ОДМ 218.3.096-2017

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЪЁМНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПО МЕТОДОЛОГИИ МАРШАЛЛА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2017

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

28.05.2018 Москва № 1872-р

О применении и публикации ОДМ 218.3.096-2017 «Методические рекомендации по объемному проектированию асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла»

В целях реализации в дорожном хозяйстве основных положений Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и обеспечения дорожных организаций методическими рекомендациями по объемному проектированию асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла:

1. Структурным подразделениям центрального аппарата Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональным дирекциям по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации рекомендовать к применению с даты подписания настоящего распоряжения ОДМ 218.3.096-2017 «Методические рекомендации по объемному проектированию асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла» (далее – ОДМ 218.3.096-2017).

2. Управлению научно-технических исследований и информационного обеспечения (А.Н. Каменских) в установленном порядке обеспечить официальную публикацию ОДМ 218.3.096-2017.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя И.Г. Астахова.

Руководитель Р.В. Старовойт

Е.А. Шевченко
(495) 687-88-09

РОСАВТОДОР
рсп.№ 1872-р
от 28.05.2018

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН: рабочей группой секции № 4 «Стандартизация, повышение качества и внедрение новых технологий, техники и материалов» Научно-технического совета Федерального дорожного агентства

2 ВНЕСЕН: Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ распоряжением Федерального дорожного агентства от 28.05.2018 г. № 1872/1-р

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений MANUAL SERIES №02 (MS-2), 7th Edition «Методы проектирования асфальтобетонных смесей» (MANUAL SERIES №02 (MS-2) 7th Edition «Asphalt Mix Design Methods») и входит в комплекс документов нормирующих метод объемного проектирования асфальтобетонных смесей в Российской Федерации.

5 ИЗДАН:

6 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

7 ВВОДИТСЯ ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1. Область применения…….. 4
2. Нормативные ссылки……. 4
3. Термины и определения…… 7
4. Общие положения…….. 7
5. Теоретические основы объёмного проектирования по методологии Маршалла……. 8
6. Алгоритм объёмного проектирования по методологии Маршалла….. 27
7. Особенности проектирования по методологии Маршалла…… 33
8. Влияние характеристик проектирования на эксплуатационные свойства плотных асфальтобетонных смесей…… 41
9. Соответствие щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей, и смесей с открытым гранулометрическим составом, запроектированных по методологии Маршалла……... 49
10. Требования безопасности и охраны окружающей среды……... 50
11. Требования к оборудованию и вспомогательным материалам……... 50
12. Требования к условиям измерений……. 52
13. Подготовка образцов…… 52
14. Применение модифицированного метода Маршалла для смесей с крупным заполнителем……. 59
15. Испытания на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей по методу Маршалла…… 60
16. Оформление результатов……... 63
Приложение А. Обязательная форма отчёта проектирования по методологии Маршалла……. 65

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по объёмному проектированию асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла

1 Область применения

1.1 Отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по объёмному проектированию асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла» (далее – методический документ) является актом рекомендательного характера.

1.2 Методический документ устанавливает метод проектирования состава асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла, основанный на определении объёмных свойств асфальтобетона.

1.3 Настоящий норматив распространяется на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, предназначенные для устройства конструктивных слоев в дорожном, аэродромном, промышленном и гражданском строительстве.

1.4 Методический документ рекомендован к применению изыскательскими, проектными, строительными и эксплуатирующими организациями, а также при реализации проектов по заданию государственных и иных исполнительных органов управления.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы следующие нормативные ссылки:

ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.002-75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.131-83 Халаты женские. Технические условия

ГОСТ 12.4.132-83 Халаты мужские. Технические условия

ГОСТ 12.4.252-2013 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты рук. Общие технические требования. Методы испытаний

ГОСТ 17.2.3.02-2014 Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями

ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 577-68 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия

ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия

ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 16557-2005 Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия

ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия

ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные от отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия

ГОСТ 32183-09 Материалы битуминозные полутвёрдые. Определение плотности пикнометром

ГОСТ 32703-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования

ГОСТ 32730-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования

ГОСТ 32761-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования

ГОСТ 32824-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования

ГОСТ 32826-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования

ГОСТ 33133-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования

ГОСТ Р 51568-99 Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия

ГОСТ Р 52129-2003 Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия

ГОСТ 53228-2008 Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования

ОДМ 218.3.097-2017 Методические рекомендации по определению устойчивости уплотнённых асфальтобетонных смесей к пластическому течению на установке Маршалла (на образцах диаметром 152,4 мм)

ПНСТ 71-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные мелкозернистые для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения плотности и абсорбции

ПНСТ 75-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения зернового состава

ПНСТ 78-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные крупнозернистые для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения плотности и абсорбции

ПНСТ 82-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок

ПНСТ 85-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации

ПНСТ 86-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации

ПНСТ 90-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод отбора проб

ПНСТ 92-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения максимальной плотности

ПНСТ 106-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения объемной плотности

ПНСТ 107-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения объемной плотности с использованием парафинированных образцов

ПНСТ 108-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения содержания воздушных пустот

ПНСТ 109-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения сопротивления пластическому течению цилиндрических образцов на установке Маршалла

ПНСТ 110-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод подготовки цилиндрических образцов с использованием установки Маршалла

ПНСТ 111-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод проведения термостатирования

ПНСТ 112-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем (Гиратором)

ПНСТ 113-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения водостойкости и адгезионных свойств

ПНСТ 114-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические требования для метода объемного проектирования по методологии «Superpave»

Примечание - *При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменён (изменён), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменённым (изменённым) документом. Если ссылочный документ отменён без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.*

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **Эквивалентная одноосная нагрузка *ЭООН*** (design ESALs): Нагрузка, равная 80 кН, передаваемая на дорожное покрытие от одной оси транспортного средства.

3.2 **Номинальный максимальный размер минерального заполнителя** (nominal maximum aggregate size): Размер минерального заполнителя, соответствующий размеру ячейки сита, которое на один размер больше первого сита, остаток минерального заполнителя на котором составляет более 10 %.

3.3 **Максимальный размер минерального заполнителя** (maximum aggregate size): Размер минерального заполнителя, который на один размер больше, чем номинальный максимальный размер минерального заполнителя.

3.4 **Стабильность по Маршаллу S_M**, Н (Marshall stability): Характеризует устойчивость образца к стандартной нагрузке при температуре 60 °С в результате проведения испытаний, выраженная в Ньютонах.

Стабильность по Маршаллу представляет собой значение максимальной нагрузки, полученной при постоянной скорости деформирования до начала разрушения образца.

3.5 **Текучесть по Маршаллу F_M** (Marshall flow): Значение текучести по Маршаллу представляет собой величину общей (упругой и пластической) деформации образца, определяемой в ходе испытаний на стабильность. При этом деформация измеряется в диапазоне от нулевой до максимальной нагрузки и выражается в единицах, кратных 0,25 мм.

3.6 **Испытуемый образец** (test sample): Образец асфальтобетона, изготовленный путем уплотнения в лабораторных условиях, а также вырубка или керн, отобранные из покрытия автомобильной дороги или аэродрома.

3.7 **Постоянная масса** (constant mass): Масса материала, высушиваемого в сушильном шкафу, различающаяся не более чем на 0,1 % по результатам двух последних последовательно проводимых взвешиваний через промежутки времени, составляющие не менее 1 ч.

4 Общие положения

Для каждого выбранного гранулометрического состава заполнителей выбирается пять разных значений содержания битума. Полученные смеси испытываются на объемные свойства и на физико-механические показатели, с целью подбора оптимального количества вяжущего. В отчете результаты испытаний всегда указываются как среднее значение по трем «идентичным» уплотненным образцам. Подбор оптимального содержания вяжущего требует инженерной оценки и зависит от интенсивности дорожного движения, климатических условий, а также от опыта использования местных материалов. При проектировании по методологии Маршалла, оптимальное количество вяжущего в смеси подбирается таким образом, чтобы содержание воздушных пустот в уплотненных образцах составляло 4 ±1%.

5 Теоретические основы объёмного проектирования по методологии Маршалла

В связи с тем, что при традиционном проектировании асфальтобетонной смеси основные эксплуатационные свойства не измеряются напрямую, то содержание битумного вяжущего должно подбираться на основании измеряемого параметра, который позволяет наилучшим образом осуществлять контроль за эксплуатационными характеристиками покрытия. В ходе многосторонних исследований было определено, что таким параметром является содержание воздушных пустот. В результате, за проектный уровень содержания воздушных пустот был принят диапазон от 3 до 5%. Внутри этого диапазона было принято оптимальное значение содержания воздушных пустот для проектирования асфальтобетонной смеси, с целью получения требуемых свойств, равное 4%. После этого, результаты тестирования смеси в незначительной степени могут быть откорректированы. Объемные свойства уплотненного асфальтобетона являются важным критерием, по которому производится оценка асфальтобетонной смеси. Объемные свойства определяются на основании определения массы и/или объема смеси и ее составляющих компонентов (вяжущее, заполнитель, воздух). Практика показала, что по объемным свойствам смеси можно достаточно точно определять дальнейшие эксплуатационные характеристики асфальтобетона на протяжении всего срока службы покрытия.

Термин «объемный» применительно к асфальтовой промышленности обычно подразумевает использование измерений асфальтобетонной смеси по массе (***M***) и объему (***V***) для определения различных соотношений. Объемные свойства часто определяются как содержание в общем объеме смеси указанных проектных элементов: отдельно заполнителя или отдельно вяжущего. Отношение между массой и объемом определяется как плотность материала (***G***).

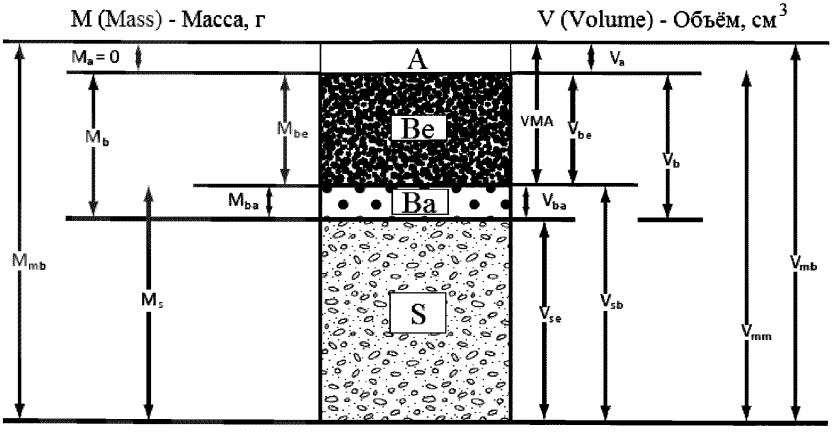
Так как предполагается, что любая плотность может быть рассчитана из значений массы и объема. Если в ходе тестирования были определены две из трех величин: ***G***, ***M*** или ***V*** – третья величина может быть легко рассчитана. Принцип использования плотности является основным, так как лабораторные измерения выполняются по массе, а критерии смеси являются производными от объема. Использование описанных принципов позволяет рассчитывать данные по массе или по объему на основании имеющихся данных.

Некоторые типы плотности определяются в ходе объемного анализа асфальтобетонной смеси. Для каждого типа плотности используется определенная масса (вяжущего и/или заполнитель) и определенный объем (воздух, вяжущее, заполнитель или их комбинации). Некоторые значения плотности используют показатель объема заполнителя с учетом водопроницаемых пустот, а некоторые значения плотности — показатель объема с учетом водопроницаемых пустот, не заполненных абсорбированным битумным вяжущим. (Так как битумное вяжущее имеет большую вязкость, чем вода, он не способен проникать в пустоты заполнителя в той же степени, как и вода). На рисунке 1 показан характерный вид заполнителя, битума и воздушных пустот под микроскопом.

Рисунок 1. Типичное изображение заполнителя, битума и воздушных пустот в асфальтобетонной смеси под микроскопом.

Уплотненную асфальтобетонную смесь в виде различных масс и объемов, использующихся при расчете объемных характеристик, также можно рассмотреть и в виде фазовой диаграммы на рисунке 2 При такой демонстрации смесь разбивается по компонентам: воздух, эффективное вяжущее (неабсорбированное), абсорбированное вяжущее и заполнитель.

Различные типы плотности, описанные в разделах 5.2.1 - 5.2.3, 5.2.6 – 5.2.8 могут либо определяться напрямую, либо рассчитываться на основании результатов лабораторных испытаний вяжущего, заполнителей и асфальтобетонной смеси. Были выведены несколько уравнений, которые позволяют рассчитывать каждое объемное свойство при помощи фазовой диаграммы.



A (Air) - Воздух
Be (Binder effective) - Вяжущее эффективное
Ba (Binder absorbed) - Вяжущее абсорбированное
S (Stone) - Заполнитель

Рисунок 2. Фазовая диаграмма объёмных характеристик асфальтобетонной смеси.

5.1 Индексация объёмных характеристик по методологии Маршалла

В ходе проектирования смеси проводится ряд лабораторных испытаний на определение плотности асфальтобетонной смеси и ее компонентов. Для обозначения объемных свойств в показателях асфальтобетонных смесей используются различные индексы.

5.1.1 Начальная заглавная буква для обозначения типа свойства:

G (Gravity) – плотность;

M (Mass) – масса;

V (Volume) – объем;

P (Percent) – процентное содержание.

5.1.2 Буква, следующая за начальной, в нижнем регистре, обозначает материал:

a (air) – воздух;

b (binder) – вяжущее;

s (stone) – заполнитель;

m (mix) – смесь.

5.1.3 Буква, следующая за второй в нижнем регистре, дает сведения о характере показателя.

a (absorbed) – абсорбированный (только для вяжущего);

a (apparent) – истинный (только для заполнителя);

b (bulk) – объёмный (кажущийся – только для объёма);

e (effective) – эффективный;

m (maximum) – максимальный;

o (optimum) – оптимальный.

5.1.4 Четвёртая буква, которая следует за заглавной и двумя последующими в нижнем регистре, дает дополнительные сведения о материале.

c (coarse) – крупнозернистый (только для заполнителя);

f (fine) – мелкозернистый (только для заполнителя);

5.2 Номенклатура объёмных характеристик методологии Маршалла

При объемном проектировании по методологии Маршалла используются следующие характеристики:

5.2.1 Плотность вяжущего G_b

Плотность вяжущего G_b ($Gravity_{binder}$), г/см^3 – это масса единицы объёма вяжущего. Плотность вяжущего обычно находится в пределах от 1,00 до 1,05 г/см^3.

5.2.2 Общая объёмная плотность заполнителя G_{sb}

Общая объёмная плотность заполнителя G_{sb} ($Gravity_{stone\ bulk}$), г/см^3 – это отношение массы заполнителя, просушенного в печи, к объему заполнителя с учетом объема водопроницаемых и водонепроницаемых пустот.

5.2.2.1 Определение объёмной плотности крупнозернистого заполнителя G_{sbc} выполняется в соответствии с ПНСТ 78-2015 как для объёмной плотности (***S**d*) по формуле 1 данного норматива.

$$G_{sbc} = \frac{A}{B - C} \cdot \rho_B \text{, г/см}^3 \qquad (1)$$

где: A – масса пробы крупнозернистого минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

B – масса пробы крупнозернистого минерального заполнителя на воздухе после его выдерживания в воде в течение (17 ± 2) ч, г;

C – масса пробы крупнозернистого минерального заполнителя в воде после его выдерживания в воде в течение (17 ± 2) ч, г;

$\rho_в$ – плотность воды при температуре испытания 23 °С, равная 0,997 г/см^3.

5.2.2.2 Определение объёмной плотности мелкозернистого заполнителя G_{sbf} выполняется в соответствии с ПНСТ 71-2015 как для объёмной плотности (***S**d*) по формуле 2 настоящего документа.

$$G_{sbf} = \frac{A}{B + S - C} \cdot \rho_B \text{, г/см}^3 \qquad (2)$$

где: A – масса пробы мелкозернистого минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

B – масса пикнометрической колбы с водой, г;

S – масса пробы минерального заполнителя в водонасыщенном, поверхностно-сухом состоянии, которой заполняли колбы, г;

C – масса пикнометрической колбы с минеральным заполнителем и водой, наполненной до отметки, г;

$\rho_в$ – плотность воды при температуре испытания 23 °С, равная 0,997 г/см^3.

5.2.2.3 Определение общей объёмной плотности заполнителя G_{sb} из несортированного отвала.

Некоторые отвалы бывают представлены крупнозернистой фракцией заполнителя (которая удерживается на сите с размером ячейки 4,75 мм), некоторые — мелкозернистой фракцией (которая проходит через сито с размером ячейки 4,75 мм), а некоторые — как крупнозернистой, так и мелкозернистой фракциями.

Для отвалов, включающих в себя как крупнозернистую, так и мелкозернистую фракции, должно определяться только одно значение объёмной плотности. Значение общей плотности $\boldsymbol{G_{sb}}$ для несортированного заполнителя из одного отвала рассчитывается как сочетание показателей для крупнозернистой и мелкозернистой фракций по следующему уравнению:

$$G_{sb} = \frac{P_{sbc} + P_{sbf}}{\frac{P_{sbc}}{G_{sbc}} + \frac{P_{sbf}}{G_{sbf}}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (3)$$

где: P_{sbc} – процентное содержание (по массе) крупнозернистого заполнителя, удерживаемого на сите с ячейкой 4,75 мм, к общей несортированной пробе, %;

P_{sbf} – процентное содержание (по массе) мелкозернистого заполнителя, проходящего через ячейку сита 4,75 мм, к общей несортированной пробе, %;

G_{sbc} – объёмная плотность крупнозернистого заполнителя, г/см^3;

G_{sbf} – объёмная плотность мелкозернистого заполнителя, г/см^3;

5.2.2.4 Расчет общей объёмной плотности заполнителя G_{sb} из смеси разных фракций.

Как только была определена объёмная плотность для каждой фракции заполнителя, необходимо рассчитать общую объёмную плотность всей смеси используемых фракций заполнителя. Расчет производится по уравнению 4.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \ldots + \frac{P_n}{G_n}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (4)$$

где: P_1, P_2, P_n – процентное содержание по массе каждой фракции заполнителя *1, 2, ... n* в общей смеси заполнителя, %

G_1, G_2, G_n – объёмная плотность каждой фракции заполнителя *1, 2, ... n*, г/см^3

Это уравнение полезно для оценки $\boldsymbol{G_{sb}}$ в ходе испытаний по проектированию смеси. Рассчитанные значения объёмных плотностей для крупнозернистого и мелкозернистого заполнителя могут быть проверены путем дозирования комбинированного заполнителя, разделения его на фракции при помощи сита с ячейкой размером 4,75 мм и определения $\boldsymbol{G_{sbc}}$ проектного крупнозернистого и $\boldsymbol{G_{sbf}}$ мелкозернистого заполнителя. Процесс разделения смеси заполнителей на фракции через сито с ячейкой 4,75 мм и определение значений объёмной плотности отдельно для крупной и мелкой фракции смеси часто используется для проверки результатов проектирования смеси и для контроля качества промышленной смеси, использующейся на участке проведения работ.

