

УДК 625.855

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.Д.
ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»,
Ярославль, e-mail: gotovtsev_vm@mail.ru

На основе анализа литературных источников сформулированы требования к идеальной структуре композиционных материалов. С позиций теории физико-химической механики П.А. Ребиндера, идеальная структура асфальтобетона должна состоять из мелкодисперсной фракции минеральной части, частицы которой связаны тончайшими пленками битума. Показано влияние состава асфальтобетона и его структуры на эксплуатационные характеристики дорожного покрытия. Установлена активная роль минерального порошка в формировании структуры асфальтобетона. Показан механизм эффекта структурирования связующего в композите и его влияние на свойства материала. Перевод битума в структуре материала в тончайшие адсорбционные слои может принципиально повлиять на свойства асфальтобетона. Установлено, что составы стандартных асфальтобетонных смесей не отвечают требованиям оптимальной структуры, а потенциальные возможности битумо-минеральных материалов далеко не исчерпаны.

Ключевые слова: дисперсная система, асфальтобетон, структурирование, прочность, деформационная устойчивость

PRINCIPLES OF FORMING THE OPTIMAL STRUCTURE OF ASPHALT CONCRETE

Gotovtsev V.M., Shatunov A.G., Rummyantsev A.N., Sukhov V.D.
Yaroslavl state technical university, Yaroslavl, e-mail: gotovtsev_vm@mail.ru

Based on the literary sources analysis, the requirements to composite materials ideal structure were formulated. The ideal compositional materials structure must consist of fine – dispersed mineral part fraction which particles are bound by thinnest bitumen films, according to the P.A. Rebinder's physical – chemical mechanics theory. There was shown how asphalt concrete's formula and structure influence the road surface operational characteristics. The active role of mineral powder in asphalt concrete structure forming was stated. The mechanism of structuring effect of a binder in composite and the way it influences the material's properties was shown. The conversion of bitumen in material structure into thinnest adsorption layers could radically affect the asphalt concrete's properties. It was stated that standard asphalt concrete mixture compositions do not meet the ideal structure requirements and that bitumen – mineral materials have great potential.

Keywords: disperse system, asphalt concrete, structuring, strength, strain-stress stability

Целью настоящей работы является анализ факторов, определяющих влияние состава и структуры композиционных материалов из твердой и жидкой фаз, на их эксплуатационные показатели и выявление новых подходов к разработке композитов с оптимальными свойствами на примере асфальтобетона. Выбор объекта исследования не является случайным, а определен масштабами производства этого материала в нашей стране, в связи с чем совершенствование его свойств и технологии производства имеют стратегическое значение.

Извечная проблема состояния российских дорог в настоящее время принимает угрожающие масштабы. Изменившиеся условия эксплуатации, связанные с резкой интенсификацией дорожного движения, климатические изменения, состоящие в чередовании морозов и оттепелей в периоды межсезонья и в зимнее время, усугубляют проблему и выдвигают новые требования к качеству дорожных покрытий. Существующая практика строительства новых дорог с использованием старых технологий, равно как и принятое у нас «латание дыр»

в дорожном покрытии, заведомо не может дать положительного результата. Несколько лет назад в средствах массовой информации настойчиво звучал призыв к полной замене в нашей стране асфальтобетонных дорожных покрытий на цементобетонные. В связи с этим появляется закономерный вопрос о перспективах развития дорожной сети с использованием асфальтобетонного покрытия.

