

DOI.org/10.5281/zenodo.2008676
УДК 665.775.4; 625.06

Г.К. Корнейчук, Ю.А. Буценко

КОРНЕЙЧУК ГОРДЕЙ КИРИЛЛОВИЧ – к.х.н., доцент кафедры материаловедения и технологии материалов Инженерной школы, e-mail: 1gkk@rambler.ru

Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, 690091

БУЦЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – генеральный директор ООО НПО «Эмульбит»
e-mail: emulbit@mail.ru

Приморский край, Октябрьский р-н, п. Липовцы

Сравнительные испытания асфальтобетонов на новом нанополимербитумном вяжущем и на битуме БНД 90/130

Аннотация: Проведены сравнительные испытания (производство и укладка на участке автодороги) асфальтобетонов на новом нанополимербитумном вяжущем (НПБВ) и на битуме БНД 90/130. Испытания включали проверку на предел прочности при сжатии, водостойкости и усталостной прочности при разных температурах и нагрузках, а также апробацию технологии производства на асфальтобетонном заводе. Необходимое количество НПБВ было получено на опытной установке по оригинальной технологии, использующей синергетический эффект при одновременном температурном и ультразвуковом воздействии на смесь битума с резиновой крошкой шинных отходов. В результате этого эффекта резина деструктировалась и девулканизировалась, в битуме образовывались полимерные молекулы каучука и частицы наполнителей резины (технической сажи, мела, талька). Под действием ультразвуковой кавитации полимеры каучука диспергировались до микроразмеров, а хрупкие минеральные частицы – до наноразмеров. Образующаяся композиция НПБВ имеет однородную структуру вследствие армирования ее огромным количеством наночастиц. Как показали исследования, такая композиция обладает очень высокими физико-механическими характеристиками. Результаты сравнительных испытаний свидетельствуют, что производство асфальтобетона на новом вяжущем НПБВ не требует принципиальных изменений традиционной технологии. В то же время выявлены значительные преимущества при использовании НПБВ в гранулированном виде без изменения качества асфальтобетона по сравнению с аналогичным, но полученным с использованием жидкого НПБВ: в нашем случае нет необходимости хранить крупные партии жидкого битума в горячем состоянии на асфальтобетонном заводе и транспортировать его от производителя (нефтеперегонного завода), что дает значительный экономический эффект на асфальтобетонном заводе. Испытания демонстрируют, что для укладки асфальтобетона на НПБВ не требуется изменения традиционной технологии.

Результаты испытаний показали, что усталостная прочность асфальтобетонов на новом вяжущем НПБВ при всех температурах и нагрузках значительно выше, чем для случая использования битума БНД 90/130. Особенно отчетливо это проявляется при температурах 60 и (–30) градусов Цельсия для всех нагрузок. Такое увеличение усталостной прочности ведет как минимум к увеличению срока межремонтной службы асфальтобетонного покрытия в 4 раза.

Ключевые слова: битум, нанополимербитумное вяжущее, шинные отходы, асфальтобетон, усталостная прочность.

Введение

Данная статья продолжает цикл работ, направленных на одновременное решение двух проблем: первая – экологическая: нахождение способа широкомасштабной утилизации все увеличивающихся объемов шинных отходов, вторая – создание высококачественного вяжущего, которое позволит производить дорожные асфальтобетоны (и не только), удовлетворяющие условиям (климатическим и механическим) эксплуатации в любом регионе России и мира.

В условиях современного скоростного интенсивного дорожного движения асфальтобетонные покрытия подвергаются многоциклическому воздействию транспортных средств, которое имеет динамический характер и является одним из основных факторов снижения транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий, их разрушения. Известно, что разрушение асфальтобетона под действием многократных нагрузок обусловлено процессами усталости, т.е. образованием и накоплением микродефектов с постепенным снижением прочности во времени.

В настоящее время лучшими вяжущими для дорожных асфальтобетонов считаются полимербитумные (ПБВ), для производства которых используются очень дефицитные и дорогие специальные синтетические полимеры – каучуки типа дивинилстирольных (ДСТ). Они отлично модифицируют нефтяной битум, в результате чего получают полимербитумные вяжущие с повышенными физико-механическими характеристиками. Но эти каучуки производятся в ограниченном количестве из первичного сырья (нефти). В то же время во всем мире постоянно увеличивается количество отработанных шин, которые могут стать вторичным сырьем для получения каучуков.

