

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ  
НА ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЕ МОСТА**

Кандидат техн. наук, доцент **Парфенов А.А.**,  
кандидат техн. наук, доцент **Лазарева Т.Л.**,  
(Тихоокеанский государственный университет)

**STUDY OF FORMATION OF STRUCTURE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT  
ON THE BRIDGE ORTHOTROPIC SLAB**

**A.A. Parfenov**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**T.L. Lazareva**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(Pacific National University)

*Мост, высокоплотный асфальтобетон, уплотнение, контроль качества, вырубка, керн, результаты измерений, асфальтобетонное покрытие, дорожная одежда, ездое полотно.*

*Bridge, high-density asphalt concrete, compaction, quality control, cutting, core, measurement results, asphalt concrete pavement, roadwear, roadbed.*

*Представлены результаты исследования качества асфальтобетонного покрытия в период его устройства на Амурском мосту у г. Хабаровска. Специфика конструкции мостового перехода – совмещённые пути для автомобильного и железнодорожного транспорта на двух уровнях. Эксплуатация моста в сложных условиях II дорожно-климатической зоны муссонного климата юга Дальнего Востока потребовала специальных решений при разработке конструкции дорожной одежды и выбора вида асфальтобетонного покрытия. С участием авторов выполнено научно-техническое сопровождение устройства ездоего полотна автомобильной части моста. Исследования позволили предложить обоснованные решения по конструкции дорожного покрытия с применением высокоплотного асфальтобетона и оценить формирование структуры асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите моста.*

*The article presents the results of the study of the quality of the asphalt concrete pavement during the period of its construction on the Amur bridge near the city of Khabarovsk. The specificity of the construction of the bridge crossing is combined tracks for road and rail transport on two levels. The operation of the bridge in difficult conditions of the II road-climatic zone of the monsoon climate in the south of the Far East required special solutions when developing the construction of the road pavement and choosing the type of asphalt concrete pavement. With the participation of the authors, scientific and technical support for the construction of the driving track of the automobile part of the bridge was carried out. The studies made it possible to propose well-grounded solutions for the construction of the road surface using high-density asphalt concrete and to evaluate the formation of the structure of the asphalt concrete surface on the orthotropic bridge slab.*

Ускоренное развитие Дальнего Востока - одно из приоритетных направлений государственной политики России. Дальневосточный регион должен стать максимально комфортным для бизнеса и людей, проживающих на этой территории. Решение этой задачи во многом зависит от развитости сети автомобильных дорог.

Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики информирует, что автомобильные дороги общего пользования Дальневосточного федерального округа (далее – ДФО), который занимает свыше 40 % территории страны, в настоящее время имеют протяженность 125700 км. Это 8,2 % от общей протяженности автомобильных дорог Российской Федерации. При этом 1265 населенных пунктов на территории ДФО не имеют круглогодичной связи с автомобильными дорогами федерального, межрегионального и регионального уровня.

Программа РФ «Развитие транспортной системы» направлена на решение этой проблемы. В федеральном бюджете на 2020 г. и бюджетах субъектов ДФО на реализацию мероприятий Программы предусмотрено предоставление субсидий в размере 6468,7 млн руб.

Национальными проектами предъявляются определенные требования к автомобильным дорогам регионального значения. Не менее 50 % их общей протяженности должны соответствовать нормативам. Для городских агломераций – это не менее, чем 85 %. При этом особое внимание уделяется автомобильным дорогам транзитного сообщения между европейской частью РФ и странами АТР, а также развитию автомобильного сообщения с морскими портами Дальневосточного региона [1].

Мосты являются важной составной частью дорожной сети. Введение в строй амурского автомобильного моста у г. Хабаровска обеспечило значительное увеличение транспортных потоков.

Для нормального функционирования проезжей части мостового полотна большое значение имеет качество дорожного покрытия. В период устройства дорожного покрытия на мосту проводились работы по совершенствованию технологии устройства дорожной одежды для металлических автодорожных мостов с ортотропной плитой [2].

