



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

Рекомендовано

*Учебно-методическим советом НИУ МГСУ в качестве учебного пособия
для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство
(№ 03 от 27.08.2020)*

ISBN 978-5-7264-2367-8
ISBN 978-5-7264-2368-5 (ч. 1)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020

Москва
2020

УДК 691
ББК 38.3
Т38

Авторы:

Е.В. Королев, С.С. Иноземцев, С.Ю. Шеховцова, Н.И. Шестаков, А.С. Иноземцев

Рецензенты:

доктор технических наук *Э.В. Котлярский*,
профессор кафедры дорожно-строительных материалов МАДИ;
доктор технических наук *Е.В. Ткач*,
профессор кафедры строительных материалов и материаловедения НИУ МГСУ

Т38 **Технология дорожных бетонов** [Электронный ресурс] : [учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство]. В 2 частях / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра строительных материалов и материаловедения. — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2020. —

ISBN 978-5-7264-2367-8 (сетевое)

Часть 1 / [Е.В. Королев и др.]. — Электрон. дан. и прогр. (3,6 Мб). — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2368-5 (ч. 1) (сетевое)

ISBN 978-5-7264-2370-8 (ч. 1) (печатное)

В учебном пособии содержатся сведения об основных компонентах, применяемых в современных технологиях для приготовления дорожных бетонов, их свойствах; изложены методики стандартных испытаний с описанием используемых приборов и оборудования. Содержатся рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология дорожных бетонов». Приведена последовательность выполнения лабораторного практикума, представлен перечень рекомендуемой литературы.

Для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство.

Учебное электронное издание

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АСФАЛЬТОБЕТОН.....	6
1.1. Общие сведения.....	6
1.2. Классификация асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов	7
1.2.1. Классификация асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов системы объемно-функционального проектирования на основе системы «Supergrave»	8
1.2.2. Классификация асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов специализированной системы проектирования «Евроасфальт»	9
2. КОМПОНЕНТЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ	11
2.1. Вяжущие вещества.....	12
2.2. Минеральные материалы	28
2.2.1. Крупный заполнитель.....	28
2.2.2. Мелкий заполнитель.....	31
2.2.3. Наполнитель.....	34
2.3. Модифицирующие добавки.....	35
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ.....	40
3.1. Подбор зернового состава	40
3.2. Расчет содержания битумного вяжущего	43
3.3. Изготовление образцов	45
3.3.1. Изготовление образцов с помощью вращательного уплотнителя	46
3.3.2. Изготовление образцов с помощью уплотнителя Маршалла.....	49
3.4. Определение объемных свойств. Выбор оптимального зернового состава	50
3.5. Определение оптимального содержания вяжущего.....	54
4. СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНОВ.....	56
4.1. Определение показателей физико-механических и эксплуатационных свойств	61
4.1.1. Определение коэффициента водостойкости	61
4.1.2. Определение глубины колеи и угла наклона кривой колееобразования	63
4.1.3. Определение числа текучести.....	65
4.1.4. Определение ползучести и предела прочности при непрямом растяжении.....	66
4.1.5. Определение показателей усталостных свойств	68
4.2. Определение показателей дополнительных свойств	70
4.2.1. Определение истираемости асфальтобетона	70
4.2.2. Определение предела прочности на растяжение при изгибе	71
4.2.3. Определение разрушающей нагрузки и деформации по Маршаллу.....	72
4.2.4. Определение показателя стекания вяжущего	73
5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	74
5.1. Хранение сырьевых материалов в условиях технологического производства	74
5.2. Этапы подготовки и дозирования сырьевых компонентов при производстве асфальтобетонных смесей	77
5.3. Производство асфальтобетонных смесей в смесительных установках	85
5.4. Хранение асфальтобетонных смесей в накопительных бункерах	89
6. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ И УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	90
6.1. Организация и подготовка работ	90
6.2. Специальная техника для укладки.....	91
6.3. Укладка асфальтобетонной смеси	93
6.4. Уплотнение	94
6.5. Контроль качества работ	94
6.6. Брак асфальтобетонной смеси	95
6.7. Дефекты асфальтового покрытия	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	98
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно возрастающие требования к качеству, безопасности и долговечности автомобильных дорог закономерно повышают качество дорожных строительных материалов. Качество строительных материалов является комплексной характеристикой, включающей множество различных эксплуатационных свойств. При этом несоответствие какого-либо одного свойства требованию указывает на некачественный материал. Управление качеством — это отдельная интересная инженерная деятельность, которая требует знаний как в области практической оценки, обработки полученных данных и анализа, так и при разработке корректирующих воздействий на технологический процесс для получения качественного материала.