Использование шинных отходов для создания вяжущих с повышенными свойствами основано на термической обработке смеси битума с резиновой крошкой шинных отходов, при которой часть резины девулканизируется, при этом появляющиеся молекулы каучуков модифицируют битум. Но температура такой обработки не может быть более 180 °С из-за дальнейшего разложения битума: при таких температурах очень мала степень девулканизации резины в битуме, поэтому наблюдаются небольшие увеличения физико-механических характеристик (температур размягчения и хрупкости, эластичности) получаемых резинобитумных вяжущих.

В России и в мире были разработаны и производятся резинобитумные вяжущие (например, БИТРЭК, УНИРЕМ), но по отмеченной выше причине они по качеству намного уступают полимербитумным. А главное, не удалось получить резинобитумные вяжущие, удовлетворяющие условиям эксплуатации дорог многих районов России и мира.

Проблему деструкции и девулканизации резины шинных отходов давно пытались решить в России и за рубежом [1, 6]. По нашему мнению, главная причина того, что эти результаты не были доведены до массового производства в том, что авторы не учитывали обязательного наличия жидкой субстанции, так как только при этом условии могут возникать мощные кавитационные процессы, разрушающие резину (см., например, [5]).

О процессе разработки нового нанополимербитумного вяжущего НПБВ по патенту [4] уже сообщалось (см. <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/1-30/8/>). Отмечалось, что оно обладает очень высокими физико-механическими характеристиками. При этом очень важно, что для получения вяжущего используются только два компонента: битум и резиновая крошка шинных отходов. Способ получения НПБВ основан на синергетическом эффекте при одновременном термическом и специальном ультразвуковом воздействии на смесь битума с резиновой крошкой. В результате этого на условном первом этапе происходит деструкция и девулканизация резины с выделением полимерных молекул каучука и частиц минеральных наполнителей резины (технической сажи, мела, талька). На условном втором этапе происходит диспергирование полимеров каучука до микроразмеров, а хрупких частиц наполнителей – до наноразмеров. Наночастицы армируют получаемую полимербитумную композицию, определяя ее однородность и высокие физико-механические характеристики. Из это-

го следует, что получаемые на основе НПБВ асфальтобетоны должны иметь лучшие эксплуатационные характеристики по сравнению, например, с широко используемыми традиционными асфальтобетонами на битуме БНД 90/130. Однако для широкого использования нового НПБВ необходимо определиться с технологическими вопросами производства нового асфальтобетона и его укладки на дороге. С этой целью в 2016 г. было произведено первое опытное производство асфальтобетона на НПБВ и его укладка на дорогу (ямочный ремонт). Так как результаты были положительными, руководство департамента дорожного хозяйства Приморского края приняло решение о проведении более серьезных испытаний, позволяющих получить ответы на технологические вопросы. Кроме того, предусматривалось сравнительное испытание нового асфальтобетона на пределы прочности, водостойкость и усталостную прочность.

Постановка задачи

Для ответов на вопросы технологического характера было решено провести сравнительные испытания производства двух минимальных опытных партий асфальтобетона на новом вяжущем НПБВ (гранулированном и жидком) и партии асфальтобетона на битуме БНД 90/130 с последующей укладкой их в одном месте дорожного полотна. Одновременно для сравнения основных эксплуатационных характеристик указанных асфальтобетонов было решено провести их испытания на предел прочности при сжатии при температурах 0, 20, 60 и -30 °С, оценку их водостойкости при температуре 20 °С, а также усталостную прочность при указанных температурах для различных нагрузок. Представление этих результатов и составляет цель статьи.

Решение вопросов технологического характера и определение усталостной прочности

Для выполнения поставленной задачи в ООО «Эмульбит» на опытной установке с ультразвуковым аппаратом, мощностью 1 кВт были произведены две партии НПБВ. Обе партии получены на основе смеси битума БНД 90/130 с 30% (по массе) резиновой крошки шинных отходов. Одна из этих партий была гранулирована. Благодаря хорошей подготовке на асфальтобетонном заводе (АБЗ) филиала «Надеждинский» АО «Примавтодор» 24 июля 2018 г. в один день были произведены и уложены в одном месте дорожного полотна все три партии асфальтобетона (на гранулированном НПБВ, на жидком НПБВ и на битуме БНД 90/130). Укладка производилась в заранее подготовленную «яму», сделанную на месте дорожного дефекта.

