



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОБЪЕМНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ
ПО МЕТОДОЛОГИИ МАРШАЛЛА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)**

Москва 2019

Предисловие

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

Коллектив авторов: Е.Л. Дамье, В.П. Иванов.

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

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 28.05.2018 № 1872-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	5
4 Общие положения	6
5 Теоретические основы объемного проектирования по методологии Маршалла	6
6 Алгоритм объемного проектирования по методологии Маршалла	24
7 Особенности проектирования асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла	31
8 Влияние характеристик проектирования на эксплуатационные свойства плотных асфальтобетонных смесей	41
9 Соответствие ЦДМАС и смесей с открытым гранулометрическим составом, запроектированных по методологии Маршалла	50
10 Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	51
11 Требования к оборудованию и вспомогательным материалам...	51
12 Требования к условиям измерений	54
13 Подготовка образцов.....	54
14 Применение методологии Маршалла для смесей с крупным заполнителем	62
15 Испытания по определению физико-механических свойств асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла	62
16 Оформление результатов	66
Приложение А Обязательная форма отчета о проектировании асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла	69
Библиография	74

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

**Методические рекомендации по объемному
проектированию асфальтобетонных смесей
по методологии Маршалла**

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) устанавливает метод проектирования состава асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла, основанный на определении объемных свойств асфальтобетона.

1.2 Данный методический документ распространяется на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, предназначенные для устройства конструктивных слоев в дорожном, аэродромном, промышленном и гражданском строительстве.

1.3 Настоящий 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 методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

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. Перчатки. 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 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 30108–94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов

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

ГОСТ 32183–2013 Материалы битуминозные полутвердые. 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 52056–2003 Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия

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

ГОСТ Р 53228–2008 Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания

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

ПНСТ 73–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные мелкозернистые для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения объема пустот

ПНСТ 74–2015 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные крупнозернистые для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения содержания дробленых зерен

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 92–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения максимальной плотности

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

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

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

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

ПНСТ 110–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смесей 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»

ПНСТ 115–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы проектирования объемного состава по методологии Superpave

ПНС 123–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения потери массы под действием сульфата натрия или сульфата магния

ПНСТ 124–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы минеральные для приготовления асфальтобетонных смесей. Метод определения насыпной плотности и пустотности

ПНСТ 126–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные. Метод определения стекания вяжущего

ПНСТ 129–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные. Метод объемного проектирования

При пользовании настоящим методическим документом целесообразно проверить действие ссылочных документов 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 заменен (изменен), то при пользовании настоящим методическим документом

следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе 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, где остаток минерального заполнителя 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): Значение максимальной нагрузки, полученной при постоянной скорости деформирования до начала разрушения образца.

Примечание – Стабильность по Маршаллу характеризует устойчивость образца к стандартной нагрузке при температуре 60 °С в результате проведения испытаний.

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, которая 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 проводимых взвешиваний через промежутки времени, составляющие не менее 1 ч.

4 Общие положения

Настоящий методический документ разработан с учетом основных нормативных положений и указаний [1] и входит в комплекс документов, нормирующих метод объемного проектирования асфальтобетонных смесей в Российской Федерации.

Для каждого выбранного гранулометрического состава заполнителей назначается пять разных значений содержания битума. Полученные смеси испытывают для определения объемных свойств и физико-механических показателей с целью подбора оптимального количества вяжущего. По проведенным испытаниям составляется отчет, в котором результаты испытаний 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 возможности использования местных материалов. При проектировании по методологии Маршалла оптимальное количество вяжущего в смеси подбирается таким образом, чтобы содержание воздушных пустот в уплотненных образцах составляло $(4 \pm 1) \%$.

5 Теоретические основы объемного проектирования по методологии Маршалла

5.1 Общие положения

5.1.1 В связи с тем что при традиционном проектировании асфальтобетонной смеси основные эксплуатационные свойства не определяются напрямую, содержание битумного вяжущего должно подбираться на основании измеряемого параметра, который позволяет наилучшим образом осуществлять контроль за эксплуатационными характеристиками покрытия. В ходе многосторонних исследований было установлено, что таким параметром является содержание воздушных пустот, проектный уровень которого был принят в диапазоне от 3 % до 5 %, внутри этого диапазона оптимальное значение для проектирования асфальтобетонной смеси с целью получения требуемых свойств – 4 %. После определения оптимального значения содержания воздушных пустот результаты тестирования смеси в незначительной степени могут быть скорректированы. Объемные свойства уплотненного асфальтобетона являются важным критерием, по которому производится оценка асфаль-

тобетонной смеси, они определяются исходя из значений ее массы и (или) объема и составляющих компонентов (вяжущего, заполнителя, воздуха). Практика показала, что по объемным свойствам смеси можно достаточно точно спрогнозировать дальнейшие эксплуатационные характеристики асфальтобетона на протяжении всего срока службы покрытия.

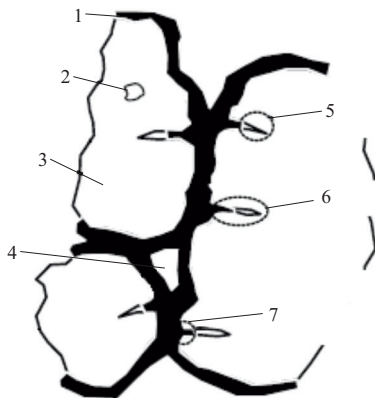
5.1.2 Термин «объемный» применительно к асфальтобетонной смеси подразумевает использование измерений по массе M и объему V для установления различных соотношений. Объемные свойства часто определяются как содержание в общем объеме смеси отдельно заполнителя или вяжущего. Отношение между массой и объемом является плотностью материала G .

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. Применение описанных принципов позволяет рассчитывать массу или объем на основании имеющихся данных.

5.1.3 Некоторые типы плотности устанавливаются в ходе анализа объемных свойств асфальтобетонной смеси. Для каждого типа плотности назначаются определенные масса (вяжущего и (или) заполнителя) и объем (воздуха, вяжущего, заполнителя или их комбинаций). Для нахождения плотности можно использовать показатель объема заполнителя с учетом водопроницаемых пустот или показатель объема с учетом водопроницаемых пустот, не заполненных абсорбированным битумным вяжущим (так как битумное вяжущее имеет большую вязкость, чем вода, оно не способно проникать в пустоты заполнителя в той же степени, как и вода). На рисунке 1 показан характерный вид заполнителя, битума и воздушных пустот в асфальтобетонной смеси под микроскопом.

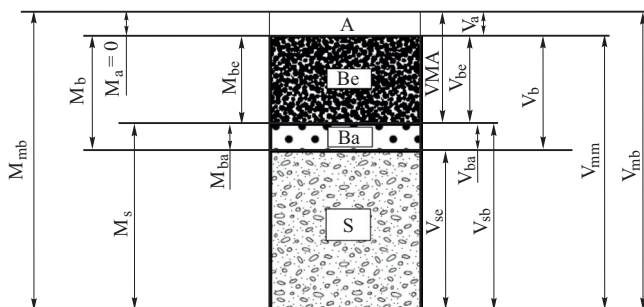
5.1.4 Зная различные массы и объемы, использующиеся при расчете объемных характеристик уплотненной асфальтобетонной смеси, можно построить фазовую схему (рисунок 2). В этом случае смесь разбивается по компонентам: воздух, эффективное вяжущее (неабсорбированное), абсорбированное вяжущее и заполнитель.

Различные типы плотности, описанные в подразделе 5.3, могут либо определяться напрямую, либо рассчитываться на основании результатов лабораторных испытаний вяжущего, заполнителей и асфальтобетонной смеси. С помощью фазовой диаграммы можно составить уравнения для расчета объемных свойств.



1 – эффективное содержание вяжущего (неабсорбированного заполнителем);
 2 – непроницаемые пустоты; 3 – заполнитель;
 4 – воздушные пустоты;
 5 – водонепроницаемые пустоты, не заполненные битумом;
 6 – водопроницаемые пустоты;
 7 – пустоты, заполненные битумом (битум, абсорбированный заполнителем)

Рисунок 1 – Характерное изображение заполнителя, битума и воздушных пустот в асфальтобетонной смеси под микроскопом



A – воздух (Air); Bc – вяжущее эффективное (Binder effective);
 Ba – вяжущее абсорбированное (Binder absorbed);
 S – заполнитель (Stone);
 остальные величины приведены в подразделе 5.2

Рисунок 2 – Фазовая схема объемных характеристик асфальтобетонной смеси

5.2 Индексация объемных характеристик по методологии Маршалла

5.2.1 В ходе проектирования смеси проводится ряд лабораторных испытаний для определения плотности асфальтобетонной смеси и ее компонентов. Для обозначения показателей объемных характеристик асфальтобетонных смесей используются различные индексы.

5.2.2 Начальная заглавная буква соответствует характеристикам:

- G (Gravity) – плотность;
- M (Mass) – масса;
- V (Volume) – объем;
- P (Percent) – процентное содержание.

5.2.3 Буква, следующая за начальной в нижнем регистре, характеризует материал:

- a (air) – воздух;
- b (binder) – вяжущее;
- s (stone) – заполнитель;
- m (mix) – смесь.

5.2.4 Вторая буква в нижнем регистре дает сведения о характере показателя:

- a (absorbed) – абсорбированный (только для вяжущего);
- a (apparent) – истинный (только для заполнителя);
- b (bulk) – объемный (кажущийся – только для объема);
- e (effective) – эффективный;
- m (maximum) – максимальный;
- o (optimum) – оптимальный.

5.2.5 Четвертая буква, которая следует за начальной заглавной и двумя последующими в нижнем регистре, отражает дополнительные сведения о заполнителе:

- c (coarse) – крупнозернистый;
- f (fine) – мелкозернистый.

5.3 Номенклатура объемных характеристик по методологии Маршалла

5.3.1 Плотность вяжущего G_b ($\text{Gravity}_{\text{binder}}$) – это масса единицы объема вяжущего, которая обычно находится в пределах от 1,00 до 1,05 г/см³.

5.3.2 Общая объемная плотность заполнителя G_{sb} ($\text{Gravity}_{\text{stone bulk}}$) г/см³, – это отношение массы заполнителя, просушенного в печи, к объему заполнителя с учетом объема водопроницаемых и водонепроницаемых пустот.

• Определение объемной плотности крупнозернистого заполнителя $G_{\text{сbc}}$, г/см³, выполняется в соответствии с ПНСТ 78–2015 как для объемной плотности S_d по формуле

$$G_{\text{сbc}} = \frac{A}{B - C} \rho_{\text{в}}, \quad (1)$$

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

B – то же, на воздухе после его выдерживания в воде в течение (17 ± 2) ч, г;

C – то же, в воде после его выдерживания в ней в течение (17 ± 2) ч, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды при температуре испытания 23 °С, равная 0,997 г/см³.

• Определение объемной плотности мелкозернистого заполнителя $G_{\text{сbf}}$, г/см³, осуществляется в соответствии с ПНСТ 71–2015 как для объемной плотности S_d по формуле

$$G_{\text{сbf}} = \frac{A}{B + S - C} \rho_{\text{в}}, \quad (2)$$

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 колбу, г;

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

• Определение общей объемной плотности заполнителя $G_{\text{сб}}$, г/см³, из несортированного отвала выполняется как сочетание показателей для крупнозернистой и мелкозернистой фракций по следующей формуле:

$$G_{\text{сб}} = \frac{P_{\text{сbc}} + P_{\text{сbf}}}{\frac{P_{\text{сbc}}}{G_{\text{сbc}}} + \frac{P_{\text{сbf}}}{G_{\text{сbf}}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{сbc}}$ – содержание крупнозернистого заполнителя, удерживаемого на сите с ячейкой размером 4,75 мм, в общей несортированной пробе, % по массе;

$P_{\text{сbf}}$ – содержание мелкозернистого заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 4,75 мм, в общей несортированной пробе, % по массе.

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

Для отвалов, включающих в себя крупнозернистую и мелкозернистую фракции, должно определяться только одно значение объемной плотности.

• Как только была определена объемная плотность для каждой фракции заполнителя, необходимо рассчитать общую объемную плотность всей смеси G_{sb} , г/см³, используемых фракций заполнителя по формуле

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}, \quad (4)$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ – содержание каждой фракции заполнителя 1, 2, ..., n в общей смеси, % по массе;

$G_1, G_2, \dots, G_n$ – объемная плотность каждой фракции заполнителя 1, 2, ..., n, г/см³.

Формула (4) используется для оценки G_{sb} в ходе испытаний по проектированию смеси. Рассчитанные значения объемных плотностей для крупнозернистого и мелкозернистого заполнителей могут быть проверены путем дозирования комбинированного заполнителя, разделения его на фракции при помощи сита с ячейкой размером 4,75 мм и определения G_{sbc} проектного крупнозернистого и G_{sbf} мелкозернистого заполнителей. Процесс разделения смеси заполнителей на фракции через сито с ячейкой размером 4,75 мм и нахождения значений объемной плотности отдельно для крупной и мелкой фракций смеси часто применяется для проверки результатов проектирования смеси и контроля качества полученной смеси на АБЗ, используемой в дальнейшем на участке проведения работ.

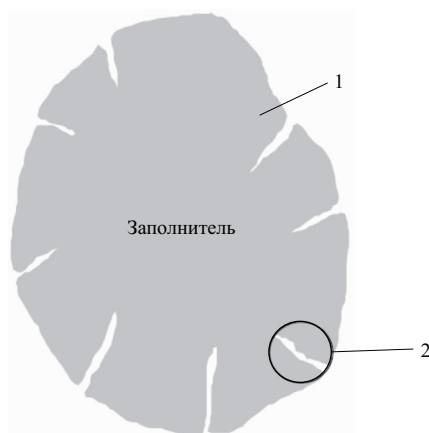
Общую объемную плотность G_{sb} можно также определить по следующей формуле:

$$G_{sb} = \frac{A}{V_{sb}}, \quad (5)$$

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

V_{sb} – кажущийся объем минерального заполнителя, см³.

Кажущийся объем минерального заполнителя – это совокупность объемов твердой фазы заполнителя и водопроницаемых пустот (рисунок 3).