В сфере дорожных строительных материалов происходят значительные изменения, которые закономерно отражаются в нормативно-технических документах, регламентирующих как требования к асфальтобетонам в соответствии с современными условиями эксплуатации автомобильных дорог, компонентам, применяемым для их производства, так и правил проектирования составов смесей. Основой для переработки государственных стандартов в области технологии дорожных бетонов послужил международный практический опыт как европейских государств, так и США. В этой связи разработка и обновление нормативно-технических документов производились для гармонизации отечественных стандартов с нормативной базой указанных стран.

В процессе гармонизации национальных государственных стандартов с зарубежными нормативными документами, определяющими качество асфальтобетонов, сформировались две основные системы объемно-функционального проектирования составов асфальтобетонов:

— система объемно-функционального проектирования на основе системы «Superpave» (США);

— специализированная система проектирования «Евроасфальт».

Каждая из систем проектирования регламентируется комплексом нормативных документов определяющих классификацию асфальтобетонов на асфальтобетонные смеси и щебеночно-мастичные смеси, нормативные требования к показателям свойств асфальтобетонов, правила процедуры проектирования, требования к компонентам асфальтобетонных смесей и методы испытаний.

1. АСФАЛЬТОБЕТОН

Асфальтобетон является наиболее распространенным материалом, применяемым для строительства покрытий автомобильных дорог в Российской Федерации и в других промышленно развитых странах. Асфальтобетонные покрытия используют для устройства автомобильных дорог с различной транспортной нагрузкой. Это связано с совокупностью положительных качеств, которыми обладает асфальтобетон:

- достаточно высокая механическая прочность;
- компромиссное соотношение упругих и пластических свойств;
- высокое сцепление шины колеса автомобильного транспорта с асфальтобетоном;
- бесшовность покрытий, обеспечивающая комфорт и бесшумность;
- демпфирующая способность, позволяющей ослаблять вибрации и колебания при движении транспорта;
- технологичность и ремонтпригодность;
- автоматизация производства;
- возможность производить чистку покрытий.

Российская Федерация обладает обширной сырьевой базой (компонентами естественного и техногенного происхождения) для приготовления асфальтобетонных смесей: минеральными материалами и органическими вяжущими.

1.1. Общие сведения

Асфальтобетон — искусственный композиционный материал, полученный в результате уплотнения при оптимальной температуре асфальтобетонной смеси.

Асфальтобетонная смесь — рационально подобранная смесь, состоящая из минеральной части (крупного и мелкого заполнителя (щебня, песка) и минерального порошка или без него) и битумного вяжущего, перемешанных в нагретом состоянии.

Формирование структуры асфальтобетона из минерального остова и битумной матрицы обуславливает наличие у него комплекса специфических свойств, которые зависят от условий эксплуатации.

Физико-механические свойства асфальтобетона зависят от структуры, которая отличается при различных концентрациях органического вяжущего и зернового состава минеральных компонентов.

Разнообразие минеральных и органических компонентов, которые используются при производстве асфальтобетонных смесей, позволяет структуру асфальтобетона рассматривать как бинарную систему по типу «фаза — среда»:

- **микроструктура** — структура асфальтовяжущего, являющаяся дисперсной системой, наполненной минеральным порошком (фазы) в битуме (среде);
- **мезоструктура** — структура асфальтового раствора, представляющая собой дисперсную систему, наполненную зернами песка (фазой) в асфальтовяжущем (среде);
- **макроструктура** — структура асфальтобетона, являющаяся дисперсной системой, наполненной зернами щебня или гравия (фазой) в асфальтовом растворе (среде).