Центр испытаний строительных материалов Тихо-

океанского государственного университета под руководством профессора Н.И. Ярмолинской участвовал в разработке и научном обосновании конструкции дорожной одежды ездового полотна моста с целью повышения его эксплуатационных свойств.

Специфика конструкции мостового перехода – совмещённые пути для автомобильного и железнодорожного транспорта в двух уровнях: нижний ярус предназначен для движения железнодорожного транспорта, верхний – автомобильного.

Резко-континентальный муссонный климат юга Дальнего Востока II дорожно-климатической зоны обуславливает экстремальные погодные-климатические воздействия на дорожную одежду ортотропной плиты. Совмещённая конструкция моста дополнительно приводит к значительным силовым деформациям асфальтобетонного покрытия ортотропной плиты верхнего яруса в результате возникновения переменных нагрузок, создаваемых движением подвижного состава железной дороги в нижнем ярусе.

Конструктивно дорожная одежда для металлической ортотропной плиты моста состоит из защитно-сцепляющего слоя и асфальтобетонного покрытия. Роль защитно-сцепляющего слоя выполняет рулонный материал «Мостопласт», а в качестве асфальтобетонного покрытия использован высокоплотный асфальтобетон.

Выбор данного вида асфальтобетонного покрытия обусловлен тем, что высокоплотные асфальтобетоны имеют некоторые уникальные свойства. Такие покрытия имеют низкую пористостью минерального остова, что обуславливает их высокую водо- и морозостойкость, усталостную прочность и износостойкость. Покрытия из высокоплотного асфальтобетона сохраняют шероховатость в течение длительного времени, что обеспечивает повышенный уровень безопасности движения [3, 4].

В производстве высокоплотной асфальтобетонной смеси марки I применялись дорожно-строительные материалы местных производителей. В качестве крупного заполнителя использовался щебень гранодиоритовый карьера «Корфовский» Хабаровского края. Мелкий заполнитель – это в основном природный кварцевый песок карьера «Сахпричал» с добавлением отсева дробления щебня Корфовского карьера. Известняковый минеральный порошок производства карьера «Лондоко» Еврейской автономной области использовался в качестве мелкодисперсного компонента асфальтобетонной смеси. В качестве органического вяжущего использовался битум дорожный вязкий марки БНД 90/130 производства Хабаровского нефтеперерабатывающего завода марки.

Качество материалов, применяемых для приготовления высокоплотной асфальтобетонной смеси, по результатам испытаний, отвечали требованиям ГОСТ 9128 [5].

Многослойное покрытие ортотропной плиты автомобильной части моста через р. Амур изготавливалось по следующей технологии: поверхность плиты очищали пескоструйным способом до шероховатости 40 мкм по ГОСТ 9.301-86 и ГОСТ 2789-73. На плиту наплавлялся защитно-сцепляющий слой толщиной 5,3-6,0 мм из рулонного гидроизоляционного материала, изготовленного Киришским заводом «Изофлекс» по ТУ5774-006-05766480-96 («Мостопласт»). Асфальтобетонное покрытие укладывалось в два слоя: нижний слой из крупнозернистого высокоплотного асфальтобетона,

верхний слой – из мелкозернистого. Суммарная толщина покрытия 70-90 мм. У барьерного ограждения толщина покрытия была принята равной 70 мм. Устройство асфальтобетонного покрытия выполнялось при высокой температуре окружающего воздуха – плюс 28-35 °С.

В процессе устройства дорожной одежды, перед укладкой асфальтобетонной смеси, проводились экспериментальные замеры температуры металлической ортотропной плиты под защитно-сцепляющим слоем «Мостопласт». Замеры проводились в июле в течение 12 ч, с восьми часов утра до двадцати часов вечера. Выяснилось, что к 10 ч утра температура поверхности металла в среднем составляла 30-35 °С. Пик температуры ортотропной плиты наблюдался около 13 ч, и достигал величины порядка 47 °С. Далее, фиксировалось постепенное остывание металла плиты, температура которой к 17 ч находилась на отметке 37,5 °С.