Общую объёмную плотность $\boldsymbol{G_{sb}}$ можно также определить по следующей формуле:

$$G_{sb} = \frac{A}{V_{sb}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (5)$$

где: A – масса пробы минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

V_{sb} – кажущийся объём минерального заполнителя, см^3

Кажущийся объём минерального заполнителя V_{sb} – это совокупность объёма твёрдой фазы заполнителя и объёма водопроницаемых пустот, показанных на рисунке 3.

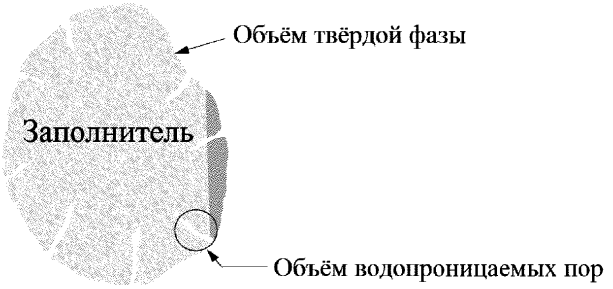


Рисунок 3. Иллюстрация кажущегося объёма заполнителя V_{sb}.

5.2.3. Общая истинная плотность заполнителя G_{sa} и абсорбция заполнителя *Abs*

Общая истинная плотность заполнителя G_{sa} (*Gravity* $_{stone\ apparent}$), г/см^3 – это отношение массы заполнителя, просушенного в печи до постоянной массы, к единице объема, без учета водопроницаемых пустот. Значение объема, которое используется при расчете G_{sa} меньше, чем значение объема, которое используется для расчета G_{sb}, поэтому значение G_{sa} всегда будет больше, чем значение G_{sb}.

Лабораторные испытания по определению общей объёмной плотности G_{sb} также предоставляют данные для простого определения двух дополнительных свойств заполнителей, а именно общей истинной плотности G_{sa} и степени абсорбции воды заполнителем. Эти расчеты не требуются для определения объемных свойств смеси, но могут служить ценными инструментами для специалиста, проектирующего смесь, при контроле качества. Степень абсорбции заполнителя указывает на конечные характеристики смеси. Заполнители с высокой степенью абсорбции потребуют использования дополнительного вяжущего для заполнения водопроницаемых пустот в заполнителе, что повысит стоимость смеси. Характерным явлением для заполнителей является то, что они абсорбируют вяжущее в объеме, равном 40 - 80% объема водопроницаемых пустот.

Для того чтобы определить эти значения для общей смеси заполнителей используются различные методики, которые зависят от способа определения G_{sb}. Если испытания на определение G_{sb} проводились отдельно для каждой фракции, то G_{sa} и степень абсорбции также следует определять отдельно для каждой фракции, а затем необходимо совмещать данные для определения значения, соответствующего конечной смеси. Если G_{sb} определялась на отдельных образцах крупнозернистого и мелкозернистого заполнителя из какого-либо отвала, то для определения G_{sa} применяется формула 8, а для определения степени абсорбции *Abs* для этого отвала может использоваться уравнение 12.

Как только будут получены значения G_{sa} для каждого отвала, их необходимо будет совместить для получения данных по конкретной смеси. Для этого может

использоваться формула 9. Формула 12 применяется для расчета степени абсорбции смеси заполнителей.

Если данные по G_{sb} определялись непосредственно для смеси (в ходе проверки смеси или промышленного образца, отобранного с конвейера, подающего заполнитель на завод), то специалист по проектированию смеси может напрямую использовать формулы 8, 12, для определения G_{sa} и абсорбции ***Abs*** смеси.

5.2.3.1 Определение истинной плотности крупнозернистого заполнителя G_{sac} выполняется в соответствии с ПНСТ 78-2015 как для максимальной плотности (S_a) по формуле 6 настоящего документа.

$$G_{sac} = \frac{A}{A - C} \cdot \rho_B \text{, г/см}^3 \qquad (6)$$

где: A – масса пробы минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

C – масса пробы минерального заполнителя в воде после его выдерживания в воде в течение (17 ± 2) ч, г;

$\rho_в$ – плотность воды при температуре испытания 23 °С, равная 0,997 г/см^3.

Таким образом, выражение (A – C), это истинный объем заполнителя без объема водопроницаемых пустот.

5.2.3.2 Определение истинной плотности мелкозернистого заполнителя G_{saf} выполняется в соответствии с ПНСТ 71-2015 как для максимальной плотности (S_a) по формуле 7 настоящего документа.

$$G_{saf} = \frac{A}{B + A - C} \cdot \rho_B \text{, г/см}^3 \qquad (7)$$

где: A – масса пробы мелкозернистого минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

B – масса пикнометрической колбы с водой, г;

C – масса пикнометрической колбы с минеральным заполнителем и водой, наполненной до отметки, г;

$\rho_в$ – плотность воды при температуре испытания 23 °С, равная 0,997 г/см^3.

5.2.3.3 Определение общей истинной плотности G_{sa} несортированного заполнителя из одного отвала.

Для отвалов, включающих в себя как крупную, так и мелкую фракцию, должно определяться только одно значение общей истинной плотности. Значение общей истинной плотности G_{sa} для несортированного заполнителя из одного отвала рассчитывается как сочетание показателей для крупнозернистой и мелкозернистой фракций по следующему уравнению:

$$G_{sa} = \frac{P_{sac} + P_{saf}}{\frac{P_{sac}}{G_{sac}} + \frac{P_{saf}}{G_{saf}}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (8)$$

где: P_{sac} – процентное содержание (по массе) крупнозернистого заполнителя, удерживаемого на сите с ячейкой 4,75 мм, к общей несортированной пробе, %;

P_{saf} – процентное содержание (по массе) мелкозернистого заполнителя, проходящего через ячейку сита 4,75 мм, к общей несортированной пробе, %;

G_{sac} – истинная плотность крупнозернистого заполнителя, г/см^3;

G_{saf} – истинная плотность мелкозернистого заполнителя, г/см^3;

5.2.3.4 Расчет общей истинной плотности G_{sa} смеси разных фракций заполнителя

Как только была определена истинная плотность для каждой фракции заполнителя, необходимо рассчитать общую истинную плотность всей смеси используемых фракций заполнителя. Расчет производится по уравнению 9.

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_{a1}} + \frac{P_2}{G_{a2}} + \ldots + \frac{P_n}{G_{an}}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (9)$$

где: P_1, P_2, P_n – процентное содержание по массе каждой фракции заполнителя *1, 2, ... n* в общей смеси заполнителя, %

G_{a1}, G_{a2}, G_{an} – истинная плотность каждой фракции заполнителя *1, 2, ... n*, г/см^3

Для определения общей истинной плотности заполнителя $\boldsymbol{G_{sa}}$ также можно использовать формулу:

$$G_{sa} = \frac{A}{V_{sa}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (10)$$

где: A – масса пробы минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

V_{sa} – истинный объём заполнителя, см^3

Истинный объём минерального заполнителя $\boldsymbol{V_{sa}}$ – это объём твёрдой фазы заполнителя, как показано на рисунке 4.

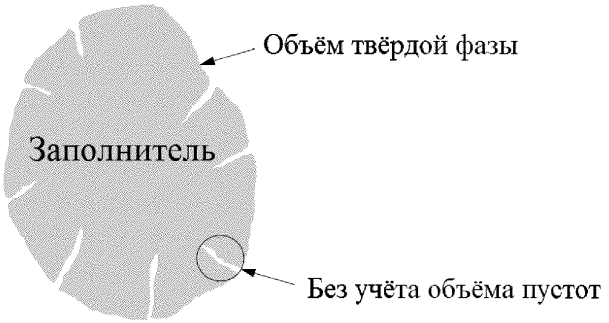


Рисунок 4. Иллюстрация истинного объёма заполнителя V_{sa}.

5.2.3.5. Абсорбционная способность заполнителя (Абсорбция) *Abs*

Абсорбция ***Abs*** – это свойство минерального заполнителя наполняться водой за счёт своей поглощающей способности.

Абсорбционная способность заполнителя необходима для специалистов, проектирующих смеси и специалистов, работающих в лаборатории. Абсорбция является одним из показателей качества заполнителя, так как при высокой абсорбции заполнителя требуется больший объем вяжущего. Абсорбция вяжущего обычно составляет 40 - 80 % от уровня абсорбции воды.

Степень абсорбции ***Abs*** для мелкозернистых и крупнозернистых фракций заполнителя рассчитывается по одной методике, указанной как в ПНСТ 71-2015, так и в ПНСТ 78-2015 следуя, например, данному уравнению:

$$Abs = \frac{B - A}{A} \cdot 100 \quad , \% \qquad (11)$$

где: A – масса пробы минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

В – масса водонасыщенной пробы с просушенной поверхностью, г.

Расчёт общего значения абсорбции для смеси разных фракций заполнителя выполняется, используя средние арифметические значения, так как величина ***Abs*** представляет собой процент от массы и не включает в себя дополнительных отношений.

Общая величина абсорбции для всей смеси заполнителей рассчитывается, согласно ПНСТ 78-2015, следующим образом:

$$Abs = \frac{P_1 \cdot Abs_1 + P_2 \cdot Abs_2 + \ldots + P_n \cdot Abs_n}{100} \quad , \% \qquad (12)$$

где: P_1, P_2, P_n – процентное содержание по массе каждой фракции заполнителя *1, 2, ... n* в общей смеси заполнителя, %

Abs_1, Abs_2, Abs_n – значение абсорбции для каждой фракции заполнителя *1, 2, n*, %

5.2.4 Содержание заполнителя P_s

Содержание заполнителя P_s ($Percent_{stone}$), % – общее содержание заполнителя в асфальтобетонной смеси, выраженное как процент от общей массы смеси.

5.2.5 Содержание вяжущего P_b

Содержание вяжущего P_b ($Percent_{binder}$), % – общее процентное содержание битумного вяжущего в асфальтобетонной смеси, выраженное как процент от общей массы смеси. В соответствии с вышеуказанным параметром P_s, справедливо выражение: $P_s + P_b = 100\ \%$.

5.2.6 Максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm}

Максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm} ($Gravity_{mix\ maximum}$), г/см^3 – это отношение массы асфальтобетонной смеси к единице объема, без учета воздушных пустот.

Для того чтобы рассчитать объемные свойства смеси, необходимо определить G_{mm} и G_{mb} для каждого пробного содержания вяжущего, использующегося при проектировании смеси. Процедуры уплотнения позволяют определить значения G_{mb} для каждого образца, затем эти значения усредняются для каждого пробного содержания вяжущего. Соответствующее значение G_{mm} также необходимо определить при каждом процентном содержании вяжущего. При проектировании смеси возможно подготовить образцы и провести испытания на определение G_{mm} при каждом пробном содержании вяжущего, но в следствии того, что G_{mm} непосредственно связана с объемом битумного вяжущего, абсорбированного заполнителем существует и другой способ, при котором абсорбция вяжущего принимается за постоянную величину, не зависящую от количества вяжущего, добавляемого в смесь, при условии, что содержание вяжущего, добавленного к смеси, превышает величину абсорбции вяжущего заполнителем. Такой подход позволяет специалисту, проектирующему смесь, подготовить образец и определить значение G_{mm} при одном лабораторном содержании вяжущего. Значения G_{mm} для оставшихся значений содержания вяжущего могут быть рассчитаны с учетом эффективной плотности заполнителя G_{se}. Эффективная плотность заполнителя G_{se} является постоянной величиной, которая может использоваться для обратного расчета G_{mm} для любого содержания вяжущего.

5.2.6.1 Определение максимальной плотности асфальтобетонной смеси G_{mm} при любом содержании вяжущего.

Значение G_{se} используется для расчета G_{mm} при каждом требуемом содержании вяжущего. Этот шаг не является обязательным, если специалист, проектирующий смесь, проводит испытания на определение G_{mm} при каждом пробном содержании вяжущего. G_{mm} может быть определена визуально при помощи диаграммы, показанной на рисунке 2, и рассчитывается по следующему уравнению:

$$G_{mm} = \frac{M_{mb}}{V_{mm}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (13)$$

где: M_{mb} – объёмная масса асфальтобетонной смеси, г;
V_{mm} – объем минерального заполнителя и вяжущего, см^3

Расчет $\boldsymbol{G_{mm}}$ при любом содержании вяжущего осуществляется с использованием значения $\boldsymbol{G_{se}}$ по следующему уравнению:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{, г/см}^3 \qquad (14)$$

где: P_s – содержание заполнителя по массе к общей массе смеси, %
P_b – содержание вяжущего по массе к общей массе смеси, %
$P_s + P_b = 100\%$
G_{se} – эффективная плотность минерального заполнителя, г/см^3
G_b – плотность вяжущего, г/см^3

Следует обратить внимание на то, что по мере повышения содержания вяжущего в асфальтобетонной смеси, значение $\boldsymbol{G_{mm}}$ будет снижаться. Это происходит потому, что содержание заполнителя, который имеет более высокую плотность, снижается в единице объема при повышении процентного содержания вяжущего, которое имеет меньшую плотность.

5.2.7 Эффективная плотность заполнителя G_{se}

Эффективная плотность заполнителя G_{se} (*Gravity* $_{stone\ effective}$), г/см^3 – это отношение массы к единице объема просушенного в печи заполнителя, (включая объем водонепроницаемых пустот и водопроницаемых пустот, не заполненных битумом).

Примечание: Для определения каждой из величин: $\mathbf{G_{sb}}$, $\mathbf{G_{sa}}$ и $\mathbf{G_{se}}$ – используется одна и та же масса (заполнителя, просушенного в печи), но разные объемы. Так как значение объема находится в знаменателе уравнения для определения удельного веса, при наименьшем значении объема значение удельного веса будет наибольшим. Так как значения объема равны при нулевой абсорбции, то существует следующее уравнение:

$$G_{sa} \geq G_{se} \geq G_{sb} \qquad (15)$$

Эффективная плотность заполнителя $\boldsymbol{G_{se}}$ представляет собой отношение массы единицы объема заполнителя, просушенного в печи (включая как объем твердой фазы заполнителя, так и водопроницаемые пустот, не заполненные абсорбированным битумом, как это показано на рисунке 5) к массе воды того же объема. Если в лаборатории определяется только одно значение $\boldsymbol{G_{mm}}$, специалист по проектированию смеси может выбрать такое содержание вяжущего, которое соответствует предполагаемому проектному содержанию вяжущего или превышает его, для того чтобы гарантировать равномерное покрытие заполнителя

и минимизировать проникание воды в заполнители при проведении испытаний под вакуумом. После определения среднего значения G_{mm} для двух образцов с одинаковым содержанием вяжущего (или, при желании, для образцов с каждым пробным процентным содержанием вяжущего) G_{se} может быть рассчитана по следующему уравнению:

$$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \text{, г/см}^3 \qquad (16)$$

где: P_s – процентное содержание заполнителя в общей смеси по массе, %

P_b – процентное содержание вяжущего в общей смеси по массе, при котором проводятся испытания по определению G_{mm}, %

G_{mm} – максимальная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3

G_b – плотность вяжущего, г/см^3

Эффективную плотность заполнителя G_{se} также можно представить в виде формулы:

$$G_{se} = \frac{A}{V_{se}} \text{, г/см}^3 \qquad (17)$$

где: A – масса пробы минерального заполнителя на воздухе, высушенного до постоянной массы, г;

V_{se} – эффективный объём заполнителя, см^3

Эффективный объём заполнителя V_{se} – это совокупность объёма твёрдой фазы заполнителя и объёма водопроницаемых пор незаполненных вяжущим (рисунок 5).

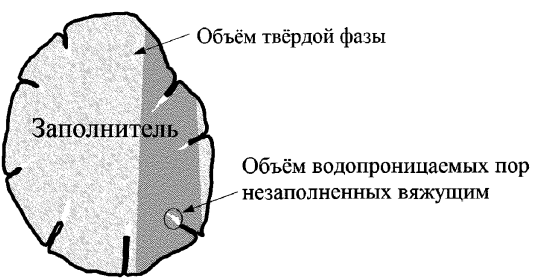


Рисунок 5. Иллюстрация эффективного объёма заполнителя V_{se}.

5.2.8 Объёмная плотность асфальтобетона G_{mb}

Объёмная плотность асфальтобетона G_{mb} (*Gravity* $_{mix\ bulk}$), г/см^3 – это отношение массы уплотнённого асфальтобетона, к единице объема вместе с порами и пустотами.

Характеристика объёмной плотности G_{mb} определяется в соответствии с ПНСТ 106-2016 и применима к любым образцам, уплотненным в лабораторных или в полевых условиях, включая керны, образцы в виде балки, плитные образцы дорожного полотна и т. д.

5.2.9 Содержание воздушных пустот P_a

Содержание воздушных пустот P_a (*Percent $_{air}$*), % – это объем воздуха в уплотненной асфальтобетонной смеси, выраженный в процентах от общего объема уплотнённой асфальтобетонной смеси.

Следует обратить внимание, на то, что P_a обозначает процентное содержание воздушных пустот по объему, а V_a – измеренный объем воздушных пустот, выраженный в см^3. Воздушные пустоты — это небольшие заполненные воздухом промежутки между частицами заполнителя, покрытыми вяжущим. Значение P_a может быть визуально определено по фазовой диаграмме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующему отношению:

$$P_a = 100 \cdot \frac{V_a}{V_{mb}} \quad ,\% \qquad (18)$$

где: V_a – объём воздушных пустот, см^3
V_{mb} – кажущийся объём асфальтобетонной смеси, см^3

P_a может быть рассчитано различными способами, но наиболее часто используется следующее выражение:

$$P_a = 100 - \frac{100 \cdot G_{mb}}{G_{mm}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \quad ,\% \qquad (19)$$

где: G_{mm} – максимальная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3
G_{mb} – объёмная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3

Содержание воздушных пустот P_a асфальтобетонной смеси, уплотненной в лабораторных условиях, - это важный критерий для подбора содержания вяжущего в асфальтобетонной смеси. Согласно проверенной временем практике, понижение содержания воздушных пустот в структуре заполнителя на 1% увеличивает проектное содержание вяжущего в среднем на 0,3 – 0,4%.

5.2.10 Содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA*

Содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA* (*Voids in the Mineral Aggregate*), % – это пустоты, образованные структурой заполнителя в уплотнённой асфальтобетонной смеси. Выражается в процентах от общего объема смеси. ***VMA*** складывается из объема воздушных пустот и эффективного содержания вяжущего (неабсорбированного заполнителем).

5.2.10.1 Определение содержания пустот в минеральном заполнителе *VMA*.

VMA рассчитывается на основе объёмной плотности заполнителя и выражается в процентах от кажущегося объёма уплотненной асфальтобетонной смеси. Поэтому ***VMA*** может быть рассчитано как разница кажущегося объема уплотненной асфальтобетонной смеси и объёма заполнителя, определенного, исходя их его объёмной плотности.

VMA может быть визуально определено по фазовой диаграмме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующему отношению:

$$VMA = 100 \cdot \frac{V_a + V_{be}}{V_{mb}} \quad , \% \qquad (20)$$

где: V_a – объём воздушных пустот в уплотненной асфальтобетонной смеси, см^3
V_{be} – объём эффективного (неабсорбированного) вяжущего, см^3
V_{mb} – кажущийся объём уплотненной асфальтобетонной смеси, см^3

В большинстве случаев ***VMA*** вычисляется по следующему отношению:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \quad , \% \qquad (21)$$

где: G_{mb} – объёмная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3
P_s – содержание заполнителя в асфальтобетонной смеси по массе, %
G_{sb} – объёмная плотность заполнителя, г/см^3

Уравнения, приведенные выше, используются для анализа состава смеси, который определяется в процентном содержании по массе от общей смеси.

