

К. Петкявичюс, профессор Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса;
И. Подагелис, профессор Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Safety and long-life of asphalt concrete pavement depend on many factors including the quality of initial materials. The influence of its physics – mechanics quality is considered in the article. The optimal composition and variation of quality criteria are defined. The optimal composition of asphalt concrete allows the increase of the terms of road covering service.

Как известно, асфальтобетон – многокомпонентный конгломератный материал, свойства которого в основном зависят от качества применяемых для приготовления материалов, его состава и структуры. Однако главным фактором, предопределяющим свойства асфальтобетона, является его состав. Основная задача – найти такой его состав, который в конкретных условиях функционирования смог бы обеспечить наибольший срок службы дорожной одежды. Ее решение имеет большое хозяйственное значение, поэтому поиском оптимального состава асфальтобетона занимались и занимаются многие исследователи, в том числе профессора А.М. Богусловский, Л.Б. Гезенцевей, Н.В. Горелышев, В.А. Золотарев, И.В. Королев, И.А. Рыбьев, Г.К. Сюньи и др. Они считают, что наиболее важными являются те свойства асфальтобетона, которые в конкретных условиях эксплуатации позволяют обеспечить наибольшую его надежность и долговечность в дорожном покрытии. Анализ выполненных работ дает основание утверждать, что в различных условиях эксплуатации асфальтобетона, обуславливаемых местным климатом, интенсивностью и составом движения, конструкцией дорожной одежды, оптимальными могут быть различные его составы. Из одних и тех же составляющих (щебня, песка, минерального порошка, битума и поверхностно-активных веществ (ПАВ)) можно получить смеси от литого до многощебенистого асфальтобетона. Однако в каждом конкретном случае эксплуатации оптимальными будут лишь некоторые из них. Без учета условий движения и климата невозможно назначить требуемый состав асфальтобетона. Таким образом, в конкретных условиях эксплуатации наибольшую надежность и долговечность могут обеспечить асфальтобетоны не только оптимальных структур, но и те, структура которых отклоняется от оптимальной, но гранулометрический состав находится в нормированных пределах. Целесообразно определить не только оптимальный (для конкретных условий функционирования) состав асфальтобетона, но и норми-

рованные допуски к изменчивости содержания его компонентов.

Исследования по поиску наилучших составов асфальтобетона и изменчивости его свойств в Литве, начатые в седьмом десятилетии прошлого века [1], продолжают до сих пор. В 1985 году были проведены обширные экспериментальные исследования асфальтобетонных покрытий автомагистралей Литвы на 61-м участке крайней полосы движения транспортных средств [2]. Длина участков составила 30–50 м. На каждом участке высверливали керны и определяли компонентный состав и физико-механические показатели верхнего слоя асфальтобетона, толщину верхнего и нижнего слоев асфальтобетона и других нижележащих слоев дорожной одежды, модуль упругости E и прочность (коэффициент прочности $K_{пр}$) дорожной одежды, ровность Y (по трехметровой рейке и прибору ПКРС-2У) и степень разрушения D (%) дорожного покрытия. Асфальтобетон на различных участках прослужил (до проведения исследований) без ремонта покрытия от 5 до 13 лет. Проведенные исследования позволили определить Рациональный состав мелкозернистого плотного асфальтобетона, приготавливаемого из гранитного щебня фракций 3–10 и 10–20 мм, гранитных высевок 0–3 мм, активированного минерального порошка и битума БНД 90/130, для верхнего слоя покрытий автомагистралей Литвы, Калининградской области России и Ольштынского воеводства Польши [2] (табл. 1).

С целью определения нормированных допусков к содержанию компонентов асфальтобетона были рассчитаны следующие показатели: ширина поля допуска δ , допустимое смещение среднего значения содержания компонента от проектного (рационального) значения Δ_d , допустимое среднее квадратическое отклонение содержания компонента S_d . Значения показателя δ следует определять по формуле

$$\delta = T_B - T_H, \quad (1)$$

где T_B и T_H – соответственно верхнее и нижнее предельные допустимые значения массовой доли

* Научный редактор профессор, доктор технических наук И. И. Леонович.