1 – объем твердой фазы;

2 – объем водопроницаемых пор

Рисунок 3 – Иллюстрация объемных характеристик

5.3.3 Общая истинная плотность заполнителя G_{sa} (Gravity_{stone apparent}), г/см³, – 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 применяется для расчета G_{sb} , поэтому G_{sa} всегда будет больше G_{sb} .

В ходе лабораторных испытаний по расчету общей объемной плотности G_{sb} также можно получить данные для упрощенного определения двух дополнительных свойств заполнителей: общей истинной плотности G_{sa} и степени абсорбции воды заполнителем. Эти расчеты не требуются для нахождения объемных свойств смеси, но могут служить ценным инструментом для специалиста, проектирующего смесь при контроле качества. Степень абсорбции заполнителя указывает на конечные характеристики смеси. Использование заполнителей с высокой степенью абсорбции повлечет за собой дополнительный расход вяжущего для заполнения водопроницаемых пустот, что повысит стоимость асфальтобетонной смеси. Характерным явлением для заполнителей является то, что они абсорбируют вяжущее в объеме, равном 40 %–80 % объема водопроницаемых пустот.

Для того чтобы найти эти значения для общей смеси заполнителей, применяются различные методики, которые зависят от способа вычисления G_{sb} . Если испытания по расчету G_{sb} проводились отдельно для каждой фракции, то G_{sa} и степень абсорбции также следует определять отдельно для каждой фракции, а затем совмещать данные для нахождения значения, соответствующего конечной смеси. Если G_{sb} рассчитывалась на отдельных образцах крупнозернистого и мелкозернистого заполнителей из какого-либо отвала, то для определения G_{sa} используется формула (8), а абсорбции Abs для этого отвала – формула (12).

Как только будут найдены значения G_{sa} для каждого отвала, их необходимо совместить для получения данных по конкретной смеси. Для этого может использоваться формула (9).

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

5.3.4 Определение истинной плотности крупнозернистого заполнителя G_{sac} , г/см³, выполняется в соответствии с ПНСТ 78–2015 как для максимальной плотности S_a по формуле

$$G_{sac} = \frac{A}{A - C} \rho_b, \quad (6)$$

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

C – то же, в воде после его выдерживания в течение (17 ± 2) ч, г.

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

5.3.5 Определение истинной плотности мелкозернистого заполнителя G_{saf} , г/см³, осуществляется в соответствии с ПНСТ 71–2015 как для максимальной плотности S_a по формуле

$$G_{saf} = \frac{A}{B + A - C} \rho_b \quad (7)$$

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

B – масса пикнометрической колбы с водой, г;

C – то же, с минеральным заполнителем и водой, наполненной до отметки, г.

5.3.6 Определение общей истинной плотности G_{sa} , г/см³, несортированного заполнителя из одного отвала выполняется как сочетание показателей для крупнозернистой и мелкозернистой фракций по следующей формуле:

$$G_{sa} = \frac{P_{sac} + P_{saf}}{\frac{P_{sac}}{G_{sac}} + \frac{P_{saf}}{G_{saf}}}, \quad (8)$$

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

P_{saf} – содержание мелкозернистого заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 4,75 мм, к общей несортированной пробе, % по массе.

Для отвалов, включающих как крупную, так и мелкую фракции, должно определяться только одно значение общей истинной плотности.

5.3.7 Как только была найдена истинная плотность для каждой фракции заполнителя, необходимо рассчитать общую истинную плотность G_{sa} , г/см³, всей смеси используемых фракций заполнителя по формуле

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{a1}} + \frac{P_2}{G_{a2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{an}}}, \quad (9)$$

где G_{a1} , G_{a2} , ..., G_{an} – истинная плотность каждой фракции заполнителя 1, 2, ..., n, г/см³.

Для определения общей истинной плотности заполнителя G_{sa} , г/см³, также можно использовать формулу

$$G_{sa} = \frac{A}{V_{sa}}, \quad (10)$$

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

V_{sa} – истинный объем заполнителя, см³.

Истинный объем минерального заполнителя V_{sa} – это объем его твердой фазы (см. рисунок 3).

5.3.8 Абсорбционная способность заполнителя (абсорбция) Abs – это свойство минерального заполнителя наполняться водой за счет своей поглощающей способности.

Этот показатель необходим для специалистов, проектирующих смеси и работающих в лаборатории. Абсорбция характеризует качество заполнителя, при высоком ее значении требуется больший объем вяжущего. Абсорбция вяжущего обычно составляет 40 %–80 % от степени абсорбции воды.

Абсорбция Abs, %, для мелкозернистых и крупнозернистых фракций заполнителя рассчитывается по одной методике, указанной как в ПНСТ 71–2015, так и ПНСТ 78–2015, с использованием формулы

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

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

B – масса водонасыщенной пробы с просушенной поверхностью, г.

Расчет общей абсорбции для смеси разных фракций заполнителя выполняется на основе его средних арифметических значений, так как величина Abs представляет собой процент от массы и не включает дополнительных расчетов.

Общая абсорбция Abs, %, для всей смеси заполнителей рассчитывается согласно ПНСТ 78–2015 по следующей формуле:

$$\text{Abs} = \frac{P_1 \text{Abs}_1 + P_2 \text{Abs}_2 + \dots + P_n \text{Abs}_n}{100}, \quad (12)$$

где Abs₁, Abs₂, ..., Abs_n – абсорбция для каждой фракции заполнителя 1, 2, ..., n, %.

5.3.9 Содержание заполнителя P_s (Percent_{stone}) – это общее содержание заполнителя в асфальтобетонной смеси, выраженное в процентах от общей массы смеси.

5.3.10 Содержание вяжущего P_b (Percent_{binder}) – это общее содержание битумного вяжущего в асфальтобетонной смеси, выраженное в процентах от общей массы смеси.

Для смеси справедливо выражение P_s + P_b = 100 %.

5.3.11 Максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm} (Gravity_{mix maximum}), г/см³, – это отношение массы асфальтобетонной смеси к единице объема без учета воздушных пустот.

Для того чтобы рассчитать объемные характеристики смеси, необходимо определить максимальную G_{mm} и объемную плотность G_{mb} для каждого пробного содержания вяжущего, использующегося при ее проектировании. Процесс уплотнения смеси позволяет найти значение G_{mb} для каждого образца, затем эти значения усредняются. Вследствие того что G_{mm} непосредственно связана с объемом битумного вяжущего, абсорбированного заполнителем, существует и другой способ рас-

чета, при котором абсорбция вяжущего принимается за постоянную величину, не зависящую от его количества, добавляемого в смесь, при условии, что содержание этого вяжущего превышает величину его абсорбции заполнителем. Такой подход позволяет специалисту, проектирующему смесь, подготовить образец и определить значение G_{mm} при одной величине содержания вяжущего. Максимальная плотность G_{mm} для оставшихся величин может быть рассчитана с учетом эффективной плотности заполнителя G_{se} , которая является постоянной величиной и может использоваться для обратного расчета G_{mm} при любом количестве вяжущего.

5.3.12 Определение максимальной плотности асфальтобетонной смеси G_{mm} при любом содержании вяжущего может осуществляться визуально при помощи схемы, показанной на рисунке 2, и рассчитываться по следующей формуле:

$$G_{mm} = \frac{M_{mb}}{V_{mm}}, \quad (13)$$

где M_{mb} – объемная масса асфальтобетонной смеси, г;

V_{mm} – объем минерального заполнителя и вяжущего, см^3 .

Значение G_{se} используется для расчета G_{mm} при каждом требуемом содержании вяжущего. Этот шаг не является обязательным, если специалист, проектирующий смесь, проводит испытания по определению G_{mm} при каждом пробном его количестве.

Расчет G_{mm} при любом содержании вяжущего осуществляется с использованием значения G_{se} по следующей формуле:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}. \quad (14)$$

Следует обратить внимание на то, что по мере повышения количества вяжущего в асфальтобетонной смеси значение G_{mm} будет уменьшаться. Это происходит потому, что количество заполнителя, который имеет более высокую плотность, снижается в единице объема при увеличении процентного содержания вяжущего, которое имеет меньшую плотность.

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

Для вычисления величин G_{sb} , G_{sa} и G_{se} используется одна и та же масса (заполнителя, просушенного в печи), но разная по объему.

Из уравнения по определению плотности следует, что при наименьшем значении объема значение плотности будет наибольшим. Так как объемы равны при нулевой абсорбции, должно выполняться условие

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

5.3.14 Если в лаборатории определяется только одно значение G_{mm} , специалист по проектированию смеси может выбрать такое содержание вяжущего, которое соответствует предполагаемому проектному или превышает его, для того чтобы гарантировать равномерное покрытие заполнителя и минимизировать проникание воды в него при проведении испытаний в вакууме. После нахождения среднего значения G_{mm} для двух образцов с одинаковым (или разным) содержанием вяжущего G_{se} может быть рассчитана по следующей формуле:

$$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}. \quad (16)$$

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

$$G_{se} = \frac{A}{V_{se}}, \quad (17)$$

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

V_{se} – эффективный объем заполнителя, см^3 .

Эффективный объем заполнителя V_{se} – это совокупность объема твердой фазы заполнителя и объема водопроницаемых пор, не заполненных вяжущим (рисунок 4).



1 – объем твердой фазы;

2 – объем водопроницаемых пор, не заполненных вяжущим

Рисунок 4 – Изображение эффективного объема заполнителя V_s

5.3.16 Объемная плотность асфальтобетона G_{mb} ($\text{Gravity}_{\text{mix bulk}}$) – это отношение массы уплотненного асфальтобетона к единице объема вместе с порами и пустотами.

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

5.3.17 Содержание воздушных пустот P_a ($\text{Percent}_{\text{air}}$) – это объем воздуха в уплотненной асфальтобетонной смеси, выраженный в процентах от ее общего объема.

Значение P_a может быть визуально определено по фазовой схеме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующей формуле:

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

где V_a – объем воздушных пустот, см^3 ;

V_{mb} – кажущийся объем асфальтобетонной смеси, см^3 .

Воздушные пустоты – это небольшие заполненные воздухом промежутки между частицами заполнителя, покрытого вяжущим.

5.3.18 Содержание воздушных пустот P_a может быть определено различными способами, но наиболее часто используется методика ПНСТ 108–2016 с расчетом по следующей формуле:

$$P_a = 100 - \frac{100G_{mb}}{G_{mm}} = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right). \quad (19)$$

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

5.3.19 Содержание пустот в минеральном заполнителе VMA (Voids in the Mineral Aggregate), которые образованы его структурой в уплотненной асфальтобетонной смеси, выражается в процентах от общего объема смеси. Оно складывается из объема воздушных пустот и эффективного количества вяжущего (не абсорбированного заполнителем).

Определение VMA возможно на основе объемной плотности заполнителя и выражается в процентах от кажущегося объема уплотненной асфальтобетонной смеси. Поэтому VMA может быть рассчитано как разница кажущегося объема уплотненной асфальтобетонной смеси и объема заполнителя, определенного исходя из его объемной плотности.

Содержание VMA может быть визуально найдено по фазовой схеме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующей формуле:

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

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

В большинстве случаев VMA вычисляется по следующей формуле:

$$\text{VMA} = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}. \quad (21)$$

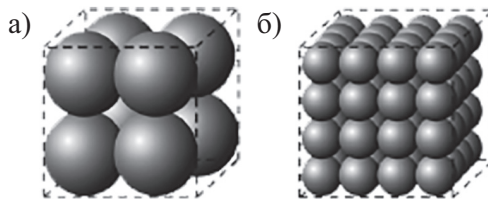
Уравнения, приведенные выше, используются для анализа состава асфальтобетонной смеси, который определяется в процентном содержании по массе от общей массы смеси.

Если состав смеси определяется как процент по массе заполнителя, то для расчета VMA следует принимать следующую формулу:

$$\text{VMA} = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100. \quad (22)$$

Так как VMA не включает в себя водопроницаемые пустоты в заполнителе, для его расчета следует использовать объемную плотность заполнителя G_{sb} .

При проектировании асфальтобетонной смеси с уменьшением номинального максимального размера заполнителя площадь поверхности его общей структуры увеличивается, как это показано на рисунке 5. Поэтому содержание вяжущего, необходимое для качественного покрытия частиц заполнителя, также возрастает. Так как проектное содержание воздушных пустот P_a остается неизменным, VMA должно увеличиваться для дополнительного битумного вяжущего.



а – структура асфальтобетонной смеси с номинальной площадью (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);

б – то же, с увеличенной площадью (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 5 – Влияние номинального максимального размера заполнителя на содержание вяжущего

5.3.20 На содержание пустот в минеральном заполнителе VMA уплотненной асфальтобетонной смеси влияют многие факторы, некоторые из них приведены ниже.

- Второстепенные факторы:

- тип вяжущего – более вязкие вяжущие вне зависимости от того, модифицированные они или нет, могут увеличивать сопротивляемость асфальтобетонной смеси к уплотнению как в лабораторных условиях, так и на месте производства работ. Это также может происходить по мере снижения температуры вяжущего ввиду повышения его вязкости;

- качество вяжущего – битумное вяжущее в смеси играет роль смазки, в связи с чем увеличивается способность структуры заполнителя к уплотнению. Небольшие изменения в содержании вяжущего (при проектном или близком к проектному) незначительно влияют на величину VMA уплотненной смеси (подраздел 8.3);

- температура образца – по мере того как температура смеси снижается, общая вязкость увеличивается, что приводит к повышению устойчивости смеси к уплотнению в лабораторных условиях и на месте производства работ, а значит, растет VMA. Существуют присадки, которые добавляются в теплую смесь при приготовлении и уменьшают ее вязкость при остывании;

- форма, прочность и текстура заполнителя – эти характеристики являются субъективными и трудноизмеримыми. Материалы угловатые, имеющие кубическую форму, с грубой текстурой поверхности заполнителя повышают устойчивость смеси к уплотнению. Прочность заполнителя очень важна, так как хрупкий материал будет деформироваться или разрушаться при уплотнении, что приведет к изменению гранулометрического состава и значительно повлияет на значение VMA.