Если состав смеси определяется как процент по массе заполнителя, то для расчета VMA следует использовать следующее уравнение:

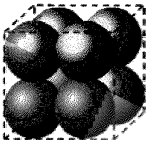
$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \cdot \frac{100}{100 + P_b} \cdot 100 \quad , \% \qquad (22)$$

где: G_{mb} – объёмная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3
G_{sb} – объёмная плотность заполнителя, г/см^3
P_b – содержание вяжущего по массе в асфальтобетонной смеси, %

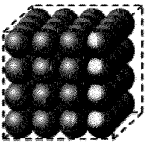
Так как ***VMA*** не включает в себя водопроницаемые пустоты в заполнителе, для расчета ***VMA*** следует использовать объёмную плотность заполнителя $\boldsymbol{G_{sb}}$.

При проектировании асфальтобетонной смеси с уменьшением номинального максимального размера заполнителя, площадь поверхности общей структуры заполнителя увеличивается, как это показано на примере (рисунок 6). Поэтому содержание вяжущего, необходимое для качественного покрытия частиц

заполнителя, также возрастает. Так как проектное содержание воздушных пустот P_a, остается неизменным, ***VMA*** должно увеличиваться, чтобы оставлять запас для дополнительного битумного вяжущего.



8 сфер диаметром D_1 = 2,5 см
Площадь поверхности каждой сферы S_1 = 19,625 см^2
Общая площадь S_1 = 156,875 см^2



64 сферы диаметром $D_{1/2}$ =1,25 см
Площадь поверхности каждой сферы $S_{1/2}$ = 4,9375 см^2
Общая площадь $S_{1/2}$ = 314,375 см^2

Рисунок 6. Влияние номинального максимального размера заполнителя на содержание вяжущего

5.2.10.2 Факторы, влияющие на содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA*.

На содержание пустот в минеральном заполнителе ***VMA*** в уплотненной асфальтобетонной смеси влияют многие факторы. Как правило, все, что влияет на процесс уплотнения смеси в форме, также влияет и на значение ***VMA***. Некоторые из факторов, влияющих на ***VMA***, приведены ниже.

I Второстепенные факторы, влияющие на *VMA*:

а) Тип вяжущего — более густые вяжущие, вне зависимости от того, модифицированные они или нет, могут увеличить сопротивляемость асфальтобетонной смеси к уплотнению как в лабораторных, так и в реальных условиях. Это также может происходить по мере снижения температуры вяжущего, ввиду увеличения его вязкости.

б) Качество вяжущего — битумное вяжущее добавляет к смеси смазочные вещества, ввиду чего увеличивается способность структуры заполнителя к уплотнению. Небольшие изменения в содержании вяжущего (при проектном содержании вяжущего или при содержании вяжущего, близкого к проектному) обычно мало влияют на значение ***VMA*** уплотненной смеси. Большие отклонения от проектного содержания вяжущего в большей степени влияют на ***VMA*** (смотрите раздел 8.3).

в) Температура образца — по мере того, как температура смеси опускается, общая вязкость смеси повышается. Повышение вязкости смеси приводит к повышению устойчивости смеси к уплотнению в форме и в реальных условиях, а значит, повышается ***VMA***. Существуют некоторые присадки, которые добавляются в теплую смесь и уменьшают вязкость смеси при пониженных температурах.

г) Форма, прочность и текстура заполнителя — эти характеристики являются субъективными и тяжело измеримыми. Материалы, приближенные к кубической форме, и более угловатые материалы повышают устойчивость смеси к

уплотнению. Более грубая текстура поверхности дает тот же результат. Прочность заполнителя критически важна, так как хрупкий заполнитель будет деформироваться или разрушаться при уплотнении, что приведет к изменению гранулометрического состава и сильно повлияет на значение ***VMA***.

II Основные факторы, влияющие на *VMA*:

а) Величина уплотнительного усилия — Важно помнить, что пустоты в минеральном заполнителе ***VMA*** – это, общее пространство между частицами заполнителя в уплотненной асфальтобетонной смеси. Количество ударов уплотнения, которые используются в ходе проектирования смеси по методологии Маршалла, оказывают существенное влияние на значение ***VMA***. При большем количестве ударов значение ***VMA*** в уплотнённом образце также будет снижаться.

б) Гранулометрический состав заполнителя — наиболее важный фактор, определяющий величину ***VMA***. Для того, чтобы специалисту по проектированию смесей было легче формировать смеси, которые будут соответствовать требованиям по ***VMA***, ему необходимо хорошо понимать принципы построения графиков гранулометрического состава. Достаточно сложно спрогнозировать ***VMA*** асфальтобетонной смеси только на основании гранулометрического состава. На конечное значение ***VMA*** оказывают влияние все факторы, описанные в этом разделе. Конечное значение ***VMA*** различных смесей не может быть определено до того момента, пока эти смеси не будут уплотнены при определенном числе ударов.

5.2.11 Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе после сухого штыкования VCA_{DRC}

Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе после сухого штыкования VCA_{DRC} (*Voids in Coarse Aggregate* $_{Dry\text{-}Rodded\ Coarse}$), % – это пустоты, образованные структурой заполнителя в уплотнённой (сухим штыкованием) крупнозернистой смеси (проходящей через сито с ячейкой размером 4,75 мм). Выражается в процентах от общего объема крупнозернистого заполнителя.

Целью определения содержания пустот в крупнозернистом заполнителе VCA_{DRC} заключается в подтверждении обеспечения требуемого контакта крупных зёрен каркасного скелета в проектируемом составе смеси.

Величина содержания пустот в крупнозернистом заполнителе VCA_{DRC} определяется согласно ПНСТ 124-2016 как для пустотности (***P***), в соответствии с уравнением:

$$VCA_{DRC} = \frac{G_{sbc} - G_{DRC}}{G_{sbc}} \cdot 100 \quad , \% \qquad (23)$$

где: G_{sbc} – объёмная плотность крупнозернистого заполнителя, г/см^3;

G_{DRC} – объёмная плотность крупнозернистого заполнителя после сухого уплотнения штыкованием, г/см^3

5.2.12 Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX}

Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} (*Voids in Coarse Aggregate MIXture*), % – это процентное отношение пустот, образованных структурой крупного заполнителя к общему объёму асфальтобетонной смеси, включающему в себя остальные компоненты (мелкозернистый заполнитель, вяжущее, стабилизирующие добавки, воздушные пустоты).

Величина содержания пустот в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} определяется в соответствии с уравнением:

$$VCA_{MIX} = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_{sc}}{G_{sbc}} \cdot 100 \text{ , \%} \qquad (24)$$

где: G_{mb} – объёмная плотность асфальтобетонной смеси, г/см^3

G_{sbc} – объёмная плотность крупнозернистого заполнителя, г/см^3;

P_{sc} – содержание крупнозернистого заполнителя в асфальтобетонной смеси, %

VCA_{MIX} определяется для оценки наличия скелетного каркаса, образованного крупнозернистым заполнителем при условии контакта крупных зёрен между собой. Скелетный каркас из крупнозернистого заполнителя обеспечивается только в случае соблюдения следующего неравенства:

$$VCA_{MIX} \le VCA_{DRC} \text{ ,} \qquad (25)$$

5.2.13 Содержание пустот, наполненных битумом *VFA*

Содержание пустот, наполненных битумом *VFA* (*Voids Filled with Asphalt*), % – это процентное содержание пустот в минеральном заполнителе, наполненных эффективным вяжущим (неабсорбированным заполнителем).

Значение ***VFA***, так же, как и ***VMA***, имеет тенденцию к увеличению по мере того, как уменьшается размер заполнителя смеси и увеличивается его общая площадь поверхности. ***VFA*** может быть рассчитано по одному из следующих уравнений.

VFA может быть визуально определено по фазовой диаграмме, показанной на Рисунке 2, и рассчитано по следующему отношению:

$$VFA = 100 \cdot \frac{V_{be}}{V_{be} + V_a} \text{ , \%} \qquad (26)$$

где: V_{be} – объем эффективного (неабсорбированного) вяжущего, см^3

V_a – объем пустот в уплотненной асфальтобетонной смеси, см^3

В большинстве случаев ***VFA*** вычисляется по следующему отношению:

$$VFA = 100 \cdot \frac{VMA - P_a}{VMA} \quad , \% \qquad (27)$$

где: VMA – содержание пустот в минеральном заполнителе, %
P_a – содержание воздушных пустот в уплотненной асфальтобетонной смеси, %

5.2.14 Содержание абсорбированного вяжущего P_{ba}

Содержание абсорбированного вяжущего P_{ba} (*Percent binder absorbed*), % – это процентное содержание вяжущего (по массе), абсорбированного в заполнителе. Выражается как процент от общей массы заполнителя.

Исходя из многолетней практики, считается, что количество абсорбированного вяжущего для одного заполнителя постоянно, поэтому его значение рассчитывается на основании значения массы заполнителя. Следует обратить внимание на то, что, если абсорбция рассчитывалась на основании общей массы смеси, значение P_{ba} изменится, если произвести расчеты на основании количества вяжущего, добавленного в асфальтобетонную смесь.

P_{ba} может быть визуально определено по фазовой диаграмме, показанной на Рисунке 2, и рассчитано по следующему отношению:

$$P_{ba} = 100 \cdot \frac{M_{ba}}{M_s} \quad , \% \qquad (28)$$

где: M_{ba} – масса абсорбированного битума, г
M_s – масса заполнителя, г

Для расчета P_{ba} наиболее часто используется следующее уравнение:

$$P_{ba} = 100 \cdot \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{se} \cdot G_{sb})} \cdot G_b \quad , \% \qquad (29)$$

где: G_{se} – эффективная плотность заполнителя, г/см^3
G_{sb} – объёмная плотность заполнителя, г/см^3
G_b – плотность вяжущего, г/см^3

5.2.15 Содержание эффективного вяжущего P_{be}

Содержание эффективного вяжущего P_{be} (*Percent binder effective*), % – это процентное содержание вяжущего (по массе), которое обволакивает заполнитель в асфальтобетонной смеси, но не абсорбируется в заполнитель. Выражается как процент от общей массы смеси.

Такое содержание называется эффективным, или «рабочим», так как это вяжущее консолидирует компоненты и определяет эксплуатационные характеристики всей асфальтобетонной смеси.

Следует обратить внимание на то, что P_{be} выражается как процент от общей массы смеси. Это значит, что математически $P_{ba} + P_{be} \neq P_b$, общему содержанию

вяжущего, так как P_{ba} представляет собой процент от общей массы заполнителя, а P_{be} – процент от общей массы смеси. Тем не менее, масса всего заполнителя и масса всей смеси настолько близки по значению, что в практическом смысле, при расчетах с точностью до 0,1%, сумма абсорбированного и эффективного вяжущего обычно равна общему количеству вяжущего. Расчет может быть произведен по следующим уравнениям:

Исходя из фазовой диаграммы на Рисунке 2, P_{be} может быть определено:

$$P_{be} = 100 \cdot \frac{M_{be}}{M_{mb}} \quad ,\% \qquad (30)$$

где: M_{be} – масса эффективного битума, г
M_{mb} – общая масса асфальтобетонной смеси, г

Для расчета P_{be} наиболее часто используется следующее уравнение:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \cdot P_s \quad ,\% \qquad (31)$$

где: P_b – общее содержание вяжущего, от массы смеси, %
P_{ba} – количество абсорбированного вяжущего, от массы заполнителя, %
P_s – общее содержание заполнителя, от массы смеси, %

5.2.16 Соотношение количества пылевидных частиц к количеству вяжущего $P_{0,075}/P_{be}$

Соотношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{be}$ асфальтобетонной смеси, иногда называют «пропорция пылевидных частиц», - это отношение содержания заполнителя, проходящего через сито с размером ячейки 0,075 мм ($P_{0,075}$) к эффективному содержанию битума P_{be}. Традиционным диапазоном данного соотношения является от 0,6 до 1,2, за исключением следующих случаев:

- для смесей, с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм, допустимый диапазон составляет 0,9 - 2,0;
- для смесей, содержащих крупнозернистый заполнитель, гранулометрический состав которых отображается на графике с кратностью 0,45 ниже линии первичного контрольного сита, допустимый диапазон составляет 0,8 - 1,6.

Соотношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{be}$ является одним из обязательных параметров проектирования плотных асфальтобетонных смесей.

Данная характеристика относится к рабочим свойствам асфальтобетонных смесей. При низких значениях $P_{0,075}/P_{be}$ смесь как правило получается слишком мягкой, с низкой сцепляемостью. Такая смесь плохо подлежит уплотнению в полевых условиях, так как она имеет тенденцию к растеканию в стороны под давлением катка. По мере увеличения значения $P_{0,075}$ смеси становятся более прочными, но при слишком высоком значении $P_{0,075}$ смесь снова становится мягкой. Смеси с высокими значениями $P_{0,075}/P_{be}$ имеют склонность к

микрорастрескиванию в ходе уплотнения и образованию так называемых усадочных трещин. Эта величина чаще всего рассчитывается для жестких асфальтобетонных смесей.

6 Алгоритм объёмного проектирования по методологии Маршалла

Проектирование асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла должно проводиться по порядку в соответствии со следующими этапами.

6.1 Определение асфальтобетонной смеси как цели проектирования.

Необходимо определиться с типом и видом асфальтобетонной смеси в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями, а также эксплуатационными условиями конструктивного слоя дорожной одежды.

6.1.1 Классификация асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла

В зависимости от значения прохода на первичном контрольном сите асфальтобетонные смеси классифицируют как:

- мелкозернистые – смеси, у которых значение прохода на первичном контрольном сите превышает значение, указанное в таблице 1;
- крупнозернистые – смеси, у которых значение прохода на первичном контрольном сите не превышает значение, указанное в таблице 1.

Таблица 1. Классификация асфальтобетонных смесей по значению прохода на первичном контрольном сите.

Номинальный максимальный размер заполнителя, мм	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5
Первичное контрольное сито с размером ячеек, мм	9,5	4,75	4,75	2,36	2,36
Значение прохода на первичном контрольном сите, %	47	40	47	39	47

Асфальтобетонные смеси в зависимости от проектного количества воздушных пустот подразделяют на следующие виды:

- плотные, с содержанием воздушных пустот от 3% до 5%;
- пористые, с содержанием воздушных пустот от 5% до 10%;
- высокопористые, с содержанием воздушных пустот более 10%.

По непрерывности гранулометрического состава минеральной части асфальтобетонные смеси, запроектированные по методологии Маршалла, подразделяются на:

- смеси с непрерывным гранулометрическим составом;
- смеси с прерывистым гранулометрическим составом;

6.2 Подбор минерального заполнителя.

Подбирается, соответствующий минеральный заполнитель по следующим этапам:

6.2.1 Определение соответствия заполнителя физико-механическим свойствам по следующим параметрам:

- марка по дробимости, потеря массы при истирании;
- стойкость к воздействию сульфата натрия (сульфата магния);
- содержание примесей;
- количество пластинчатых и угловатых зёрен;
- количество дроблёных зёрен.

6.2.2 Определение соответствия заполнителя требованиям объёмных свойств:

- номинальный максимальный размер;
- плотность;
- абсорбционная способность;
- зерновой состав.

6.3 Подбор битумного вяжущего.

Далее необходимо подобрать тип и марку битумного вяжущего, отвечающего будущим эксплуатационным требованиям, см. раздел 8.

Проектное, приблизительное количество битумного вяжущего определяется в соответствии с разделом 7 настоящего документа. В случае проектирования щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси, содержание битумного вяжущего должно быть не менее 6%.

6.4 Подготовка асфальтобетонной смеси, изготовление образцов, проведение расчётов и испытаний.

Смешивание исходных компонентов в асфальтобетонную смесь с различным содержанием вяжущего и изготовление необходимого количества соответствующих образцов для дальнейших испытаний (см. раздел 13), с учётом требуемого уровня уплотнения.

6.4.1 Необходимо произвести испытания и вычисление следующих ранее описанных объёмных характеристик асфальтобетонных смесей для каждого содержания битумного вяжущего:

- максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm}, в соответствии с п.5.2.6 или по ПНСТ 92-2016;
- объёмная плотность асфальтобетонной смеси G_{mb}, в соответствии с ПНСТ 106-2016 или ПНСТ 107-2016;
- процентное содержание воздушных пустот P_a, в соответствии с п.5.2.9 или по ПНСТ 113-2016;
- общая объёмная плотность минерального заполнителя G_{sb}, в соответствии с п.5.2.2 или ПНСТ 115-2016;
- процентное содержание пустот в минеральном заполнителе в уплотнённой асфальтобетонной смеси *VMA*, в соответствии с п.5.2.10;
- процентное содержание пустот, заполненных битумом в уплотнённой асфальтобетонной смеси *VFA*, в соответствии с п.5.2.11.

6.4.2 Затем следует выполнить испытания на определение физико-механических показателей уплотнённых асфальтобетонных смесей с различным содержанием битумного вяжущего:

- определение стабильности по Маршаллу;
- определение текучести по Маршаллу.

6.5 Анализ полученных результатов и определение оптимального состава асфальтобетонной смеси с ожидаемыми свойствами.

Для получения конечного рецептурного состава проектируемой асфальтобетонной смеси, необходимо выбрать оптимальное количество битумного вяжущего, соответствующее эксплуатационным свойствам конструкционного слоя дорожной одежды. Далее рассмотрен пример проектирования и определения оптимального состава плотной асфальтобетонной смеси с номинальным максимальным размером минерального заполнителя 19,0 мм для автомобильной дороги с высокой интенсивностью движения.

Выбор оптимального количества битумного вяжущего P_{bo} в асфальтобетонной смеси определяется как среднеарифметический результат суммы оптимальных количеств битумного вяжущего P_b^G, P_b^A, P_b^S в зависимости от соответствующих характеристик G_{mb}, P_a и S_M. Определение проектного состава асфальтобетонной смеси проводится по следующим этапам:

6.5.1 Определение P_b^G по максимальному значению показателя объёмной плотности асфальтобетонной смеси G_{mb}

Определение значения битумного вяжущего при максимальном значении объёмной плотности асфальтобетонной смеси рассмотрен на рисунке 7

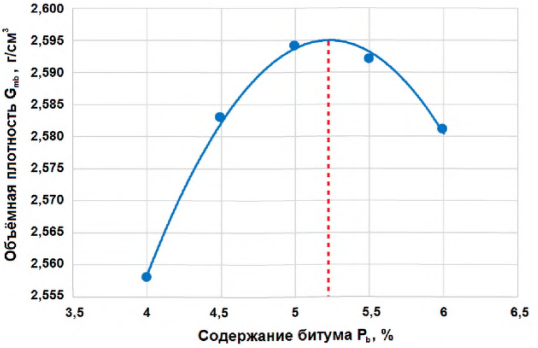


Рисунок 7. Определение количества битумного вяжущего P_b^G по параметру объёмной плотности асфальтобетонной смеси G_{mb}.

6.5.2 Определение P_b^A по процентному содержанию воздушных пустот P_a

На рисунке 8 показано определение значения битумного вяжущего P_b^A по содержанию воздушных пустот P_a, равному 4%.