К свойствам асфальтобетона, обусловившим его широкое распространение, относятся: достаточная механическая прочность, благодаря чему асфальтобетонные покрытия хорошо воспринимают усилия, возникающие при прохождении транспорта; способность к допускаемым упругим и пластическим деформациям, что позволяет асфальтобетонным покрытиям воспринимать возникающие напряжения без разрушений; хорошее сцепление автомобильных шин с асфальтобетонным покрытием, обеспечивающее безопасность движения; возможность получения ровной поверхности при сравнительно небольшой жесткости покрытия, чем обеспечивается бесшумное и ско-

ростное движение транспорта; гигиеничность асфальтобетонных покрытий, легко поддающихся очистке и промывке; способность к хорошему поглощению колебаний, благодаря чему асфальтобетонные покрытия разрушаются меньше, чем, например, бетонные; сравнительная простота ремонта асфальтобетонных покрытий, а также возможность повторного использования старого асфальтобетона [1]

Основные положения теории строения композиционных материалов, включая асфальтобетон, были сформулированы в начале прошлого века разработчиком нового научного направления физико-химической механики, академиком П.А. Ребиндером. Он утверждал: «Самый простой путь повышения прочности любого твердого тела почти до идеального потолка состоит в измельчении его до частиц, по порядку величины соответствующих расстояниям между опасными слабыми местами. Если такие частицы плотно упаковать или склеить тончайшими, а потому тоже высокопрочными после затвердевания, прослойками, полученный материал будет плотным, непроницаемым для жидкостей и газов, макрооднородным, высокопрочным и долговечным» [3].

Сформулированные положения составляют основу создания идеального композиционного материала, в том числе асфальтобетона. С позиции теории П.А. Ребиндера, идеальная структура асфальтобетона должна состоять из мелкодисперсной фракции минеральной части, частицы которой связаны тончайшими пленками битума. Создание такого материала на практике проблематично по целому ряду причин. Прежде всего, это соображения экономического характера. В качестве мелкодисперсной минеральной фракции мог бы использоваться минеральный порошок, входящий в состав минеральной части типового асфальтобетона. Однако такой материал обладает развитой межфазной поверхностью, для смачивания которой требуется большое количество дорогостоящего битума. Кроме того, возникли бы проблемы технологического характера, связанные с получением однородной смеси минерального порошка с малым количеством битума.

От особенностей взаимодействия минеральных и вяжущих материалов зависят основные эксплуатационные свойства асфальтобетонных покрытий. Под воздействием минеральных и органических вяжущих материалов следует понимать комплекс процессов, происходящих при контакте этих материалов. К ним относятся: физическая адсорбция битума поверхностью минеральных частиц; хемосорбци-

онные процессы, протекающие на границе раздела битум – минеральный материал; избирательная диффузия компонентов битума в минеральный материал; изменение свойств минеральных материалов в результате их взаимодействия с битумом.

Физическая адсорбция, происходящая под влиянием физических сил притяжения, приводит к образованию на каменной подкладке ориентированных слоев битума. При хемосорбции адсорбированный битум претерпевает химические изменения. Хемосорбцией затрагивается лишь мономолекулярный слой адсорбированного вещества. При физической адсорбции могут образовываться адсорбированные слои существенно большей толщины. Практически физическая адсорбция возникает при наличии хемосорбции.

Свойства адсорбированного битума, покрывающего минеральные частицы адсорбционными слоями, существенно отличаются от свойств так называемого объемного (свободного) битума. По представлениям П.А. Ребиндера, на поверхности минеральных частиц образуются диффузионные структурированные оболочки битума, плотность и вязкость которых имеют наивысшее значение непосредственно у границы раздела битум – минеральный материал. По мере удаления от этой границы вязкость и плотность битума убывают и в зоне перехода структурированной оболочки в свободный битум принимают номинальные значения, т.е. те значения, которыми характеризуется материал в обычных условиях (свободный битум).

Отличие свойств битума в тонких слоях от свойств объемного битума в значительной мере определяются характером молекулярных взаимодействий на границе раздела твердой и жидкой фаз. Носителями тонких ориентированных слоев битума являются частицы минерального порошка, который обладает наиболее развитой реагирующей поверхностью. На его долю приходится до 90–95% от общей поверхности минеральных частиц, входящих в состав асфальтобетона. Влияние минерального порошка на свойства асфальтобетона может проявляться в нескольких направлениях: упрочнение структурированной дисперсной системы; повышение плотности и снижение водопроницаемости асфальтобетона; уменьшение старения асфальтобетона; повышение водостойкости асфальтобетона.