С учетом особенностей формирования структуры асфальтобетонов М.И. Волков предложил классификацию типов структур, образующихся из двухкомпонентных смесей (вяжущее — наполнитель): базальная, поровая, контактная, порово-базальная и контактно-поровая (рис. 1).

СТРУКТУРА АСФАЛЬТОБЕТОНА

	МАКРОСТРУКТУРА	МЕЗОСТРУКТУРА	МИКРОСТРУКТУРА
БАЗАЛЬНАЯ	ЩЕБЕНЬ менее 35 %	ПЕСОК менее 30 %	НАПОЛНИТЕЛЬ менее 10 %
ПОРОВО-БАЗАЛЬНАЯ	ЩЕБЕНЬ от 35 до 50 %	ПЕСОК от 30 до 40 %	НАПОЛНИТЕЛЬ от 10 до 15 %
ПОРОВАЯ	ЩЕБЕНЬ от 50 до 60 %	ПЕСОК от 30 до 40 %	НАПОЛНИТЕЛЬ более 15 %
КОНТАКТНО-ПОРОВАЯ	ЩЕБЕНЬ от 60 до 65 %	ПЕСОК более 40 %	
КОНТАКТНАЯ	ЩЕБЕНЬ более 65 %		

Рис. 1. Взаимосвязь типов структур в асфальтобетоне

Базальная структура формируется в случае большого количества матричного материала, который заполняет пространство между зернами минерального каркаса и раздвигает их.

Поровая структура формируется при заполнении матричным материалом межзерновых пустот зерен минерального каркаса.

Контактная структура формируется при распределении незначительного количества матричного материала по поверхности зерен минерального каркаса в виде пленок. Образующийся минеральный каркас характеризуется межзерновым пространством, не заполненным вяжущим.

Порово-базальная и контактно-поровая являются переходными типами структур, в которых имеются области, образованные по типу той или иной структуры.

Как показывает практика дорожного строительства, для приготовления асфальтобетонной смеси используются различные минеральные материалы с большим отличием физико-механических свойств, поэтому задача быстрого определения оптимальной структуры и состава асфальтобетона должна выполняться в соответствии с разработанными правилами.

1.2. Классификация асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов

Наличие двух систем проектирования составов асфальтобетонов обуславливает наличие отдельной классификации асфальтобетонов для каждой системы, которые отражены в соответствующих нормативно-технических документах. В комплексе нормативных документов систем проектирования выделяются отдельные стандарты на асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон, в которых классифицирование основано на максимальной крупности применяемого минерального заполнителя как для асфальтобетонов, так и для щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Дополнительными критериями, по которым классифицируются типы асфальтобетонов, являются условия движения автотранспорта для проектируемого участка автомобильной дороги с учетом количества приложенной расчетной нормативной нагрузки, а также характеристики конструктивного слоя дорожной одежды, в котором планируется использовать асфальтобетонную смесь.

Расчетная нормативная нагрузка АК-11,5 — модель нагрузки от транспортных средств, равная 115 кН и установленная по наибольшим значениям временных нагрузок нормальной эксплуатации с учетом перспективы.

Количество приложений расчетных нагрузок, равных 115 кН, рассчитывают по формуле

$$N_{115} = N_i \cdot K,$$

где N_{115} — количество приложений расчетных нагрузок, равных 115 кН;

N_i — количество приложений расчетных нагрузок, определяемое в соответствии с действующими нормативно-техническими документами в области проектирования;

K — переводной коэффициент.

Переводной коэффициент K рассчитывают по формуле

$$K = (Q_i / 115)^4,$$

где Q_i — расчетная одноосная нагрузка для данной автомобильной дороги, определяемая в соответствии с действующими нормативно-техническими документами в области проектирования, кН;

115 — одноосная нагрузка, кН;

4 — показатель степени, принимаемый для всех типов дорожных одежд.