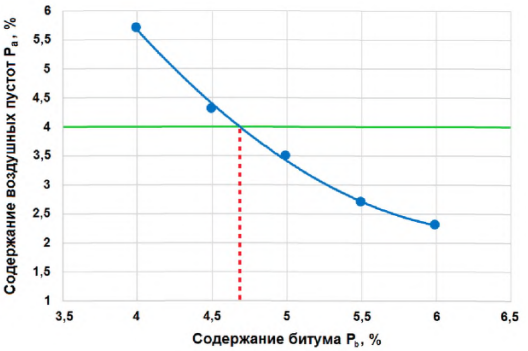


Рисунок 8. Определение количества битумного вяжущего P_b^A по параметру содержание воздушных пустот P_a

6.5.3 Определение P_b^S по максимальному значению показателя стабильности асфальтобетонной смеси по Маршаллу S_M.

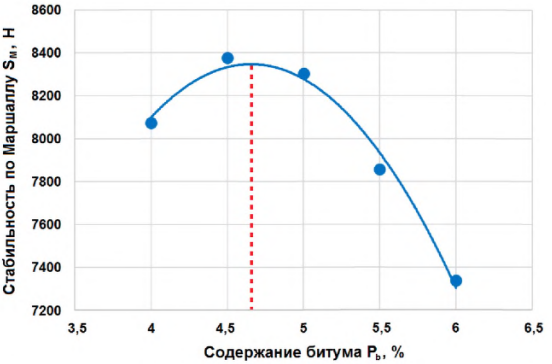


Рисунок 9. Определение количества битумного вяжущего P_b^S по параметру стабильности по Маршаллу S_M

6.5.4 Расчёт оптимального количества битумного вяжущего P_{bo}

Оптимальное количество битумного вяжущего P_{bo} определяется по следующей формуле:

$$P_{bo} = \frac{P_b^G + P_b^A + P_b^S}{3} \quad , \% \qquad (32)$$

где: P_b^G – содержание битумного вяжущего, соответствующее максимальному значению объёмной плотности асфальтобетонной смеси G_{mb}, %

P_b^A – содержание битумного вяжущего, соответствующее проектному содержанию воздушных пустот P_a, равному 4%, %

P_b^S – содержание битумного вяжущего, соответствующее максимальному значению показателя стабильности асфальтобетонной смеси по Маршаллу S_M, %

На основании демонстрационных примерных графиков и в соответствии с формулой 32 находится оптимальное количество битумного вяжущего P_{bo}:

$$P_{bo} = \frac{5{,}2 + 4{,}7 + 4{,}7}{3} = 4{,}9 \quad , \% \qquad (33)$$

6.5.5 Проверка соответствия свойств асфальтобетонной смеси требуемым характеристикам при оптимальном количестве битумного вяжущего P_{bo}

Дополнительно необходимо удостовериться, что при выбранном оптимальном количестве битумного вяжущего P_{bo}, остальные свойства асфальтобетонной смеси находятся в регламентированных диапазонах соответствующих параметров, указанных в таблице 9.

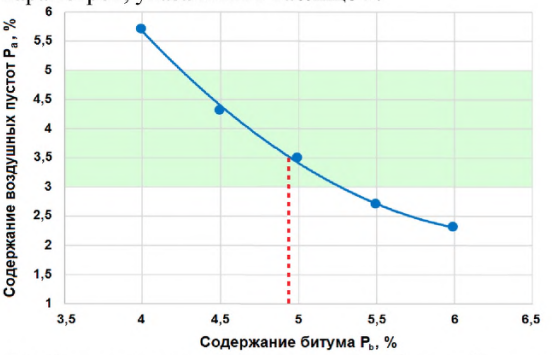


Рисунок 10. График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию воздушных пустот P_a при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

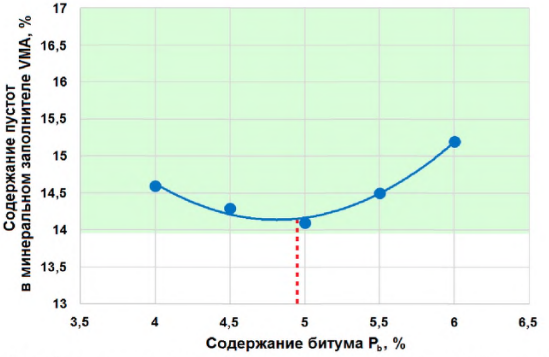


Рисунок 11. График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию пустот в минеральном заполнителе *VMA* при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

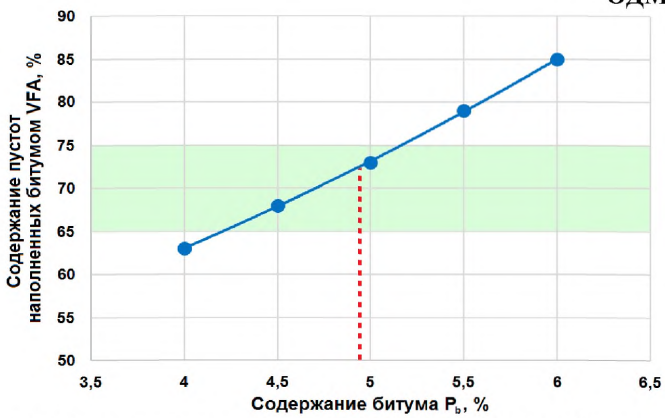


Рисунок 12. График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию пустот, наполненных битумом ***VFA*** при оптимальном содержании битумного вяжущего $\boldsymbol{P_{bo}}$

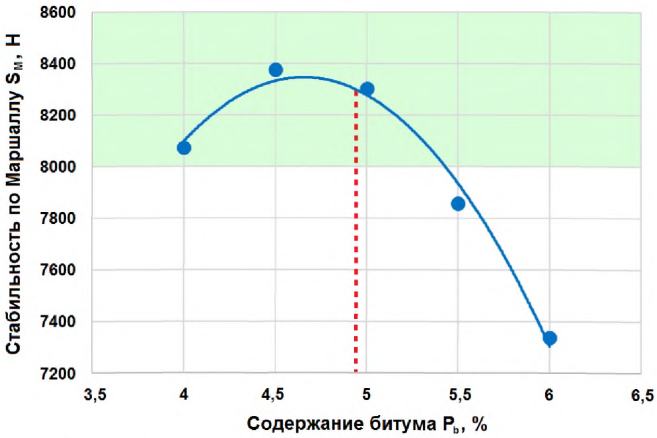


Рисунок 13. График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по показателю стабильности по Маршаллу $\boldsymbol{S_M}$ при оптимальном содержании битумного вяжущего $\boldsymbol{P_{bo}}$

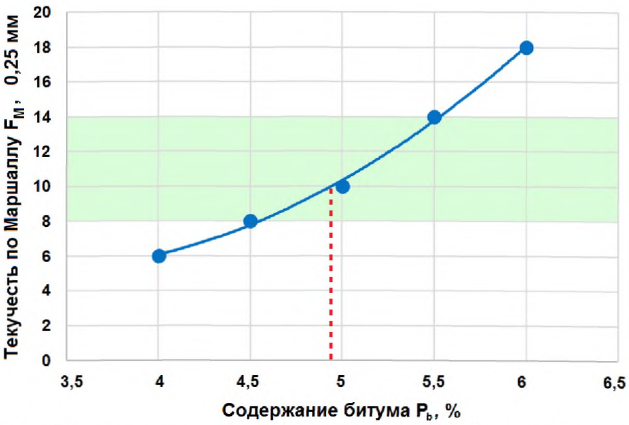


Рисунок 14. График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по показателю текучести по Маршаллу $\boldsymbol{F_M}$ при оптимальном содержании битумного вяжущего $\boldsymbol{P_{bo}}$

Если все рассчитанные и измеренные значения, свойств асфальтобетонной смеси при содержании битума P_{bo}, соответствуют критериям, приведенным в таблице 9, то такое содержание битума запроектированной асфальтобетонной смеси считается оптимальным и утверждается в рецепте.

В случае, если соблюдаются не все проектные критерии, то необходимо внести корректировки в состав, либо произвести повторное проектирование асфальтобетонной смеси (смотрите сноску 7 в Таблице 9).

В разделе 8 приводится ряд замечаний, которые следует учесть, даже если соблюдаются все проектные критерии.

Решение касательно достижения полученной асфальтобетонной смеси с оптимальным содержанием битума P_{bo} конечной цели проектирования, принимается на основании соответствия её характеристик требованиям методологии Маршалла, указанным в таблице 9.

6.6 Утверждение рецептурного состава запроектированной смеси и оформление отчётной документации

После проведённого анализа полученных результатов и определения конечного состава запроектированной асфальтобетонной смеси необходимо оформить отчётную документацию с указанием в ней всей требуемой информации.

Примечание. Вышеописанная процедура проектирования асфальтобетонных смесей по Маршаллу является базовой, но по требованию Заказчика, конечная асфальтобетонная смесь может быть подвергнута дополнительным испытаниям для определения её соответствия другим характеристикам, например, устойчивости к колееобразованию, к деформации сдвига, водостойкости, прочности на растяжение или усталостной прочности при многократном изгибе.

7 Особенности проектирования по методологии Маршалла

Правильно спроектированная асфальтобетонная смесь по методологии Маршалла, в виде покрытия дорожной одежды способна выдерживать высокие транспортные нагрузки в сочетании с неблагоприятными климатическими условиями в соответствии с расчётными требованиями.

Процедура проведения испытаний по методу Маршалла начинается с подготовки образцов. До подготовки образцов необходимо выполнить следующее:

7.1 Необходимо убедиться в том, что все материалы, предназначенные для использования, соответствуют проектным требованиям.

Такие показатели минеральной части как количество дробленых зерен, количество плоских и удлиненных зерен в крупнозернистом заполнителе, а также количество пустот, эквивалент песка в мелкозернистом заполнителе и другие должны соответствовать значениям, указанным в таблице 1, 2 или 3 в зависимости от типа проектируемой асфальтобетонной смеси и ожидаемой транспортной нагрузки.

Таблица 1. Требования к минеральному заполнителю для проектирования плотных асфальтобетонных смесей

Приложения ЭООН[1], млн	Количество дробленых зерен[3], %, не менее		Количество пустот в мелкозернистом заполнителе, %, не менее		Эквивалент песка, %, не менее	Количество плоских и удлиненных зерен[3], %, не более
	Глубина от поверхности, мм		Глубина от поверхности, мм			
	≤100	>100	≤100	>100		
<0,3	55/-	-/-	-	-	40	-
от 0,3 до<3	75/-	50/-	40	40	40	10
от 3 до <10	85/80 [2]	60/-	45	40	45	10
от 10 до <30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥30	100/100	100/100	45	45	50	10

[1] Количество приложений ЭООН рассчитывают на 20 лет срока службы автомобильной дороги.

[2] Значение 85/80 означает, что 85 % для крупнозернистого заполнителя имеет минимум одну поверхность излома, а 80 % имеют не менее двух поверхностей излома.

[3] Показатель не определяют для смесей с номинальным максимальным размером зерен 4,75 мм.

Примечания:

1 Для дорог с уровнями приложения ЭООН < 0,3 млн и для смесей с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм содержание воздушных пустот в мелкозернистом заполнителе должно быть не менее 40 %.

2 Для дорог с уровнями приложения ЭООН ≥ 0,3 млн и для смесей с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм содержание воздушных пустот в мелкозернистом заполнителе должно быть не менее 45 %.

Таблица 2. Требования к минеральному заполнителю для проектирования щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей

Показатель		Требуемое значение	Метод испытания
Крупнозернистый заполнитель			
Пустоты в минеральном заполнителе ***VMA***, %, не менее		17	ПНСТ 129
Пустоты в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX}, %, менее		VCA_{DRC}	ПНСТ 124
Сопротивление истираемости, потеря по массе %, не более		30	по ГОСТ на заполнитель
Количество пластинчатых и угловатых зёрен, % по массе, не более	в соотношении 3:1	20	
	в соотношении 5:1	5	
Абсорбция ***Abs***, % по объёму, не более		2,0	ПНСТ 78
Потеря массы после 5 циклов под воздействием, % не более[1]	сульфата натрия	15	ПНСТ 123
	сульфата магния	20	
Количество дроблёных зёрен с дроблёными поверхностями % по массе, не менее	с 1 поверхностью	100	ПНСТ 74
	с 2 поверхностями	90	
Мелкозернистый заполнитель			
Потеря массы после 5 циклов под воздействием, % не более [1]	сульфата натрия	15	ПНСТ 123
	сульфата магния	20	

[1] Потеря массы определяется по одному из методов: под воздействием сульфата натрия или под воздействием сульфата магния

Таблица 3. Требования к минеральному заполнителю для проектирования асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом

Показатель		Требуемое значение	Метод испытания
Крупнозернистый заполнитель			
Пустоты в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX}, %, менее		VCA_{DRC}	ПНСТ 124
Сопротивление истираемости, потеря по массе %, не более		30	по ГОСТ на заполнитель
Количество пластинчатых и угловатых зёрен, % по массе, не более	в соотношении 5:1	10	
Абсорбция *Abs*, % по объёму, не более		2,0	ПНСТ 78
Потеря массы после 5 циклов под воздействием, % не более[1]	сульфата натрия	15	ПНСТ 123
	сульфата магния	20	
Количество дроблёных зёрен с дроблёными поверхностями, % по массе, не менее	с 1 поверхностью	95	ПНСТ 74
	с 2 поверхностями	90	
Мелкозернистый заполнитель			
Эквивалент песка, % не менее		45	по ГОСТ
Потеря массы после 5 циклов под воздействием, % не более [1]	сульфата натрия	15	ПНСТ 123
	сульфата магния	20	

[1] Потеря массы определяется по одному из методов: под воздействием сульфата натрия или под воздействием сульфата магния

7.2 Следует убедиться в том, что фракционное сочетание заполнителей выполненное в соответствии с формулой 35, удовлетворяет проектным требованиям по гранулометрическому составу, указанному в таблицах 5, 6 или 7. Зерновой состав должен укладываться в регламентированный диапазон (между контрольными точками) для соответствующего номинального максимального размера заполнителя (см. рисунок 15).

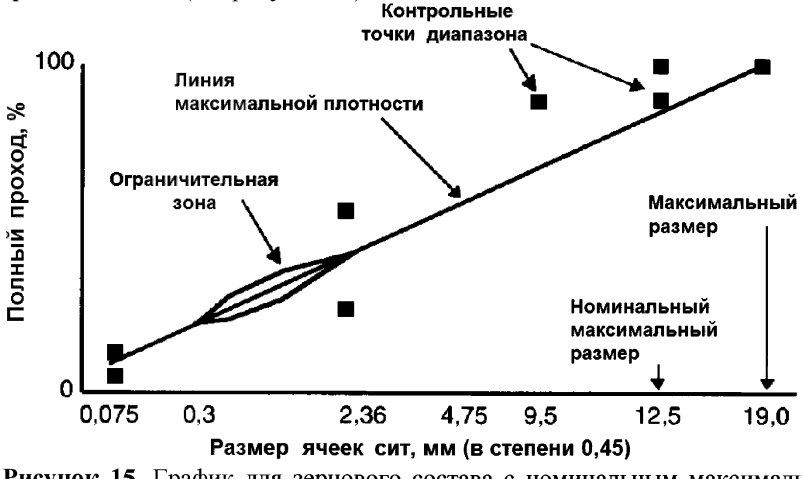


Рисунок 15. График для зернового состава с номинальным максимальным размером заполнителя 12,5 мм

Линия максимальной плотности для зернового состава, определённого номинального максимального размера определяется по зависимости полного прохода заполнителя от размера сит. Полный проход минеральных зёрен ***P*** от размера сит вычисляется по следующей формуле:

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^{0,45}, \% \qquad (34)$$

где: d – размер ячеек расчётного сита, мм

D – максимальный размер минерального заполнителя смеси, мм

Зерновой состав, проходящий через ограничительную зону характеризует минеральный заполнитель с избыточным количеством мелких частиц. Асфальтобетонные смеси с таким минеральным составом отличаются неустойчивыми прочностными свойствами и в большей степени подвержены колееобразованию. Поэтому минеральную часть асфальтобетонной смеси необходимо подбирать таким образом, чтобы кривая зернового состава не заходила в ограничительную зону и огибала её снизу. Для каждого номинального максимального размера заполнителя установлена своя ограничительная зона, указанная в таблице 4. Типичный зерновой состав, не пересекающий ограничительную зону и огибающий её снизу представлен на рисунке 16.

Таблица 4. Пределы ограничительной зоны

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, %									
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
4,75	34,7		39,5		-		-		-	
2,36	23,3	27,3	26,8	30,8	34,6		39,1		47,2	
1,18	15,5	21,5	18,1	24,1	22,3	28,3	25,6	31,6	31,6	37,6
0,6	11,7	15,7	13,6	17,6	16,7	20,7	19,1	23,1	23,5	27,5
0,3	10,0		11,4		13,7		15,5		18,7	

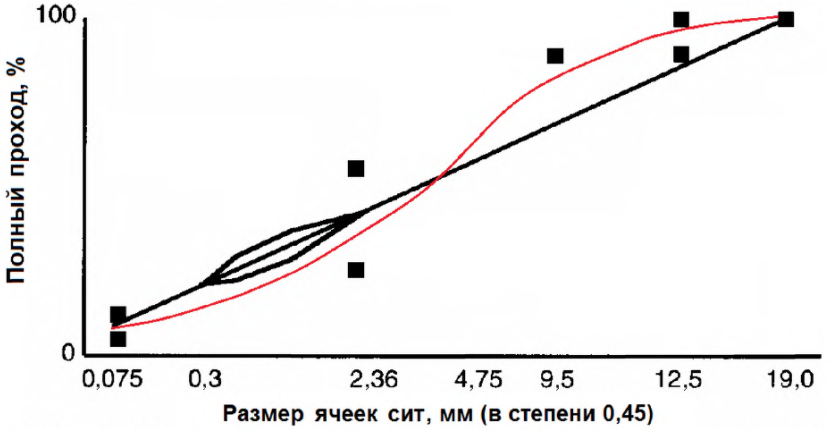


Рисунок 16. Типовой график зернового состава плотной смеси с номинальным максимальным размером заполнителя 12,5 мм

На рисунке 17 изображены характерные кривые зерновых составов разных типов асфальтобетонных смесей. Кривые зерновых составов ограничены контрольными точками диапазонов для каждого типа смесей. Нормированные диапазоны зерновых составов для щебёночно-мастичных смесей и смесей с открытой гранулометрией, установлены таким образом, что не позволяют запроектировать смесь минерального заполнителя с возможностью пересечения кривой ограничительной зоны. В связи с этим, допускается не изображать ограничительную зону на гранулометрических графиках зерновых составов щебёночно-мастичных смесей и смесей с открытой гранулометрией.