Мониторинг за колебаниями температуры конструктивных слоёв дорожной одежды в период укладки позволил сделать вывод, что оптимальное время суток для устройства асфальтобетонного покрытия на металлической ортотропной плите моста – в интервалах с 8:00 до 10:00 часов утра и с 17:00 до 20:00 ч вечера.

Следует особо отметить, что формирование структуры асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите происходило на постоянно подогретом основании, своего рода «горячей плитке», в то время как на автомобильной дороге формирование структуры асфальтобетона происходит в иных температурных условиях.

Испытывались вырубki асфальтобетонного покрытия из нижнего слоя. Отбор вырубok осуществлялся через 2, 4, 10 и 20 суток после укладки. Как показали результаты исследования, качественные показатели свойств асфальтобетона изменялись в течение периода наблюдений. Определено изменение во времени следующих физико-механических свойств асфальтобетона: водонасыщения, пределов прочности на сжатие при 20 и 50° С, коэффициента уплотнения. Кинетика изменений упомянутых выше показателей свойств асфальтобетона в течение двадцати суток наблюдений представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Кинетика изменений показателей свойств высокоплотного асфальтобетона**

Показатели свойств асфальтобетона	Периоды контроля качества асфальтобетона, сутки				Требования ГОСТ 9128 [8]
	2	4	10	20	
Предел прочности на сжатие при 20 °С, МПа	2,58	2,64	3,03	3,06	2,5
Предел прочности на сжатие при 50 °С, МПа	1,21	1,34	1,51	1,56	1,1
Водонасыщение, % по объёму	1,39	1,37	1,33	1,30	1,0 – 2,5
Коэффициент уплотнения	0,975	0,976	0,987	0,992	Не менее 0,99

На основании анализа результатов мониторинга показателей качества, можно принять активный период формирования структуры покрытия из высокоплотного асфальтобетона, уложенного на ортотропной плите моста, равный 10 суткам. Такой вывод можно сделать,

проследив кинетику изменений показателей свойств асфальтобетона (рис. 1).

Прирост прочности на сжатие при 20 °С, начиная со 2-х и по 10-е сутки, составляет 17,44 %, а в последующие 10 суток – только 0,99 %. Аналогично, прирост прочности на сжатие при 50 °С, начиная со 2-х и по 10-е сутки, составляет 24,79 %, в последующие 10 суток –

только 3,31 %. Снижение водонасыщения асфальтобетонного покрытия, начиная со 2-х и по 10-е сутки, составляет 4,31 %, в то время как в последующие 10 суток – только 2,26 %. Коэффициент уплотнения возрастает, начиная со 2-х и по 10-е сутки, на 1,23 %, в то время как в последующие 10 суток – только 0,51 %.

