

УДК 66-963

## ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ХОЛОДНОГО ЩЕБЁНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТА

**Андронов С.Ю., Задирака А.А.**

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов,  
e-mail: vdt\_sstu@mail.ru*

Асфальтобетоны подвержены трещинообразованию, шелушению, выкрашиванию, образованию колеи, волн и впадин. Одним из способов повышения стойкости асфальтобетона к внешним нагрузкам является применение в его составе армирующих элементов, в качестве которых применяются волокна и нити. Введение в смесь длинных (протяженных) элементов – нитей, волокон или проволоки, при удовлетворении и постоянстве качественных показателей, а также удобства ее использования, в настоящее время является неразрешимой проблемой. Введение в смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) в смеси и получить «композитный» материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе. Перспективными в качестве армирующих волокон в асфальтобетонной смеси, исходя из своих физико-механических показателей, являются – фибра из углеродных нитей и прекурсоров для их производства. В процессе выполнения работы определено влияние температурного режима на показатели качества композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей, проведены эксперименты по установлению влияния стандартного температурного режима приготовления асфальтобетонных смесей на свойства дисперсно-армированного асфальтобетона. Введение в состав асфальтобетонных смесей полиакрилонитрильной фибры способствует увеличению показателей качества асфальтобетона. Выполненные исследования позволили установить, что по сравнению с исходной смесью композиционная дисперсно-армированная асфальтобетонная смесь с добавкой полиакрилонитрильной фибры имеет более высокие показатели качества.

**Ключевые слова:** технология композиционного материала, щебёночно-мастичный асфальт, колеобразование, асфальт с дисперсным битумом

## TECHNOLOGY OF COMPOSITE COLD CRUSHED STONE MASTIC APHALT

**Andronov S. Yu., Zadiraka A. A.**

*Saratov State Technical University named after Yu. A. Gagarin, Saratov, e-mail: vdt\_sstu@mail.ru*

Asphalt concrete exposed to cracking, flaking, chipping, formation of ruts, waves and troughs. One way to improve resistance to external loads of asphalt concrete is used in its composition reinforcement elements, which are used as fibers and yarns. Introduction to the mixture of long (extended) elements – yarns, fibers or wires, with satisfaction and constancy of quality indicators, as well as ease of use, now is an insoluble problem. Introduction into a mixture of small size (discrete) components allows achieving their uniform distribution (dispersion) in the mixture and obtain a «composite» material having a high physical and mechanical properties in the finished structural member. Promising as reinforcing fibers in the asphalt mix on the basis of their physical and mechanical properties, are – fiber made of carbon fibers and precursors for their production. In carrying out work determined the effect of temperature on the performance quality of the composite dispersion-reinforced asphalt mixtures, experiments were performed to establish the effect of a standard preparation temperature of asphalt mixes on the properties of dispersion-reinforced asphalt concrete. Maintenance of the asphalt mixtures polyacrylonitrile fiber helps to increase the quality of performance of asphalt concrete. The investigations revealed that compared to the initial mixture of the composite dispersion-reinforced asphalt concrete mixture with the addition of polyacrylonitrile fiber has higher quality scores.

**Keywords:** composite material technology, crushed stone mastic asphalt, rutting, asphalt bitumen to disperse

Основное отличие щебёночно-мастичного асфальта (ЩМА) от обычного асфальта заключается в его жесткой каркасной структуре, которая обеспечивает передачу нагрузки с поверхности в нижележащие слои через непосредственно контактирующие друг с другом отдельные крупные частицы каменного материала. Тем самым достигается существенное снижение деформаций келейности покрытия. ЩМА представляет самостоятельную разновидность асфальта, обеспечивающую в отличие от других типов смесей одновременно водонепроницаемость, сдвигоустойчивость и шероховатость верхнего слоя покрытия [1].

Этот материал был разработан в 1960-х гг. в Германии и в настоящее время нашел широкое применение во многих странах при устройстве верхних слоев дорожных покрытий. Зарубежные стандарты предусматривают более 10 марок горячих смесей ЩМА – в зависимости от максимальной крупности применяемого щебня. В России существует ГОСТ 31015-2002 [2], где регламентированы смеси ЩМА-10, ЩМА-15 и ЩМА-20, которые приготавливаются на основе щебня крупностью до 10, 15 и 20 мм. Данные смеси предназначены для устройства верхних слоев дорожных покрытий.