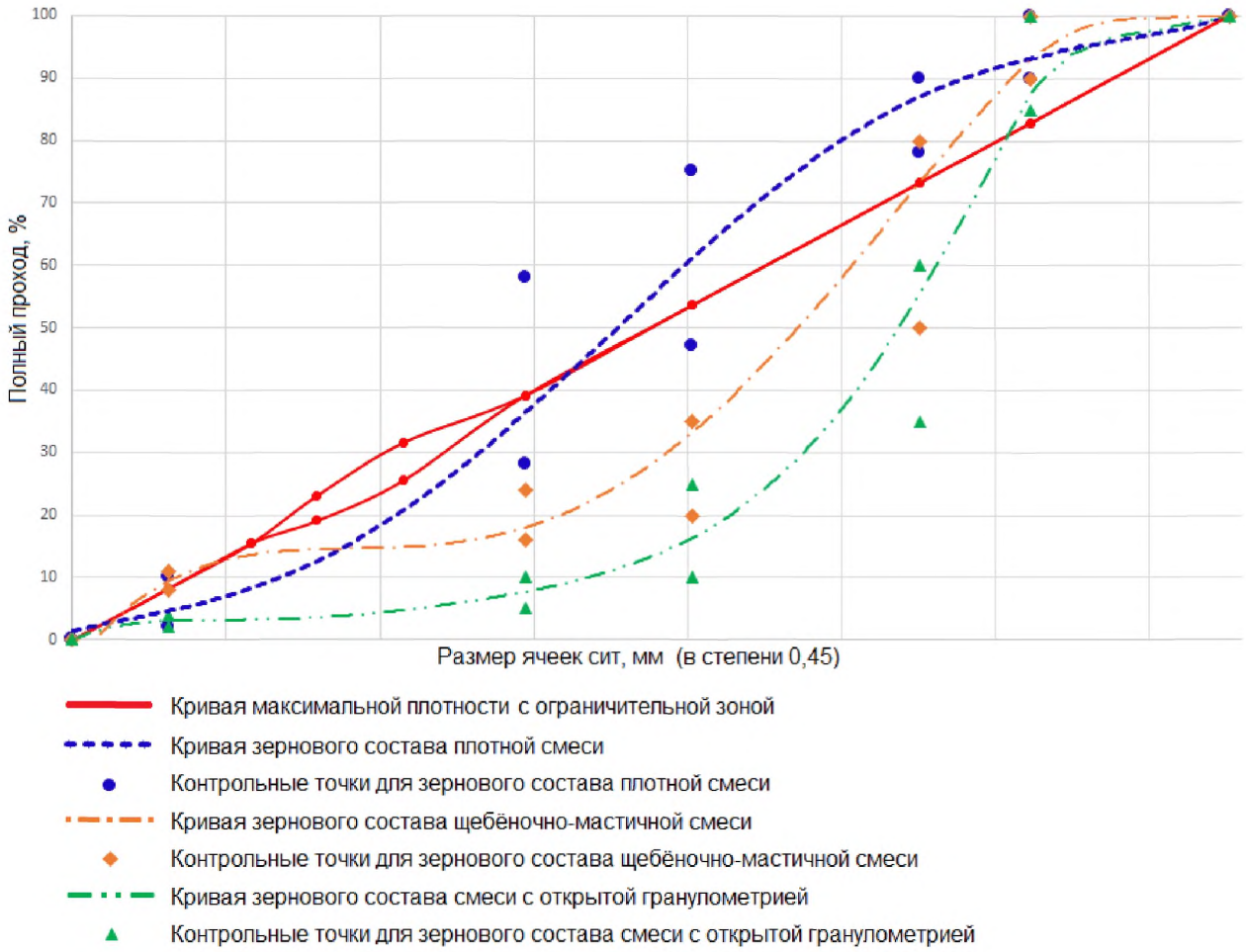


Рисунок 17. Типовой график зерновых составов плотной смеси, щебёночно-мастичной смеси и смеси с открытой гранулометрией.

Используя формулу 35, смешивают все минеральные материалы, которые планируется применять при приготовлении асфальтобетонной смеси.

$$P = A \cdot a + B \cdot b + C \cdot c, \text{ и т. д.} \qquad (35)$$

где: *P* – полный проход материала на заданном сите от смеси применяемых фракций *A*, *B*, *C* и т. д., %;

A, *B*, *C* и т. д. – количество минерального материала от каждой фракции *A*, *B*, *C* и т. д., прошедшее через заданное сито, %;

a, *b*, *c* и т. д. – пропорциональные доли фракций *A*, *B*, *C* и т.д., в составе комбинированной смеси, сумма которых равна 1,00.

На применяемых материалах готовят не менее трех различных составов минеральной части асфальтобетонной смеси одного вида. По данным составам минерального заполнителя строится гранулометрическая кривая, которая должна находиться в нормированном диапазоне для соответствующего типа и номинального максимального размера заполнителя смеси. Рекомендуемые нормированные диапазоны различных типов асфальтобетонных смесей указаны в таблицах 5, 6 или 7.

Таблица 5. Нормированный диапазон зернового состава для плотных асфальтобетонных смесей в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, %											
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм		4,75 мм	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
50,0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25,0	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
19,0	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
12,5	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-	100	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100	95	100
4,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67	-	-
1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	55
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	13

Таблица 6. Нормированный диапазон зернового состава для щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, % от объема					
	19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
25,0	100	-	-	-	-	-
19,0	90	100	100	-	-	-
12,5	50	88	90	100	100	-
9,5	25	60	50	80	70	95
4,75	20	28	20	35	30	50
2,36	16	24	16	24	20	30
1,18	-	-	-	-	-	21
0,60	-	-	-	-	-	18
0,30	-	-	-	-	-	15
0,075	8,0	11,0	8,0	11,0	8,0	12,0

Таблица 7. Нормированный диапазон зернового состава для асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, % от объема									
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5		9,5 мм	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
50	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	75	100	100	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	99	100	100	-	-	-	-	-
19	50	90	85	96	85	100	100	-	-	-
12,5	25	65	55	71	55	70	85	100	100	-
9,5	-	-	-	-	-	-	35	60	95	100
4,75	0	20	10	25	10	25	10	25	30	50
2,36	-	-	6	16	5	10	5	10	5	15
0,075	0	5	1	6	0	4	2	4	2	5

7.3 С целью проведения анализа плотности и содержания воздушных пустот определяется плотность всех минеральных заполнителей, содержащихся в смеси в соответствии с ПНСТ 71-2015 и ПНСТ 78-2015 и плотность битумного вяжущего в соответствии с ГОСТ 32183-2013.

Для определения оптимального содержания битума по методике Маршалла, для проектируемой асфальтобетонной смеси, необходимо подготовить ряд образцов с различным содержанием битумного вяжущего, так чтобы кривая данных испытаний четко отражала получаемые зависимости. Испытания должны быть запланированы таким образом, чтобы содержание битума в образцах изменялось с шагом в 0,5%, при этом содержание битума в двух образцах должно превышать проектное значение, а в двух образцах должно быть ниже проектного значения.

Проектное содержание битума может быть получено, исходя из: опыта, расчетных формул, результатов испытаний на определение центрифугового керосинового эквивалента или испытаний на пропитку маслом по методу Хвима. Проектное содержание битума, выраженное в процентах от общей массы смеси, может быть также рассчитано как приблизительный эквивалент процентного содержания заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 0,075 мм, в гранулометрическом составе, проектируемой смеси.

Примером расчетной формулы может послужить следующее выражение:

$$P = 0{,}035a + 0{,}045b + Kc + F \qquad (36)$$

где: P = приблизительное содержание битума в смеси, выраженное в процентах по массе в смеси

a = процентное содержание минерального заполнителя, удерживаемого на сите с ячейкой 2,36 мм

b = процентное содержание минерального заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 2,36 мм и удерживаемого на сите с ячейкой 0,075 мм

c = процентное содержание минерального заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 0,075 мм

K = 0,15, если содержание заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 0,075 мм, составляет 11-15%

0,18, если содержание заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 0,075 мм, составляет 6-10%

0,20, если содержание заполнителя, проходящего через сито с ячейкой 0,075 мм, составляет не более 5%

F = 0 - 2,0%. На основании абсорбции легкого или тяжелого заполнителя и в отсутствие других данных это значение принимается за 0,7.

Содержание битумного вяжущего для проектирования щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей или асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом не должно быть менее 6%.

Содержание вяжущего в плотной асфальтобетонной смеси обычно варьируется в зависимости от номинального максимального размера заполнителя, гранулометрического состава и свойств заполнителя. Уровень абсорбции заполнителем также играет важную роль при определении количества битума, необходимого для достижения проектного содержания воздушных пустот в смеси. При работе со смесями заполнителей, имеющими общую объёмную плотность комбинированного заполнителя G_{sb} приблизительно 2,650 г/см^3, можно ориентироваться на значения, приведенные в таблице 8 Сочетания заполнителей, G_{sb} которых выше, могут потребовать использования меньшего количества битума, а сочетания с более низким G_{sb} - применения большего количества битума.

Таблица 8. Взаимосвязь ориентировочного содержания битумного вяжущего с номинальным максимальным размером заполнителя для проектирования плотных асфальтобетонных смесей.

Номинальный максимальный размер заполнителя, мм	Ориентировочное содержание битумного вяжущего P_b ,%
37,5	3,5
25,0	4,0
19,0	4,5
12,5	5,0
9,5	5,5

Для получения достоверных данных необходимо подготовить не менее трех образцов для каждого выбранного содержания битума. Таким образом, проектирование смеси по методу Маршалла предполагает использование образцов с пятью различными содержаниями битума, а общее количество образцов — не менее 15. Для каждого образца требуется приблизительно 1,2 кг заполнителя. Учитывая незначительную потерю материала, для каждой партии образцов с заданным содержанием битума и заданным гранулометрическим

составом потребуется приблизительно 23 кг заполнителя и приблизительно 4 литра вяжущего.

При испытаниях по методу Маршалла используются нормированные образцы диаметром 101,6 ± 0,1 мм с высотой 63,5 ± 2,5 мм в соответствии с ПНСТ 110-2016 либо образцы диаметром 152,4 ± 0,2 мм с высотой 95,2 ± 2,5 мм в соответствии с ОДМ 218.3.097-2017. Эти образцы изготавливаются с учётом условий нагрева, смешивания и уплотнения смеси заполнителей и битума.

8 Влияние характеристик проектирования на эксплуатационные свойства плотных асфальтобетонных смесей

8.1 Влияние содержания воздушных пустот P_a

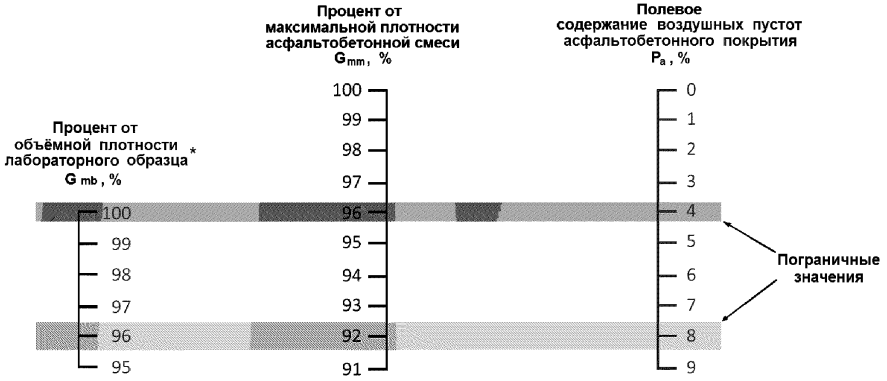
Следует подчеркнуть, что проектный уровень воздушных пустот (4 %) — это тот уровень, которого желательно достичь после нескольких лет эксплуатации дорожного покрытия. Проектный уровень воздушных пустот не изменяется в зависимости от интенсивности дорожного движения, а уровень уплотнения при лабораторных испытаниях изменяется и выбирается в зависимости от ожидаемой интенсивности дорожного движения. Этот диапазон проектного содержания воздушных пустот обычно достигается в том случае, если смесь проектируется при правильном уровне уплотнения, а процентное содержание воздушных пустот после укладки покрытия не должен превышать 8%. В время срока эксплуатации ожидается доуплотнение материала покрытия, связанное с движением транспорта.

Изменение какого-либо из факторов или процедуры проектирования смеси может привести к ухудшению эксплуатационных характеристик покрытия или сокращению его срока службы. Практика показала, что смеси, которые уплотняются в конечном итоге до такого состояния, при котором содержание воздушных пустот составляет менее 4%, имеют тенденцию к колееобразованию и образованию неровностей, если они укладываются в зонах с интенсивным дорожным движением. Подобным явлениям могут также способствовать некоторые другие факторы, среди которых, помимо прочих: произвольное или случайное повышение содержания битума в смесительной установке или повышенное содержание пылеватых частиц, проходящих через сито с ячейкой 0,075 мм, которые могут действовать как поглотитель вяжущего.

В то же время, проблемы могут возникать, если (после нескольких лет эксплуатации дорожного покрытия) содержание воздушных пустот будет превышать 5% или если по завершению укладки покрытия P_a будет превышать 8%. В таких условиях возможно проявление ломкости, преждевременного растрескивания, разрушения и расслоения покрытия.

Главная задача — это не допускать таких изменений в проектном содержании битума P_b, которые приведут к изменению содержания воздушных пустот P_a более чем на 0,5% от проектного критерия (4%).

На рисунке 18 показана взаимосвязь значений максимальной плотности G_{mm}, объёмной плотности G_{mb} и содержания воздушных пустот P_a.



* - Для асфальтобетонных смесей запроектированных с содержанием воздушных пустот 4%

Рисунок 18. Взаимосвязь G_{mb}, G_{mm} и P_a асфальтобетонных смесей

8.2 Влияние содержания битумного вяжущего P_b

В результате проектирования, финальный состав плотной асфальтобетонной смеси рекомендуется принимать с такой структурой заполнителя и таким составом вяжущего, при которых образец, уплотненный заданным количеством ударов, будет содержать 4 % воздушных пустот и будет удовлетворять всем остальным критериям, приведенным в таблице 9. Отклонения от рекомендованных проектных критериев должны четко указываться в проектной документации и быть приемлемыми для возможности использования смеси в заданных условиях. Смесь должна содержать максимальное количество битума, позволяющее обеспечить наибольшую прочность материала, а также такую стабильность, которая требуется для выдерживания нагрузок, ожидающихся на том или ином объекте в течении всего срока его службы.

При изменении проектных условий, рекомендуется изменить проектные критерии, для этого следует проанализировать такие показатели, как интенсивность движения и уровень нагрузки, место расположения объекта, используемые материалы и дорожно-климатическую зону. Существует два распространенных метода изменения проектных параметров смеси. Это изменение проектного процентного содержания воздушных пустот и/или изменение уровня лабораторного уплотнения. Например, для достижения максимальной прочности указывается проектное процентное содержание воздушных пустот 4,0 %, а также уровень лабораторного уплотнения в 75 ударов. Помимо этого, указываются более жесткие объёмные параметры для обеспечения требуемой стабильности покрытия. Если предполагается использование покрытия в условиях низких нагрузок, например, для велосипедных дорожек, то для повышения прочности покрытия содержание воздушных пустот может быть снижено до 3,5 %, а количество ударов при испытаниях может быть снижено до 35.

Таблица 9. Критерии приемлемости при проектировании плотных смесей по методу Маршалла

Критерии проектирования по методологии Маршалла	**Интенсивность движения**[2]					
	Низкая		**Средняя**		**Высокая**	
	мин.	**макс.**	**мин.**	**макс.**	**мин.**	**макс.**
Уплотнение, количество ударов на каждой стороне образца диаметром 101,6 ± 0,2 мм (152,4 ± 0,2 мм)	35 (52)		50 (75)		75 (112)	
Стабильность S_M, Н	3336	-	5338	-	8006	-
Текучесть[3,4] F_M, 0,25 мм	8	18	8	16	8	14
Содержание воздушных пустот P_a [6]	3	5	3	5	3	5
Содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA* [5]	см. Таблицу 10					
Содержание пустот, наполненных битумом *VFA*	70	80	65	78	65	75
Соотношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{be}$ [7]	от 0,6 до 1,2					

Примечания:

1. При проектировании дорожной смеси следует учитывать все критерии, а не только критерии стабильности.

2. Классификация интенсивности движения:

Низкая интенсивность движения — движение, при котором проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) в 20-летний период составляет $< 10^4$

Средняя интенсивность движения — движение, при котором проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) в 20-летний период составляет от 10^4 до 10^6

Высокая интенсивность движения — движение, при котором проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) в 20-летний период составляет $>10^6$

3. Значение текучести определяется в точке с максимальным значением, после которой нагрузка начинает падать. При использовании автоматического записывающего устройства значение текучести должно быть скорректировано, согласно документации на оборудование.

4. Критерии приемлемости по текучести были разработаны для немодифицированных битумов. При использовании вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, эти пределы часто превышаются. Поэтому при использовании вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, следует использовать более высокие значения критериев соответствия.

5. Процентное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе рассчитывается в соответствии с ПНСТ 73-2015.

6. Содержание воздушных пустот при проектировании асфальтобетонной смеси должно, в идеале, составлять 4 %, но при необходимости, это значение может быть откорректировано для соответствия, указанным в таблице критериям методологии Маршалла.

7. Для смесей:

- с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм, допустимый диапазон составляет 0,9 - 2,0;
- содержащих крупнозернистый заполнитель, гранулометрический состав которых отображается на графике с кратностью 0,45 ниже линии первичного контрольного сита, допустимый диапазон составляет 0,8 - 1,6.

Дополнительные сведения по оценке таких параметров, как содержание пустот в минеральном заполнителе ***VMA***, уровень уплотнения, содержание воздушных пустот и содержание пустот, заполненных битумом, приводятся в разделе 8.3 – 8.5.

Таблица 10. Минимальное содержание пустот в минеральном заполнителе ***VMA***

Номинальный максимальный размер частиц, мм[1]	Минимальное содержание пустот в минеральном заполнителе ***VMA*** при проектном содержании воздушных пустот в асфальтобетонной смеси, % [2]		
	3,0	4,0	5,0
1,18	21,5	22,5	23,5
2,36	19,0	20,0	21,0
4,75	16,0	17,0	18,0
9,5	14,0	15,0	16,0
12,5	13,0	14,0	15,0
19,0	12,0	13,0	14,0
25,0	11,0	12,0	13,0
37,5	10,0	11,0	12,0
50,0	9,5	10,5	11,5
63,0	9,0	10,0	11,0

Примечания:

1. Размер частиц определяется на ситах из металлической сетки соответствующим спецификации ГОСТ Р 51568-99.
2. Минимальное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе (***VMA***) для промежуточных проектных значений воздушных пустот асфальтобетонной смеси, неуказанных в таблице необходимо определять методом интерполяции.

8.3 Влияние параметра пустот в минеральном заполнителе *VMA* на свойства проектируемых асфальтобетонных смесей

Во многих случаях наиболее сложным фактором при проектировании смеси является соблюдение минимального количества воздушных пустот в минеральном заполнителе ***VMA***. Требования по этому свойству устанавливаются с целью обеспечить достаточное пространство битумному вяжущему для высококачественной адгезии и связывания частиц заполнителя, но без выделения излишков вяжущего при расширении битума в следствии повышения температуры. Обычно кривая графика зависимости ***VMA*** от P_b имеет выровненную U-образную форму со снижением до минимального значения ***VMA*** и дальнейшего подъема по мере увеличения содержания битума. Такая кривая показана на рисунке 19, пример «А».

Кажется, что эта зависимость ***VMA*** от содержания битума противоречит определению ***VMA***. Можно предположить, что ***VMA*** остается неизменным при изменении содержания битума, так как пустоты будут просто заполняться битумным вяжущим. На самом же деле, общий объем изменяется в зависимости от содержания битума, и предположение о неизменности плотности не точно. При повышении содержания битума смесь становится более пригодной для работы и легче уплотняется, а это значит, что в единицу объема можно уплотнить большую массу. Поэтому, объёмная плотность G_{mb} смеси повышается, а значение ***VMA*** понижается.