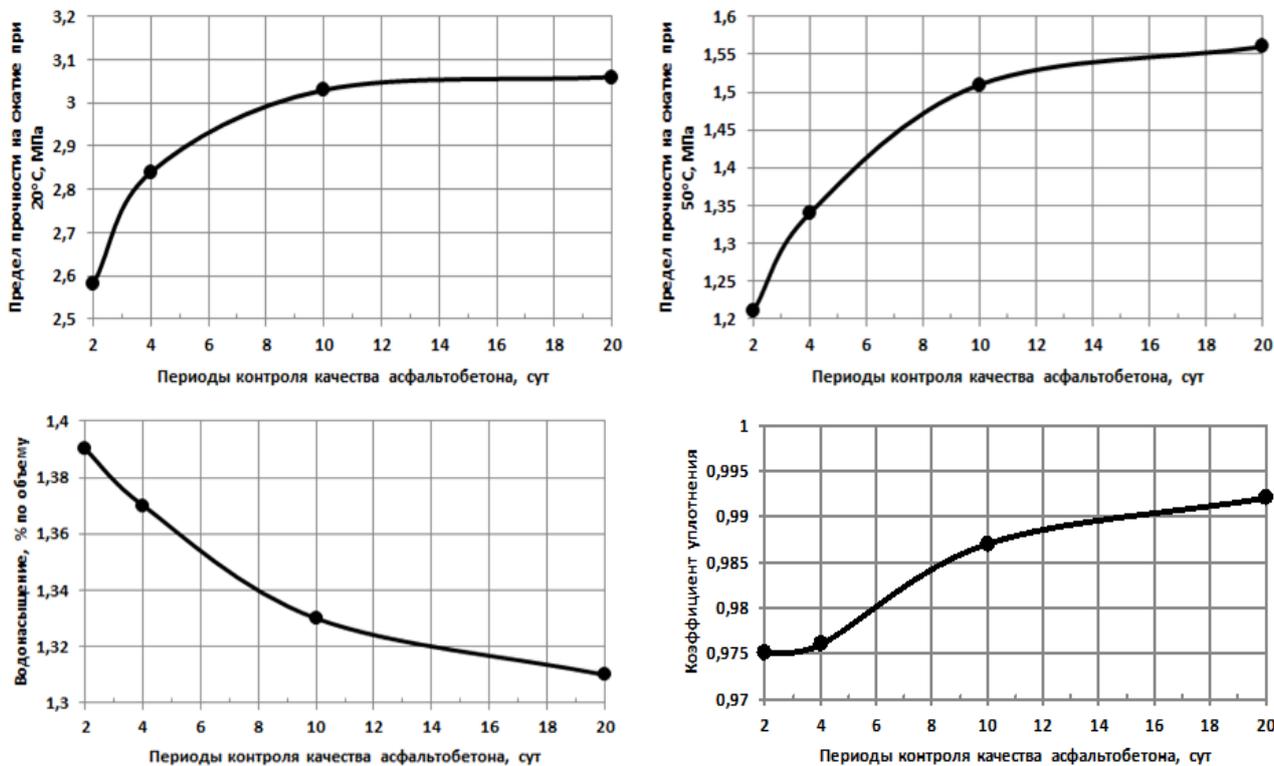


Рис. 1. Кинетика изменений показателей свойств высокоплотного асфальтобетона

Основным показателем формирования структуры асфальтобетона является прочность на сжатие. Динамика изменения этого показателя как при 20 °С, так и при 50 °С явно замедляется после первых 10 суток, что свидетельствует о завершении основного периода структурообразования.

Схема исследования качественных показателей свойств покрытия из высокоплотного асфальтобетона марки I включала отбор вырубок нижнего и верхнего слоёв покрытия. Отбор вырубок производился на верховой (ближняя по направлению течения реки) и низовой (дальняя по направлению течения реки) сторонах каждого из десяти совмещённых пролётных строений моста через р. Амур. Определение качественных показателей свойств высокоплотного асфальтобетона выполнялось по прошествии 10 суток после устройства слоёв асфальтобетонного покрытия.

Качество образцов асфальтобетона определялось в соответствии с требованиями нормативных документов: «Технологического регламента...», ГОСТ 9128 и СП 78.13330.2012 [5, 6, 7].

Были определены следующие качественные показатели свойств высокоплотного асфальтобетона марки I: предел прочности на сжатие при 20 и 50 °С, коэффициент водостойкости и коэффициент уплотнения, водонасыщение кернов готового покрытия, водонасыщение образцов, отформованных из смеси.

Значения качественных показателей свойств покрытия из высокоплотного асфальтобетона на десяти совмещённых пролётных строениях моста, начиная с пер-

вого, по направлению от г. Хабаровска, представлены графически на рис. 2. Для сравнения на диаграммах также показаны требуемые ГОСТ 9128 значения показателей качества материала.