1.2.1. Классификация асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов системы объемно-функционального проектирования на основе системы «Supergave»

Классификация асфальтобетонов в соответствии с системой объемно-функционального проектирования на основе системы «Supergave» представлена в национальном стандарте ГОСТ Р 58401.1 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования», а классификация щебеночно-мастичных асфальтобетонов — в ГОСТ Р 58401.2 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования».

В зависимости от номинально максимального размера применяемого минерального заполнителя асфальтобетонные смеси подразделяют на следующие типы:

— SP-4 — асфальтобетонная смесь с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя 4,0 мм;

— SP-8 — асфальтобетонная смесь с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя 8,0 мм;

— SP-11 — асфальтобетонная смесь с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя 11,2 мм;

— SP-16 — асфальтобетонная смесь с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя 16,0 мм;

2. КОМПОНЕНТЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Качественная асфальтобетонная смесь получается в результате рационально подобранного соотношения минеральных материалов различного зернового состава (включая минеральный порошок), битумного вяжущего и специализированных добавок. Качество асфальтобетона зависит как от количественного соотношения основных компонентов, так и их качества, которое определяется их свойствами, установленными в нормативно-технических документах. На рис. 2 представлен перечень нормативно-технических документов, действующих в настоящее время в Российской Федерации.