Формование образцов всех партий асфальтобетона производилось очень грамотным инженером – лаборантом филиала «Надеждинский» АО «Примавтодор» В.Ф. Бойко, все испытания образцов асфальтобетона производились ею же при авторском сопровождении Г.К. Корнейчука. Испытания на предел прочности при сжатии и на усталостную прочность, а также на водостойкость проводились по методикам [2].

По плану эксперимента каждая из трех партий асфальтобетона должна занимать 1/3 часть опытного участка. *Первую* опытную партию асфальтобетона, *произведенную на гранулированном НПБВ*, после выгрузки сразу же раскатали тяжелым катком. Затем произвели *вторую* партию асфальтобетона – *на жидком НПБВ*, уложили и укатали рядом с первым участком дороги. Затем уложили и укатали следующую, *третью*, произведенную партию асфальтобетона – *на битуме БНД 90/130*.

После этого все три партии асфальтобетона дополнительно укатывались тяжелым катком. После месяца эксплуатации дороги были сделаны вырубki из всех трех указанных партий асфальтобетона, а из них формовались стандартные цилиндрические образцы для предусмотренных испытаний.

Производство опытных партий асфальтобетона на жидком НПБВ и на битуме БНД 90/130 производилось по традиционной технологии, без изменений температурных режимов. Производство асфальтобетона на гранулированном НПБВ осуществлялось без введения в минеральную часть жидкого битума. При этом в подготовленную в циклоне АБЗ минеральную часть вводились только гранулы НПБВ.

Кроме того, асфальтобетон на гранулированном НПБВ имеет значительное преимущество: способ его получения не требует жидкого битума. Следовательно, нет необходимости хранить крупные партии жидкого битума в горячем состоянии и транспортировать его от производителя – нефтеперегонного завода, что дает значительный экономический эффект асфальтобетонному заводу.

Необходимо отметить, что укладка партий асфальтобетона на гранулированном и жидком НПБВ производилась при той же температуре, что и в случае асфальтобетона на битуме БНД 90/130.

Результаты испытаний образцов асфальтобетона на предел прочности при сжатии при разных температурах приведены в табл. 1. Таблица показывает, что измеренные пределы прочности на сжатие для всех трех типов асфальтобетона при температурах 0 и 20 °С соответствуют рекомендациям [2]. Надо отметить, что пределы прочности на сжатие при температурах 60 и (–30) °С не регламентируются стандартом [2], но в данном исследовании их знание необходимо для определения нагрузок на цилиндрические образцы при испытаниях на усталостную прочность.

Таблица 1

Пределы прочности при сжатии образцов асфальтобетонов на разных вяжущих при разных температурах

№	АБ на вяжущем	R ²⁰ , МПа	R ⁰ , МПа	R ⁶⁰ , МПа	R ⁻³⁰ , МПа
1	Битум БНД 90/130	4,60	8,04	1,87	13,35
2	НПБВ в гранулах	4,66	8,32	1,72	16,19
3	НПБВ в жидком виде	4,62	8,22	1,92	16,74

Величины усталостной прочности (количество циклов нагрузки до разрушения), измеренные для всех типов испытанных асфальтобетонов, при температурах 0, –30 и 60 °С и при нагрузках, соответствующих 50 и 75% от пределов прочности при определенных температурах, представлены в табл. 2. Анализ таблицы показывает, что значения усталостной прочности при всех температурах и нагрузках для образцов асфальтобетона на новом вяжущем НПБВ значительно выше, чем для асфальтобетона на битуме БНД 90/130.

Таблица 2

Усталостная прочность образцов асфальтобетона при разных температурах и нагрузках (количество циклов нагрузки до разрушения)

№	АБ на вяжущем	60 °С (50% R ⁶⁰)	60 °С (75% R ⁶⁰)	0 °С (50% R ⁰)	0 °С (75% R ⁰)	–30 °С (50% R ⁻³⁰)	–30 °С (75% R ⁻³⁰)
1	Битум БНД 90/130	3	2	3	1	0	0
2	НПБВ в гранулах	9	5	4	2	2	1
3	НПБВ в жидком виде	8	4	4	2	2	1

Особенно наглядно это видно в случае нагрузки, соответствующей 75% предела прочности при сжатии при температуре 60 °С. По сравнению с асфальтобетоном на битуме БНД 90/130 для образцов асфальтобетона на жидком НПБВ усталостная прочность выше в 2 раза, а на гранулированном НПБВ – в 2,5 раза.