- Основные факторы:

- величина уплотнительного усилия – важно помнить, что пустоты в минеральном заполнителе – это общее пространство между частицами заполнителя в уплотненной асфальтобетонной смеси. Количество ударов молота при уплотнении, которое используется в ходе проектирования опытных образцов по методологии Маршалла, оказывает существенное влияние на значение VMA. Чем больше количество ударов, тем ниже будет значение VMA в уплотненном образце;

- гранулометрический состав заполнителя – этот показатель является наиболее важным фактором, определяющим величину VMA. Для того чтобы специалисту по проектированию смесей было легче их формировать, необходимо знать принципы построения графиков

гранулометрического состава. Достаточно сложно прогнозировать VMA асфальтобетонной смеси только на основании гранулометрического состава.

На конечное значение VMA оказывают влияние все факторы, описанные выше. Конечное значение VMA различных смесей не может быть определено до того момента, пока они не будут уплотнены при определенном числе ударов молота.

5.3.21 Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе после сухого штыкования VCA_{DRC} (Voids in Coarse Aggregate_{Dry-Rodded Coarse}) выражается в процентах от общего объема крупнозернистого заполнителя. Пустоты образованы структурой заполнителя в уплотненной (сухим штыкованием) крупнозернистой смеси (проходящей через сито с ячейкой размером 4,75 мм).

5.3.22 Цель определения в крупнозернистом заполнителе VCA_{DRC} заключается в подтверждении обеспечения требуемого контакта крупных зерен каркасного скелета в проектируемом составе смеси.

Количество пустот VCA_{DRC} определяется согласно ПНСТ 124–2016 как для пустотности Р в соответствии с формулой

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

где G_{DRC} – объемная плотность крупнозернистого заполнителя после сухого уплотнения штыкованием, г/см³.

5.3.23 Содержание пустот в крупнозернистом заполнителе уплотненной асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} (Voids in Coarse Aggregate_{MIXture}) определяется как процентное отношение пустот, образованных структурой крупного заполнителя, к общему объему асфальтобетонной смеси, включающей в себя остальные компоненты (мелкозернистый заполнитель, вяжущее, стабилизирующие добавки, воздушные пустоты), по формуле

$$VCA_{MIX} = 100 - \frac{G_{mb}P_{sc}}{G_{sbc}} 100, \quad (24)$$

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

5.3.24 Содержание пустот VCA_{MIX} необходимо определять для оценки наличия скелетного каркаса, образованного крупнозернистым заполнителем при условии контакта крупных зерен между собой. Скелетный каркас обеспечивается только в случае соблюдения следующего неравенства:

$$VCA_{MIX} \leq VCA_{DRC}. \quad (25)$$

5.3.25 Содержание пустот, заполненных битумом VFA (Voids Filled with Asphalt), – это процентное содержание пустот в минеральном заполнителе, в которых находится эффективное вяжущее (неабсорбированный заполнитель).

Значение VFA, так же как и VMA, имеет тенденцию к повышению по мере того, как уменьшается размер заполнителя и увеличивается его общая площадь поверхности.

5.3.26 Содержание пустот VFA, %, может быть визуальным определено по фазовой схеме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующей формуле:

$$VFA = 100 \frac{V_{be}}{V_{be} + V_a}. \quad (26)$$

В большинстве случаев VFA вычисляется по следующей формуле:

$$VFA = 100 \frac{VMA - P_a}{VMA}. \quad (27)$$

5.3.27 Содержание абсорбированного вяжущего P_{ba} (Percent_{binder absorbed}) – это содержание вяжущего, абсорбированного в заполнителе, которое 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 его массы. Если абсорбция определялась из общей массы смеси, то значение P_{ba} изменится при расчете на основании количества вяжущего, добавленного в асфальтобетонную смесь.

5.3.28 Содержание абсорбированного вяжущего P_{ba} , %, может быть визуальным определено по фазовой схеме, показанной на рисунке 2, и рассчитано по следующей формуле:

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

где M_{ba} и M_s – масса соответственно абсорбированного битума и заполнителя, г.

Для расчета P_{ba} наиболее часто используется следующая формула:

$$P_{ba} = 100 \frac{(G_{sc} - G_{sb})}{(G_{sc} G_{sb})} G_b. \quad (29)$$

5.3.29 Содержание эффективного вяжущего P_{be} (Percent_{binder effective}) – это количество вяжущего, которое обволакивает заполнитель в асфальтобетонной смеси, но не абсорбируется в него, выражается как процент от общей массы смеси.

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

5.3.30 Следует обратить внимание на то, что математически $P_{ba} + P_{be} \neq P_b$, так как P_{ba} представляет собой процент от общей массы заполнителя, а P_{be} – от общей массы смеси. Тем не менее массы заполнителя и всей смеси настолько близки по значению, что при расчетах с точностью до 0,1 % сумма абсорбированного и эффективного вяжущего обычно равна общему количеству вяжущего.

Исходя из фазовой схемы, приведенной на рисунке 2, P_{be} , %, может быть определено по формуле

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

где M_{be} , M_{mb} – масса соответственно эффективного вяжущего и асфальтобетонной смеси, г.

Для расчета P_{be} наиболее часто используется следующая формула:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} P_s}{100}. \quad (31)$$

5.3.31 Отношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{be}$ асфальтобетонной смеси иногда называют «пропорция пылевидных частиц» – это отношение содержания заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 0,075 мм $P_{0,075}$ к эффективному содержанию битума P_{be} . Обычно диапазон данного отношения составляет от 0,6 до 1,2, за исключением следующих случаев:

- для смесей с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм допустимый диапазон равен 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.

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

Данная характеристика относится к рабочим свойствам этих смесей. При низких значениях $P_{0,075}/P_{be}$ смесь будет, как правило, получаться слишком мягкой, с недостаточной сцепляемостью. Такая смесь плохо уплотняема, так как имеет тенденцию к растеканию под давлением вальцов катка. По мере увеличения содержания пылевидных частиц смесь будет более уплотняемой, но при слишком

высоком его значении она снова становится мягкой. Смеси с большой величиной $P_{0,075}/P_{be}$ имеют склонность к микрорастрескиванию в ходе уплотнения и образованию так называемых усадочных трещин. Отношение $P_{0,075}/P_{be}$ чаще всего рассчитывается для жестких асфальтобетонных смесей.

6 Алгоритм объемного проектирования по методологии Маршалла

6.1 Общие положения

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

6.2 Номенклатурное определение асфальтобетонной смеси как цели проектирования

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

6.2.2 В зависимости от количества зерен, прошедших через первичное контрольное сито (далее – проход), асфальтобетонные смеси классифицируют как:

- мелкозернистые – смеси, у которых проход на первичном контрольном сите превышает значение, указанное в таблице 1;
- крупнозернистые – смеси, у которых проход 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
Размер ячеек первичного контрольного сита, мм	9,5	4,75	4,75	2,36	2,36
Проход на первичном контрольном сите, %	47	40	47	39	47

6.2.3 Асфальтобетонные смеси в зависимости от проектного количества воздушных пустот подразделяют:

- на 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 %.

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

- с непрерывным гранулометрическим составом;
- прерывистым гранулометрическим составом.

6.3 Подбор минерального заполнителя

Минеральный заполнитель подбирается следующим образом:

• определяется соответствие заполнителя физико-механическим свойствам:

- по марке по дробимости, потере массы при истирании,
- стойкости к воздействию сульфата натрия (сульфата магния),
- содержанию примесей,
- количеству пластинчатых и угловатых зерен,
- количеству дробленых зерен;
- определяется соответствие заполнителя требованиям объемных свойств:

- по номинальному максимальному размеру,
- плотности,
- абсорбционной способности,
- зерновому составу.

6.4 Подбор битумного вяжущего

6.4.1 Тип и марка битумного вяжущего подбираются в соответствии с требуемыми эксплуатационными характеристиками (раздел 8).

6.4.2 Проектное, приблизительное количество битумного вяжущего определяется в соответствии с разделом 7. В случае проектирования щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС) содержание битумного вяжущего должно быть не менее 6 %.

6.5 Подготовка асфальтобетонной смеси, изготовление образцов, проведение расчетов и испытаний

6.5.1 Осуществляется смешивание исходных компонентов асфальтобетонной смеси с различным содержанием вяжущего и изготовление необходимого количества соответствующих образцов для дальнейших испытаний (раздел 13) с учетом требуемой степени уплотнения.

6.5.2 Необходимо провести испытания и вычисление следующих ранее описанных объемных характеристик асфальтобетонных смесей для каждого количества битумного вяжущего:

- максимальной плотности смеси G_{mm} в соответствии с пунктом 5.3.5 или по ПНСТ 92–2016;
- объемной плотности G_{mb} в соответствии с ПНСТ 106–2016 или ПНСТ 107–2016;
- процентного содержания воздушных пустот P_a в соответствии с пунктом 5.3.8 или ПНСТ 113–2016;
- общей объемной плотности минерального заполнителя G_{sb} в соответствии с подпунктом 5.3.1.2 или ПНСТ 115–2016;
- процентного содержания пустот в минеральном заполнителе в уплотненной асфальтобетонной смеси VMA в соответствии с пунктом 5.3.9;
- процентного содержания пустот, заполненных битумом, в уплотненной асфальтобетонной смеси VFA в соответствии с пунктом 5.3.10.

6.5.3 Затем следует выполнить испытания по определению физико-механических показателей уплотненных асфальтобетонных смесей с различным содержанием битумного вяжущего:

- стабильности по Маршаллу;
- текучести по Маршаллу.

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

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

6.6.2 Выбор оптимального количества битумного вяжущего P_{bo} для асфальтобетонной смеси осуществляется 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.

- Находится количество битумного вяжущего P_b^G при максимальном значении объемной плотности асфальтобетонной смеси (рисунок 6).

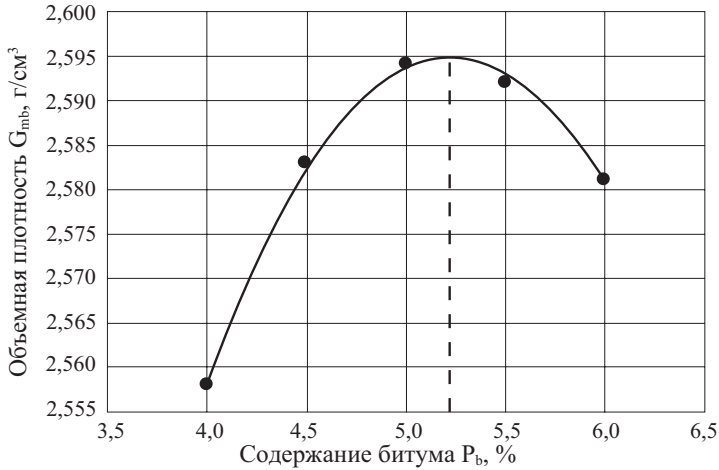


Рисунок 6 – Определение количества битумного вяжущего P_b^G в зависимости от объемной плотности асфальтобетонной смеси G_{mb}

- Определяется количество битумного вяжущего P_b^A по содержанию воздушных пустот P_a , равному 4 % (рисунок 7).

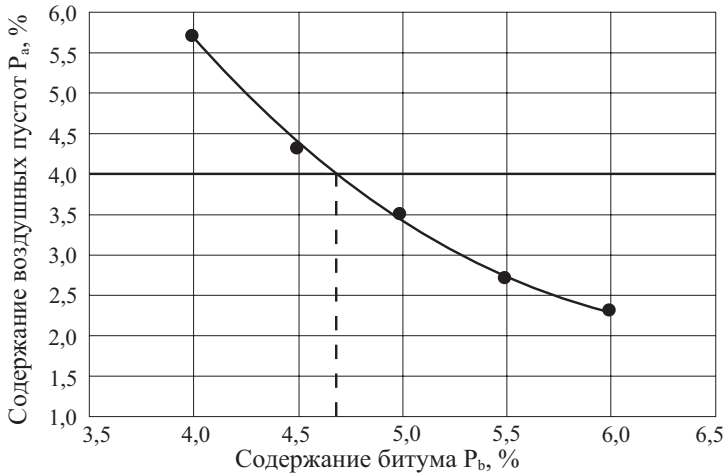


Рисунок 7 – Определение количества битумного вяжущего P_b^A в зависимости от содержания воздушных пустот P_a

- Находится P_b^s по максимальному значению показателя стабильности асфальтобетонной смеси по Маршаллу S_m (рисунок 8).

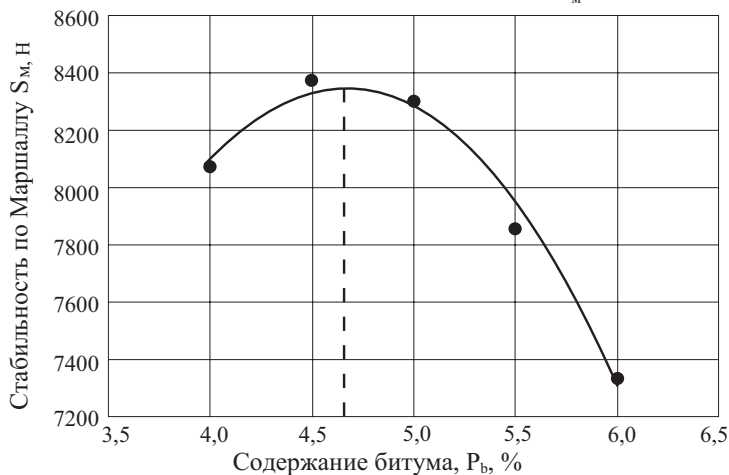


Рисунок 8 – Определение количества битумного вяжущего P_b^s по стабильности по Маршаллу S_m

- Производится расчет оптимального количества битумного вяжущего P_{bo} , %, по следующей формуле:

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

На основании данных, приведенных на рисунках 6–8, и в соответствии с формулой (32) находят оптимальное количество битумного вяжущего, которое составляет

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

- Дополнительно необходимо удостовериться, что при выбранном оптимальном количестве битумного вяжущего P_{bo} остальные характеристики асфальтобетонной смеси находятся в регламентированных диапазонах соответствующих параметров (рисунки 9–13), указанных в таблице 10.

6.6.3 Если все рассчитанные и измеренные значения свойств асфальтобетонной смеси при содержании битума P_{bo} соответствуют критериям, приведенным в таблице 10, оно считается оптимальным и утверждается в рецепте.

В случае если соблюдаются не все проектные критерии, то необходимо внести корректировки в состав либо провести повторное проектирование асфальтобетонной смеси (примечание к таблице 10).