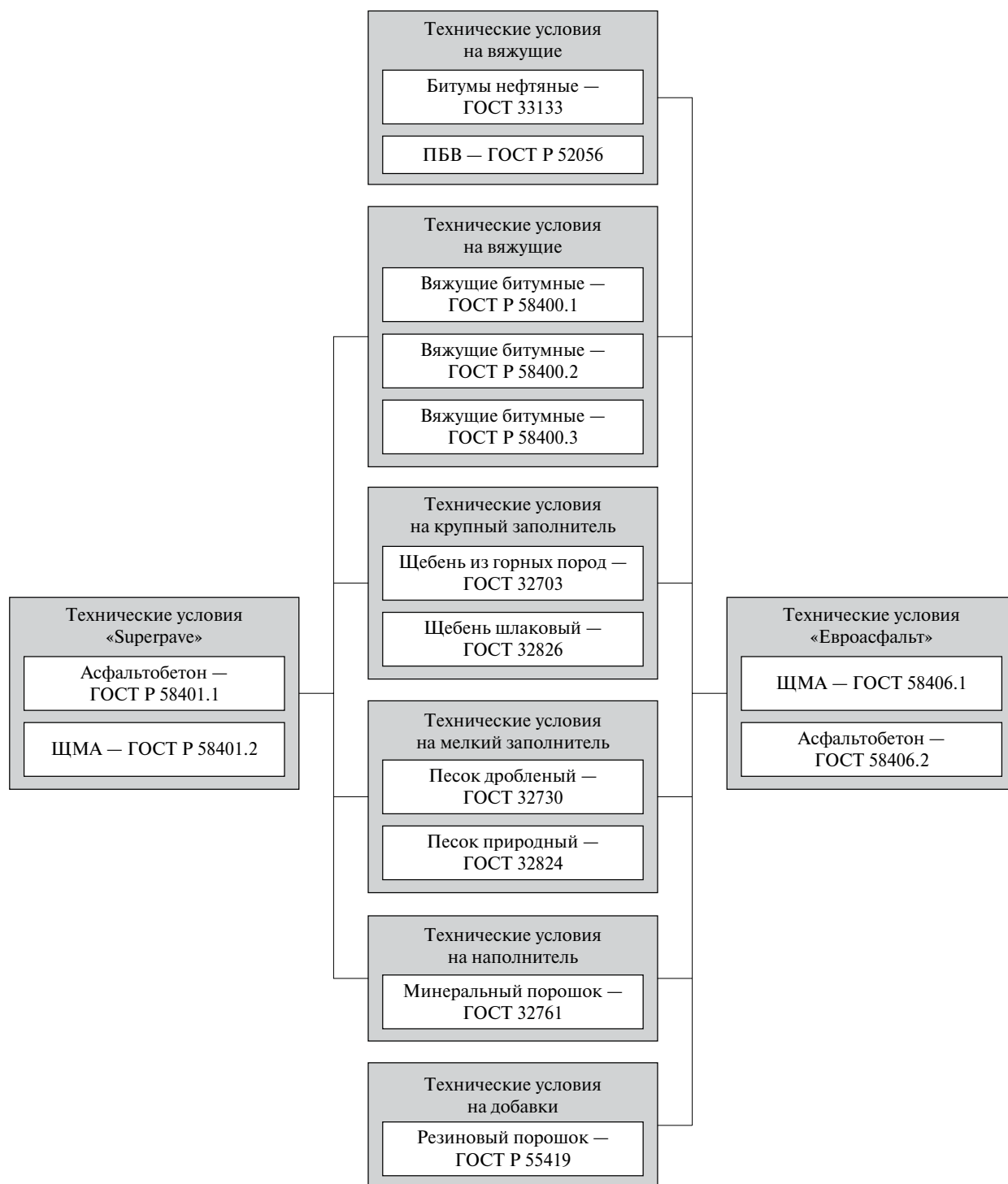


Рис. 2. Декомпозиция нормативного регулирования качества асфальтобетонных смесей и компонентов для ее производства

В соответствии с правилами системы объемно-функционального проектирования на основе «Supergave» и правилами специализированной системы проектирования «Евроасфальт», для производства асфальтобетонных смесей разрешается использование компонентов, качество которых регламентируется единым комплексом нормативных документов.

Проектирование асфальтобетонных смесей допускается с использованием минеральных материалов, которые по зерновому составу классифицируются на крупный заполнитель, мелкий заполнитель и наполнитель. В качестве крупного заполнителя предусмотрено использование щебня из горных пород и щебня, получаемого дроблением и рассевом продуктов дробления отвальных металлургических шлаков, шлаковых расплавов из отходов металлургического и химического производств, требования к которым отражены в ГОСТ 32703 и ГОСТ 32826 соответственно.

В качестве мелкого заполнителя допускается использование дробленых песков из отсева дробления горных пород при производстве щебня или гравия, природных песков, образовавшихся в результате естественного разрушения горных пород, а также шлаковых песков, отвечающих требованиям ГОСТ 32730, ГОСТ 32824 и ГОСТ 32826 соответственно.

Наполнителем для асфальтобетонных смесей является минеральный порошок, полученный путем помола карбонатных или некарбонатных горных пород либо из твердых отходов промышленного производства, который отвечает требованиям ГОСТ 32761.

Для приготовления асфальтобетонных смесей применяются вяжущие, требования к которым с учетом климатических и транспортных условий эксплуатации участка автомобильной дороги регламентируются ГОСТ 58400.1, ГОСТ 58400.2 и ГОСТ 58400.3.

Правилами специализированной системы проектирования «Евроасфальт» также допускается использование битумов в соответствии с ГОСТ 33133 и полимерно-битумных вяжущих в соответствии с ГОСТ 52056.

Отдельным нормативным документом в этой же системе допускается использование в асфальтобетонных смесях модификаторов асфальтобетона и битумного вяжущего на основе активного резинового порошка, соответствующего требованиям ГОСТ Р 55419.

2.1. Вяжущие вещества

Битумное вяжущее вещество представляет собой органический вяжущий материал, производимый из продуктов переработки нефти: гудронов, мазутов, асфальтов деасфальтизации, крекинг-остатков, экстрактов селективной очистки масляных фракций с добавлением при необходимости органических модифицирующих добавок.