Исходя из полученных результатов усталостной прочности можно сделать вывод, что асфальтобетон на новом вяжущем НПБВ характеризуется гораздо большим сроком межре-

монтажной службы, чем широко применяемый традиционный асфальтобетон на битуме БНД 90/130. Наша примерная оценка дает увеличение такого срока как минимум в 4 раза.

В литературе мы не встретили результатов испытаний асфальтобетонов, проведенных по методике [2] при разных температурах и при разных нагрузках. В этом смысле представленные результаты являются пионерскими. В [2] приведены рекомендации по величинам усталостной прочности для асфальтобетонов на ПБВ 90 и ПБВ 130 марки Б, в виде значений 8–9 циклов при температуре 50 °С и при нагрузках, соответствующих 50% предела прочности. Для асфальтобетонов на битумах таких рекомендаций нет. Для Приморского края критической положительной температурой является температура 35 °С и 60 °С с учетом поправки на солнечную радиацию. Критической отрицательной температурой является –30 °С. Поэтому нами эти температуры выбраны для оценки пределов прочности и усталостной прочности асфальтобетонов с выбранными вяжущими. Таблица 2 показывает, что асфальтобетоны на оригинальном НПБВ в гранулированном и в жидком виде даже при температуре 60 °С и нагрузках, соответствующих 50% предела прочности, показывают значения усталостной прочности, рекомендованные ГОСТ для температуры 50 °С для асфальтобетонов на ПБВ. Следовательно, асфальтобетон на оригинальном НПБВ как минимум не уступает по величине усталостной прочности асфальтобетону на ПБВ, который является лучшим в настоящее время. Из этой же таблицы видно, что при циклических нагрузках, соответствующих 75% от предела прочности, усталостная прочность всех асфальтобетонов понижается.

В [3] приводятся данные об увеличении усталостной прочности асфальтобетона на битуме при введении модифицирующей добавки «Афтисотдор» за счет улучшения сцепления между битумом и заполнителем. В случае наших исследований увеличение усталостной прочности асфальтобетона на основе НПБВ по сравнению с аналогичным на битуме БНД 90/130 при температуре 60 °С происходит не только за счет лучшего сцепления между НПБВ и заполнителем, но и за счет того, что температура размягчения НПБВ намного выше, чем температура размягчения битума БНД 90/130. Причиной увеличения усталостной прочности при температуре –30 °С является и то, что температура хрупкости НПБВ намного ниже, чем температура хрупкости битума БНД 90/130.

Далее нами будет постоянно проводиться мониторинг состояния опытного участка дорожного полотна с новым асфальтобетоном, главное внимание уделим образованию трещин и отслоений, которых на момент данной публикации нет.

Перспективы использования НПБВ

Как отмечалось выше, производство первых объемов НПБВ для опытных партий асфальтобетона проведено на опытной установке производительностью 40 кг. Такая установка не может обеспечить крупномасштабные испытания дорожных асфальтобетонов, что совершенно необходимо для решения вопроса широкого внедрения нового вяжущего в дорожную индустрию. Очевидно, что на первой стадии необходимо решить вопросы, связанные с использованием нового вяжущего для ремонта дорог. Только после получения существенного положительного эффекта от испытаний можно ставить вопрос об использовании НПБВ при строительстве новых дорог.

Поэтому на совещаниях в департаменте дорожного хозяйства администрации Приморского края и в АО «Примавтодор» приняли принципиальное решение о крупномасштабном использовании НПБВ для производства асфальтобетонов для ремонта дорог, особенно в проблемных местах, например на участках дороги Артем–Находка. Руководство «Примавтодора» готово выступить в качестве заказчика на опытные работы. Чтобы обеспечить производство асфальтобетона для этого проекта, мы разработали проекты установок для получения НПБВ производительностью 1 и 5 т/сут. Мы полагаем, что на первом этапе необходимо построить установку производительностью 1 т/сут, которая обеспечит производство до 500 т/мес. нового асфальтобетона, что позволит проводить ремонт на больших участках дороги, которые станут крупными опытными участками с новым асфальтобетоном. Такое ре-

шение позволит создать инфраструктуру предприятия для получения и гранулирования НПБВ, а также систему снабжения компонентами и хранения готовых материалов и материалов-компонентов.