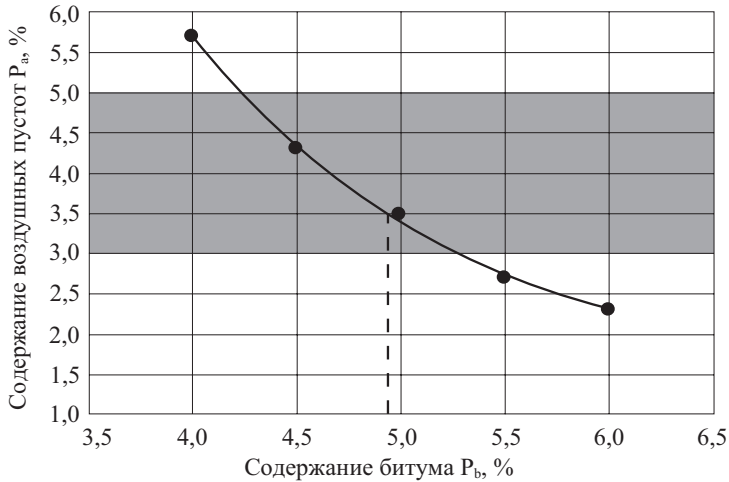


Рисунок 9 – График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию воздушных пустот P_a при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

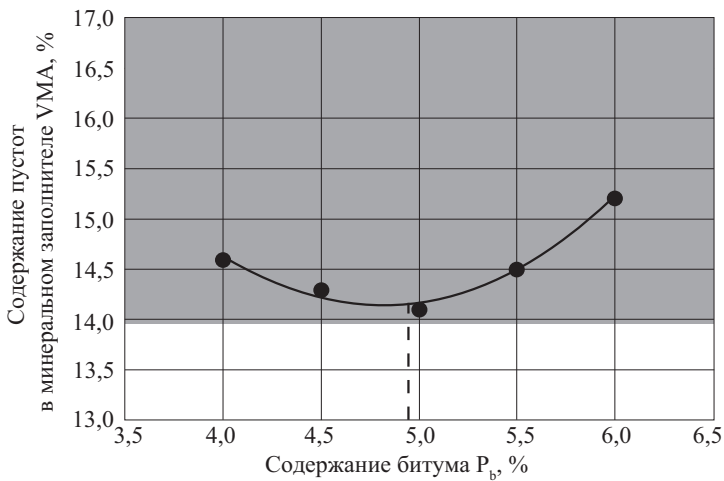


Рисунок 10 – График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию пустот в минеральном заполнителе VMA при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

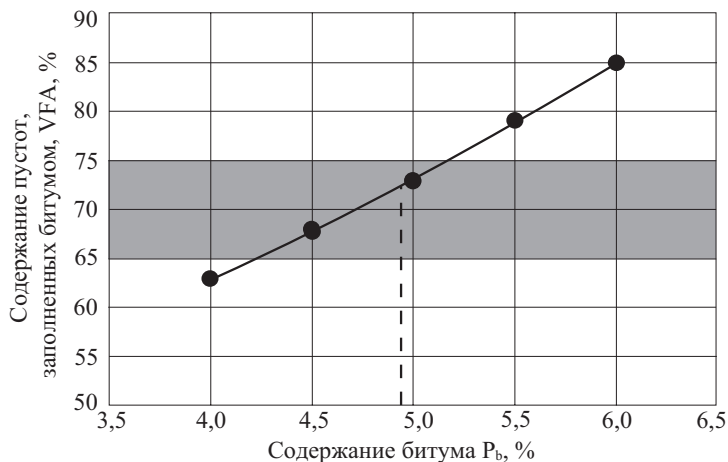


Рисунок 11 – График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по содержанию пустот, заполненных битумом, VFA при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

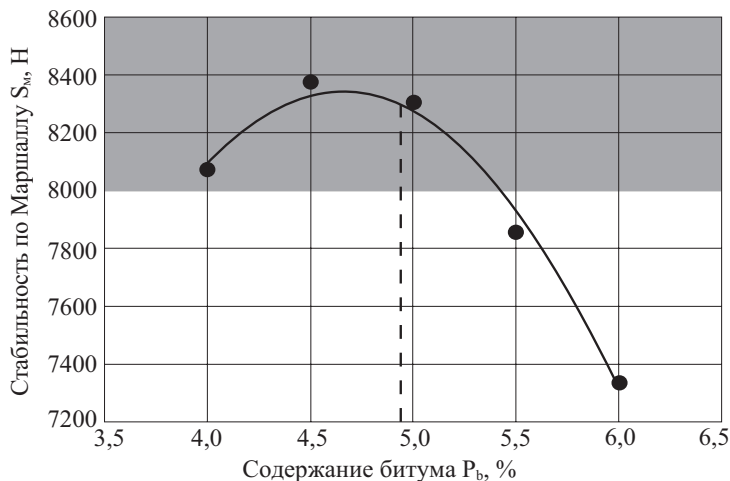


Рисунок 12 – График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по показателю стабильности по Маршаллу S_m при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

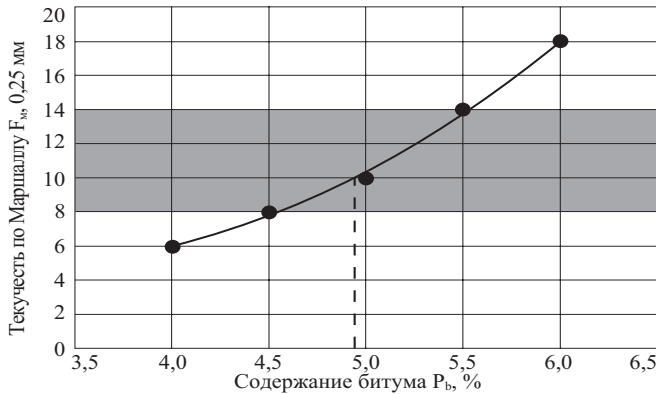


Рисунок 13 – График проверки соответствия асфальтобетонной смеси по показателю текучести по Маршаллу F_m при оптимальном содержании битумного вяжущего P_{bo}

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

Решение о достижении полученной асфальтобетонной смеси с оптимальным содержанием битума P_{bo} как конечного рецептурного состава принимается на основании соответствия ее характеристик требованиям методологии Маршалла, указанным в таблице 10.

6.7 Утверждение рецептурного состава запроектированной смеси и оформление отчетной документации

После проведенного анализа полученных результатов и определения конечного рецептурного состава запроектированной асфальтобетонной смеси следует оформить отчетную документацию с указанием необходимой информации.

Примечание – Вышеописанная процедура проектирования асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла является базовой, но по требованию заказчика смесь может быть подвергнута дополнительным испытаниям для определения ее соответствия другим характеристикам, например устойчивости к колееобразованию, деформации сдвига, водостойкости, прочности на растяжение или усталостной прочности при многократном изгибе.

7 Особенности проектирования асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла

Покрытие дороги, построенное из правильно спроектированной асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла, способно

выдерживать высокие транспортные нагрузки в сочетании с неблагоприятными климатическими условиями.

Проведение испытаний по методологии Маршалла начинается с подготовки образцов. До этого рекомендуется выполнить следующее.

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

Такие показатели, как количество дробленых, плоских и удлиненных зерен в крупнозернистом заполнителе, а также количество пустот, эквивалент песка в мелкозернистом заполнителе и другие, должны соответствовать значениям, указанным в таблицах 2–4, в зависимости от типа проектируемой асфальтобетонной смеси и ожидаемой транспортной нагрузки.

Таблица 2 – Требования к минеральному заполнителю для проектирования плотных асфальтобетонных смесей

Количество приложений ЭООН, млн ед.	Количество дробленых зерен в крупнозернистом заполнителе ^{*)} , %, не менее		Количество пустот в мелкозернистом заполнителе, %, не менее		Эквивалент песка, %, не менее	Количество плоских и удлиненных зерен ^{*)} , %, 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	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

Примечания

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

3 В числителе даны показатели для зерен с одной дробленой поверхностью, в знаменателе – с двумя и более поверхностями.

4 Количество приложений ЭООН рассчитывают на срок службы автомобильной дороги, равный 20 годам.

5 *) Показатель не определяют для смесей с номинальным максимальным размером зерен 4,75 мм.

Таблица 3 – Требования к минеральному заполнителю для проектирования ЦМАС

Наименование показателя	Величина показателя	Стандарт на метод испытания
Крупнозернистый заполнитель		
Пустоты в минеральном заполнителе VMA, %, не менее	17	ПНСТ 129–2016
Пустоты в крупнозернистом заполнителе уплотненной асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} , %, менее	VCA_{DRC}	ПНСТ 124–2016
Истираемость (сопротивление дроблению и износу), % потери массы, не более	30	В соответствии с государственным стандартом на применяемый заполнитель
Количество пластинчатых и угловатых зерен, % по массе, не более, в соотношении: 3:1 5:1	20	
	5	
Абсорбция Abs, % по объему, не более	2	ПНСТ 78–2015
Потеря массы после пяти циклов воздействия, %, не более: сульфата натрия сульфата магния	15	ПНСТ 123–2016
	20	
Количество дробленых зерен, % по массе, не менее, с дробленной поверхностью: одной двумя	100	ПНСТ 74–2015
	90	
Мелкозернистый заполнитель		
Потеря массы после пяти циклов воздействия, %, не более: сульфата натрия сульфата магния	15	ПНСТ 123–2016
	20	

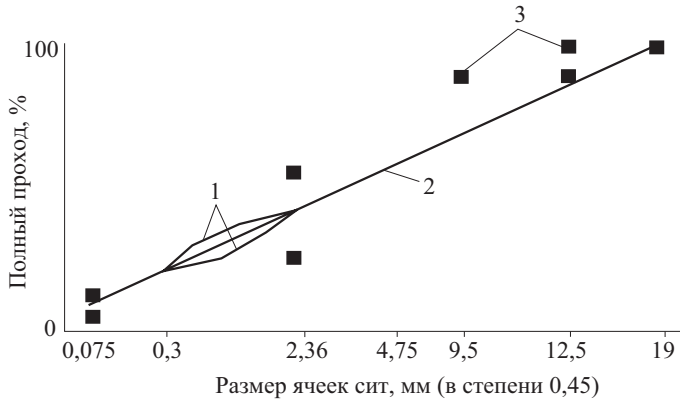
Примечание – Потеря массы определяется по одному из методов: под воздействием сульфата натрия или сульфата магния.

Таблица 4 – Требования к минеральному заполнителю для проектирования асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом

Наименование показателя	Величина показателя	Стандарт на метод испытания
Крупнозернистый заполнитель		
Пустоты в крупнозернистом заполнителе уплотненной асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} , %, менее	VCA_{DRC}	ПНСТ 124–2016
Истираемость (сопротивление дроблению и износу), % потери массы, не более	30	В соответствии с государственным стандартом на применяемый заполнитель
Количество пластинчатых и угловатых зерен в соотношении 5:1, % по массе, не более	10	
Абсорбция Abs, % по объему, не более	2	ПНСТ 78–2015
Потеря массы после пяти циклов воздействия, %, не более: сульфата натрия сульфата магния	15	ПНСТ 123–2016
	20	
Количество дробленых зерен, % по массе, не менее, с дробленой поверхностью: одной двумя	95	ПНСТ 74–2015
	90	
Мелкозернистый заполнитель		
Эквивалент песка, %, не менее	45	В соответствии с государственным стандартом на применяемый заполнитель
Потеря массы после пяти циклов воздействия, %, не более: сульфата натрия сульфата магния	15	ПНСТ 123–2016
	20	

Примечание – Потеря массы определяется по одному из методов: под воздействием сульфата натрия или сульфата магния.

2 Следует убедиться в том, что фракционное сочетание заполнителей, выполненное в соответствии формулой (35), удовлетворяет проектным требованиям по гранулометрическому составу, указанному в таблицах 6–8. Зерновой состав должен укладываться в регламентированный диапазон (между контрольными точками) для соответствующего номинального максимального размера заполнителя (рисунок 14).



1 – ограничительная зона; 2 – линия максимальной плотности;
3 – контрольные точки диапазона

Рисунок 14 – Типовая форма для зернового состава
(номинальный максимальный размер заполнителя 12,5 мм;
максимальный размер 19 мм)

Линия максимальной плотности зернового состава конкретного номинального максимального размера определяется по зависимости полного прохода заполнителя P , % от размера сит, который выражается следующей формулой:

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

где d – размер ячеек расчетного сита, мм;

D – максимальный размер минерального заполнителя, 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

необходимо подбирать таким образом, чтобы кривая зернового состава не заходила в ограничительную зону и огибала ее снизу. Для каждого номинального максимального размера заполнителя установлена своя ограничительная зона, размеры которой указаны в таблице 5. Типичный зерновой состав, не пересекающий ограничительную зону и огибающий ее снизу, представлен на рисунке 15.

Таблица 5 – Пределы ограничительной зоны

Размер ячеек сит, мм	Проход, %, при номинальном максимальном размере минерального заполнителя, мм									
	37,5		25,0		19,0		12,5		9,5	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
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	

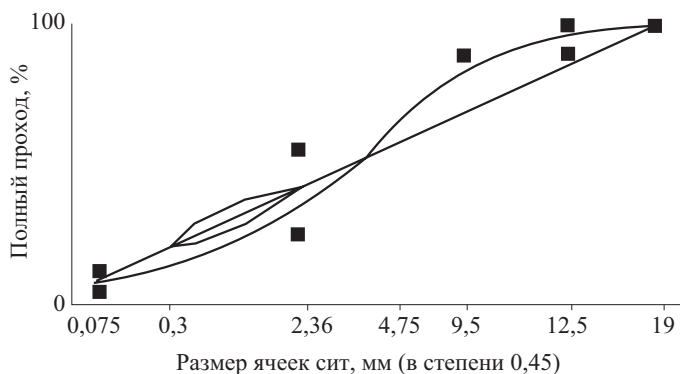
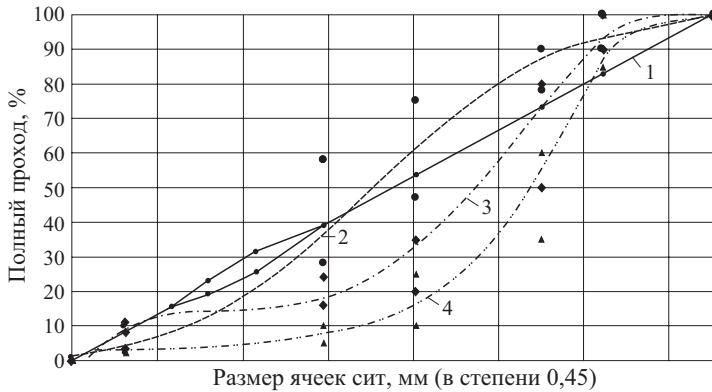


Рисунок 15 – Типовой график зернового состава плотной смеси с номинальным максимальным размером заполнителя 12,5 мм

На рисунке 16 изображены характерные кривые зерновых составов разных типов асфальтобетонных смесей, которые ограничены контрольными точками диапазонов для каждого типа смеси. Нормированные диапазоны зерновых составов для ЦМАС и смесей с открытым гранулометрическим составом установлены таким образом, что не позволяют запроектировать смесь минерального заполнителя

с возможностью пересечения кривой ограничительной зоны. В связи с этим для них допускается не изображать ограничительную зону на гранулометрических графиках зерновых составов.