Схема приготовления композиционной холодной щебёночно-мастичной смеси с дисперсным битумом, 1–3 – последовательность операций

Процесс приготовления и укладки ЦМА смесей практически аналогичен традиционным горячим асфальтовым смесям по ГОСТ 9128-2009 [3]. Спецификой смеси ЦМА является, в частности, более высокая, по сравнению с обычными асфальтовыми смесями, требуемая температура на выходе из смесителя – до 180 °C [1]. Это связано, с одной стороны, с изменением реологических свойств по температурной чувствительности, а с другой – тем, что смесь укладывается, как правило, более тонкими слоями (3–5 см) в сравнении с обычными асфальтовыми смесями, поэтому склонна к быстрому охлаждению.

Температурный режим приготовления ЦМА смесей, так же как и традиционных горячих асфальтовых смесей, требует больших затрат остродефицитной тепловой и электрической энергии, неизбежно сопровождается выбросом в атмосферу большого количества минеральной пыли, окислов азота, серы, углерода, канцерогенных углеводородов, наносящих ущерб окружающей среде, вызывающих профессиональные заболевания рабочих (астма, бронхит и др.). Известно также, что в горячих асфальтовых смесях на стадии их приготовления вяжущее уже стареет на 50–70%, что соответствует 7–10 летнему сроку эксплуатации покрытия [4].

Одним из условий получения щебёночно-мастичной смеси является наличие в ней повышенного количества битума (в пределах 6,0–8,5%). Удорожает стоимость ЦМА необходимость применения специальных стабилизирующих добавок, предотвращающих стекание излишков вяжущего в ходе транспортирования

и укладки. Добавки-стабилизаторы представляют собой гранулированные целлюлозные волокна с битумным покрытием. Более 90% стабилизаторов для ЦМА производится в Германии. Кроме того, для введения гранул стабилизатора в смеситель асфальтобетонного завода (АБЗ) требуется дополнительное оборудование [8].

Альтернативой горячим асфальтовым смесям являются смеси на битумных эмульсиях. Необходимость заблаговременного производства битумных эмульсий, изготавливаемых с использованием дорогостоящих поверхностно-активных эмульгаторов и оборудования эмульсионных баз, нередко зарубежного производства, существенно удорожает производство асфальтов.

Предлагаемая технология композиционного холодного ЦМА с дисперсным битумом является дальнейшим развитием разработанной в СГТУ под руководством профессора Н.А. Горнаева и запатентованной [5] эффективной холодной технологии производства и применения асфальта с дисперсным битумом.

На рисунке представлена принципиальная технологическая схема приготовления щебёночно-мастичной асфальтовой смеси с дисперсным битумом. Минеральные составляющие естественной температуры и влажности подаются в мешалку. Одновременно вводится дополнительное количество воды, затем подаётся битум с рабочей температурой 140–150 °C и перемешивание продолжается до полного диспергирования битума на глобулы размером обычно до 100 мкм. Готовая смесь практически холодная.

Отличительной особенностью предлагаемой холодной технологии композиционного ЩМА с дисперсным битумом является образование в процессе перемешивания в объёме асфальтовой смеси прямой медленнораспадающейся битумной эмульсии на твердом эмульгаторе, роль которого могут выполнять обычно применяемые минеральные порошки. В результате получается асфальт на битумной эмульсии, без заблаговременного производства и применения эмульсии. Для создания каркаса устойчивого к сдвиговым деформациям от транспортной нагрузки в состав композиционных холодных щебёночно-мастичных смесей с дисперсным битумом вводится 70–80 % щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен и 15–30 % искусственного песка из отсевов дробления. Для снижения пористости слоя покрытия в состав композиционного холодного ЩМА с дисперсным битумом вводится 10–12 % известнякового минерального порошка и не менее 6,5 % вязкого нефтяного битума.

Предлагаемая технология имеет ряд значимых достоинств: **энергосбережение**, так как отпадает необходимость высушивания и нагрева минеральных составляющих; **ресурсосбережение**, за счет исключения из технологической линии асфальтобетонного завода сушильного барабана, форсунок, топочного хозяйства, пылеуловительной установки, грохота, необходимости их обслуживания, снижения металлоемкости завода; **экологическая безопасность**, так как, благодаря холодному и влажному приготовлению смесей, исключается выброс в атмосферу пыли, канцерогенных углеводородов и др.