Результаты испытаний показали, что для вырубок верхнего и нижнего слоев покрытия, качественные характеристики свойств высокоплотного асфальтобетона на всех участках контроля отвечает требованиям действующей нормативной документации [5, 6, 7].

Вместе с тем, на формирование структуры асфальтобетона, а, следовательно, и на его свойства, кроме надлежащего качества применяемых материалов и обоснованного назначения состава, оказывает большое влияние технология строительства асфальтобетонного покрытия [8,9].

Активное структурообразование в асфальтобетоне начинается с момента объединения минеральных материалов с вяжущим во время приготовления смеси и заканчивается после механического уплотнения различными уплотняющими средствами. В течение дальнейшего определенного периода времени протекает сравнительно пассивное упрочнение структуры, связанное с адгезионными процессами на границе раздела фаз «битум – каменные материалы».

Эффективность уплотнения асфальтобетонных смесей определяется интенсивностью накопления необратимых деформаций, которые, в свою очередь, определяются напряженно-деформированным состоянием материала под рабочими органами дорожных катков [10].



Проведенные исследования по определению типов дорожных катков и числа их проходов при уплотнении высокоплотных асфальтобетонных смесей позволили установить, что рациональная технологическая схема включает три этапа уплотнения. На первом этапе при температуре асфальтобетонной смеси 155-120 °С рекомендуется гладковальцовый дорожный каток статического действия, затем, на втором этапе при температуре смеси 135-110 °С, каток, работающий в вибрационном режиме, и на заключительной третьей стадии при температуре смеси 110-80 °С – тяжелый гладковальцовый каток.

При осуществлении контроля качества уплотнения ездового полотна моста проводились измерения поперечных уклонов нижнего и верхнего слоев покрытия и его ровности. Схема контроля поперечных уклонов покрытия и его ровности была принята по аналогии с контролем физико-механических показателей свойств асфальтобетонного покрытия, то есть на верховой и низовой сторонах каждого из десяти совмещённых пролётных строений моста.

В табл. 2, 3 показаны результаты измерений по отдельным слоям дорожного покрытия ровности и поперечных уклонов.

Таблица 2

**Результаты измерений поперечных уклонов дорожного покрытия**

Требования СП 78.13330.2012, случаев на оценку, %							
Диапазон уклонов 10-30 %				Диапазон уклонов 5-10 и 31-50 %			
не менее 95 – отлично не менее 90 – хорошо				не более 5 – отлично не более 10 – хорошо			
Выявлено случаев, %							
Нижний слой		Верхний слой		Нижний слой		Верхний слой	
слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
99,8	97,7	98,9	100	0,2	2,3	1,1	0

По результатам измерений уклоны менее 5 и свыше 50 % – полностью отсутствуют. Анализ данных, приведенных в таблице, свидетельствует, что в соответствии с требованиями СП 78.13330.2012 качество формирования профиля дорожного полотна соответствует оценке «отлично».

Таблица 3

**Результаты измерений ровности поверхности дорожного покрытия**

Требования СП 78.13330.2012, случаев на оценку, %							
Просвет под рейкой 0-5 мм				Просвет под рейкой 5-10 мм			
не менее 98 – отлично не менее 95 – хорошо				не более 2 – отлично не более 5 – хорошо			
Выявлено случаев, %							
Нижний слой		Верхний слой		Нижний слой		Верхний слой	
слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
99,4	99,7	99,4	99,4	0,6	0,3	0,6	0,6

Просветы под рейкой свыше 10 мм отсутствуют. Результаты измерений ровности нижнего и верхнего слоев покрытия подтверждают, что в соответствии с требованиями СП 78.13330.2012 ровность поверхности дорожного полотна соответствует оценке «отлично».