- 1 – кривая максимальной плотности с ограничительной зоной;
- 2 – кривая зернового состава плотной асфальтобетонной смеси;
- 3 – кривая зернового состава ЩМАС;
- 4 – кривая зернового состава асфальтобетонной смеси с открытым гранулометрическим составом;

•, ♦, ▲ – контрольные точки для зернового состава соответственно плотной асфальтобетонной смеси, ЩМАС и смеси с открытым гранулометрическим составом

Рисунок 16 – Типовой график зерновых составов плотной асфальтобетонной смеси, ЩМАС и смеси с открытым гранулометрическим составом

Все минеральные материалы, которые планируется применять при приготовлении асфальтобетонной смеси, смешивают, используя формулу

$$P = Aa + Bb + Cc + \dots, \quad (35)$$

где P – полный проход через заданное сито для смеси применяемых фракций $A, B, C, \dots, \%$;

$A, B, C, \dots$ – количество минерального материала каждой фракции, прошедшее через заданное сито, %;

$a, b, c, \dots$ – пропорциональные доли фракций A, B, C в составе комбинированной смеси, сумма которых равна 1.

С использованием этих материалов готовят не менее трех различных составов минеральной части асфальтобетонной смеси одного вида и строят кривую гранулометрического состава, 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 6–8.

Таблица 6 – Нормированный диапазон зернового состава для плотных асфальтобетонных смесей в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек сит, мм	Проход, %, при номинальном максимальном размере минерального заполнителя, мм											
	37,5		25,0		19,0		12,5		9,5		4,75	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
50	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	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 7 – Нормированный диапазон зернового состава для ЦМАС в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек сит, мм	Проход, %, при номинальном максимальном размере минерального заполнителя, мм					
	19,0		12,5		9,5	
	min	max	min	max	min	max
25	100	-	-	-	-	-
19	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
0,6	-	-	-	-	-	18
0,3	-	-	-	-	-	15
0,075	8	11	8	11	8	12

Таблица 8 – Нормированный диапазон зернового состава для асфальтобетонных смесей с открытым гранулометрическим составом в зависимости от номинального максимального размера заполнителя

Размер ячеек сит, мм	Проход, %, при номинальном максимальном размере минерального заполнителя, мм									
	37,5		25,0		19,0		12,5		9,5	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
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

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 нахождения оптимального содержания битума по методологии Маршалла для проектируемой асфальтобетонной смеси необходимо подготовить ряд образцов с различным его содержанием, так чтобы кривая данных испытаний четко отражала получаемые зависимости. Испытания должны быть запланированы таким образом, чтобы количество битума в образцах изменялось с шагом 0,5 %, при этом содержание битума в двух образцах должно быть выше, а в двух других – ниже проектного значения.

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

Примером расчетной формулы может служить следующее выражение:

$$P_{bn} = 0,035a + 0,045b + Kc + F, \quad (36)$$

где P_{bn} – приблизительное содержание битума в смеси, % по массе;

a – содержание минерального заполнителя, удерживаемого на сите с ячейкой размером 2,36 мм, % по массе;

b – содержание минерального заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 2,36 мм и удерживаемого на сите с ячейкой размером 0,075 мм, % по массе;

c – содержание минерального заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 0,075 мм, % по массе;

$K = 0,15$ при содержании заполнителя, проходящего через сито с ячейкой размером 0,075 мм, 11–15 %; $K = 0,18$ при содержании заполнителя 6–10 %; $K = 0,20$ при содержании заполнителя не более 5 %;

$F = 0–2$ %; на основании абсорбции легкого или тяжелого заполнителя и в отсутствие других данных $F = 0,7$.

Содержание битумного вяжущего для проектирования ЦМАС 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 объемную плотность комбинированного заполнителя G_{sb} приблизительно $2,65 \text{ г/см}^3$, можно ориентироваться на значения, приведенные в таблице 9. При сочетании заполнителей, G_{sb} которых выше данной величины, потребуется меньшее, а при G_{sb} ниже этой величины большее количество битума.

Таблица 9 – Взаимосвязь ориентировочного содержания битумного вяжущего с номинальным максимальным размером заполнителя для проектирования плотных асфальтобетонных смесей

Номинальный максимальный размер заполнителя, мм	Ориентировочное количество 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 количества битума. Таким образом, проектирование смеси по методологии Маршалла предполагает использование пяти образцов с различным содержанием 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 заданными содержанием битума и гранулометрическим составом необходимо приблизительно 23 кг заполнителя и 4 л вяжущего.

При испытаниях по методологии Маршалла используются нормированные образцы диаметром $(101,6 \pm 0,1)$ мм и высотой $(63,5 \pm 2,5)$ мм в соответствии с ПНСТ 110–2016 либо образцы диаметром $(152,4 \pm 0,2)$ мм и высотой $(95,2 \pm 2,5)$ мм в соответствии с рекомендациями [2].

8 Влияние характеристик проектирования на эксплуатационные свойства плотных асфальтобетонных смесей

8.1 Влияние содержания воздушных пустот P_a

8.1.1 Следует подчеркнуть, что проектный уровень воздушных пустот, равный 4 %, это тот уровень, которого желательно достичь после нескольких лет эксплуатации дорожного покрытия. Данный показатель не меняется в зависимости от интенсивности движения, а степень уплотнения при лабораторных испытаниях изменяется и выбирается в зависимости от ожидаемой интенсивности дорожного движения. Величина проектного содержания воздушных пустот обычно достигается в том случае, если смесь проектируется в соответствии с требуемой степенью уплотнения, после укладки покрытия она не должна превышать 8 %. В процессе эксплуатации происходит доуплотнение материала покрытия, связанное с движением транспортных средств.

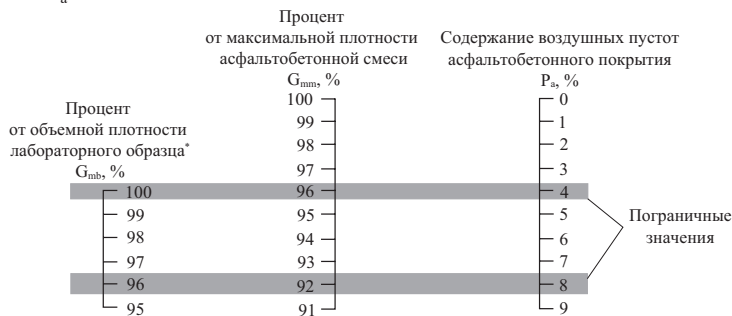
8.1.2 Изменение какого-либо фактора или процесса проектирования смеси может привести к ухудшению эксплуатационных характеристик покрытия или сокращению его срока службы. Практика показала, что смеси, уплотненные до такого состояния, при котором содержание воздушных пустот составляет менее 4 %, и укладываемые на участках с интенсивным дорожным движением, имеют тенденцию к образованию колеи и неровностей. Произвольное или случайное увеличение количества битума в смесительной установке или

повышенное содержание пылевидных частиц, проходящих через сито с ячейкой размером 0,075 мм и действующих как поглотитель вяжущего, также способствуют трещинообразованию.

8.1.3 В то же время проблемы могут возникнуть, если (после нескольких лет эксплуатации дорожного покрытия) количество воздушных пустот превысит 5 % или по завершении укладки покрытия – 8 %. В таких условиях возможно проявление ломкости, преждевременного растрескивания, разрушения и расслоения покрытия.

8.1.4 Основная задача при проектировании смеси – не допускать таких изменений в проектном содержании битума P_b , которые приведут к изменению количества воздушных пустот P_a более чем на 0,5 % от проектного критерия, равного 4 %.

8.1.5 На рисунке 17 показана взаимосвязь значений объемной плотности G_{mb} , максимальной плотности G_{mm} и содержания воздушных пустот P_a асфальтобетонных смесей.



* – для асфальтобетонных смесей, запроектированных с содержанием воздушных пустот 4 %

Рисунок 17 – Взаимосвязь G_{mb} , G_{mm} и P_a асфальтобетонных смесей

8.2 Влияние содержания битумного вяжущего P_b

8.2.1 В результате проектирования окончательный состав плотной асфальтобетонной смеси рекомендуется принимать с такой структурой заполнителя и составом вяжущего, при которых образец, уплотненный заданным количеством ударов, будет содержать 4 % воздушных пустот и удовлетворять всем остальным критериям, приведенным в таблице 10. 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, позволя-

ющее обеспечить наибольшую прочность материала, а также такую стабильность, которая требуется для выдерживания нагрузок, ожидающихся на том или ином объекте в течение всего срока его службы.

Таблица 10 – Критерии приемлемости при проектировании плотных асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла

Параметры проектирования ¹⁾ по методологии Маршалла	Критерии приемлемости при интенсивности движения ²⁾					
	низкой		средней		высокой	
	min	max	min	max	min	max
Уплотнение, количество ударов по каждой стороне образца диаметром, мм: 101,6±0,2 152,4±0,2	35		50		75	
	52		75		112	
Стабильность по Маршаллу S_M , Н	3336	-	5338	-	8006	-
Текучесть ^{3), 4)} по Маршаллу F_M , 0,25 мм	8	18	8	16	8	14
Содержание воздушных пустот ⁵⁾ P_a	3	5	3	5	3	5
Содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе ⁶⁾ VMA, %	См. таблицу 11					
Содержание пустот, заполненных битумом, VFA, %	70	80	65	78	65	75
Отношение пылевидных частиц к вяжущему ⁷⁾ $P_{0,075}/P_{bc}$	От 0,6 до 1,2					

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

²⁾ Классификация интенсивности движения: низкая, при которой проектная эквивалентная нормативная осевая нагрузка (ESAL) за 20-летний период составляет $<10^4$, средняя – от 10^4 до 10^6 , высокая, равная $>10^6$.

³⁾ Значение текучности определяется в точке с максимальным ее значением, после которой нагрузка начинает падать. При использовании автоматического записывающего устройства значение текучности должно быть скорректировано согласно инструкции на использование оборудования.

⁴⁾ Критерии соответствия по параметру текучности были разработаны для немодифицированных битумов. При применении вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, следует использовать более высокие значения критериев соответствия.

⁵⁾ Содержание воздушных пустот при проектировании асфальтобетонной смеси должно составлять 4 %, но при необходимости это значение может быть скорректировано для соответствия критериям, указанным в таблице 10.

⁶⁾ Процентное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе рассчитывается в соответствии с ПНСТ 73–2015.

⁷⁾ Для смесей:

- с номинальным максимальным размером заполнителя 4,75 мм допустимое отношение составляет 0,9–2,0;

- содержащих крупнозернистый заполнитель, гранулометрический состав которых отображается на общем графике с кратностью 0,45 ниже линии первичного контрольного сита, допустимое отношение составляет 0,8–1,6.

Таблица 11 – Минимальное содержание пустот в минеральном заполнителе VMA

Номинальный максимальный размер минерального заполнителя, мм	Минимальное содержание пустот в минеральном заполнителе VMA, %, при проектном их содержании в асфальтобетонной смеси, %		
	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
9,50	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 в соответствии с ГОСТ Р 51568–99.

2 Минимальное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе VMA для промежуточных проектных значений воздушных пустот асфальтобетонной смеси, не указанных в таблице 11, необходимо определять методом интерполяции.

8.2.2 При изменении проектных условий рекомендуется внести коррективы в проектные критерии, для этого следует проанализировать такие показатели, как интенсивность движения и уровень нагрузки, место расположения объекта, используемые материалы и дорожно-климатическая зона. Существует два распространенных метода изменения проектных параметров смеси: изменение проектного процентного содержания воздушных пустот и (или) степени уплотнения в лабораторных условиях. Например, для достижения максимальной прочности проектное содержание воздушных пустот должно быть 4 %, а степень уплотнения – 75 ударов. Помимо этого, указываются более жесткие объемные 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 – до 35.

8.2.3 Дополнительные сведения по оценке таких параметров, как содержание пустот в минеральном заполнителе VMA, степень уплотнения, количество воздушных пустот и содержание пустот, заполненных битумом, приводятся в подразделах 8.3–8.5.

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

8.3.1 Во многих случаях наиболее сложным фактором при проектировании смеси является соблюдение минимального количества воздушных пустот в минеральном заполнителе VMA. Требования по этому параметру устанавливаются с целью обеспечить достаточное пространство битумному вяжущему для высококачественной адгезии и связывания частиц заполнителя, но без выделения излишков вяжущего при его расширении вследствие повышения температуры. Обычно кривая графика зависимости VMA от P_b имеет U-образную форму со снижением до минимального значения VMA и дальнейшего подъема по мере увеличения содержания битума. Такая кривая показана на рисунке 18, пример «А».