компонента асфальтобетона, определяемые при помощи полученных после обработки экспериментальных данных корреляционно-регрессионных зависимостей между составом и физико-механическими либо другими показателями качества асфальтобетона или дорожного покрытия (ровностью покрытия Y , общей долей повреждений покрытия $D_{об}$, коэффициентом прочности дорожной одежды $K_{пр}$ и др.) [3]. Точки пересечения регрессионной кривой с прямой, соответствующей нормативному (или желательному) пределу показателя качества (или с двумя прямыми, соответствующими двум его нормативным пределам), выделяют зону на оси содержания компонента с крайними значениями T_B и T_H , являющуюся полем допуска содержания компонента δ .

Исследования показали, что наиболее чувствительными показателями качества асфальтобетона к изменению содержания его компонентов являются водонасыщение W и прочность при сжатии R_{50} , поэтому регрессионные зависимости между содержанием каждого компонента асфальтобетона и величинами R_{50} и W в большинстве случаев были определяющими при установлении допусков δ . При заданном значении вероятности P ($T_H < X < T_B$), попадания нормально распределенной случайной величины (содержания компонента) в область между значениями T_H и T_B , равном $P \geq P_{д}$, можно определить значения показателей Δ_d и S_d :

$$P = (T_H < X < T_B) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi(t), \quad (2)$$

$$t_1 = \frac{(\Delta_d + X_p) - T_H}{S_d}, \quad t_2 = \frac{T_B - (\Delta_d + X_p)}{S_d}, \quad (3)$$

где $\Phi(t)$ – функция Лапласа, определяемая при помощи таблиц математической статистики; X_p – проектное (рациональное) содержание компонента, в большинстве случаев занимающее середину поля допуска:

$$X_p = \frac{T_H + T_B}{2}. \quad (4)$$

При значении величины $P = 99,73\%$, получены следующие зависимости для определения значений показателей Δ_d и S_d :

$$\Delta_d = \delta - 6S_d, \quad S_d = \frac{\delta - \Delta_d}{6}, \quad \Delta_d = Z\delta, \quad (5)$$

где Z – квантиль нормального распределенной величины, значения которого устанавливаются по таблицам математической статистики, $Z = 0,674$ – значение квантиля для срединного [4] отклонения случайной величины (содержания компонента).

После обработки экспериментальных данных [2] полученные зависимости между физико-механическими и другими показателями качества асфальтобетона, дорожного покрытия, дорожной одежды и содержанием компонентов мелкозернистого плотного асфальтобетона I марки типа Б позволили установить нормированные допуски к содержанию его компонентов [20] (табл. 2).

Таблица 1

Установленный рациональный состав асфальтобетона

Компонент асфальтобетона	Содержание компонента, в % массовой доли			
	рациональное	допустимые значения		допустимое поле рассеяния
		верхнее	нижнее	
Зерна крупнее 5(2) мм Щ	39,0 (55,5)	43,0 (59,5)	35,0 (51,5)	8,0
Зерна крупностью 0,071–5 (0,09–2) мм П	49,0 (31,0)	55,0 (37,0)	43,0 (25,0)	12,0
Зерна мельче 0,071 (0,09) мм МП	12,0 (13,5)	14,0 (15,5)	10,0 (11,5)	4,0
Битум БНД 90/130 Б	7,1	7,5	6,75	0,75

Таблица 2

Нормированные значения показателей δ , Δ_d и S_d

Показатель однородности	Нормированное значение показателя для компонента асфальтобетона, % массовой доли			
	зерна крупнее 5 (2) мм Щ	зерна крупностью 0,071–5 (0,09–2) мм П	зерна мельче 0,071 (0,09) мм МП	битум Б
	δ	8,00	12,00	4,00
Δ_d	0,80	1,20	0,40	0,08
S_d	1,20	1,80	0,60	0,12

Наблюдения за состоянием покрытий на указанных выше автомагистралях велись постоянно с 1985 года. Почти двадцатилетний период наблюдений и исследований автомагистралей показал, что с течением времени меняются условия работы (функционирования) дорожного покрытия и дорожной одежды автомагистралей: при практически одних и тех же условиях климата и увлажнения, тех же самых грунтах земляного полотна и практически тех же геологических условиях резко изменились условия движения – значительно выросла интенсивность движения, изменился состав транспортного потока, значительно увеличилась процентная доля многоосных большегрузных автомобилей, а поэтому значительно выросла средняя нагрузка на ось движущихся автомобилей и увеличилось разрушающее внешнее воздействие на дорожное покрытие и дорожные одежды автомагистралей. Если в 1987 году определенные фактические межремонтные