Таким образом, минеральный порошок является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтового бетона. Основная функция минерального порошка состоит в переводе объемного битума

в пленочное состояние. Вместе с битумом он образует структурированную дисперсную систему, выполняющую роль вяжущего материала в асфальтобетоне. При определенном соотношении битум – минеральный порошок достигается наивысшая прочность структурированной дисперсной системы. При уменьшении толщин битумных слоев на поверхности минеральных частиц происходит структурирование битума и упрочнение контактов между зернами. П.В. Сахаров [3] впервые определил назначение минерального порошка как структурной составляющей, образующей совместно с битумом «асфальтовяжущее вещество», сцепляющее зерна. Таким образом, при определенном соотношении содержаний битума и минерального порошка в системе возможно существенное повышение прочности связей между частицами, обусловленное структурированием битума, т.е. переводом его в пленочное состояние. При этом прочностные показатели структурированного битума существенно превышают показатели объемного битума.

Исходя из сказанного, можно сделать на первый взгляд неожиданный вывод: эксплуатационные свойства асфальтобетона во многом определяются наличием минерального порошка и битума, хотя содержание каждого из них в материале не превышает 10%. При определенном соотношении компонентов бинарной смеси «битум – минеральный порошок» достигается наиболее прочная пространственная структура материала. По данным работы [3] оптимальная концентрация битума в такой смеси составляет 13%.

Существующие подходы к формированию структуры реального асфальтобетона принципиально отличаются от сформулированных выше. Как указывалось ранее, при формировании структуры асфальтобетона решающее значение имеет экономический фактор, т.е. себестоимость материала. Создание идеального композита требует концентрации битума в смеси в 13% при условии его полного перевода в пленочное структурированное состояние. Материал такого состава достаточно дорог, в связи с чем в состав структуры асфальтобетона стали вводить крупные фракции минеральной части (щебень), имеющие существенно меньшую удельную поверхность. Это позволило сократить содержание битума и снизить себестоимость материала.

Оптимизацию состава смеси, предназначенной для устройства верхних слоев дорожных покрытий связывали с повышением плотности асфальтобетона. Гранулометрические составы плотных асфаль-

тобетонных смесей были нормированы в СССР с 1932 по 1967 г. В соответствии с этими нормами асфальтобетонные смеси содержали ограниченное количество щебня (26–45%) и повышенное количество минерального порошка (8–23%) [2]. Опыт применения таких смесей показал, что в покрытиях, особенно на дорогах с тяжелым и интенсивным движением, образуются волны, сдвиги и другие пластические деформации. При этом шероховатость поверхности покрытий была также недостаточной, чтобы обеспечить высокое сцепление с колесами автомобилей, исходя из условий безопасности движения.

Принципиальные изменения в стандарт на асфальтобетонные смеси были внесены в 1967 г. В ГОСТ 9128–67 вошли новые составы смесей для каркасных асфальтобетонов с повышенным содержанием щебня (до 65%), которые стали предусматривать в проектах дорог с высокой интенсивностью движения. В асфальтобетонных смесях также было снижено количество минерального порошка и битума, что обосновывалось необходимостью перехода от пластичных к более жестким смесям [2].

Приведенные данные демонстрируют тенденцию к сокращению содержания в смеси минерального порошка, а, следовательно, и битума. В настоящее время наибольшее распространение получили каркасные асфальтобетонные смеси с повышенным содержанием щебня и минимальным содержанием минерального порошка и битума. Плотность структуры таких материалов обеспечивается непрерывной гранулометрией минеральной части. Устойчивость покрытий достигается за счет расклинивания крупных зерен щебня более мелкими фракциями с образованием прочного каменного каркаса. Практически это достигается уменьшением количества минерального порошка в смеси, увеличением содержания крупных дробленых зерен, полным уплотнением смеси, при котором зерна щебня и крупных фракций песка соприкасаются между собой. К положительным качествам таких смесей относят высокую шероховатость и сдвигоустойчивость в покрытии, малую чувствительность свойств асфальтобетона к случайным колебаниям содержания минерального порошка и битума, достаточно высокую технологичность и удобоукладываемость в процессе устройства дорожного покрытия. Каркасные асфальтобетоны применяют на дорогах с высокой интенсивностью движения.