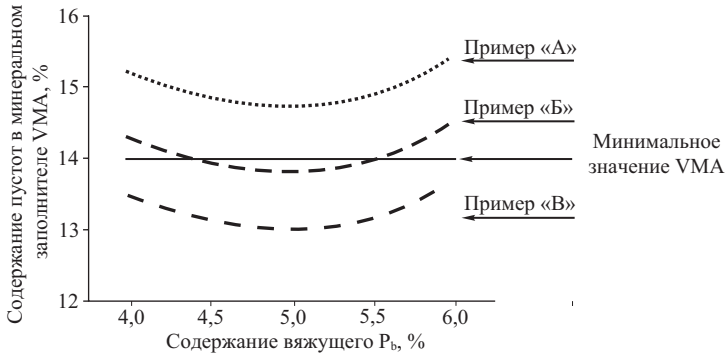


Рисунок 18 – График зависимости VMA от P_b

8.3.2 Кажется, что зависимость VMA от P_b противоречит принципу определения VMA. Можно предположить, что параметр VMA остается неизменным при изменении количества битума, так как пустоты будут заполняться битумным вяжущим. На самом же деле общий объем изменяется в зависимости от количества битума, и предположение о неизменности плотности неточно. При повышении содержания битума смесь становится более пригодной для работы и легко

уплотняется, а это значит, что в единицу объема можно уплотнить большую массу. Поэтому объемная плотность G_{mb} смеси повышается, а значение VMA снижается.

8.3.3 В определенной точке по мере увеличения содержания битума (нижняя точка U-образной кривой на рисунке 18) 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 содержания такого количества битума, при котором образуется «жидкая» смесь, т. е. находящееся в правой части кривой графика, где значения VMA повышаются даже при соблюдении условия по минимальному количеству воздушных пустот P_a и VMA. Асфальтобетонные смеси с проектным содержанием битума в этом диапазоне имеют тенденцию к текучести и проявляют пластическую деформацию при укладке на месте производства работ. С позиции эксплуатационных свойств таких смесей оказывается, что при любой дополнительной уплотняющей нагрузке, связанной с увеличением транспортного потока, остается мало пространства для распределения битума, теряется связь между заполнителями, что в конечном счете приводит к образованию колеи и неровностей на участках интенсивного движения транспортных средств. При наилучших условиях проектное содержание вяжущего должно подбираться таким образом, чтобы его значение находилось левее минимальной точки U-образной кривой зависимости VMA от P_b (см. рисунок 18).

8.3.4 Для некоторых смесей нижняя часть этой кривой имеет ровный участок, это означает, что уплотненная смесь стабильна к изменению содержания вяжущего. В рабочем диапазоне содержания вяжущего уплотняемость смеси больше зависит от свойств заполнителя. Тем не менее в определенной точке качество битума становится доминирующим для свойств смеси, а VMA значительно увеличивается.

Если нижняя точка U-образной кривой зависимости VMA от P_b опускается ниже минимально допустимого уровня, установленно-го для смеси, включающей заполнитель данного номинального максимального размера (см. рисунок 18, пример «Б»), то это указывает на необходимость внесения изменений в гранулометрический состав заполнителя смеси, чтобы обеспечить достаточный уровень VMA.

8.3.5 Проектное содержание битума не должно выбираться по крайней точка допустимого диапазона, даже если при этом соблюдаются критерии по минимальным значениям VMA. Смеси с содержанием вяжущего, соответствующим левой части кривой, будут сухими,

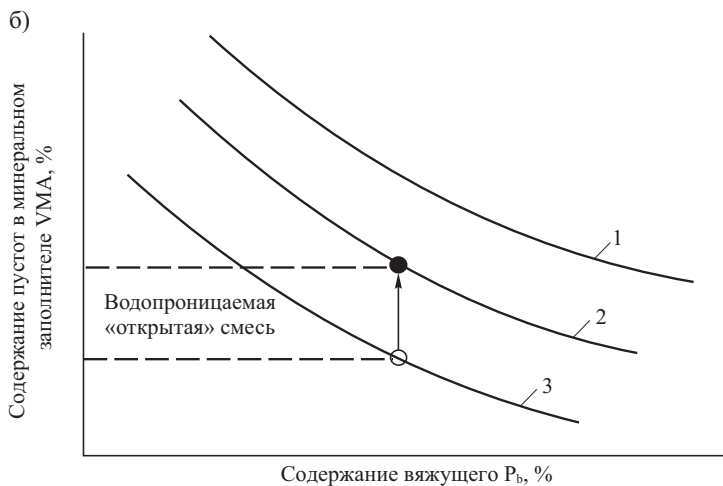
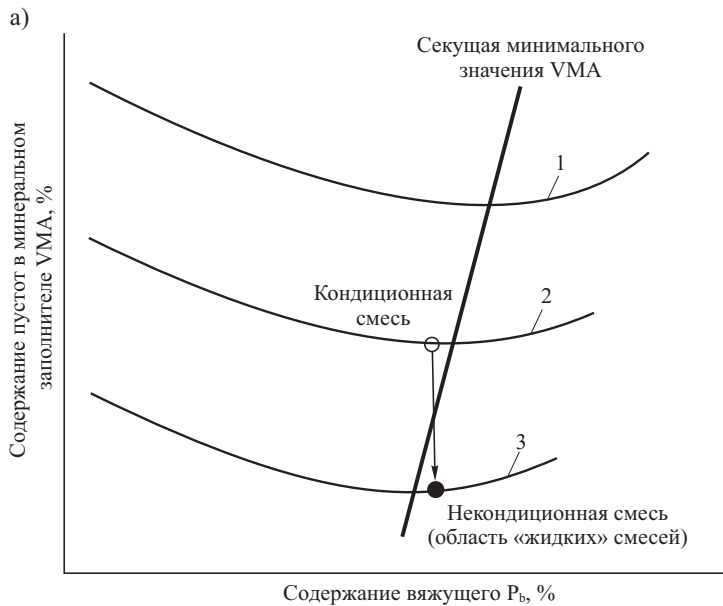
подверженными расслоению, и, вероятно, количество воздушных пустот P_a в них будет высоким. Смеси с содержанием вяжущего, соответствующим правой части кривой, могут быть склонны к колееобразованию.

Если минимальные критерии по VMA не соблюдаются во всем диапазоне содержания битума (кривая полностью находится ниже линии минимального уровня, рисунок 18, пример «В»), необходимо внести существенные изменения в гранулометрический состав заполнителя проектируемой асфальтобетонной смеси и (или) поменять источники поставки материалов.

8.4 Влияние степени уплотнения на свойства проектируемых асфальтобетонных смесей

8.4.1 При одном и том же содержании битума в проектируемой асфальтобетонной смеси содержание воздушных пустот P_a и пустот в минеральном заполнителе VMA будет снижаться при увеличении степени уплотнения, которое в соответствии с методологией Маршалла выполняется за 35, 50 и 75 ударов. При различной степени уплотнения изменяется не только диапазон значений VMA, но и количество битума, при котором можно достичь требуемого минимального значения VMA. Например, смесь проектируется так, чтобы содержание битума соответствовало участку, находящемуся левее секущей минимального значения VMA (рисунок 19а), при уплотнении за 50 ударов. В случае незапланированного увеличения ожидаемой интенсивности движения покрытие из такой смеси может эксплуатироваться с большей нагрузкой (при которой уплотнение проектируемой смеси необходимо производить за 75 ударов), в связи с этим проектное содержание битума перемещается на графике в правую сторону от секущей минимального значения VMA (в область «жидких» смесей). При высокой интенсивности движения такое покрытие будет иметь склонность к колееобразованию.

8.4.2 Тот же сценарий может происходить и в обратной ситуации. Если смесь, спроектированная при уплотнении за 75 ударов, как это показано на рисунке 19б, используется для укладки покрытия на участке с более низкой интенсивностью движения, то окончательное содержание воздушных пустот P_a будет значительно выше планируемого. При таких условиях покрытие становится более «открытым» и проницаемым для воды и воздуха, подвержено колееобразованию, растрескиванию, выкрашиванию, снижению адгезионной способности.



1 – уплотнение за 35 ударов; 2 – то же, 50 ударов;
3 – то же, 75 ударов

Рисунок 19 – Результат превышения (а) и занижения (б) проектной эксплуатационной нагрузки на уплотненную асфальтобетонную смесь

Поэтому важно, чтобы степень уплотнения соответствовала ожидаемому проектному уровню интенсивности движения и подбиралась в лаборатории правильным образом. Кроме этого, необходимо следить за тем, чтобы на месте производства работ смесь уплотнялась с требуемым усилием для достижения необходимой начальной плотности, вне зависимости от климатических условий.

Также следует отметить, что критерии для VMA не зависят от степени 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.

8.5 Влияние пустот, заполненных битумом VFA

8.5.1 Хотя пустоты, заполненные битумом, VFA, находящиеся в минеральном заполнителе VMA, и содержание воздушных пустот P_a взаимосвязаны между собой, но только по двум величинам рассчитывается третья. Применение параметра VFA позволяет избежать проектирования смесей, в которых значение VMA приближено к пограничным. Основное назначение VFA – это ограничение максимального уровня VMA, а следовательно, и содержания битума P_b .

Параметр VFA также ограничивает допустимое содержание воздушных пустот в смесях, значение VMA которых близко к нижнему пределу. Смесей, запроектированные для дорог с низкой интенсивностью движения, не будут соответствовать требованиям по параметру VFA с относительно высоким содержанием воздушных пустот (5 %), даже если соблюдаются допустимые пределы содержания воздушных пустот P_a . Параметр VFA используется с целью недопущения укладки малопрочных смесей на участках дорог с низкой интенсивностью движения.

8.5.2 Смесей, запроектированные для дорог с высокой интенсивностью движения, не будут соответствовать требованиям по параметру 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), применение параметра VFA позволяет избежать укладки смесей, подверженных колееобразованию, на участках дорог с высокой интенсивностью движения.

Этот параметр необходим также для контроля эксплуатационных свойств при проектировании и укладке смеси, так как между этими этапами могут произойти какие-либо изменения.

9 Соответствие ЦМАС и смесей с открытым гранулометрическим составом, запроектированных по методологии Маршалла

9.1 Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси, запроектированные по методологии Маршалла, должны соответствовать характеристикам, указанным в таблице 12.

Таблица 12 – Критерии приемлемости при проектировании ЦМАС по методологии Маршалла

Параметры проектирования ¹⁾ по методологии Маршалла	Критерии приемлемости при интенсивности движения ²⁾			
	средней		высокой	
	min	max	min	max
Уплотнение, количество ударов по каждой стороне образца диаметром, мм: 101,6±0,2 152,4±0,2				
	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 ⁵⁾ P_a , %	3	5	3	5
Содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе ⁶⁾ VMA, %	Не менее 17			
Содержание пустот в крупнозернистом запол- нителе уплотненной асфальтобетонной смеси VCA_{MIX} , %, не менее	VCA_{DRC}			

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

²⁾ Классификация интенсивности движения:

- средняя, при которой ESAL за 20-летний период составляет от 10^4 до 10^6 ;
- высокая, равная $> 10^6$.

³⁾ Значение текучести по Маршаллу определяется в точке с максимальным ее значением, после которой нагрузка начинает падать. При использовании автоматического записывающего устройства значение текучести должно быть скорректировано согласно инструкции на использование оборудования.

⁴⁾ Критерии соответствия по параметру текучести были разработаны для немодифицированных битумов. При применении вяжущих, модифицированных полимерами или шинным каучуком, эти пределы часто превышаются, поэтому следует использовать более высокие значения критериев соответствия.

⁵⁾ Содержание воздушных пустот при проектировании ЦМАС должно составлять 4 %, но при необходимости это значение может быть скорректировано для соответствия указанным в таблице 10 критериям.

⁶⁾ Процентное содержание воздушных пустот в минеральном заполнителе рассчитывается в соответствии с ПНСТ 73–2015.

9.2 Асфальтобетонные смеси с открытым гранулометрическим составом, запроектированные по методологии Маршалла, должны соответствовать требованиям нормативных документов к данному типу смеси.

10 Требования безопасности и охраны окружающей среды

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

10.2 При работе с асфальтобетонными смесями используют специальную защитную одежду по ГОСТ 12.4.131–83 или ГОСТ 12.4.132–83, для защиты рук – перчатки по ГОСТ 12.4.252–2013.

10.3 При приготовлении и укладке смесей следует соблюдать общие требования безопасности по ГОСТ 12.3.002–75 и требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004–91.

10.4 Материалы для приготовления асфальтобетонных смесей (щебень, природный и дробленый песок, минеральный порошок, вяжущее) являются малоопасными веществами и по степени воздействия на организм человека относятся к 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007–76. Нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу не должны превышать норм, установленных ГОСТ 17.2.3.02–2014.

10.5 Воздух в рабочей зоне при приготовлении и укладке смесей должен удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.005–88.

10.6 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{\text{эфф}}$ в минеральной части смесей и асфальтобетонах не должна превышать значений, установленных ГОСТ 30108–94.

11 Требования к оборудованию и вспомогательным материалам

Оборудование (откалиброванное должным образом), необходимое для подготовки образцов, следующее.

11.1 Весы лабораторные III класса точности с ценой деления 1 г и пределом взвешивания до 5 кг для определения массы заполнителей и битума по ГОСТ 53228–2008.

11.2 Весы лабораторные II класса точности с ценой деления 0,1 г и пределом взвешивания до 2 кг для определения массы уплотненных образцов по ГОСТ 53228–2008.

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, диапазоном измерения от 10 °С до 235 °С для определения температуры заполнителей, битума и асфальтобетонных смесей.

11.5 Контейнеры плоскодонные металлические для нагревания заполнителей.

11.6 Контейнеры круглые металлические или смесительная емкость вместимостью приблизительно 4 л 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 вместимостью 4 л 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 (рисунок 20), которая состоит из деревянной стойки размером не менее 200х200х460 мм и верхней стальной пластины размером не менее 305х305х25 мм. Деревянная стойка должна быть изготовлена из дуба, сосны или другой древесины плотностью в сухом состоянии от 670 до 770 кг/м³. Она прикрепляется четырьмя уголками к прочному бетонному основанию. Стальная пластина должна быть прочно закреплена на стойке. Вся конструкция устанавливается таким образом, чтобы деревянная стойка находилась строго вертикально, пластина лежала ровно, а весь блок в ходе уплотнения оставался неподвижен. Уплотнительные молоты должны приводиться в действие вручную или механически (см. рисунок 20). Молот с механическим приводом должен падать с частотой (64±4) удар/мин, он 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 об/мин.

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 $(4,535 \pm 0,015)$ кг с высотой падения $(457,2 \pm 1,5)$ мм либо диаметром $(152,4 \pm 0,2)$ мм в соответствии с рекомендациями [2], состоящий из плоской круглой трамбовочной головки диаметром $(149,4 \pm 0,1)$ мм и оснащенный скользящим грузом массой $(10,21 \pm 0,01)$ кг с высотой падения $(457,2 \pm 2,5)$ мм.



