

УДК 625.852/691.168

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПО ГОСТ Р 58406.2-2020 ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ

Косенко Наталья Валерьевна, аспирант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru

Горячев Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru

Лугов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru

Мишина Дарья Юрьевна канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru

Аннотация. Применение в дорожных конструкциях вновь появившихся наименований и разновидностей дорожно-строительных материалов, прежде всего различных асфальтобетонов, поднимает проблему объективности указанных в нормативных документах расчётных характеристик этих материалов. Наблюдается тенденция изменения расчётных характеристик асфальтобетонов от одного нормативного документа к другому, что ставит под сомнение достаточную степень проработанности данного вопроса. Объяснение этому имеется: приведённые в ПНСТ 542-2021 расчётные характеристики для новых наименований асфальтобетонов не имеют должного обоснования теоретическими или эмпирическими исследованиями. С целью устранения выявленного существенного недостатка в современной отечественной нормативной базе в статье предлагается воспользоваться графоаналитическим приёмом, выстраивающим переход от хорошо изученных асфальтобетонов отечественной школы материаловедения к недостаточно изученным в нашей стране западноевропейским асфальтобетонам. Полученные для новых асфальтобетонов результаты могут быть направлены на совершенствование всех прочностных критериев в нормативной методике проектирования дорожных одежд в целом, и повышение корректности расчёта на растяжение при изгибе в частности.

Ключевые слова: асфальтобетон, модуль упругости, проектирование дорожных одежд.

COMPARISON OF ROAD ASPHALT CONCRETE DESIGNED ACCORDING TO DIFFERENT STATE STANDARDS TO JUSTIFY THEIR DESIGN CHARACTERISTICS WHEN DESIGNING PAVEMENTS

Kosenko Natalia V., postgraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Goryachev Mikhail G., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Lugov Sergey V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Mishina Daria Yu., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Abstract. New names and varieties of road construction materials have appeared in pavement structures, primarily various foreign asphalt concretes. This problematizes the objectivity of the design asphalt concrete characteristics specified in the regulatory documents. Moreover, there is a tendency to change the design characteristics of asphalt concrete from one regulatory document to another. This calls into question their validity. Clear as bell there isn't any information about theoretical or empirical studies of the design characteristics of new asphalt concrete types according PNST 542-2021 on the territory of the Russian Federation. The authors propose to use a graphical analytical technique in order to eliminate the identified significant shortcoming in the modern domestic regulatory framework. This method builds the transition from well-studied asphalt concretes domestic school of materials science to Western European asphalt concretes, which are innovative in our country. The results obtained for such asphalt concretes can be used for improving both all strength criteria in the standard pavements design methodology in general, and the calculation of tension in bending in particular.

Key words: asphalt concrete characteristics, elastic modulus, pavements design.

Введение

Перечень применяемых на автомобильных дорогах нашей страны асфальтобетонов существенно расширился, особенно в последние годы. Необходимо отметить, что участвующий выпуск новых государственных стандартов на дорожные асфальтобетоны не получает обоснованной гармонизации со сложившейся методикой проектирования дорожных одежд в части назначения расчётных характеристик асфальтобетонов.

Таким образом, вследствие появления новых наименований и разновидностей асфальтобетонов дорожная практика сталкивается с целым рядом проблем, которые не позволяют повысить качество проектирования и строительства дорожных одежд, прежде всего на федеральных и платных дорогах. К числу таких проблем можно отнести следующие: отсутствие единых расценок, завышенные прејскуранты поставщиков, слабая проработка вопроса при назначении марок битума, недостаточно высокий уровень качества продукции, противоречивые результаты мониторинга за сроками службы покрытий и т.п. На фоне указанного широкого спектра проблем внимание дорожных специалистов редко обращается на ещё одну, имеющую научно-прикладной характер, и в значительной степени осложняющую задачу обеспечения качества дорожных одежд. В ПНСТ 542-2021 обобщённо приведены численные значения расчётных характеристик для новых разновидностей асфальтобетонов, однако, каких-либо исследований лабораторным, полевым или аналитическим путём не проводилось, публикации отсутствуют. Разработчиками ПНСТ 542-2021, другими российскими авторами [5, 6], а также в зарубежных исследованиях [8, 9, 11] рассматриваемые вопросы не освещены. Такая ситуация связана с тем, что в настоящее время провести квалифицированные исследования, аналогичные выполненным в начале второй половины XX века для асфальтобетонов по ГОСТ 9128, задача дорогостоящая и трудоёмкая.

Таким образом, актуальной научно-прикладной задачей можно считать разработку методики, которая позволила бы обосновать расчётные характеристики асфальтобетонов для проектирования дорожных одежд и предложить их численные значения для различных условий эксплуатации [2, 7, 10]. На кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ уже некоторое время проводятся работы по обоснованию расчётных характеристик новых наименований и разновидностей асфальтобетонов по

ГОСТ Р 58406.2-2020 [1]. Было показано, что в условиях, когда невозможно произвести полномасштабные экспериментальные и лабораторные испытания, метод аналогий является референтным, а также наиболее логичным и удобным для решения подобных научных задач [3, 4].