При производстве холодной композиционной щебёночно-мастичной асфальтовой смеси не требуется добавка гранул стабилизатора и дополнительного оборудования для его введения в смеситель АБЗ.

Разрабатываемое под руководством Н.А. Горнаева в СГТУ научное направление «Технология холодных органоминеральных материалов с дисперсными органическими вяжущими» и разработки его учеников позволили теоретически обосновать процессы структурообразования в холодном композиционном ЩМА с дисперсным битумом с привлечением представлений физической химии с позиции термодинамики. Формирование структуры асфальта начинается в момент объединения всех составляющих, а заканчивается в покрытии, в ходе его эксплуатации. Холодная композиционная щебёночно-мастичная асфальтовая смесь представляет

собой гетерогенную необратимую систему открытого типа, протекающие в ней процессы происходят в направлении уменьшения суммарной избыточной поверхностной энергии, достижения устойчивого равновесия. Скорость протекания этих процессов обуславливается составом, свойствами, температурами исходных материалов, погодными условиями. Важнейшими стадиями процессов структурообразования являются: смачивание водой минеральных составляющих, диспергирование и стабилизация битума; формирование битумной плёнки; адгезия битума; уплотнение.

В холодной композиционной щебёночно-мастичной смеси с дисперсным битумом исключительно важное значение имеет вода. Являясь обязательной, незаменимой составляющей, она участвует и определяет характер взаимодействий на всех этапах процессов структурообразования и свойств асфальта. Введение в минеральную смесь дополнительной воды лиофилизует систему и создаёт благоприятные условия для диспергирования вязкого нефтяного битума.

Диспергирование вязкого битума осуществляется в объёме увлажнённой смеси через образование битумных нитей длиной до нескольких десятков миллиметров и их последующий распад на глобулы по достижении критической для данных условий толщины (температуры, содержания минерального порошка, воды и др.). Стабилизация битумных глобул осуществляется через остаточный (ориентированный) слой воды по Б.В. Дерягину [6].

Формирование битумных плёнок на поверхности минеральных частиц происходит в результате смачивания битумом воды, а затем по мере её испарения и твёрдых поверхностей. Битумные плёнки формируются тем быстрее, чем выше степень дисперсности битума и ниже его вязкость. Адгезия битума происходит через остаточный слой воды с последующей диффузией ПАВ битума (главным образом анионоактивных) на границу раздела.

Уплотнение зависит от содержания воды. В первый момент увлажнённая смесь легко уплотняется за счёт повышенного содержания воды. Однако вода, заполняя все поры смеси и являясь практически несжимаемой, препятствует уплотнению, поэтому холодный композиционный ЩМА имеет остаточную пористость 8–10 % и согласно ГОСТ 9128-2009 [3] относится к пористым. Уплотнению способствуют особенности взаимодействия воды с гидрофильными составляющими смеси. По мере испарения воды за счёт песка

и минерального порошка в смеси образуется большое количество заполненных водой тонких капилляров, возникающее при этом лапласовское давление стремится сблизить минеральные зёрна. Вода за счёт капиллярных сил проявляет как бы связующие свойства, что позволяет открывать движение транспорта по покрытиям из холодных композиционных органоминеральных смесей сразу после завершения работ.

Экспериментальные исследования проводились на холодных композиционных щебёночно-мастичных смесях с наибольшей крупностью щебня 10, 15 и 20 мм. Для приготовления смесей применялся нефтяной битум марки БНД 90/130, известняковый минеральный порошок марки МП-1, гранитный щебень марки 1200 и полученный из него искусственный песок. Компонентные и зерновые составы холодных композиционных щебёночно-мастичных смесей с дисперсным битумом подбирались аналогично щебёночно-мастичным смесям горячего приготовления в соответствии с ГОСТ 31015-2002 [2] и показаны в табл. 1 и 2.