Рисунок 20 – Уплотнители Маршалла с ручным (а) и механическим (б) молотами

11.13 Форма уплотнительная, включающая пластину-основание, пресс-форму и муфту. Размеры уплотнительной формы для асфальтобетонных смесей с номинальным максимальным размером заполнителей до 25 мм даны в ПНСТ 110–2016. Внутренний диаметр пресс-формы должен составлять $(101,6 \pm 0,2)$ мм, а высота – не менее 75 мм; пластина-основание и муфта должны быть взаимозаменяемыми с возможностью установки на любом конце пресс-формы. Согласно рекомендациям [2] для заполнителей с номинальным максимальным размером зерен до 37,5 мм следует использовать пресс-форму с внутренним диаметром $(152,4 \pm 0,2)$ 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 рекомендаций [2].

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 [2] и толщиной 13 мм.

11.19 Штангенциркуль по ГОСТ 166–89.

11.20 Линейка измерительная по ГОСТ 427–75.

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.

12 Требования к условиям измерений

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

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

13 Подготовка образцов

13.1 Определение количества 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 приготовления асфальтобетонных смесей должен соответствовать требованиям 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 – не менее 90 %, 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 методического документа.

13.2.1 Требования к минеральному заполнителю по физико-механическим показателям

13.2.1.1 Требования к минеральному заполнителю по показателю дробимости указаны в таблице 13.

Таблица 13 – Требования к минеральному заполнителю по дробимости

Количество приложений ЭООН, млн ед.	Марка по дробимости, не ниже
<0,3	M600
От 0,3 до 30	M800
>30	M1000

13.2.1.2 Требования к минеральному заполнителю асфальтобетонных смесей для верхнего слоя покрытия по истираемости (сопротивлению дроблению и износу) приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Требования к минеральному заполнителю по истираемости

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

13.2.2 Требования к минеральному заполнителю по зерновому составу

13.2.2.1 Заполнитель сушится до постоянной массы при температуре от 105 °С до 110 °С и разделяется методом сухого просеивания по фракциям требуемого размера. Рекомендуется разделять заполнитель в соответствии с действующими нормативными документами по фракциям, указанным в таблице 15.

Таблица 15 – Рекомендуемые фракции для заполнителя

Размер заполнителя, мм, в соответствии с нормативными документами		
ПНСТ 75–2015, ПНСТ 114–2016	ГОСТ 8267–93, ГОСТ 8736–2014	ГОСТ 32703–2014, ГОСТ 32730–2014
От 50,0 до 37,5	От 80 (70) до 40,0	От 45,0 до 31,5
От 37,5 до 19,0	От 40,0 до 20,0	От 31,5 до 22,4
От 19,0 до 12,5	От 20,0 до 15,0	От 22,4 до 16,0
От 12,5 до 9,5	От 15,0 до 10,0	От 16,0 до 11,2
От 9,5 до 4,75	От 10,0 до 5,0	От 11,2 до 5,6
От 4,75 до 2,36	От 5,0 до 2,5	От 5,6 до 2,0
Менее 2,36	Менее 2,5	Менее 2,0

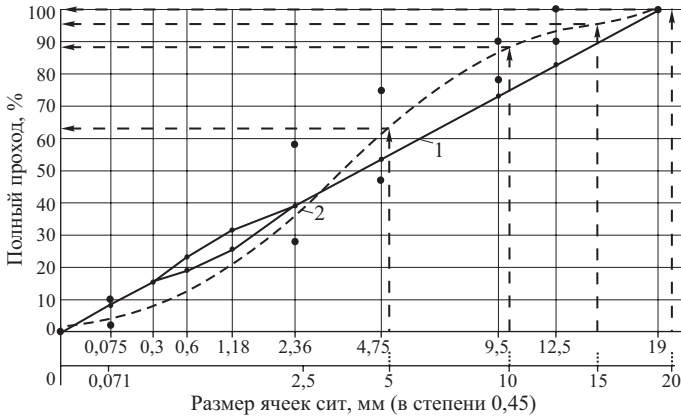
13.2.2.2 Для соответствия гранулометрического состава нормированным диапазонам, указанным в таблицах 6, 7 или 8, при проектировании асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла можно использовать минеральный заполнитель по ПНСТ 114–2016, ГОСТ 8267–93, ГОСТ 8736–2014, ГОСТ 32703–2014, ГОСТ 32730–2014, 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 в результате прохода 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; 25; 37,5 и 50 мм в соответствии с ПНСТ 75–2015.

Минеральный заполнитель, подобранный по физико-механическим показателям с определенными необходимыми объемными характеристиками по фракциям, объединяется в единую минеральную смесь в соответствии с формулой (35), чтобы ее состав входил в нормированный диапазон, показанный в таблицах 6, 7 или 8.

13.2.2.3 Приготовление асфальтобетонных смесей по объемному методу проектирования из любого утвержденного заказчиком минерального материала, отвечающего требованиям вышеуказанных нормативных документов, может осуществляться на АБЗ без замены набора сит на сита, размеры которых указаны в ПНСТ 75–2015.

Подбор рецепта смеси производится только в лаборатории и передается на АБЗ. Рассев любого каменного материала выполняется в лаборатории на ситах в соответствии с требованиями ПНСТ 75–2015. Далее подбирается минеральная смесь, удовлетворяющая требованиям настоящего методического документа, с построением кривой гранулометрического состава. По параллельной оси фракционной размерности

используемого материала на АБЗ на этой кривой определяются значения, соответствующие необходимому количеству фракций минерального заполнителя. На рисунке 21 приведена типовая схема, разъясняющая подход к определению фракционной смеси минерального заполнителя для любого каменного материала, утвержденного заказчиком к использованию в рецепте на АБЗ.



- 1 – кривая максимальной плотности с ограничительной зоной;
- 2 – кривая зернового состава плотной асфальтобетонной смеси;
- – контрольные точки для зернового состава плотной асфальтобетонной смеси

Рисунок 21 – Типовая схема перехода от лабораторного подбора зернового состава на ситах по ПНСТ 75–2015 к определению гранулометрического состава заполнителя для АБЗ на примере минеральных материалов по ГОСТ 8267–93, ГОСТ 8736–2014 и ГОСТ Р 52129–2003

Дополнительная информация по определению зернового состава дана 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 учетом требований пункта 5.1.2 ПНСТ 114–2016), ГОСТ Р 52056–2003, ГОСТ 22245–90 или ГОСТ 33133–2014.

13.4 Требования к стабилизирующей добавке

13.4.1 Для определенных асфальтобетонных смесей могут использоваться такие стабилизирующие добавки, как целлюлозное волокно (гранулы) или минеральное волокно, которое должно соответствовать требованиям технической документации предприятия-изготовителя.

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

13.4.3 Допускается использовать 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

13.5.1 Температуры, до которых следует нагреть битум до достижения его динамической вязкости $(0,17 \pm 0,02)$ и $(0,28 \pm 0,03)$ Па·с, принимаются соответственно за температуры смешивания и уплотнения. Данные температуры определяются согласно приложению Б ПНСТ 112–2016.

13.5.2 Температуры смешивания и уплотнения для модифицированных битумных вяжущих должны определяться с учетом требований нормативных документов.

13.6 Подготовка формы и молота

Оборудование для проведения уплотнения образцов должно соответствовать требованиям ПНСТ 110–2016 или рекомендаций [2]. Перед проведением испытаний необходимо тщательно очистить форму для образцов, а также поверхность уплотнительного молота и нагреть их на водяной бане или в сушильном шкафу до температуры $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

13.7 Подготовка смесей

13.7.1 Для каждого образца в отдельных емкостях взвешивается такое количество каждой фракции минерального заполнителя, которое необходимо для производства с требуемым гранулометрическим

составом. При этом высота уплотненного образца должна составлять $(63,50 \pm 1,27)$ мм. Обычно для его производства необходимо приблизительно 1,2 кг материала. Рекомендуется до выпуска партий заполнителя создать пробный образец. Если высота пробного образца не соответствует требованиям, то необходимо скорректировать количество заполнителя по следующей формуле:

$$M_{\text{mx}} = \frac{63,5M_{\text{m}}}{H_{\text{s}}}, \quad (37)$$

где M_{mx} – скорректированная масса заполнителя, кг;
 63,5 – высота требуемого образца, мм;
 M_{m} – масса заполнителя пробного образца, кг;
 H_{s} – высота пробного образца, мм.

13.7.2 Емкости с заполнителем помещаются в печь или сушильный шкаф и нагреваются до температуры, не превышающей температуру смешивания более чем на 28 °С (см. подраздел 13.5). Загруженные в смесительную емкость нагретые заполнители необходимо тщательно перемешать в сухом состоянии. Далее производится их выемка и добавляется требуемое количество битумного вяжущего в смесь согласно рассчитанным дозировкам. В этот момент температура заполнителя и битума должна быть в пределах температур смешивания, установленных в соответствии с подразделом 13.5. Перед использованием битумное вяжущее не должно подвергаться воздействию температуры смешения более 1 ч. Необходимо максимально быстро смешать заполнитель и битумное вяжущее при помощи механической мешалки (приоритетный вариант) или вручную совком до получения однородной массы.

Примечание – Перед проведением исследований необходимо подготовленную для испытаний по Маршаллу асфальтобетонную смесь краткосрочно термостатировать в соответствии с методом Б ПНСТ 111–2016.

13.8 Укладка смеси в форму

На дно формы помещают диск из фильтровальной или невпитывающей воду бумаги требуемого размера. Затем вся партия материала укладывается в форму с муфтой, и далее смесь тщательно отштыковывается нагретой штыковкой 15 раз по периметру и 10 раз по центру. Поверхность разглаживается таким образом, чтобы она имела слегка скругленную форму. Температура смеси непосредственно перед уплотнением должна находиться в пределах температур уплотнения, установленных согласно подразделу 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. Согласно указаниям по проектированию, уплотнение смеси производится за 35, 50 или 75 ударов молота, свободно падающего с высоты $(457,2 \pm 1,5)$ мм, в зависимости от интенсивности движения (см. таблицу 10). В ходе уплотнения необходимо удерживать ось уплотнительного молота максимально перпендикулярно относительно основания формы. Далее следует снять пластину-основание и муфту, перевернуть и пересобирать форму. Затем по поверхности перевернутого образца наносится такое же количество ударов молота. После уплотнения удаляют пластину-основание и бумажные диски, а образец остужают при комнатной температуре так, чтобы его можно было извлечь из формы, не деформируя. Если требуется более быстрое охлаждение, можно применять электрический фен. Воду следует использовать только в том случае, если образец помещен в полиэтиленовый пакет. Образец вынимается из формы при помощи рычага для извлечения образца или другого компрессионного устройства. Далее образец кладется на гладкую ровную поверхность и остается там до начала испытания. Обычно образцы остужают в течение не менее 12 ч.

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

Существует практическая тенденция, по которой образцы, уплотненные молотом, имеют большую плотность, чем образцы, уплотненные молотом с механическим приводом. Согласно теории, при использовании ручного молота возникает небольшой эффект замешивания, что связано с незначительным отклонением оси молота от вертикали, такого отклонения при применении молота с механическим приводом не происходит. 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 уплотненных образцов

13.11.1 Компаниям, занимающимся строительством асфальтобетонных покрытий, следует указывать контрольный уплотняющий механизм, в соответствии с которым будут устанавливаться свойства и состав смеси, а также конструкционные погрешности. Также

рекомендуется, чтобы все лабораторные уплотнители, используемые 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.

13.11.2 В результате анализа корреляции уплотнителей может быть изменено количество ударов при уплотнении 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 . Потом строится кривая зависимости объемная плотность – количество ударов и определяется количество ударов, необходимое для того, чтобы было то же значение G_{mb} , что и при использовании контрольного уплотнителя при проектировании смеси. Новое скорректированное количество ударов должно применяться в ходе всех дальнейших испытаний на этом уплотнителе. Диапазон количества ударов предполагается достаточно широким, в него должны попадать результаты испытаний, полученные на контрольном уплотнителе без экстраполяции корреляционной кривой. Пример корреляционной кривой приведен на рисунке 22, из которого видно, что для достижения проектной объемной плотности образца G_{mb} , равной $2,381 \text{ г/см}^3$, полученной на контрольном уплотнителе при 75 ударах, на другом аналогичном уплотнителе необходимо выполнить 77 ударов молотом.

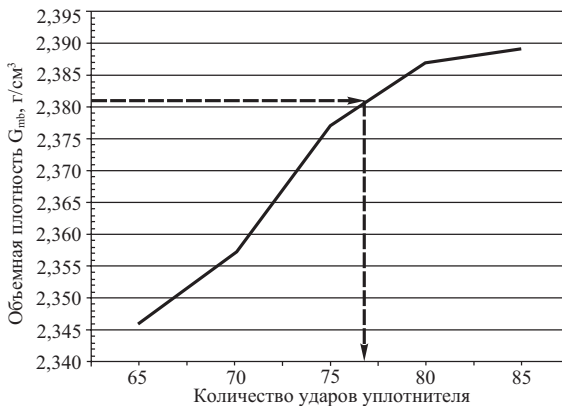


Рисунок 22 – Типовой график корреляционной кривой уплотнителя

14 Применение методологии Маршалла для смесей с крупным заполнителем

Методология Маршалла для образцов диаметром $(152,4 \pm 0,2)$ мм описана в рекомендациях [2] и используется для смесей, содержащих заполнитель с номинальным максимальным размером до 37,5 мм. Уплотнение приводится по методологии Маршалла, за исключением положений, связанных с использованием более крупных образцов, когда:

- масса молота с механическим приводом составляет 10,2 кг, диаметр плоской трамбовочной головки – 149,4 мм, высота падения – 457 мм;
- диаметр образца равен 152,4 мм, а его высота – 95,2 мм;
- масса партии материала составляет 4050 г;
- используется оборудование для уплотнения и проведения испытаний (формы и ударные головки) большего размера, позволяющее вместить более крупные образцы;
- смесь помещается в форму двумя приблизительно равными порциями, производится штыкование материала;
- количество ударов, необходимое для уплотнения крупных образцов, в 1,5 раза больше (от 75 до 112 ударов), чем для образцов меньшего размера;
- проектные критерии должны модифицироваться. Минимальное значение стабильности должно быть в 2,25 раза выше, а диапазон значений текучести в 1,5 раза больше критериев, указанных в таблице 10;
- при использовании метода, в котором применяются образцы, отличные от размера 95,2 мм, необходимо использовать соответствующие коэффициенты коррекции по рекомендациям [2].