Внешние нагрузки на дорожное полотно воспринимаются каркасом асфальтобетона, что вызывает необходимость

повышенных требований к прочностным показателям каменных материалов. Например, вызывает недоумение следующий факт: прочность образцов асфальтобетона составляет 2,0–2,5 МПа, в то время как прочность используемого в нем щебня должна иметь значения 100–120 МПа. Объяснение этого «парадокса» состоит в следующем. В каркасной структуре асфальтобетона частицы щебня находятся в непосредственном контакте друг с другом. С другой стороны, эти частицы, как правило, имеют остроугольную форму, что приводит к появлению большого количества точечных контактов и возникновению в них высоких удельных напряжений. При недостаточной прочности каменного материала будет происходить его растрескивание с нарушением сплошности покрытия и дальнейшим его разрушением.

В изменившихся в последние годы условиях движения транспортных средств, роста интенсивности движения и возрастающих нагрузок на дорожное полотно к асфальтобетонным покрытиям предъявляют дополнительные требования. Так в ГОСТ 9128–2009 [4] в число показателей асфальтобетона, подлежащих обязательному нормированию, включены показатели сдвигоустойчивости материала. По существующим представлениям сдвигоустойчивость материала, т.е. его способности воспринимать сдвигающие нагрузки, определяется двумя факторами: коэффициентом внутреннего трения и сцеплением частиц. Внутреннее трение в каркасном асфальтобетоне обеспечивается крупными фракциями материала,

расклинными более мелкими частицами, а связность структуры (сцепление) обеспечивается прочностью используемого объемного битума.

Сформированная таким образом структура асфальтобетона далека от идеальной. Отдельные крупные частицы минеральной части (в данном случае щебенки) могут рассматриваться как элементы структурной неоднородности, вследствие чего они являются своего рода «концентраторами» напряжений в асфальтобетоне. Поэтому зоны сопряжения связующего с поверхностью щебенки представляют собой наиболее уязвимые места в асфальтобетоне. Соотношение содержаний минерального порошка и битума в рассмотренных смесях также не является оптимальным, что не позволяет получить структурированные битумные прослойки, обладающие существенно более высокими прочностными показателями в сравнении с объемным битумом.

Для обеспечения сплошности дорожного покрытия необходимо, чтобы асфальтовяжущего вещества было достаточно для заполнения пустот минеральной части асфальтобетонной смеси. Проанализируем с этих позиций показатели, нормируемые стандартами, для наиболее часто используемых асфальтобетонных смесей:

- типовой асфальтобетон по [4] – за базовую взята песчаная смесь, тип Д;
- ЩМА по [5] – за базисный вариант взят ЩМА – 10;
- литой по [6] – за основу взята смесь с диаметром частиц не более 5 мм.

Требования ГОСТ и ТУ сведем в таблицу.

Асфальтобетон	Пористость минерального остова, %	Содержание битума, %	Содержание минерального порошка, %
Типовой	18–22	7–9	10–16
ЩМА	Не нормируется	6,5–7,5	10–20
Литой	22	Задается содержание асфальтовяжущего: 17–23 % и отношение битум/минеральный порошок 0,4–0,65	

Из приведенных в таблице данных следует.

1. Соотношение содержаний минерального порошка и битума существенно отличается от оптимального. Для всех рассмотренных видов асфальтового бетона содержание битума в смеси превышает оптимальное значение. Значительная часть битума пребывает в свободном состоянии, снижая показатели прочности и сдвигоустойчивости. Проявление эффекта структурирования возможно лишь в отдельных зонах контакта частиц минеральной части, что не может отразиться на интегральных свойствах асфальтобетонного покрытия.