В определенной точке по мере увеличения содержания битума (нижняя точка U-образной кривой), ***VMA*** начинает расти, так как материал с относительно высокой плотностью G_s (заполнитель) перемещается и выталкивается материалом с более низкой плотностью G_b (битумное вяжущее). Рекомендуется избегать таких содержаний битума, при которых образуется «жидкая» смесь, то есть таких значений содержания битумного вяжущего, которые приходятся на правую часть кривой графика, где значения ***VMA*** повышаются, даже при соблюдении критериев по минимальному содержанию воздушных пустот P_a и ***VMA***. Асфальтобетонные смеси с проектным содержание битума в этом диапазоне имеют тенденцию к текучести и проявляют пластическую деформацию при укладке на месте выполнения работ. С позиции эксплуатационных свойств таких смесей, оказывается, что при любой дополнительной уплотняющей нагрузке, связанной с увеличением транспортного потока, остается мало пространства для расширения битума, теряется связь между заполнителями, что в конечном счёте приводит к колееобразованию и образованию неровностей в зонах интенсивного транспортного потока. В идеале, проектное содержание вяжущего должно подбираться таким образом, чтобы его значение находилось левее минимальной точки U-образной кривой VMA-P_b.

В некоторых смесях нижняя часть U-образной кривой VMA-P_b имеет ровный участок, это означает, что уплотненная смесь не настолько чувствительна к содержанию вяжущего в этом диапазоне, как к другим факторам. В рабочем диапазоне содержания вяжущего уплотняемость этой смеси больше зависит от свойств заполнителя. Тем не менее, в определенной точке качество битума становится доминирующим для свойств смеси, а ***VMA*** резко увеличивается.

Если нижняя точка U-образной кривой VMA-P_b опускается ниже минимально допустимого уровня, установленного для смеси, включающей заполнители этого номинального максимального размера (см. рисунок 19, пример «Б»), то это указывает на необходимость внесения изменений в гранулометрический состав заполнителя смеси, чтобы обеспечить достаточный уровень ***VMA***.

Проектное содержание битума не должно выбираться из крайних точек допустимого диапазона, даже если при этом соблюдаются критерии по минимальным значениям ***VMA***. Смеси с содержанием вяжущего, соответствующим левой части кривой, будут слишком сухими, подверженными расслоению и вероятно, содержание воздушных пустот P_a в них будет слишком

высоким. Смеси с содержанием вяжущего, соответствующим правой части кривой, могут быть склонны к колееобразованию.

Если минимальные критерии по ***VMA*** не соблюдаются во всем диапазоне содержания битума (кривая полностью находится ниже линии минимального уровня, рисунок 19, пример «В»), необходимо внесение существенных изменений в гранулометрический состав заполнителя проектируемой асфальтобетонной смеси и/или изменений источников поставки материалов.

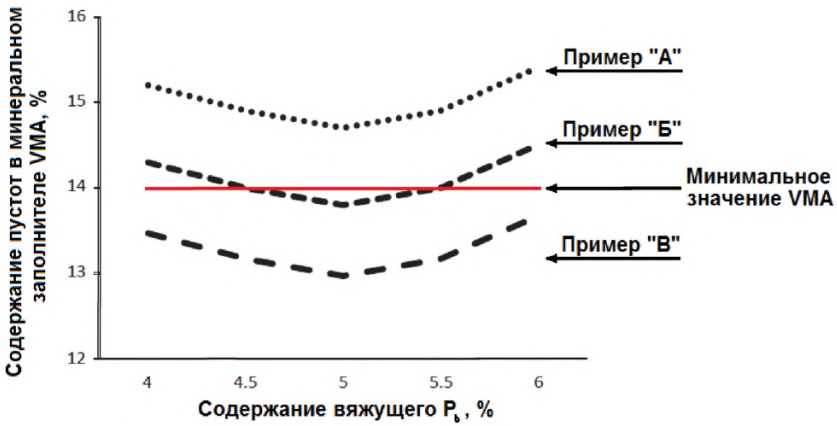


Рисунок 19. График вариантов зависимости ***VMA - P_b***

8.4 Влияние степени уплотнения на свойства проектируемых асфальтобетонных смесей

При одном и том же содержании битума в проектируемой асфальтобетонной смеси, содержание воздушных пустот P_a и содержание пустот в минеральном заполнителе ***VMA*** будут снижаться при увеличении степени уплотнения. Данное утверждение проиллюстрировано при трёх уровнях уплотнения, соответствующих методике Маршалла (35, 50 и 75 ударов). Как показано на рисунке 20, при различных уровнях уплотнения изменяется не только диапазон значений ***VMA***, но также меняется и значение содержания битума, при котором можно достичь требуемого минимального значения ***VMA***. Например, смесь проектируется так, чтобы содержание битума соответствовало левее секущей минимального значения ***VMA***, при уровне уплотнения в 50 ударов, но в случае незапланированного увеличения ожидаемой интенсивности движения, данное дорожное покрытие может эксплуатироваться с большей нагрузкой (при которой уплотнение проектируемой смеси необходимо производить 75 ударами), в связи с этим проектное содержание битума перемещается на графике на правую сторону от секущей минимального значения ***VMA*** (в область «жидких» смесей). При высокой интенсивности дорожного движения покрытие из такой смеси будет иметь склонность к колееобразованию.

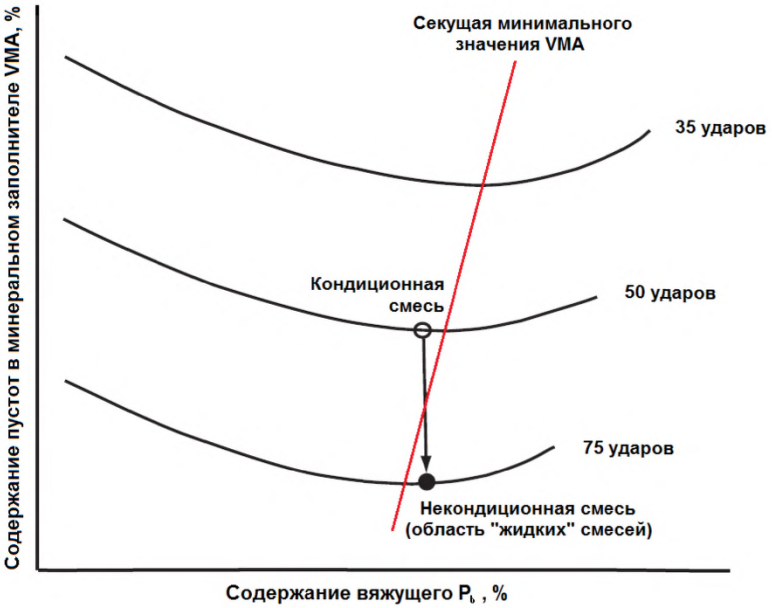


Рисунок 20. Результат превышения проектной эксплуатационной нагрузки на асфальтобетонную смесь

Тот же сценарий может также появляться и в обратной ситуации. Если смесь, спроектированная при уровне уплотнения в 75 ударов, как это показано на рисунке 21, используется для укладки дорожного покрытия в зонах с гораздо более низкой интенсивностью движения, то финальное содержание воздушных пустот P_a будет значительно выше планируемого. При таких условиях смесь становится более «открытой» и проницаемой для воды и воздуха. В результате этого асфальтобетонная смесь становится ломкой и растрескивается быстрее ожидаемого срока. В этом случае также возможно отделение частиц заполнителя из смеси, ввиду потери битумом адгезионной способности. При таких условиях также возможно отслоение верхнего слоя покрытия.

Поэтому важно, чтобы степень уплотнения соответствовала ожидаемому проектному уровню интенсивности движения и подбиралась в лаборатории правильным образом. Дополнительно к вышесказанному, необходимо следить, чтобы на месте укладки смесь уплотнялась с правильным усилием, чтобы достичь требуемой начальной плотности, вне зависимости от климатических условий.

Также важно отметить, что критерии для *VMA* не меняются в зависимости от уровня уплотнения. Причина, по которой значение *VMA* должно находиться в определенных пределах (достаточное пространство для битума и воздушных пустот), не связана с интенсивностью дорожного движения, под которую проектируется асфальтобетонная смесь.

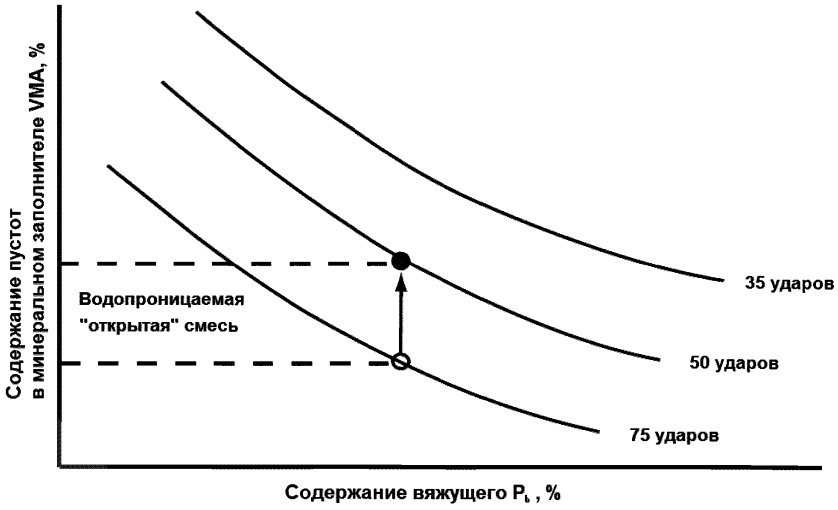


Рисунок 21. Результат занижения проектной эксплуатационной нагрузки на асфальтобетонную смесь

8.5 Влияние пустот, наполненных битумом *VFA*

Хотя пустоты, наполненные битумом *VFA*, пустоты в минеральном заполнителе *VMA* и содержание воздушных пустот P_a взаимосвязаны между собой, но только две из этих величин необходимы для расчета третьей, применение критерия по *VFA* позволяет избежать проектирования таких смесей, в которых значение *VMA* приближено к крайним допустимым значениям. Главное значение критерия *VFA* – это ограничение максимального уровня *VMA*, а следовательно, максимального значения содержания битума P_b.

VFA также ограничивает допустимое содержание воздушных пустот для смесей, значение *VMA* которых приближено к нижнему пределу. Смеси, спроектированные для дорог с низкой интенсивностью дорожного движения, не будут соответствовать по критерию *VFA* с относительно высоким содержанием воздушных пустот (5%), даже если будут соблюдаться допустимые пределы по диапазону содержания воздушных пустот P_a. Главная цель установления данного критерия — не допустить укладку малопрочных смесей на участки с низкой интенсивностью движения.

Смеси, спроектированные для дорог с высокой интенсивностью движения, не будут соответствовать по критерию *VFA* с относительно низким содержанием воздушных пустот P_a (менее 3,5%), даже если величина воздушных пустот будет находиться в допустимом диапазоне. Так как низкое содержание воздушных пустот P_a может быть критично по параметру остаточной деформации (как это указывалось ранее), критерий *VFA* позволяет избежать укладки смесей, подверженных колееобразованию, на участках дорог с высокой интенсивностью движения.

Критерий *VFA* представляет собой дополнительный фактор контроля эксплуатационных свойств при проектировании и укладке смеси. Так как между стадией проектирования и стадией укладки могут произойти какие-либо изменения, желательно иметь подобные критерии, обеспечивающие дополнительный контроль качества покрытия.

9 Соответствие щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей, и смесей с открытым гранулометрическим составом, запроектированных по методологии Маршалла

9.1 Щебёночно-мастичные асфальтобетонные смеси, запроектированные по методологии Маршалла должны соответствовать характеристикам, указанным в таблице 11.

Таблица 11. Критерии приемлемости при проектировании щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей по методу Маршалла

Критерии проектирования по методологии Маршалла	**Интенсивность движения**[2]			
	Средняя		**Высокая**	
	мин.	**макс.**	**мин.**	**макс.**
Уплотнение, количество ударов на каждой стороне образца диаметром 101,6 ± 0,2 мм (152,4 ± 0,2 мм)	50 (75)		75 (112)	
Стабильность по Маршаллу S_M, Н	6200	-	9300	-
Текучесть по Маршаллу [3,4] F_M, 0,25 мм	8	16	8	14
Содержание воздушных пустот P_a [6]	3	5	3	5
Содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA* [5], %	не менее 17			
Пустоты в крупнозернистом заполнителе уплотнённой асфальтобетонной смеси VCA_{MIX}, %, не менее	VCA_{DRC}			

Примечания:

1. При проектировании дорожной смеси следует учитывать все критерии, а не только критерии стабильности.

2. Классификация интенсивности движения:

Средняя интенсивность движения — движение, при котором проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) в 20-летний период составляет от 10^4 до 10^6

Высокая интенсивность движения — движение, при котором проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) в 20-летний период составляет $>10^6$

3. Значение текучести определяется в точке с максимальным значением, после которой нагрузка начинает падать. При использовании автоматического записывающего устройства значение текучести должно быть скорректировано, согласно документации на оборудование.

4. Критерии приемлемости по текучести были разработаны для немодифицированных битумов. При использовании вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, эти пределы часто превышаются. Поэтому при использовании вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, следует использовать более высокие значения критериев соответствия.

5. Процентное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе рассчитывается в соответствии с ПНСТ 73-2015.

6. Содержание воздушных пустот при проектировании щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси должно, в идеале, составлять 4 %, но при необходимости, это значение может быть откорректировано для соответствия, указанным в таблице критериям методологии Маршалла.

9.2 Соответствие асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом, запроектированных по методологии Маршалла определяется нормативными документами к данному типу асфальтобетонной смеси.

10 Требования безопасности и охраны окружающей среды

10.1 Эффективными мерами защиты окружающей среды является герметизация оборудования, предотвращение разливов органических вяжущих материалов и периодическая смена пылеулавливающих фильтров.

10.2 При работе с асфальтобетонами используют специальную защитную одежду – по ГОСТ 12.4.131 или ГОСТ 12.4.132. Для защиты рук используют перчатки – по ГОСТ 12.4.252.

10.3 При приготовлении и укладке смесей должны соблюдать общие требования безопасности по ГОСТ 12.3.002 и требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004.

10.4 Материалы для приготовления асфальтобетонных смесей (щебень, природный песок и дробленый песок, минеральный порошок, вяжущее) по характеру вредности и по степени воздействия на организм человека относятся к малоопасным веществам, соответствуя 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007. Нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу не должны превышать установленных ГОСТ 17.2.3.02.

10.5 Воздух в рабочей зоне при приготовлении и укладке смесей должен удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.005.

10.6 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $А_{эфф}$ в минеральной части смесей и асфальтобетонах не должна превышать значений, установленных ГОСТ 30108.

11 Требования к оборудованию и вспомогательным материалам

Оборудование (откалиброванное должным образом), необходимое для подготовки образцов:

11.1 Весы лабораторные по ГОСТ 53228 III класса точности с ценой деления 1 г и пределом взвешивания до 5 кг для взвешивания заполнителей и битума;

11.2 Весы лабораторные по ГОСТ 53228 II класса точности с ценой деления 0,1 г и пределом взвешивания до 2 кг для взвешивания уплотненных образцов;

11.3 Сушильный шкаф способный нагревать и поддерживать температуру до 220 °С с точностью 3 °С, для нагревания заполнителей, битума и оборудования;

11.4 Термометр бронированный, стеклянный или с круглой шкалой с металлическим стержнем, с диапазоном измерения от 10 °С до 235 °С для определения температуры заполнителей, битума и асфальтовых смесей;

11.5 Контейнеры плоскодонные металлические для нагревания заполнителей;

11.6 Контейнеры круглые металлические или смесительная емкость объемом приблизительно 4 литра для смешивания битума с заполнителями;

11.7 Совок для дозирования заполнителей;

11.8 Контейнеры с навинчивающимися крышками, лабораторные стаканы, разливочные воронки и ковши для нагревания битума;

11.9 Смеситель механический (не обязательно): промышленный миксер объемом 4 литра и более, оборудованный двумя металлическими смесительными емкостями и двумя мешалками, или другой подобный миксер;

11.10 Ложка широкая для смешивания или небольшой шпатель;

11.11 Стойка уплотнительная (см. рисунок 22), которая состоит из деревянной стойки размерами не менее 200 х 200 х 460 мм и верхней стальной пластины размерами не менее 305 х 305 х 25 мм. Деревянная стойка должна быть изготовлена из дуба, сосны или другой древесины с весом в сухом состоянии от 670 до 770 кг/м^3. Деревянная стойка должна быть прикреплена четырьмя уголками к прочному бетонному основанию. Стальная пластина должна быть прочно закреплена на стойке. Вся конструкция должна быть установлена таким образом, чтобы деревянная стойка стояла строго вертикально, пластина лежала ровно, а весь блок в ходе уплотнения оставался неподвижен. Уплотнительные молоты должны приводиться в действие либо вручную, либо механическим образом, как это показано на рисунке 22. Молот с механическим приводом должен падать с частотой 64 ± 4 удара в минуту. Кроме того, молот с механическим приводом может иметь одну или несколько головок, а также комплект форм для уплотнения либо одного, либо нескольких образцов одновременно. Некоторые молоты с механическим приводом оснащены механизмом поворота основания, который производит от 18 до 30 оборотов в минуту;

11.12 Молот уплотнительный, для изготовления образцов диаметром 101,6 ± 0,2 мм в соответствии с ПНСТ 110-2016, состоящий из плоской круглой трамбовочной головки диаметром 98,4 ± 0,1 мм и оснащенный скользящим грузом массой 4,535 ± 0,015 кг с высотой падения 457,2 ± 1,5 мм, либо диаметром 152,4 ± 0,2 мм в соответствии с ОДМ 218.3.097-2017, состоящий из плоской круглой трамбовочной головки диаметром 149,4 ± 0,1 мм и оснащенный скользящим грузом массой 10,210 ± 0,01 кг с высотой падения 457,2 ± 2,5 мм;

11.13 Форма уплотнительная, состоящая из пластины-основания, пресс-формы и муфты. Размеры уплотнительной формы для асфальтобетонных смесей с номинальным максимальным размером заполнителей до 25 мм описан в ПНСТ 110-2016. Внутренний диаметр пресс-формы должен составлять 101,6 ± 0,2 мм, а высота — не менее 75 мм; пластина — основание и муфта должны быть взаимозаменяемыми с возможностью установки на любом конце пресс-формы. Согласно стандарту ОДМ 218.3.097-2017, для заполнителей с номинальным максимальным размером зерен до 37,5 мм следует использовать пресс-форму с внутренним диаметром 152,4 ± 0,2 мм и высотой не менее 114,3 мм.

11.14 Шпатель широкий;

11.15 Штыковка в виде металлического стержня диаметром не более 10 мм;

11.16 Диски бумажные, диаметром 100 или 150 мм;

11.17 Держатель формы, состоящий из пружинного устройства, которое удерживает уплотнительную форму по центру уплотнительной стойки. Держатель должен соответствовать требованиям ПНСТ 110-2016 или ОДМ 218.3.097-2017;

11.18 Устройство для извлечения образца, стальное, в форме рычага и диска диаметром не менее 100 мм (ПНСТ 110-2016) либо не менее 151,1 мм (ОДМ 218.3.097-2017) и толщиной 13 мм.