Качественное уплотнение асфальтобетона способствует равномерному распределению вяжущего, зерен песка и щебня в структуре асфальтобетона, обеспечивая прочное взаимодействие между ними и создавая, таким образом, дорожное покрытие с требуемыми показателями свойств.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Выбор высокоплотного асфальтобетона в качестве покрытия жесткого основания ортотропной плиты обеспечивает надежную эксплуатацию в течение длительного времени в экстремальных условиях работы совмещенной конструкции моста.

На основании исследований был сделан вывод о том, что при устройстве ездового полотна автодорожного проезда на совмещенной части Амурского моста, период структурообразования высокоплотного асфальтобетона составляет 10 суток, включая активную и пассивную фазы.

Асфальтобетонное покрытие по качественным показателям соответствует требованиям государственных стандартов ГОСТ 9128 и СП 78.13330.2012.

Эксплуатация Амурского моста показала, что на протяжении ряда лет дорожное покрытие на ортотропной плите отвечает нормативным требованиям и находится в хорошем состоянии, без ремонтов.

**Литература**

- Совет Федерации Федерального собрания РФ // Развитие сети автомобильных дорог в субъектах Российской Федерации, входящих в состав Дальневосточного федерального округа : сайт.– URL : <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/114753/> (дата обращения : 29.09.2020). – Текст : электронный.
- Патент № 2177523 Российская Федерация, МПК E01D 19/08, E01C 7/32. Конструкция дорожной одежды [Текст] / Н.И. Ярмолинская, С.Н. Иванченко, А.А. Парфенов, В.Н. Вохмин: заявитель ХГТУ № 2000104122 : заявл. 21.02.2000 : опубл. 27.12.2001. – 6 с.
- Иванченко, С.Н. Обеспечение качества асфальтобетона с учетом особенностей свойств составляющих и технологии уплотнения : учебное пособие / С.Н. Иванченко, Н.И. Ярмолинская, А.А. Парфенов. – Москва : Инфра-Инженерия, 2020. – 304 с. – Текст : непосредственный.
- Zhiming Si Characterization of asphalt concrete mixtures / Si Zhiming –OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2009. – Text : electronic.
- ГОСТ 9128-2009 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 апреля 2010 г. № 62-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2011 г. : дата введения 2011-01-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Дорожный научно-исследовательский институт» (ОАО «СоюздорНИИ») – Москва : Стандартинформ, 2011. – 23 с. – Текст : непосредственный.
- Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с Изменением № 1) [Текст] : СП 78.13330.2012 свод правил : издание официальное : ввод в действие 2013-07-01 – Москва : АО «Кодекс», 2013. – 65 с. – Текст : непосредственный.

7. Технологический регламент устройства дорожной одежды на ортотропной плите автодорожного проезда моста через р. Амур у г. Хабаровска / Разработан в СоюздорНИИ – М.: Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1999. – 26 с. – Текст : непосредственный.

8. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах юга Дальнего Востока : монография / Н. И. Ярмолинская, В.А. Ярмолинский, Т.Л. Лазарева, Р. В. Семенова – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2015. – 125 с. – Текст : непосредственный.

9. Ядыкина, В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья: монография / В.В. Ядыкина – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. – 373 с. – Текст : непосредственный.

10. Асельдеров, Б.Ш. Режимы уплотнения асфальтобетонных смесей и качество асфальтобетонов / Б.Ш. Асельдеров, Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян . – Текст : непосредственный // Мир дорог. – 2014. – №74. – С.65-67.

#### Сведения об авторах:

**Парфенов Алексей Александрович**, доцент кафедры автомобильных дорог ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет».

Адрес: 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136.  
Телефон +7-909-872-85-33,  
e-mail: 000693@pnu.edu.ru.

**Лазарева Татьяна Леонидовна**, доцент кафедры автомобильных дорог ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет».

Адрес: 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136.  
Телефон +7-914-191-56-58,  
e-mail: tl\_lazareva48@mail.ru.