Холодные композиционные щебёночно-мастичные смеси приготавливались в лабораторной мешалке, изготовленной по типу

серийно выпускаемых для АБЗ. Для исследования свойств холодного композиционного ЦМА с дисперсным битумом изготавливались стандартные цилиндрические образцы диаметром 71,4 мм, которые, согласно ГОСТ 31015-2002 [2], уплотнялись прессованием в течение 3 мин под нагрузкой 40 МПа.

При подготовке к испытаниям образцы высушивались 12 ч при температуре 100 °С. Такая методика воспроизводит условия формирования асфальта в покрытии и позволяет получать образцы со свойствами, близкими к свойствам образцов, сформированных в естественных условиях. Образцы испытывались по методике ГОСТ 12801-98 [7], принятой для ЦМА горячего приготовления.

При введении в состав холодной композиционной щебёночно-мастичной смеси с дисперсным битумом 9% портландцемента марки 500 взамен части минерального порошка уже после пяти дней формирования прочностные и сдвиговые свойства соответствуют асфальту без добавки цемента после 28 суток формирования. Прочностные и сдвиговые свойства увеличиваются в среднем на 50%. Коэффициент водостойкости и водостойкости при длительном водонасыщении составляет 1,00.

**Таблица 1**

Компонентный состав холодной композиционной щебёночно-мастичной смеси с дисперсным битумом

Материал	Потребность о материале, % по массе		
	Наибольшая крупность зёрен щебня, мм		
	10	15	20
Щебень фракций, мм:	–		
5–10	61	21	12
10–15	–	45	22
15–20	–	–	38
Песок из отсевов дробления	27	23	18
Минеральный порошок (в пересчёте на частицы мельче 0,071 мм)	12	11	10
Битум (сверх 100% минеральной части)	7,0	6,5	6,0
Вода (сверх 100% минеральной части)	10	9	8

**Таблица 2**

Зерновой состав холодной композиционной щебёночно-мастичной смеси с дисперсным битумом

Наибольшая крупность зёрен щебня, мм	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
10	–	–	100	39	25	20	16	14	12	12
15	–	100	55	34	25	20	17	14	12	11
20	100	62	40	28	22	19	15	14	12	10

В составе холодных композиционных щебёночно-мастичных асфальтовых смесей составленные вяжущие применяются без их заблаговременного приготовления горячим способом. Два различных вяжущих с рабочими температурами одновременно, раздельно вводятся в увлажнённые минеральные составляющие щебёночно-мастичной асфальтовой смеси и перемешиваются. В объёме асфальтовой смеси получают битумные эмульсии обоих органических вяжущих, стабилизированные минеральным порошком. Исследования динамики формирования композиционного холодного ЩМА с дисперсным битумом, выполненные на образцах по показателям прочностных и сдвиговых свойств, показали, что в сравнении с холодным ЩМА на вяжущем только из нефтяного битума, применение вяжущего из нефтяного битума с добавкой каменноугольного дёгтя Д-3 (20% общей массы вяжущего) ускоряет структурообразование асфальта в 1,5 раза. Структурообразование ускоряется за счёт увеличения скорости растекания битумной плёнки. Установлено, что с добавлением к битуму БНД 90/130 15% каменноугольного дёгтя скорость растекания (формирования) битумной плёнки увеличивается в 3 раза по сравнению с нефтяным битумом [9], что объясняется по-

вышенным содержанием ПАВ в каменноугольном дёгте.

### Список литературы

1. Андронов С.Ю. Технология холодного вибролитого регенерированного асфальта [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Андронов Сергей Юрьевич; науч. рук. Н.А. Горнаев. – Волгоград, 2011. – 194 с.
2. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Москва: СтандартИнформ, 1998.
3. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Москва: СтандартИнформ, 1998.
4. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебёночно-мастичные. Технические условия. – Москва: СтандартИнформ, 2002.
5. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Москва: СтандартИнформ, 2009.
6. Дерягин Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. Муллер. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
7. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебёночно-мастичного асфальтобетона. – М. ООО «Издательство «Элит». – 2009. – 176 с.
8. Ляпина А.И. Анализ сопоставления графического и расчётного методов определения показателей дисперсности битумных эмульсий / А.И. Ляпина, И.А. Плотникова // Тр. СоюздорНИИ. – 1977. – № 100. – С. 120–130.
9. Пат. № 2351703 Российская Федерация. Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, С.М. Евтеева, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов. Опубл. 10.04.09.