2. Содержание асфальтовяжущего в рассмотренных смесях достаточно для заполнения пустот в остове минеральной части, что позволяет получить структуру материала с минимальной пористостью.

Основным недостатком используемых в настоящее время асфальтобетонных смесей является недостаточное сцепление минеральных частиц в структуре асфальтобетона. В последние годы активно проводятся исследования, направленные на повышение прочности сцепления. Здесь можно выделить несколько направлений: модификация битума различными добавками, включая полимерные добавки; введение в битум

структурирующих добавок в виде наночастиц, создающих дополнительные связи между молекулами связующего; использование механических структурирующих элементов в виде волокон или нитей.

Отметим, что большинство модификаторов битума являются, как правило, дорогостоящими добавками и, несмотря на их незначительное содержание в битуме, их применение обычно связано со значительным удорожанием асфальтобетона. Кроме того, применение новых материалов может быть связано с ужесточением требований к гранулометрии асфальтобетонных смесей. Так, в производстве щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), получившего в последние годы достаточно широкое применение, нормируются не только прочностные показатели каменных материалов, но и их форма. Щебень должен быть кубовидной формы, а содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в щебне должно быть не более 15% по массе. В соответствии с ГОСТ 31015–2002 щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь (ЩМАС) – рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня, песка из отсевов дробления и минерального порошка), дорожного битума (с полимерными или другими добавками или без них) и стабилизирующей добавки, взятых в определенных пропорциях и перемешанных в нагретом состоянии. В качестве стабилизирующей добавки применяют целлюлозное волокно или специальные гранулы на его основе.

В заключение отметим, что для создания структуры асфальтобетона с оптимальными или близкими к ним свойствами с учетом экономических требований требуются существенные изменения как в составе асфальтобетонных смесей, так и в технологии их производства. Здесь на первый план, по мнению авторов, должны выдвигаться классические положения физико-химической механики, связанные с созданием оптимальной структуры асфальтобетона и использованием эффекта структурирования частиц в композите. По-

тенциальные возможности битумо-минеральных материалов далеко не исчерпаны, что определяет необходимость проведения дальнейших исследований по их совершенствованию.

Список литературы

1. Гезенцевей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Изд-во по строительству, 1971. – 255 с.
2. Кириухин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытания: Обзорная информация. – Вып. № 6. – М.: Информавтор, 2005. – 103 с.
3. Ребиндер П.А.. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Ч. Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 469 с.
4. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон: ГОСТ 9128–2009.
5. Смесей асфальтобетонные и асфальтобетон. Щебеночно-мастичные: ГОСТ 31015–2002.
6. Смесей асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон: ТУ 5718-002-04000633–2006.

References

1. Gezencvej L.B. Asfaltovyj beton iz aktivirovannyh mineralnyh materialov., M.: Izd-vo po stroitelstvu, 1971., pp. 255.
2. Kirjuhina G.N. Proektirovanie sostava asfaltobetona i metody ego ispytaniya: Obzornaja informacija., no. 6., M.: Informavtodor., 2005., pp. 103.
3. Rebinde P.A.. Izbrannye trudy. Poverhnostnye javleniya v dispersnyh sistemah. Ch. Fiziko-himicheskaja mehanika., M.: Nauka, 1979, pp. 469.
4. Smesi asfaltobetonnnye dorozhnye, ajerodromnye i asfaltobetona. GOST 9128–2009.
5. Smesi asfaltobetonnnye i asfaltobetona. Schebenochno-mastichnye. GOST 31015–2002.
6. Smesi asfaltobetonnnye litye i litoj asfaltobetona. TU 5718-002-04000633–2006.

Рецензенты:

Епархин О.М., д.т.н., профессор, директор Ярославского филиала ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Ярославль;

Бачурин В.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей и прикладной математики Ярославского филиала ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Ярославль.

Работа поступила в редакцию 24.08.2012.