15 Испытания по определению физико-механических свойств асфальтобетонных смесей по методологии Маршалла

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

Для проведения испытаний на образцах диаметром $(101,6 \pm 0,2)$ или $(152,4 \pm 0,2)$ мм требуется следующее оборудование.

15.1.1 Установка Маршалла – компрессионное устройство для проведения испытаний в соответствии с ПНСТ 109–2016 либо рекомендациями [2], которое позволяет прикладывать нагрузку на испытываемые образцы через тестовые головки с цилиндрическим сегментом

(внутренний радиус кривизны составляет 51 или 76,2 мм) с постоянной частотой нагружения (50 ± 1) мм/мин. Установка также включает две перпендикулярные направляющие 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 применяться 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 с водой должен иметь перфорированное ложное дно или быть оснащен полкой для установки образцов на высоте не менее (50 ± 5) мм от дна бани.

15.2 Порядок проведения испытаний на стабильность и текучесть

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

- определение высоты образца;
- погружение образца в водяную баню при температуре (60 ± 1) °С на (35 ± 5) мин или помещение в печь при той же температуре на (125 ± 5) мин;
- использование автоматического записывающего устройства или контрольного кольца и расходомера (рисунок 23). 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 применять одни и те же тестовую головку и расходомер. В противном случае для определения значения текучести потребуется использовать начальное и конечное показания расходомера.

- тщательная очистка внутренних поверхностей тестовых головок. Их температура должна поддерживаться в диапазоне от 21,1 °С до 37,8 °С. При необходимости следует применять 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, необходимо убедиться в том, что его циферблатный индикатор надежно закреплен и «обнулен» в состоянии без нагрузки;

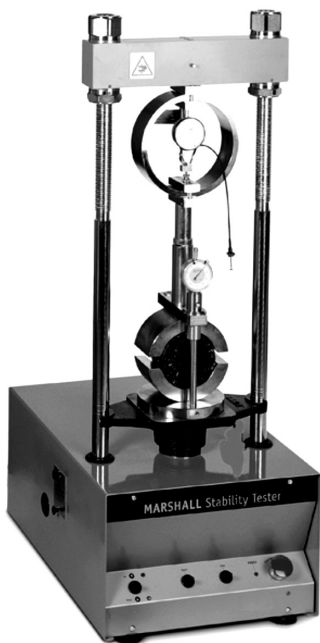


Рисунок 23 – Установка с контрольным кольцом и расходомером для проведения испытаний по методологии Маршалла

- когда оборудование для проведения испытаний будет готово к работе, образец извлекается из водяной бани, а его поверхность протирается полотенцем, затем он помещается в нижнюю тестовую головку по центру, верхняя тестовая головка приводится в рабочее положение и весь блок устанавливается по центру нагрузочного устройства. Расходомер помещается над маркированной направляющей штангой;

- приложение к образцу тестовой нагрузки с постоянной скоростью деформирования 50 мм/мин 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, представляющие собой значение текучести для данного образца, выраженное в единицах, кратных 0,25 мм, снимаются и записываются. Например, если деформация образца составила 3,8 мм, то значение текучести – 15,2.

15.2.2 Вся процедура по определению стабильности и текучести, начиная с момента извлечения образца из водяной бани, должна быть проведена не более чем за 30 с.

15.2.3 Для образцов, имеющих высоту, отличную от требуемой, необходима корректировка значения стабильности по Маршаллу, которая производится в соответствии с требованиями ПНСТ 109–2016 и рекомендаций [2].

15.3 Особенности при проведении испытаний на стабильность и текучесть

15.3.1 Если значение текучести по Маршаллу определяется при помощи автоматического записывающего устройства, то в результате обычно можно получить график, подобный тому, который показан на рисунке 24, где начальная текучесть равна 4, конечная – 18, зафиксированная составляет $18 - 4 = 14$.

На нижней части кривой зависимости стабильности 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 (см. рисунок 24). Для того чтобы точно определить точку начала отсчета показаний текучести, следует начертить касательную, соединяющую две точки на кривой стабильность – текучесть, соответствующие значениям стабильности по Маршаллу 25 % и 75 %. В точке, где эта касательная пересекает ось x, начинается отсчет значений текучести по Маршаллу.

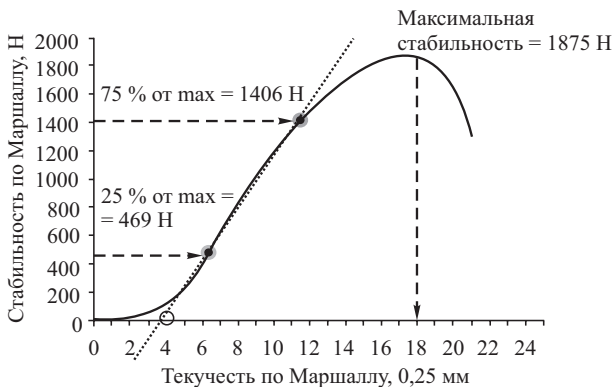


Рисунок 24 – Алгоритм определения значения текучести по Маршаллу

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

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

15.3.4 Результаты испытаний по определению стабильности и текучести в большой степени зависят от марки и качества вяжущего, структуры заполнителя.

15.3.5 Асфальтобетонные смеси, содержащие модифицированные вяжущие, могут подвергаться высокой 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 превышен. В этом случае следует провести дополнительные альтернативные испытания по определению соответствия асфальтобетонной смеси эксплуатационным свойствам.

16 Оформление результатов

16.1 По результатам работ, выполненных в соответствии с настоящим методическим документом, необходимо оформить отчет, содержащий следующую информацию:

- наименование организации, проводившей испытание;
- наименование объекта, для которого осуществляется проектирование;
- тип, вид и марка асфальтобетонной смеси;
- марка битумного вяжущего;
- интенсивность движения;
- степень уплотнения по методологии Маршалла (количество ударов).

16.2 Для протокола результатов подбора минерального заполнителя необходимо иметь:

- 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.

16.3 Для протокола результатов испытаний асфальтобетонных смесей необходимы следующие данные:

- диаметр испытуемых образцов;
- плотность битумного вяжущего G_b , г/см³;
- объемная плотность заполнителя G_{sb} , г/см³;
- содержание абсорбированного вяжущего P_{ba} , %;
- эффективное содержание вяжущего P_{be} , %;
- эффективная плотность заполнителя G_{se} , г/см³;
- содержание битумного вяжущего P_b для каждой серии образцов, %;
- высота уплотненных образцов h , мм;
- кажущийся объем уплотненных образцов V_{mb} , см³;
- объемная плотность уплотненных образцов с расчетом среднего значения G_{mb} для каждого содержания битумного вяжущего, г/см³;
- максимальная плотность асфальтобетонной смеси G_{mm} для каждого содержания битумного вяжущего, г/см³;
- содержание воздушных пустот P_a для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- содержание пустот в минеральном заполнителе VMA для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- содержание пустот, заполненных битумом, VFA, для каждого содержания битумного вяжущего, %;
- стабильность по Маршаллу уплотненных образцов с коррекцией и расчетом среднего значения S_M для каждого содержания битумного вяжущего, Н;
- текучесть по Маршаллу уплотненных образцов с расчетом среднего значения F_M для каждого содержания битумного вяжущего, 0,25 мм.

16.4 Для протокола результатов подбора оптимального количества вяжущего указываются следующие сведения:

- оптимальные характеристики асфальтобетонных смесей G_{mb} , P_a , S_M для определения содержания вяжущего P_b^G , P_b^A , P_b^S ;
- содержание битумного вяжущего асфальтобетонных смесей P_b^G , P_b^A , P_b^S , %;
- расчет 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 ее соответствие требуемым нормированным характеристикам.

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

Приложение А

Обязательная форма отчета о проектировании асфальтобетонной смеси по методологии Маршалла

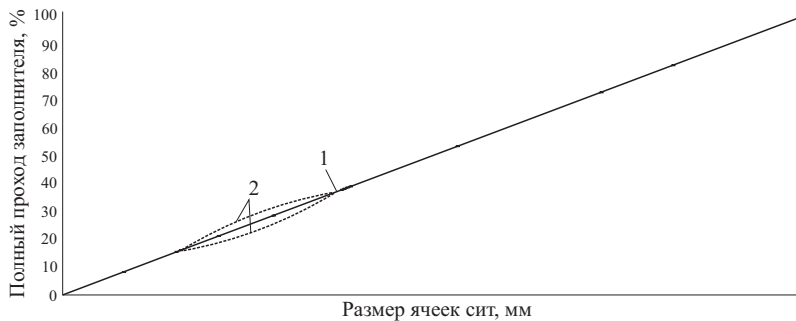
Наименование организации,
проводившей проектирование

ОТЧЕТ

№ _____ от _____
о проектировании 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 Степень уплотнения по Маршаллу _____ ударов
- 8 Примечания _____

1 Протокол результатов подбора минерального заполнителя



- 1 – линия максимальной плотности смеси фракций минерального заполнителя;
2 – кривые, ограничивающие зону пластичности
График зернового состава асфальтобетонной смеси

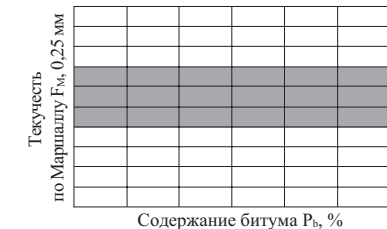
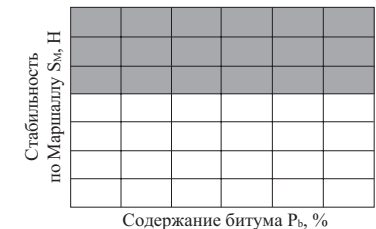
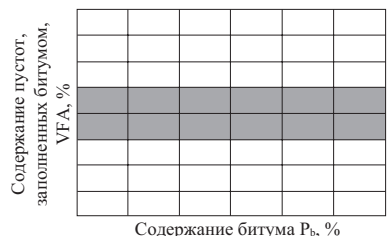
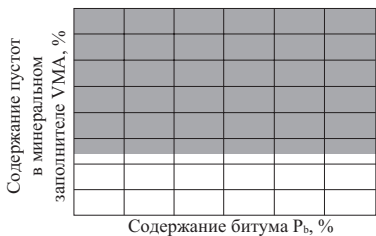
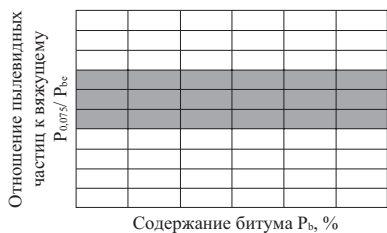
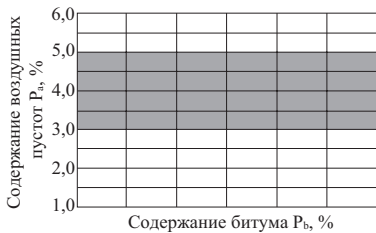
Примечание – Кривая зернового состава асфальтобетонной смеси должна находиться между кривыми нормированного диапазона, построенными по контрольным точками соответствующего номинального максимального размера заполнителя, и проходить ниже зоны пластичности, не пересекая ее.

Количество фракций в смеси, % по массе	Размер фракций, мм	Полный проход, %, через сита размером ячеек, мм											
		0,075	0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75	9,5	12,5	19	25	37,5
100	Полный проход всех фракций, % по массе												
Полный проход нормированного диапазона, % по массе	min												
	max												

2 Протокол результатов испытаний асфальтобетонных смесей

Уплотнение _____ ударов			Диаметр образца _____ мм		Содержание абсорбированного вяжущего P_{ia} _____ %				Отчет № _____	
Плотность битумного вяжущего G_b _____ г/см ³			Объемная плотность заполнителя G_s _____ г/см ³		Эффективная плотность вяжущего P_{se} _____ %				Дата _____	
Объемная плотность вяжущего P_b % / № образца			Объемная плотность вяжущего P_b % / № образца		Эффективная плотность вяжущего P_{se} _____ %				Примечания	
Содержание битумного вяжущего P_b % / № образца	Высота уплотненного образца h , мм	Кажущийся объем образца V_{mb} , см ³	Объемная 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, заполненных 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	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

3 Протокол результатов подбора оптимального количества вяжущего



Объемная плотность асфальтобетонной смеси $G_{mb} = \dots \text{ г/см}^3$	Содержание битумного вяжущего $P_b^G = \dots \%$
Содержание воздушных пустот $P_a = 4 \%$	Содержание битумного вяжущего $P_b^A = \dots \%$
Стабильность асфальтобетонной смеси по Маршаллу $S_M = \dots \text{ Н}$	Содержание битумного вяжущего $P_b^S = \dots \%$

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

Показатель	Содержание воздушных пустот P_a , %	Отношение пылевидных частиц к вяжущему $P_{0,075}/P_{\text{вс}}$	Содержание пустот в минеральном заполнителе VMA, %	Содержание пустот, заполненных 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 отчет

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

Библиография

- [1] Manual Series № 02 (MS-2) 7 th Edition «Asphalt Mix Design Methods», 2014
- [2] ОДМ 218.3.097–2017 Методические рекомендации по определению устойчивости уплотненных асфальтобетонных смесей к пластическому течению на установке Маршалла (на образцах диаметром 152,4 мм)

ОКС 93.080.20

Ключевые слова: асфальтобетон, объемное проектирование, метод Маршалла, минеральный заполнитель, вяжущее

Редактор *В.М. Сафронова*
Корректор *О.П. Вьюнова*
Компьютерная верстка *Т.В. Серегина*
Компьютерная графика *Т.Б. Рябинкина*

Подписано в печать 20.11.2019 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 4,8. Печ.л. 5,3. Тираж 300.

Адрес ФГБУ «ИНФОРМАВТОДОР»:
129085, г. Москва, Звёздный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел.: +7 (495) 747-91-00, 747-91-05
E-mail: sif@infad.ru
Сайт: информавтодор.рф