depth, 0.1 mm				
- при 25 °С / - at 25 °С - при 0 °С / - at 0 °С	215 148	205 76	203 71	не менее 200 not less than 200 не менее 70 not less than 70
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °С 2. Ring-and-ball softening point, °С	63	59	62	не ниже 47 not lower than 47
3. Растяжимость, см 3. Extensibility, cm				
- при 25 °С / - at 25 °С - при 0 °С / - at 0 °С	47 53	55 47	49 41	не менее 30 not less than 30 не менее 25 not less than 25
4. Температура хрупкости, °С 4. Brittleness temperature, °С	-40	-36	-35	не выше -35 not above -35
5. Изменение температуры размягчения после прогрева, °С 5. Change in softening temperature after heating, °С	3	4	5	не более 7 not above 7
6. Эластичность, % 6. Elasticity, %				
- при 25 °С / - at 25 °С - при 0 °С / - at 0 °С	87 78	90 79	88 76	не менее 85 not less than 85 не менее 75 not less than 75
7. Оценка качества сцепления с песком и щебнем 7. Assessment of the quality of adhesion to sand and gravel	соотв. контр. образцу № 2 acc. counter. sample No. 2	соотв. контр. образцу № 2 acc. counter. sample No. 2	соотв. контр. образцу № 1 acc. counter. sample No. 1	соотв. контр. образцу № 2 acc. counter. sample No. 2
8. Температура вспышки, °С 8. Flashpoint, °С	240	236	235	не ниже 220 not lower than 220
9. Однородность 9. Uniformity	однородно uniformly	однородно uniformly	однородно uniformly	однородно uniformly

Разработано авторами / Developed by the authors

Разработанная рецептура полимерно-битумного вяжущего предназначена для использования при производстве работ по приготовлению полимерно-битумного вяжущего марки ПБВ 200 и на его основе – мелкозернистой плотной полимерасфальтобетонной смеси типа А

марки П для устройства верхнего слоя покрытия дорожной одежды автомобильной дороги М-56 «Лена» Республики Саха (Якутия).

Заключение

Conclusion

Таким образом, как показали экспериментальные исследования, для получения модифицированных вяжущих могут успешно использоваться термоэластопласты отечественного производства типа СБС Р30-00А (АО «Воронежсинтезкаучук»), которые положительно влияют на технические характеристики вяжущего (температуру размягчения, пенетрацию при 0 °С, дуктильность при 0 °С, эластичность) и составляют достойную конкуренцию импортным аналогам производства Южной Кореи. Оптимальное количество полимерной добавки составляет 3,0–3,5 % к массе битума.

Результаты исследований свидетельствуют, что, варьируя содержанием пластификатора в составе ПБВ можно добиться значительного снижения температуры хрупкости вяжущего. Вместе с тем избыток пластификатора отрицательно сказывается на адгезионных свойствах модифицированного битума, поэтому более целесообразно использовать битумы с повышенным содержанием мальтеновых фракций. Для повышения прочности сцепления модифицированного вяжущего с поверхностью каменных материалов выбрана добавка амфотерного типа ДАД-1.

Комплексная модификация битумного вяжущего добавками полимера в сочетании с пластификатором и адгезивом дает возможность сформировать региональные требования к вяжущим в условиях холодного климата и реализовать их. Полученные составы ПБВ могут быть весьма эффективными для получения полимер-асфальтобетона с наилучшими эксплуатационно-техническими характеристиками в условиях республики Саха (Якутия).