сроки дорожных одежд для дорог I технической категории и автомагистралей до капитального ремонта составляли 13 лет, а до среднего ремонта 7 лет [5], то в 2001 году – соответственно 8 лет и 5,5 года [6]. При анализе повреждений и разрушений асфальтобетонного покрытия автомагистралей установлено, что значительная их доля – повреждения усталостного характера. В 1999 году они составили: на дороге I категории Вильнюс – Каунас (A1) – около 15% всех повреждений, на автомагистрали Каунас – Клайпеда (A1) – около 40%, а на автомагистрали Вильнюс – Паневежис (A2) – 56,5% общего количества повреждений. В 2000 году проведенные исследования [7] позволили определить рациональный состав (табл. 3) и нормированные значения показателей однородности асфальтобетона δ , Δ_d и S_d (табл. 4), позволяющие обеспечить срок службы асфальто-бетона до разрушения от $T = 8,5$ до $T = 11$ лет.

Таблица 3

Рациональный состав асфальтобетона, позволяющий обеспечить срок его службы до разрушения $T \geq 8,5$ года

Компонент асфальтобетона	Содержание компонента, % массовой доли			
	рациональное	допустимое значение		допустимое поле рассеяния
		верхнее	нижнее	
Зерна крупнее 5(2) мм Щ	47,5 (64,0)	55,0 (71,5)	40,0 (56,5)	15,0
Зерна крупностью 0,071–5 (0,09–2) мм П	42,5 (24,5)	52,5 (34,0)	33,0 (15,0)	19,0
Зерна мельче 0,071 (0,09) мм МП	10,0 (11,5)	12,0 (13,5)	8,0 (9,5)	4,0
Битум Б	6,9	7,3	6,5	0,8

Таблица 4

Нормированные значения показателей δ , Δ_d и S_d , позволяющие обеспечить срок службы до разрушения асфальтобетона $T \geq 8,5$ года

Показатель однородности	Нормированное значение показателя для компонента асфальтобетона, % массовой доли			
	зерна крупнее 5 (2) мм Щ	зерна крупностью 0,071–5 (0,09–2) мм П	зерна мельче 0,071 (0,09) мм МП	битум Б
δ	15,00	19,00	4,00	0,80
Δ_d	1,50	1,90	0,40	0,08
S_d	2,25	2,85	0,60	0,12

Таблица 5

Рациональный состав асфальтобетона, рекомендуемый для устройства верхнего слоя покрытий на основе экспериментальных исследований, проведенных в 1997–2003 годах

Компонент асфальтобетона	Содержание компонента, % массовой доли			
	рациональное	допустимые значения		допустимое поле рассеяния
		верхнее	нижнее	
Зерна крупнее 5(2) мм Щ	41,5 (58,0)	45,5 (62,0)	37,5 (54,0)	8,0
Зерна крупностью 0,071-5 (0,09-2) мм П	47,0 (29,0)	53,0 (35,0)	41,0 (23,0)	12,0
Зерна мельче 0,071 (0,09) мм МП	11,5 (13,0)	13,5 (15,0)	9,5 (11,0)	4,0
Битум Б	6,2	6,8	5,6	1,2

При сравнении данных табл. 1 и 3 с табл. 2 и 4 видим, что в усталостном асфальтобетоне (в отличие от обычного) увеличено содержание зерен щебня и немного уменьшено содержание зерен песка и минерального порошка при незначительном уменьшении рационального содержания битума, а нормированные значения показателей δ , Δ_d и S_d более жесткие по щебню и песку для обычного асфальтобетона, а по битуму и минеральному порошку – одинаковые для обоих сравниваемых асфальтобетонов.

В 1997–2003 годах проведенные экспериментальные исследования покрытий автомагистралей Литвы, аналогичные исследования, проведенным в 1985 году, показали, что рациональный состав асфальтобетона покрытий приближается к составу усталостностойкого асфальтобетона (табл. 5), а нормированные значения показателей однородности асфальтобетона почти не изменились (кроме показателей для битума) и остались аналогичными приведенным в табл. 2.

При изменении условий эксплуатации изменившийся рациональный состав асфальтобетона (несмотря на выполненные обширные исследования покрытий автомагистралей обследованы 103 элементарных участка покрытий) все-таки нельзя считать оптимальным, т. к. он является наилучшим на исследованных участках только в данный момент. Последние достижения науки показывают хорошие перспективы высокоплотного асфальтобетона [8], применимость которого для покрытий автомагистралей Литвы целесообразно проверить в ближайшем будущем.