Химический состав битумов в основном представлен следующими химическими элементами: углерод — от 80 до 85 %; водород — от 8 до 12 %; кислород — от 0,2 до 4 %; сера — от 0,5 до 10 %; азот — от 0,2 до 0,4 %. Содержание металлов составляет в % по массе: ванадий — 0,22; никель — 0,115; железо — 0,11. Средняя молекулярная масса битумных вяжущих составляет от 700 до 800 а.е.м., истинная плотность — около 1000 кг/м³.

Эксплуатационные свойства битумного вяжущего зависят от его группового состава, который представлен отдельными условными фракциями. Каждая фракция в групповом составе битума представлена смесью сложных углеводородных соединений. Соотношение между фракциями битума формируют его структуру, параметры которой зависят от температуры. Важно также отметить, что в процессе эксплуатации на фрак-

ционный состав, структуру и свойства битума влияние оказывает атмосферный кислород, участвующий в термо-окислительной деструкции.

Существенные различия в свойствах отдельных фракций битума позволяют представить его в виде типичной дисперсной системы, состоящей из совокупности различных высокомолекулярных углеводородных соединений и их производных (углеводороды, смолы и асфальтены).

Каждая из выделенных в результате адсорбции условных фракций выполняет в битуме определенную функцию. *Масла* определяют подвижность битумов, текучесть, снижают температуру размягчения и температуру хрупкости. Они состоят из смеси:

— парафиновых углеводородов, представленных гомологическими рядами нормальных и разветвленных алканов, имеющих плотность от 790 до 820 кг/м³;

— нафтеновых углеводородов с плотностью от 820 до 870 кг/м³, которые при окислении образуют смолы;

— ароматических углеводородов: моноциклических, имеющих молекулярную массу от 450 до 620 а.е.м., бициклических — от 430 до 600 а.е.м., полициклических — от 420 до 670 а.е.м. При переходе от моно- к полиароматическим соединениям боковые углеводородные цепи укорачиваются.

Смолы придают битуму твердость, пластичность и растяжимость. В их состав входят соединения фенолов и азотистых оснований, соединения с алифатическими радикалами и длинными алкильными цепями. Молекулярная масса смол составляет от 300 до 2500 а.е.м., а плотность колеблется в пределах от 990 до 1100 кг/м³.

Асфальтены являются наиболее высокомолекулярной фракцией нефти и битумов, нерастворимой в легких алканах (петролейном эфире). Средний элементный состав асфальтенов, % по массе: С (82±3); Н (8,1±0,7); О (5); N (2...19); V и Ni (0,01...0,02). Кроме того, в асфальтенах имеются микроколичества Fe, Ca, Mg, Cu. Более детальные исследования асфальтенов и остатков нефти с применением современных методов (малоугловое рассеивание нейтронов и рентгеновских лучей, ультразвуковая спектроскопия, ядерно-магнитный резонанс, динамическое рассеивание света, флуоресцентная корреляционная спектроскопия, деполяризация флуоресценции, обратная эбуллиоскопия, гельпроникающая хроматография и др.) позволили установить основные их морфоструктурные признаки, а также начальные размеры молекулы асфальтена, которые начинаются от 1 нм.

Таким образом, битум — это коллоидная система, где дисперсионная среда представлена мальтенами (масла и смолы), дисперсная фаза — асфальтенами. Ее устойчивость характеризуется степенью родства мальтенов и асфальтенов, которое определяется как разность между степенью ароматичности асфальтенов и мальтенов. Чем ближе значение степени ароматичности к 0,13, тем более устойчив битум к деструкции и старению.

Битумные вяжущие вещества получают путем окисления на установках для окисления вакуумного остатка нефтепереработки. Окисление битума является сложным химическим и физическим процессом. Химический процесс составляют интенсивные процессы полимеризации и конденсации, ведущие к росту углеводородных соединений. Одновременно происходят химические реакции, заключающиеся в образовании кислородсодержащих соединений в сопровождении дегидрирующей конденсации, приводящей к образованию С—С-связей (углерод — углерод). Это приводит к образованию смол и асфальтенов за счет нафтено-ароматических углеводородов. При этом вид и механизм реакции зависят от температуры реакции. О физическом характере