11.19 Штангенциркуль по ГОСТ 166;

11.20 Линейка измерительная по ГОСТ 427;

11.21 Перчатки для работы с горячим оборудованием. Резиновые перчатки для извлечения образцов из водяной бани;

11.22 Карандаши маркировальные для нанесения идентификационных обозначений на испытуемые образцы.

Рисунок 22. Уплотнители Маршалла с ручным молотом и с механическим молотом.

12 Требования к условиям измерений

При выполнении измерений соблюдают следующие условия для помещений, в которых испытывают материалы:

- температура – (22 ± 3) °С;
- относительная влажность – (55 ± 15) %.

13 Подготовка образцов

При подготовке образцов для проведения испытаний по методике Маршалла рекомендуется выполнить следующие требования:

13.1 Количество образцов.

Для проведения исследований готовится не менее трех образцов для каждого сочетания заполнителей с различным содержанием вяжущего.

13.2 Требования к минеральному заполнителю.

При проектировании асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла может применяться минеральный заполнитель, соответствующий ПНСТ 114-2016, ГОСТ 8267-93, ГОСТ 8736-2014, ГОСТ 32703-2014, ГОСТ 32730-2014, ГОСТ 32824-2014, ГОСТ 32826-2014, ГОСТ 3344-83, ГОСТ 31424-2010.

Минеральный порошок для проектирования и производства асфальтобетонных смесей должен соответствовать ГОСТ 32761-2014, ГОСТ Р 52129-2003 или ГОСТ 16557-2005.

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять в качестве минерального порошка, материал, получаемый с помощью дробилки, или из системы пылеулавливания смесительной установки, также может использоваться зола уноса, при этом, количество зерен в составе применяемого материала размером менее 0,075 мм должно быть не менее 70 % по массе, количество зерен размером менее 0,30 мм должно быть не менее 90 % по массе, а зерен размером менее 1,18 мм — не менее 100 %.

Влажность минерального порошка не должна превышать 1 %.

Допускается применять минеральный заполнитель, выпускаемый по зарубежным нормам, при условии соответствия его качества требованиям настоящего норматива.

13.2.1 Требования к минеральному заполнителю по физико-механическим показателям.

Требования к минеральному заполнителю по показателю «Дробимость» указаны в таблице 12.

Таблица 12. Требования к заполнителю по показателю «Дробимость»

Количество приложений ЭООН, млн.	Марка по дробимости, не ниже
<0,3	М600
от 0,3 до 30	М800
>30	М1000

Требования к минеральному заполнителю асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия по показателю «Истираемость» («Сопротивление дроблению и износу») указаны в таблице 13.

Таблица 13. Требования к заполнителю по показателю «Истираемость» («Сопротивление дроблению и износу»)

Количество приложений ЭООН, млн.	Потеря массы, % не более
<10	40
от 10 до 30	30
>30	20

13.2.2 Требования к минеральному заполнителю по зерновому составу.

Заполнитель сушится до постоянной массы при температуре от 105 до 110 °С и разделяется методом сухого просеивания по фракциям желаемого размера. Рекомендуется разделять заполнитель для соответствующего норматива по фракциям, указанным в таблице 14.

Для соответствия гранулометрического состава нормированным диапазонам, указанным в таблицах 5, 6 или 7, при проектировании асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла, возможно использование минерального заполнителя по ПНСТ 114-2016, ГОСТ 8267-93, ГОСТ 8736-2014, ГОСТ 32703-2014, ГОСТ 32730-2014, ГОСТ 3344-83, ГОСТ 32824-2014, ГОСТ 32826-2014, ГОСТ 31424-2010, ГОСТ 32761-2014, ГОСТ Р 52129-2003, ГОСТ 16557-2005 с последующим определением его зернового состава через сита с квадратной формой ячеек размером: 0,075; 0,15; 0,3; 0,6; 1,18; 2,36; 4,75; 9,5; 12,5; 19,0; 25,0; 37,5 и 50 мм, соответствующие ПНСТ 75-2015.

Таблица 14. Рекомендуемые фракции для заполнителя

ПНСТ 75-2015, ПНСТ 114-2016	ГОСТ 8267-93, ГОСТ 8736-2014	ГОСТ 32703-2014, ГОСТ 32730-2014
от 50,0 до 37,5 мм	от 80 (70) до 40,0 мм	от 45,0 до 31,5 мм
от 37,5 до 19,0 мм	от 40,0 до 20,0 мм	от 31,5 до 22,4 мм
от 19,0 до 12,5 мм	от 20,0 до 15,0 мм	от 22,4 до 16,0 мм
от 12,5 до 9,5 мм	от 15,0 до 10,0 мм	от 16,0 до 11,2 мм
от 9,5 до 4,75 мм	от 10,0 до 5,0 мм	от 11,2 до 5,6 мм
от 4,75 до 2,36 мм	от 5,0 до 2,5 мм	от 5,6 до 2,0 мм
менее 2,36 мм	менее 2,5 мм	менее 2,0 мм

Минеральный заполнитель, подобранный по физико-механическим показателям с определёнными необходимыми объёмными характеристиками по фракциям, составляется в единую минеральную смесь, в соответствии с формулой 35, чтобы её состав входил в нормированный диапазон таблиц 5, 6 или 7.

Производство асфальтобетонных смесей по объёмному методу проектирования из любого, утверждённого Заказчиком минерального материала, соответствующего вышеуказанным нормативам на асфальтобетонном заводе (АБЗ) может осуществляться без замены набора сит на размеры ПНСТ 75-2015.

Весь подбор рецепта смеси осуществляется только в лаборатории и передаётся на завод. Рассев любого, утверждённого к использованию на асфальтобетонном заводе каменного материала, выполняется в лаборатории на ситах по ПНСТ 75-2015. Далее подбирается минеральная смесь, удовлетворяющая предъявляемым к ней требованиям в соответствии с настоящим ОДМ с нанесением гранулометрической кривой на график зернового состава. По параллельной оси фракционной размерности, используемого материала на АБЗ на кривой грансостава определяются значения, соответствующие необходимому количеству фракций минерального заполнителя для завода. На рисунке 23 приведена типовая схема разъясняющая подход к определению фракционной смеси минерального заполнителя для любого каменного материала, утверждённого Заказчиком к использованию в рецепте на асфальтобетонном заводе.

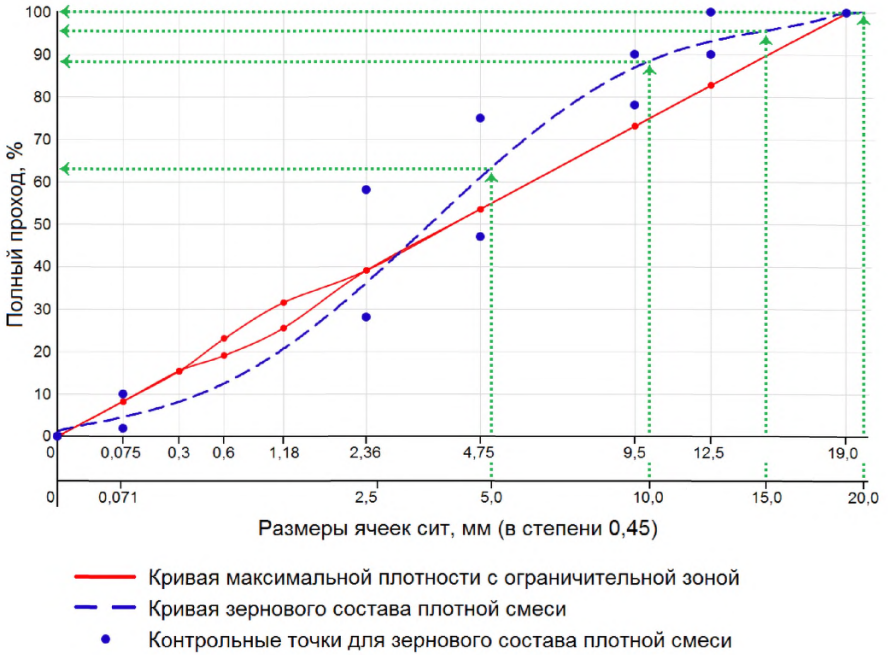


Рисунок 23. Типовая схема перехода от лабораторного подбора зернового состава на ситах по ПНСТ 75-2015, к определению грансостава заполнителя для асфальтобетонного завода на примере минеральных материалов по ГОСТ 8267-93, ГОСТ 8736-2014 и ГОСТ Р 52129-2003.

Дополнительная информация по определению зернового состава описана в ПНСТ 75-2015.

13.3 Требования к битумному вяжущему.

При проектировании асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла могут применяться битумные вяжущие в соответствии с ПНСТ 82-2016, ПНСТ 85-2016 (с учётом требований п.5.1.2 ПНСТ 114-2016), ГОСТ Р 52056-2003, ГОСТ 22245-90 или ГОСТ 33133-2014.

13.4 Требования к стабилизирующей добавке.

Для соответствующих асфальтобетонных смесей могут применяться стабилизирующие добавки. В качестве стабилизирующей добавки применяют целлюлозное волокно (гранулы) или минеральное волокно, которое должно соответствовать требованиям технической документации предприятия-изготовителя.

Целлюлозное волокно должно иметь ленточную структуру нитей. Волокно должно быть однородным и не содержать пучков, скоплений нераздробленного материала и посторонних включений.

Допускается применять другие стабилизирующие добавки, включая полимерные или иные волокна с круглым или удлиненным поперечным сечением нитей, способные сорбировать (удерживать) битумное вяжущее при технологических температурах, не оказывая отрицательного воздействия на все компоненты и асфальтобетонную смесь в целом. Обоснование пригодности стабилизирующих добавок и их оптимального содержания, устанавливают посредством проведения испытаний асфальтобетонной смеси в соответствии с ПНСТ 126-2016.

13.5 Определение температур смешивания и уплотнения.

Температуры, до которых следует нагреть битум, до достижения его динамической вязкости 0,17 ± 0,02 Па·с и динамической вязкости 0,28 ± 0,03 Па·с, принимаются за температуры смешивания и уплотнения, соответственно. Данные температуры определяются в соответствии с ПНСТ 112-2016 (Приложение Б).

Температуры смешивания и уплотнения для модифицированных битумных вяжущих должны находиться по требованиям соответствующих нормативов.

13.6 Подготовка формы и молота.

Оборудование для проведения уплотнения образцов должно соответствовать ПНСТ 110-2016 или ОДМ 218.3.097-2017. Перед проведением испытаний необходимо тщательно очистить форму для образца, а также поверхность уплотнительного молота и нагреть их на водяной бане или в сушильном шкафу до температуры 95 - 150 °С.

13.7 Подготовка смесей.

Для каждого образца в отдельных ёмкостях взвешивается такое количество каждой фракции минерального заполнителя, которое требуется для производства с требуемым гранулометрическим составом. При этом высота уплотненного образца должна будет составлять 63,5 ± 1,27 мм. Обычно для производства такого образца требуется приблизительно 1,2 кг материала. Рекомендуется до подготовки партий заполнителя подготовить пробный образец. Если высота пробного образца не соответствует требованиям, то необходимое количество заполнителя для этого образца предлагается откорректировать по следующей формуле:

$$M_{mx} = \frac{63{,}5 \cdot M_m}{H_s} \qquad (37)$$

где: M_{mx} – откорректированная масса заполнителя, кг;

M_m – масса заполнителя пробного образца, кг;

63,5 – высота требуемого образца, мм;

H_s – высота пробного образца, мм.

Ёмкости с заполнителем помещаются в печь или сушильный шкаф и нагреваются до температуры, не превышающей температуру смешивания, описанную в пункте 13.5, более, чем на 28 °С. Загруженные в смесительную емкость нагретые заполнители необходимо тщательно перемешать в сухом состоянии. Далее производится выемка сухой смеси заполнителей и отмеряется требуемое количество битумного вяжущего в смесь, согласно рассчитанным дозировкам. В этот момент температура заполнителя и битума должна быть в пределах температур смешивания, установленных, согласно пункту 13.5. Перед использованием битумное вяжущее не должно подвергаться воздействию температур смешения более одного часа. Необходимо максимально быстро смешать заполнитель и битумное вяжущее при помощи механической мешалки (приоритетный вариант) или вручную при помощи совка до получения массы с равномерным распределением битума.

Примечание — перед проведением исследований необходимо подготовленную для испытаний по Маршаллу асфальтобетонную смесь, краткосрочно термостатировать в соответствии с методом Б стандарта ПНСТ 111-2016.

13.8 Укладка смеси в форму.

На дно формы помещается диск из фильтровальной или невпитывающей бумаги требуемого размера. Затем вся партия материала укладывается в форму с муфтой, а после, смесь тщательно отштыковывается нагретой штыковкой 15 раз по периметру и 10 раз во внутренней части. Поверхность разглаживается таким образом, чтобы она имела слегка закругленную форму. Температура смеси непосредственно перед уплотнением должна находиться в пределах температур уплотнения, установленных, согласно пункту 13.5, в противном случае, смесь забраковывается и утилизируется. Повторный нагрев смеси не допускается.

13.9 Уплотнение образцов.

Поверх смеси помещается бумажный диск, и форма со смесью ставится на уплотнительную стойку в держатель формы. Согласно указаниям по проектированию, для уплотнения смеси применяется 35, 50 или 75 ударов молота, свободно падающего с высоты 457,2 ± 1,5 мм, в зависимости от интенсивности движения (см. таблицу 9). В ходе уплотнения необходимо удерживать ось уплотнительного молота максимально перпендикулярно относительно основания формы. Далее следует снять пластину-основание и муфту, перевернуть и пересобрать форму. Затем наносится такое же количество ударов молота по поверхности перевернутого образца. После уплотнения удаляются пластина-основание и бумажные диски и образец остужается при комнатной температуре так, чтобы его можно было извлечь из формы, не деформируя. Если требуется более быстрое охлаждение, можно использовать электрический фен. Воду можно использовать только в том случае, если образец помещен в полиэтиленовый пакет. Образец извлекается из формы при помощи рычага для извлечения образца или другого компрессионного устройства. Далее образец кладётся на гладкую ровную поверхность и остаётся там до начала испытания. Обычно образцы остужают в течение не менее 12 часов.

13.10 Соотношение образцов, уплотненных при помощи ручного молота и молота с механическим приводом.

Существует практическая тенденция, по которой образцы, уплотненные при помощи ручного молота, имеют большую плотность, чем образцы, уплотненные при помощи молота с механическим приводом. Согласно теории, при использовании ручного молота возникает небольшой эффект замешивания, что связано с незначительным отклонением оси молота от вертикали, которая строго соблюдается автоматическими молотами. Если используются модификации стандартного ручного молота Маршалла (например, механический подъемник, наклонная поверхность или вращающаяся база), необходимо провести сравнение их действия с действием стандартного ручного молота Маршалла.

13.11 Верификация уплотнённых образцов.

Компаниям, устраивающим асфальтобетонное покрытие, необходимо указывать контрольный уплотнитель, согласно которому будут устанавливаться параметры и формулы смеси, а также конструкционные погрешности. Также рекомендуется, чтобы все лабораторные уплотнители, которые используются при проверке качества дорожных покрытий на месте укладки, их приемке и подтверждении свойств, соотносились с контрольным уплотнителем, который использовался при проектировании смеси и был утвержден компанией, ответственной за укладку асфальтобетонного слоя этого участка.

В результате анализа корреляции уплотнителей может быть изменено количество ударов для получения образцов с одинаковыми объемными свойствами. Используя ту же смесь и температуру уплотнения, как и при проектировании смеси, необходимо уплотнить по три идентичных образца, для каждого количества ударов молота (с шагом в пять ударов). Образцы следует уплотнить при проектном количестве ударов молота, при проектном количестве ударов ± 5 и при проектном количестве ударов ± 10. Затем строится «кривая зависимости G_{mb} от количества ударов» и определяется количество ударов, необходимое для того, чтобы получить то же значение G_{mb}, которое было получено с использованием контрольного уплотнителя при проектировании смеси. Новое скорректированное количество ударов должно использоваться в ходе всех дальнейших испытаний на этом уплотнителе. Диапазон количества ударов должен быть достаточно широким, чтобы включить в себя результаты испытаний, полученные на контрольном уплотнителе, без экстраполяции корреляционной кривой. Пример корреляционной кривой приводится на рисунке 24.

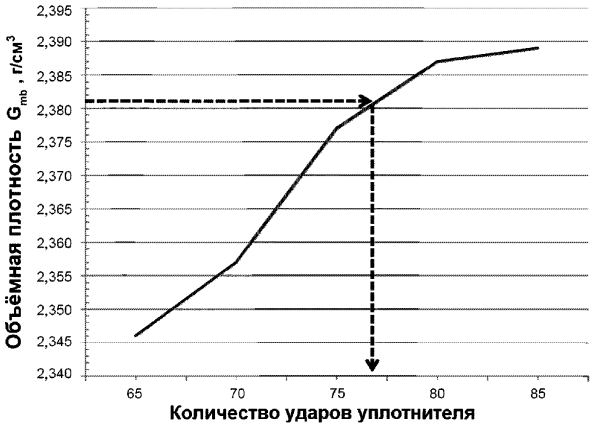


Рисунок 24. Типовой график корреляционной кривой уплотнителя

(Пример по графику на рисунке 24: для достижения проектной объёмной плотности образца G_{mb} (2,381 г/см^3), полученного на контрольном уплотнителе при 75 ударах, на другом аналогичном уплотнителе, необходимо выполнить 77 ударов молотом).

14. Применение модифицированного метода Маршалла для смесей с крупным заполнителем

Модифицированный метод Маршалла для образцов диаметром 152,4 ± 0,2 мм описан в документе ОДМ 218.3.097-2017 и используется для смесей, содержащих заполнители с номинальным максимальным размером до 37,5 мм. Данная процедура основана на оригинальном методе проектирования смеси по Маршаллу, за исключением положений, связанных с использованием более крупных образцов:

- Масса молота составляет 10,2 кг, диаметр плоской трамбовочной головки — 149,4 мм. Высота падения так же составляет 457 мм, но используется только молот с механическим приводом.
- Диаметр образца составляет 152,4 мм, а его высота — 95,2 мм.
- Масса партии материала обычно составляет 4050 г.
- Используется оборудование для уплотнения и проведения испытаний (формы и ударные головки) пропорционально большего размера, позволяющего вместить более крупные образцы.
- Смесь помещается в форму двумя приблизительно равными порциями. После каждой загрузки порции в форму, производится штыкование материала.
- Количество ударов, необходимое для уплотнения крупных образцов, в 1,5 раза больше (от 75 до 112 ударов), чем для эквивалентного уплотнения образцов меньшего размера.
- Проектные критерии также должны модифицироваться. Минимальное значение стабильности должно быть в 2,25 раза выше, а диапазон значений текучести должен быть в 1,5 раза шире критериев, указанных в таблице 9.

• Так же, как и в случае использования процедуры, описанной в ПНСТ 109-2016 в которой применяются корректирующие коэффициенты, необходимо использовать соответствующие коэффициенты коррекции, при использовании модифицированного метода, в котором применяются образцы, отличные от размера 95,2 мм. Коэффициенты коррекции, которые следует использовать при преобразовании измеренных значений стабильности в эквивалентные значения, соответствующие образцам толщиной 95,2 мм, содержатся в ОДМ 218.3.097-2017.