Литература

1. Рокас С. Ю. Учитывать вариации качества асфальтобетона // Автомобильные дороги. – 1969. – № 4. – С. 10–11.
2. Петкявичюс К. Н. Контроль и регулирование технологического процесса приготовления

асфальтобетонных смесей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14. – М., 1987. – 20 с.

3. Петкявичюс К. Нормирование однородности дорожного асфальтобетона // Новая техника и технология в строительстве автомобильных дорог: Матер. республ. научно-техн. конф., 3–5 февр., 1988 г. – Вильнюс, 1988. – С. 23–26.

4. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Советское радио, 1962. – 552 с.

5. Палшайтис Э. Л., Клигис Р. А. Региональные нормы межремонтных сроков службы нежестких дорожных покрытий в условиях Литовской ССР // Автомобильный транспорт, 2: Повышение эффективности строительства и эксплуатации автомобильных дорог. – Вильнюс. – С. 48–55.

6. Sivilevičius H., Petkevičius K. Regularities of development in the asphalt concrete road pavement // Journal of Civil Engineering and Management, 2002, vol. VIII, № 3. Vilnius: Technika, P. 206–213.

7. Petkevičius K., Podagėlis I. Didžiausią atsparumą nuovargiui laiduojanti optimali asfaltbetonio sudėtis // Mokslo žurnalo «Statyba» priedas: Miestų plėtra ir keliai, 2000. Vilnius: Technika, P. 49–54.

8. Саль А. О., Ильин С. Н. Покрытия из высокоплотного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – № 1 – С. 13–14.

Комментарии к статье

Приведенные в статье данные о составе асфальтобетонных смесей отражают многолетние экспериментальные исследования, проведенные учеными Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса (Литовская Республика), и подтверждают возможность приблизиться к оптимальным соотношениям используемых при этом компонентов. Эти данные представляют несомненный интерес и для до-

рожных организаций Беларуси, работающих в погодно-климатических условиях, близких к литовским. Вместе с тем необходимо учитывать и опыт строительства дорог с асфальтобетонными покрытиями в Республике Беларусь. Здесь ведутся интенсивные работы по развитию и модернизации дорожной сети, при этом асфальтобетоны являются наиболее распространенным материалом. На практике реализуются различные технологии строительства. Широкое применение находят битумные катионные эмульсии, модифицированные битумы, органоминеральные композиции.

Для примера можно привести некоторую информацию о качестве асфальтобетонных смесей, уложенных на Минской кольцевой автомобильной дороге, предназначенной для движения грузового и легкового транспорта с интенсивностью свыше 14 тыс. автомобилей в сутки. Дорожная одежда многослойная. Нижний слой покрытия толщиной 6–9 см уложен из пористого асфальтобетона.

Для устройства верхнего асфальтобетонного слоя использована смесь: 54% щебня, 24% отсева дробления, 14% природного песка, 8% минерального порошка и 5,6% вяжущего. В состав вяжущего добавлялись адгезионные ПАВ «Poliram L 200» и «Азэл 1001». Обследования и статистическая обработка результатов измерений, произведенных РУП «БелдорНИИ» в 2002 году, показали, что качество асфальто-

бетона в основном отвечает требованиям СТБ 1033-96. Среднее значение модуля остаточной деформации составило 148 МПа при разбросе 5%. Среднее значение предела прочности при сжатии при 50°C было равным 1,78 МПа, а водонасыщение при средней плотности 2,5 г/см³ – 1,6%. Вместе с тем установлено, что на трещеустойкость и коррозионную устойчивость существенно влияет наличие в смеси лещадных щебен. Ограничить их до 15% по массе можно путем использования кубовидного щебня. Важное значение играет и вид используемого битума. Его оптимальными характеристиками были признаны следующие: глубина проникания иглы при 25°C – 90–100 мм, а при 0°C – не менее 28 мм, температура размягчения по К и Ш – не ниже 45°C; растяжимость при 25°C – не менее 10 см и при 0°C – не менее 4 см.

При строительстве МКАД была опробована технология приготовления и укладки щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием целлюлозного волокна. Выводы подтверждают целесообразность использования этого вида смесей при строительстве грузонапряженных магистральных автомобильных дорог.

Таким образом, проблема асфальтобетона решается во многих странах, но она по-прежнему остается не исчерпанной в научном и практическом отношении и ей необходимо уделять больше внимания.

Проф. И. И. Леонович