Вместе с тем следует отметить, что модифицированный битум намного превышает по стоимости исходное битумное вяжущее. Поэтому на этапе принятия решения необходимо технико-экономическое обоснование его использования в каждой конкретной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Золотарев В.А.** Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтобетоны / В.А. Золотарев // Дорожная техника. – 2009. – № 1. – С. 16–23. – URL: http://bitumen.globecore.ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/08/bitumy_modificirovanniye_polymerami.pdf (дата обращения: 05.12.2020).
2. **Дошлов О.И.** Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения / О.И. Дошлов, Е.Г. Спешилов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 6. – С. 140–144. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19131607> (дата обращения: 05.12.2020).
3. **Лазарева Т.Л.** Современные материалы для ремонта дорожных покрытий на основе битумно-полимерного вяжущего / Т.Л. Лазарева, Н.И. Ярмолинская, А.И. Ярмолинский. // Автомобильный транспорт Дальнего Востока – 2018 Материалы IX международной научно-практической конференции (Хабаровск-Владивосток, 19–23 сентября 2018 года) / Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – С. 191–195. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37091542> (дата обращения: 05.12.2020).
4. **Евдокимова Н.Г.** К выбору технологии производства полимерно-битумных вяжущих как инновационных наносвязующих для устройства асфальтобетонных покрытий / Н.Г. Евдокимова, Н.Н. Лунева, Н.А. Егорова, А.Р. Махмутова, Ю.А. Байгузина, Э.А. Имангулова. – DOI <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-5-20-37> // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Т 10, № 5. – С. 20–37. – URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-5-2018/20-37.pdf (дата обращения: 05.12.2020).
5. **Samsonov M.V.** Feasibility of modifying properties of road asphalts with polyethylene and plasticizers / M.V. Samsonov, A.A. Gureev. – DOI <https://doi.org/10.1007/s10553-013-0463-3> // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2013. – Т 49, № 5. – С. 420–424. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10553-013-0463-3> (дата обращения: 05.12.2020).
6. **Yegorychev A.S.** Feasibility of application of bituminous binder in cast asphalt concrete mixtures for laying and repairing roadway surfacing of a highway bridge / A.S. Yegorychev, Yu.I. Kalgin // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – № 2. – С. 38–46. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35032063> (дата обращения: 05.12.2020).
7. **Ядыкина В.В.** Исследование влияния различных полимеров и пластификаторов на свойства битума БНД 60/90 и асфальтобетона на его основе / В.В. Ядыкина, А.М. Гридчин, А.И. Траутвайн, В.И. Вербкин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 40–45. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24275530> (дата обращения: 05.12.2020).
8. **Evdokimova N.G.** Application of Integrated Quality Assessment Method to Select Polymer-Bitumen Binder / N.G. Evdokimova, N.N. Luneva, N.A. Egorova, E.A. Imangulova, I.V. Taratunin, M.E. Luneva. – DOI <https://doi.org/10.1007/s10553-018-0959-y> // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2018. – Т 54, № 5. – С. 557–563. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10553-018-0959-y> (дата обращения: 05.12.2020).

9. **Лазарева Т.Л.** Выбор полимерного модификатора с целью получения полимерно-битумного вяжущего для дорожных покрытий Дальнего Востока / Т.Л. Лазарева, Н.И. Ярмолинская // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2017. – № 1. – С. 70–74. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30770791> (дата обращения: 05.12.2020).
10. **Киндеев О.Н.** Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих / О.Н. Киндеев, М.А. Высоцкая, С.Ю. Шеховцова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 26–30. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25070588> (дата обращения: 05.12.2020).
11. **Евдокимова Н.Г.** Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состав / Н.Г. Евдокимова, Н.А. Егорова, Д.П. Султанова, Э.М. Куннакулова, Н.Г. Сереежкина. – DOI <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525> // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Т 11, № 5. – С. 512–525. – URL: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-5-2019/512-525.pdf (дата обращения: 05.12.2020).
12. **Высоцкая М.А.** Пластификатор при производстве полимерно-битумных вяжущих – как необходимость / М.А. Высоцкая, Д.А. Кузнецов, Д.П. Литовченко, Д.В. Барковский, А.О. Ширяев. – DOI https://doi.org/10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094 // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 5. – С. 16–22. – URL: <https://bulletinbstu.editorum.ru/en/nauka/article/28661/view> (дата обращения: 05.12.2020).
13. **Рыбачук Н.А.** Проблемы производства полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве / Н.А. Рыбачук // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 5. – С. 98–105. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23563759> (дата обращения: 05.12.2020).
14. **Емельянычева Е.А.** Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам / Е.А. Емельянычева, А.И. Абдуллин // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2013. – Т 16, № 3. – С. 198–205. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18818886> (дата обращения: 05.12.2020).
15. **Ядыкина В.В.** Эффективность применения адгезионной добавки ДАД-1 / В.В. Ядыкина, А.М. Гридчин, М.А. Высоцкая, И.В. Якимович // Строительные материалы. – 2009. – № 7. – С. 14–17. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12830633> (дата обращения: 05.12.2020).
16. **Колбановская А.С.** Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами / А.С. Колбановская. – Москва: Автотрансиздат, 1959. – 63 с.