15 Испытания на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей по методу Маршалла

15.1 Требования к оборудованию для проведения испытаний на стабильность и текучесть по Маршаллу

Для проведения испытаний на образцах диаметром 101,6 ± 0,2 мм либо диаметром 152,4 ± 0,2 мм требуется следующее оборудование:

15.1.1 Установка Маршалла — компрессионное устройство для проведения испытаний, соответствующее ПНСТ 109-2016 либо ОДМ 218.3.097-2017. Это устройство позволяет прикладывать нагрузку на испытуемые образцы через тестовые головки с цилиндрическим сегментом (внутренний радиус кривизны составляет 51 мм или 76,2 мм) с постоянной частотой нагружения 50 ± 1,0 мм/мин. В установку также включены две перпендикулярных направляющих стойки для того, чтобы поддерживать относительное расположение двух сегментов по горизонтали и их свободное перемещение по вертикали в ходе проведения испытаний. Установка оснащена откалиброванным контрольным кольцом для определения прилагаемой тестовой нагрузки, головкой для проведения испытаний на стабильность по Маршаллу, которая используется при тестировании образцов, а также расходомером (или автоматическим записывающим устройством) для определения величины деформации при максимальной нагрузке в ходе испытания. Вместо установки Маршалла может использоваться универсальная установка для проведения испытаний, оборудованная соответствующими устройствами для измерения нагрузки и деформации.

15.1.2 Водяная баня — с термостатическим регулированием до температуры 60 ± 1 °С. Бак должен иметь перфорированное ложное дно или быть оснащен полкой для установки образцов на высоте не менее 50 ± 5,0 мм от дна бани.

15.2 Порядок проведения испытаний на стабильность и текучесть

После определения объёмной плотности образцов необходимо провести следующие процедуры в рамках исследования на стабильность и текучесть:

- определение высоты образца;
- погружение образца в водяную баню при температуре 60 °С ± 1 °С на 35 ± 5 минут или помещение в печь при той же температуре на 125 ± 5 минут;
- использование автоматического записывающего устройства или контрольного кольца и расходомера (см. рисунок 25). Для этого необходимо поместить расходомер над маркированной направляющей штангой и «обнулить» показание расходомера, прочно удерживая его на верхнем сегменте тестовой головки в ходе приложения нагрузки.

Примечание: При тестировании всех образцов следует использовать одни и те же тестовую головку и расходомер. В противном случае для определения значения текучести потребуется использовать и начальное, и конечное показания расходомера.

- тщательная очистка внутренних поверхностей тестовых головок. Температура головок должна поддерживаться в диапазоне от 21,1 до 37,8 °С. При необходимости, следует использовать водяную баню. Далее наносится тонкий слой смазки на направляющие штанги, так чтобы верхняя тестовая головка свободно скользила по штанге без заеданий. Если для измерения прилагаемой нагрузки используется контрольное кольцо, убедитесь в том, что его циферблатный индикатор надежно закреплен и «обнулен» в состоянии «без нагрузки».
- когда оборудование для проведения испытаний будет готово к работе, образец извлекается из водяной бани, а его поверхность осторожно протирается полотенцем. Образец помещается в нижнюю тестовую головку и располагается по центру. Затем верхняя тестовая головка приводится в рабочее положение и весь блок устанавливается по центру нагрузочного устройства. Расходомер помещается над маркированной направляющей штангой, как это указано выше.
- приложение к образцу тестовой нагрузки с постоянной скоростью деформирования, 51 мм в минуту, до начала разрушения образца. Момент разрушения определяется, когда показание нагрузки на индикаторе максимально. Результирующая сила, выраженная в Ньютонах, которая потребуется для разрушения образца, должна быть зафиксирована как величина стабильности по Маршаллу.
- пока продолжается испытание на стабильность (если не используется автоматическое записывающее устройство), расходомер прочно удерживается в одном положении над направляющей штангой и убирается, как только нагрузка начинает уменьшаться. Показания прибора снимаются и записываются. Показание прибора представляет собой значение текучести для данного образца, выраженное в единицах, кратных 0,25 мм. Например, если деформация образца составила 3,8 мм, то значение текучести составляет 15,2.

Вся процедура на определение стабильности и текучести, начиная с момента извлечения образца из водяной бани, должна быть проведена не более чем за 30 секунд.

Для образцов, имеющих отличия от требуемой высоты, необходима корректировка значения стабильности по Маршаллу. Корректировка производится по требованиям ПНСТ 109-2016 и ОДМ 218.3.097-2017 в соответствии с размерами образцов.

Рисунок 25. Установка с контрольным кольцом и расходомером для проведения испытаний по методологии Маршалла

15.3 Замечания по показателям стабильности и текучести

Если значение текучести по Маршаллу определяется при помощи автоматического записывающего устройства, то в результате обычно можно получить график, подобный тому, который показан на рисунке 26.

На нижней части кривой зависимости стабильности по Маршаллу и текучести по Маршаллу можно увидеть эффекты от неровности поверхности образца до момента полного соприкосновения (посадки) тестовых головок с поверхностью образца. Поэтому в случае использования автоматического записывающего устройства зафиксированное значение текучести по Маршаллу должно быть скорректировано путем вычитания части значений текучести, соответствующих отрезку «посадки» образца (как показано на рисунке 26). Для того чтобы точно определить точку начала отсчета показаний текучести, следует начертить касательную, соединяющую две точки на кривой «стабильность-текучесть», соответствующим значениям стабильности по Маршаллу 25 % и 75 %. В точке, где эта касательная пересекает ось x начинается отсчет значений текучести по Маршаллу.

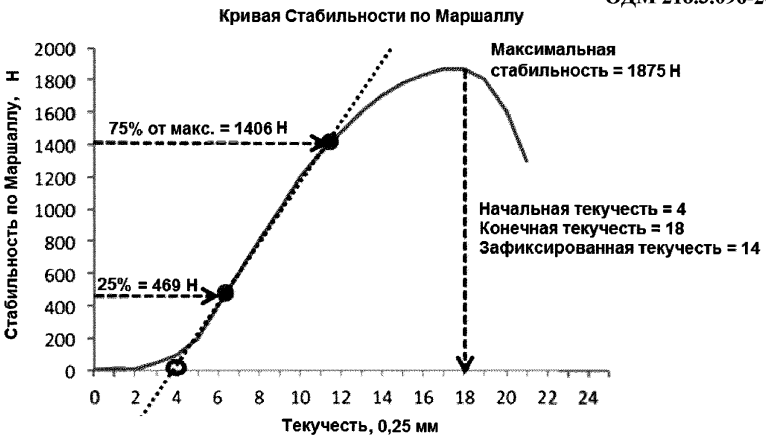


Рисунок 26. Алгоритм определения значения текучести по Маршаллу

При использовании контрольного кольца и расходомера никаких поправок не требуется, так как расходомер «обнуляется» на откалиброванном металлическом диске или образце.

Если значение текучести при выбранном оптимальном содержании битума выше верхнего указанного предела, то смесь считается слишком пластичной или нестабильной. Если значение текучести меньше указанного нижнего предела, то смесь считается слишком хрупкой.

Результаты испытаний на определение стабильность и текучести в большой степени зависят от марки вяжущего, качества вяжущего и структуры заполнителя.

Асфальтобетонные смеси, содержащие модифицированные вяжущие, могут демонстрировать значительную степень деформации до достижения пиковых значений сопротивления нагружению (стабильности по Маршаллу), что приводит к искусственному увеличению значений текучести. Поэтому при работе с вяжущими, модифицированными полимерами или каучуком, верхний предел показателя текучести может быть незначительно завышен. В случае завышения значения текучести, следует провести дополнительные альтернативные испытания на определение соответствия асфальтобетонной смеси эксплуатационным свойствам.

16 Оформление результатов

По результатам работ, выполненных в соответствии с настоящим нормативом, необходимо оформить отчёт, содержащий следующую информацию:

- наименование организации, проводившей испытание;
- наименование объекта для которого производится проектирование;
- тип асфальтобетонной смеси;
- вид асфальтобетонной смеси;
- марка асфальтобетонной смеси;
- марка битумного вяжущего;
- интенсивность движения;
- степень уплотнения по Маршаллу, ударов;

16.1 Для протокола результатов подбора минерального заполнителя:

- график зернового состава минеральной части с иллюстрацией линии максимальной плотности, ограничительной зоны и кривых нормированного диапазона по контрольным точкам;
- табличные данные по фракционному составу минеральной части с указанием нормированных значений;

16.2 Для протокола результатов испытаний асфальтобетонных смесей:

- диаметр испытываемых образцов;
- плотность битумного вяжущего G_b, г/см^3;
- объёмная плотность заполнителя G_{sb}, г/см^3;
- содержание абсорбированного вяжущего P_{ba}, %;
- эффективное содержание вяжущего P_{be}, %;
- эффективная плотность заполнителя G_{se}, г/см^3;
- содержание битумного вяжущего P_b для каждой серии образцов, %;
- высота всех уплотнённых образцов h, мм;
- кажущийся объем всех уплотнённых образцов V_{mb}, см^3;
- объёмная плотность всех уплотнённых образцов с расчётом среднего значения G_{mb} для каждого содержания битумного вяжущего, г/см^3;
- максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm} для каждого содержания битумного вяжущего, г/см^3;
- содержание воздушных пустот P_a для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- содержание пустот в минеральном заполнителе VMA для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- содержание пустот, наполненных битумом VFA для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- стабильность по Маршаллу всех уплотнённых образцов с коррекцией и расчётом среднего значения S_M для каждого содержания битумного вяжущего, Н;
- текучесть по Маршаллу всех уплотнённых образцов с расчётом среднего значения F_M для каждого содержания битумного вяжущего, 0,25 мм;

16.3 Для протокола результатов подбора оптимального количества вяжущего:

- оптимальные характеристики асфальтобетонных смесей G_{mb}, P_a, S_M для определения содержаний вяжущего P_b^G, P_b^A, P_b^S;
- содержания битумного вяжущего асфальтобетонных смесей P_b^G, P_b^A, P_b^S, %;
- расчёт и содержание оптимального количества битумного вяжущего P_{bo}, %;
- графики зависимостей характеристик P_a, $P_{0,075}/P_{be}$, VMA, VFA, S_M, F_M от содержания битумного вяжущего P_b, с обозначением нормированных диапазонов для проектируемой смеси;
- табличные данные испытаний асфальтобетонной смеси с оптимальным содержанием битумного вяжущего P_{bo}, удостоверяющие её соответствие требуемым нормированным характеристикам.

Обязательная форма оформления отчёта о проектировании асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла представлена в приложении А.

Приложение А

А.1 Обязательная форма отчёта проектирования по методологии Маршалла

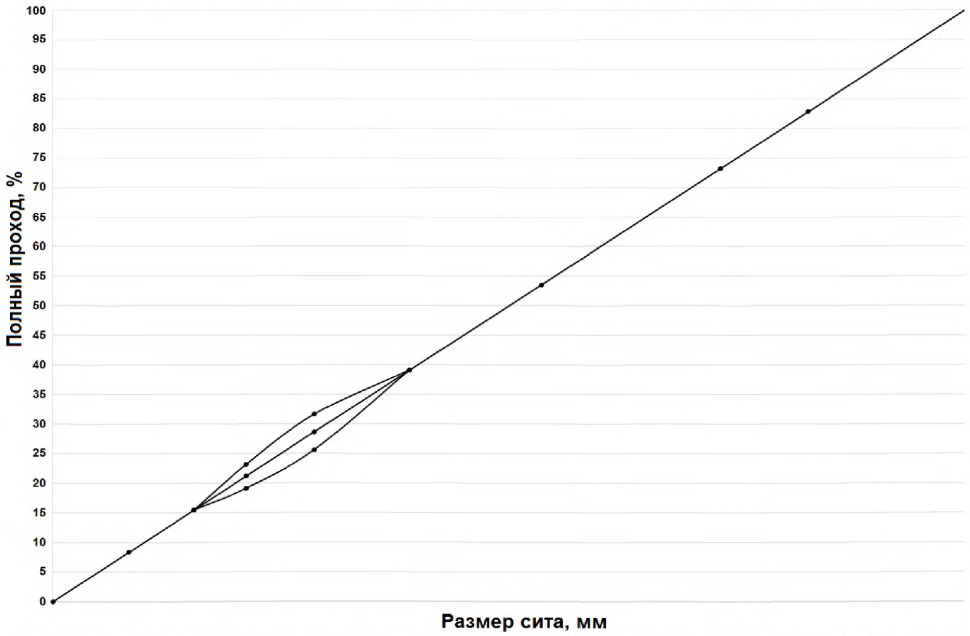
Наименование организации,
проводившей проектирование

ОТЧЁТ
№ _____ от _____
проектирования асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла
в соответствии с ОДМ 218.3.096-2017

1. Объект: _____
2. Тип асфальтобетонной смеси: _____; 3. Вид асфальтобетонной смеси: _____
4. Марка асфальтобетонной смеси: _____; 5. Марка битумного вяжущего: _____
6. Интенсивность движения: _____; 7. Уровень уплотнения по Маршаллу: ___ ударов
8. Примечания: _____

_____

1. Протокол результатов подбора минерального заполнителя



* - На графике необходимо обязательно указать кривые нормированного диапазона по контрольным точкам.

Количество фракции в смеси, %	Размер фракций, мм	Полный проход через сита, %											
		0,075 мм	0,15 мм	0,3 мм	0,6 мм	1,18 мм	2,36 мм	4,75 мм	9,5 мм	12,5 мм	19 мм	25 мм	37,5 мм
100	Полный проход всех фракций, %												
Полный проход нормированного диапазона, %	мин.												
	макс.												

2. Протокол результатов испытаний асфальтобетонных смесей

Уплотнение: ____ ударов Диаметр образца: _____ мм
Плотность битумного вяжущего G_b: _____ г/см^3
Объёмная плотность заполнителя G_{sb}: _____ г/см^3

Содержание абсорбированного вяжущего P_{ba}: _____%
Эффективное содержание вяжущего P_{be}: _____ %
Эффективная плотность заполнителя G_{se}: _____ г/см^3

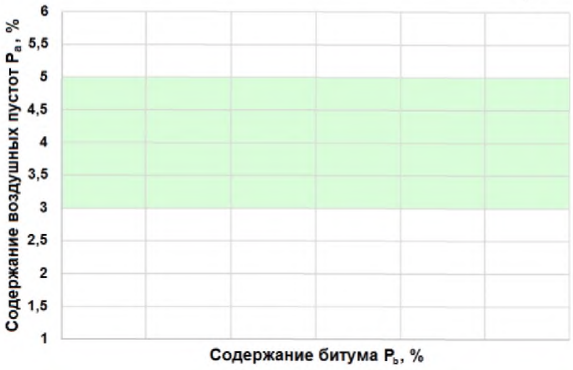
Отчёт №: _____
Дата: _____
Примечания: _____

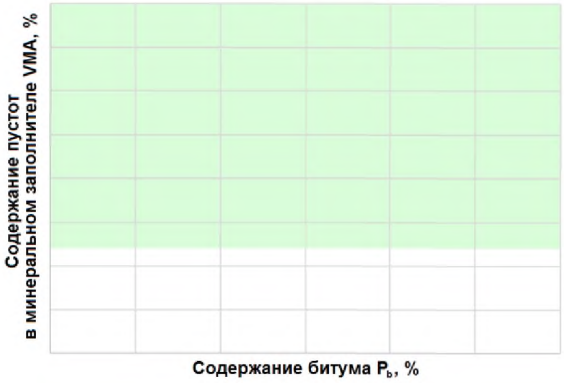
Содержание битумного вяжущего P_b / образец, % / №	Высота уплотнённого образца h, мм	Кажущийся объем образца V_{mb}, см^3	Объёмная плотность образца G_{mb}, г/см^3	Максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm}, г/см^3	Содержание воздушных пустот P_a, %	Содержание пустот в минеральном заполнителе VMA, %	Содержание пустот, наполненных битумом VFA, %	Стабильность по Маршаллу S_M, Н		Текучесть по Маршаллу F_M, 0,25 мм
								Измеренная	Скорректированная	
… / 1	…	…	…					…	…	…
… / 2	…	…	…					…	…	…
… / 3	…	…	…					…	…	…
… / среднее			**…**	**…**	**…**	**…**	**…**		**…**	**…**
… / 1	…	…	…					…	…	…
… / 2	…	…	…					…	…	…
… / 3	…	…	…					…	…	…
… / среднее			**…**	**…**	**…**	**…**	**…**		**…**	**…**
… / 1	…	…	…					…	…	…
… / 2	…	…	…					…	…	…
… / 3	…	…	…					…	…	…
… / среднее			**…**	**…**	**…**	**…**	**…**		**…**	**…**
… / 1	…	…	…					…	…	…
… / 2	…	…	…					…	…	…
… / 3	…	…	…					…	…	…
… / среднее			**…**	**…**	**…**	**…**	**…**		**…**	**…**
… / 1	…	…	…					…	…	…
… / 2	…	…	…					…	…	…
… / 3	…	…	…					…	…	…
… / среднее			**…**	**…**	**…**	**…**	**…**		**…**	**…**

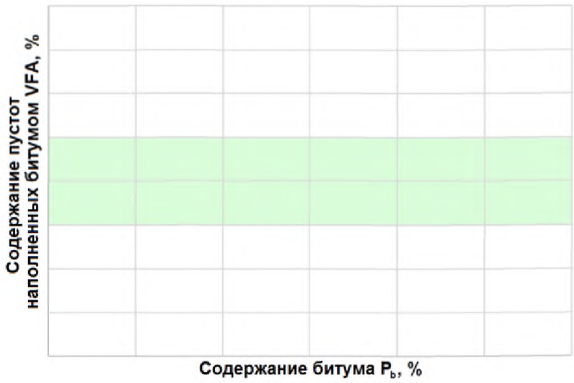
3. Протокол результатов подбора оптимального количества вяжущего

Объёмная плотность асфальтобетонной смеси G_{mb} = …… г/см^3	Содержание битумного вяжущего P_b^G = ……. %
Содержание воздушных пустот P_a = 4%	Содержание битумного вяжущего P_b^A = ……. %
Стабильность асфальтобетонной смеси по Маршаллу S_M = ……Н	Содержание битумного вяжущего P_b^S = ……. %

$$P_{bo} = \frac{P_b^G + P_b^A + P_b^S}{3} = \frac{\ldots + \ldots + \ldots}{3} = \ldots \quad , \%$$







Показатель	Содержание воздушных пустот P_a, %	Соотношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{be}$	Содержание пустот в минеральном заполнителе *VMA*, %	Содержание пустот, наполненных битумом *VFA*, %	Стабильность по Маршаллу S_M, Н	Текучесть по Маршаллу F_M, 0,25 мм
Проектное значение	…	…	…	…	…	…
Нормативное значение	от 3 до 5	…	…	…	…	…

Ответственный за отчёт:

_____ (должность) _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

УДК 625.856:006.354 ОКС 93.080.20 ОКП 57 1841
Ключевые слова: асфальтобетон, объёмное проектирование, метод Маршалла, минеральный заполнитель, вяжущее.

Руководитель разработки Е. Л. Дамье

_____
подпись

Разработчик ОДМ В. П. Иванов

_____
подпись