Заключение

Итак, предлагаемое нами для использования гранулированное вяжущее НПБВ обеспечит значительный экономический эффект, так как для асфальтобетонного завода отпадает необходимость в транспортировке и хранении в горячем виде жидкого битума, а межремонтный период увеличится до 4 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.О., Абрамов О.В., Дьячковский Ф.С. и др. Девулканизация резины в ультразвуковом поле // *Материаловедение*. 2005. № 1. С. 3–9.
2. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
3. Коровкин М.О., Идрисов И.Х., Ерошкина Н.А. Исследование усталостной прочности асфальтобетона с модифицирующей добавкой // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16989> (дата обращения: 05.10.2018).
4. Пат. 2550888 Российская Федерация: Способ приготовления резинобитумной композиции / Г.К. Корнейчук; заяв. 2012154148 от 13.12.2013, рег.15.04.2015.
5. Хмелев В.Н., Леонов Г.В., Барсуков Р.В. и др. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / *Алтайский гос. тех. ун-т, БТИ*. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. 400 с.
6. US Patent No. 5, 284625. Isaev A., 1994.

[THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE](#)

Building Materials and Products

DOI.org/10.5281/zenodo.2008676

Korneichuk G., Butsenko Yu.

GORDEY KORNEICHUK, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Department of Materials Science and Technology of Materials, School of Engineering,
e-mail: 1gkk@rambler.ru

Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

YURI BUTSENKO, General Director, *Research & Manufacturing Association NPO Emulbit*,
e-mail: emulbit@mail.ru

Settlement Lipovtsy, Oktyabrsky Region, Primorsky Territory, Russia

Comparative tests of asphalt concrete at the new nanopolymeric binder and bitumen BND 90/130

Abstract: The comparative test of asphalt binder on the new nanopolymeric bitumen (NPB) and on the BND 90/130. The tests on compressive strength, water resistance and fatigue strength at different temperatures and loads were made. The required amount of NPB was obtained at a pilot plant using an original technology that employs a synergistic effect of simultaneous temperature and ultrasonic action on the bitumen mixture with rubber crumb tire waste. As a result of this effect, rubber was destructed and devulcanized, polymer rubber molecules and rubber filler particles (technical soot, chalk, talc) were formed in the bitumen. Under the action of ultrasonic cavitation, rubber polymers dispersed to micro-sizes, and fragile mineral particles to nanoscale. The resulting NPB composition has a homogeneous structure due to its reinforcement by a huge number of nanoparticles. As studies have shown, this composition has very high physical and mechanical characteristics. The results of comparative tests showed that the production of asphalt does not require fundamental changes in traditional technology. At the same time, it revealed significant advantages in the use of NPB in granular form without changing the quality of asphalt compared to the asphalt obtained by using liquid NPB. In this case, there is no need to store large quantities of liquid bitumen in a hot condition at an asphalt concrete plant and transport it from the manufacturer (oil refinery), which gives a significant economic effect to the asphalt concrete plant. The test results showed that the fatigue strength at all temperatures and loads is much higher than in the case of bitumen BND 90/130. This is especially evident at temperatures of 60 and –30 degrees Celsius for all loads. This leads, at least, to 4 times increase in the service life of asphalt concrete pavement.

Keywords: bitumen, nanopolymer bitumen binder, tire waste, asphalt concrete, fatigue strength.

REFERENCES

1. Abramov V.O., Abramov O.V., Dyachkovsky F.S. et al. Devulcanization of rubber in ultrasonic field. *Materialovedenie*. 2005;1:3–9.
2. GOST 9128-2013. Asphalt concrete mixture, asphalt, polymerisation and airfields. Specifications.
3. Korovkin M.O., Idrisov I.H., Eroshkina N.A. Study of the fatigue strength of asphalt with modifying additives. *Modern problems of science and education*. 2014;6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16989> – 10.05.2018.
4. Pat. 2550888 Russian Federation: Method of making rubber-bitumen composition. Korneichuk G.K., application 2012154148 from 13.12.2013, registered 15.04.2015.
5. Khmelev V.N., Leonov G.V., Barsukov R.V. et al. Ultrasonic multifunctional and specialized devices for intensification of technological processes in industry, agriculture and domestic. *Altai State Tech. Univ. Biysk*, 2007, 400 p.
6. US Patent N 5, 284625. Isaev A., 1994.