Сведения об авторах:

Лазарева Татьяна Леонидовна – кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: 000192@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8473-9464>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1017325

Парфенов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Россия, Хабаровск, e-mail: 000693@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Статья получена: 14.12.2020. Принята к публикации: 15.01.2021. Опубликовано онлайн: 29.01.2021.

REFERENCES

1. Zolotarev V.A. [Polymer-modified bitumens and asphalt concrete]. *Road Building equipment*. 2009; (1): 16–23. Available at: http://bitumen.globecore.ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/08/bitumy_modificirovanniye_polymerami.pdf (accessed 5th December 2020). (In Russ.).
2. Doshlov O.I., Speshilov E.G. Polymer-bitumen binder as high-technology base for new generation of asphalt. *Vestnik of Irkutsk State Technical University*. 2013; (6): 140–144. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19131607> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Lazareva T.L., Yarmolinskaya N.I., Yarmolinskiy A.I. [Modern materials for the repair of road surfaces based on bitumen-polymer binder]. In: *[Automobile transport of the Far East – 2018 Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference (Khabarovsk-Vladivostok, September 19–23, 2018)]*. Khabarovsk: Publishers PNU; 2018. p. 191–195. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37091542> (accessed 5th December 2020). (In Russ.).
4. Evdokimova N.G., Luneva N.N., Egorova N.A., Makhmutova A.R., Bayguzina Yu.A., Imangulova E.A. The selection of production technology of polymer-bitumen binders as an innovative nanobinders used in asphaltic concrete pavement. *Nanotechnologies in Construction*. 2018; 10(5): 20–37. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-5-20-37>.
5. Samsonov M.V., Gureev A.A. Feasibility of modifying properties of road asphalts with polyethelene and plasticizers. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2013; 49(5): 420–424. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10553-013-0463-3>.
6. Yegorychev A.S., Kalgin Yu.I. Feasibility of application of bituminous binder in cast asphalt concrete mixtures for laying and repairing roadway surfacing of a highway bridge. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018; (2): 38–46. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35032063> (accessed 5th December 2020). (In Eng.).
7. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Verbkina V.I. Study of influence different polymers and plasticizers on the properties of bitumen grade 60/90 and asphalt on its basis. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov*. 2015; (6): 40–45. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24275530> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).

8. Evdokimova N.G., Luneva N.N., Egorova N.A., Imangulova E.A., Taratunin I.V., Luneva M.E. Application of integrated quality assessment method to select polymer-bitumen binder. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2018; 54(5): 557–563. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10553-018-0959-y>.
9. Lazareva T.L., Yarmolinskaia N.I. Choice of polymer modifier of obtaining polymer-bitumen substance for road covering of Far East. *Far East: problems of development of the architectural and construction complex*. 2017; (1): 70–74. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30770791> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
10. Kindeev O.N., Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y. The effect of type of plasticizer on the properties of bitumen and polymer-bitumen binders. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov*. 2016; (1): 26–30. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25070588> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakkulova E.M., Serezhkina N.G. The formation of the sol-gel nanostructures of road bitumen by selecting chemical group composition. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(5): 512–525. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-5-512-525>.
12. Vysotskaya M.A., Kuznecov D.A., Litovchenko D.P., Barkovskiy D.V., Shiryaev A.O. The need for a plasticizer in the production of polymeric-bitumen binders. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov*. 2019; (5): 16–22. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094.
13. Rybachuk N.A. Problems of polymer bitumen binders production in road construction. *Vestnik of Irkutsk State Technical University*. 2015; (5): 98–105. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23563759> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
14. Emel'yanycheva E.A., Abdullin A.I. [Methods for improving the adhesion properties of road bitumen to mineral materials]. *Kazan Technological University Bulletin*. 2013; 16(3): 198–205. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18818886> (accessed 5th December 2020). (In Russ.).
15. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Vysotskaya M.A., Yakimovich I.V. [The effectiveness of the use of the adhesive additive DAD-1]. *Construction Materials*. 2009; (7): 14–17. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12830633> (accessed 5th December 2020). (In Russ.).
16. Kolbanovskaya A.S. [Dye method for determining the adhesion of bitumen to mineral materials]. Moscow: Avtotransizdat; 1959. (In Russ.).

Information about the authors:

Tatyana L. Lazareva – Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: 000192@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8473-9464>
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1017325

Aleksey A. Parfenov – Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: 000693@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Submitted: 14th December 2020. Revised: 15th January 2021. Published online: 29th January 2021.