Основная часть

ГОСТ Р 58406.2-2020 «Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон» вводит новые наименования и разновидности асфальтобетонов, физико-механические характеристики которых малоисследованы, в том числе и расчётные характеристики, требующиеся для проверок по прочностным критериям при проектировании дорожных одежд. В доступных литературных источниках отсутствуют какие-либо теоретические или эмпирические обоснования численных значений рассматриваемых расчётных характеристик, однако они всё равно отражены в ПНСТ 542-2021. Поэтому достоверность результатов, получаемых при проектировании дорожных одежд по указанному нормативному документу, вызывает серьёзные сомнения у специалистов.

При реализации указанного выше аналитического метода определения численных значений расчётных характеристик новых асфальтобетонов, производилось сопоставление асфальтобетонов, соответствующих ГОСТ 9128-2013, с асфальтобетонами по ГОСТ Р 58406.2-2020 [1]. В результате подобных аналитических сопоставлений были получены несколько уточнённые «доли соответствия» и «части соответствия».

Суть графоаналитического подхода по определению «долей соответствия» гранулометрических составов асфальтобетонов из разных государственных стандартов заключается в следующем:

- Графически обозначаются предельные значения гранулометрического состава асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013.

- Измеряется площадь, образованная предельными значениями гранулометрического состава асфальтобетона по ГОСТ 9128-2013.
- На полученном графическом изображении обозначаются предельные значения гранулометрического состава асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020.
- Определяется площадь совпадения граничных значений обоих зерновых составов.
- Вычисляется «доля соответствия» γ_j асфальтобетона по ГОСТ 9128-2013 к асфальтобетону по ГОСТ Р 58406.2-2020 путём отношения площади совпадения зерновых составов $S_{общ}$ к площади, образованной предельными значениями гранулометрического состава асфальтобетона по ГОСТ 9128-2013 S_e :

$$\gamma_j = \frac{S_{общ}}{S_e} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

Для графических построений необходимо учитывать размер и форму ячеек у сит, применяемых в новом нормативе ГОСТ Р 58406.2-2020, которые имеют, в отличие от ГОСТ 9128-2013, не круглую, а квадратную форму (табл. 1).

Таблица 1

Корреляция размеров ячеек сит по ГОСТ Р 58406.2-2020 и ГОСТ 9128-2013

Нормативный документ	Номинальный размер ячеек сит, мм							
	31,5	16	11,2	8	4	2	0,125	0,063
ГОСТ Р 58406.2-2020								
ГОСТ 9128-2013	40	20	15	10	5	2,5	0,16	0,071

Для соотношения каждого асфальтобетона ГОСТ Р 58406.2-2020 со всеми возможными асфальтобетонами из ГОСТ 9128-2013, необходимо учитывать классификационные признаки асфальтобетонов, такие как максимальный размер зерна, количество щебня и остаточная пористость. Основное требование к нахождению «долей соответствия», является частичное соответствие классификационных признаков асфальтобетонов.

Например, асфальтобетоны А32 и А22, предназначенные для тяжёлых условий движения, применяемые в основании, имеют одинаковый гранулометрический состав с асфальтобетонами, принятыми для нормальных условий в слоях основания. Содержание щебня у указанных асфальтобетонов указаны в пределах от 45 до 68 %, что соответствует крупнозернистым асфальтобетонам типов А, Б, а также пористым и высокоплотным по ГОСТ 9128-2013. Однако содержание воздушных пустот колеблется от 3 до 7 %, что исключает сопоставление данных асфальтобетонов (А32ОТ, А32ОН, А22ОТ, А22ОН) с высокоплотным асфальтобетоном (1,0...2,5 %).

Асфальтобетоны, применяемые в нижних слоях покрытия и предназначенные для лёгких условий движения, имеют максимальную крупность до 11,2; 16 и 22 мм. При этом содержание воздушных пустот в асфальтобетоне А11 – от 2,5 до 5,0 %, поэтому он должен быть рассмотрен как плотный асфальтобетон. Асфальтобетоны А22 и А16 имеют остаточную пористость, соответствующую граничным значениям пористых и плотных асфальтобетонов – от 3,5 до 5,5 %.

Предусмотренные для использования в нижних слоях покрытия дорог с лёгкими условиями движения асфальтобетоны представлены составы с крупностью от А22 до А5. Щебенистость асфальтобетонов А22НЛ и А16НЛ 40...63% по массе, А11 – 35...58 %, А5 – 15...38 %. Поэтому асфальтобетоны А22 необходимо сопоставить с пористым крупнозернистым асфальтобетоном и асфальтобетонами типа А и Б.

Асфальтобетон А16 целесообразно рассматривать относительно мелкозернистых асфальтобетонов типа А и Б по ГОСТ 9128-2013, а асфальтобетон А11 уже относительно плотных асфальтобетонов типов А, Б и В. Асфальтобетоны А8НЛ и А5НЛ в связи с низким содержанием щебня от 15 до 38 % следует сопоставить с песчаными асфальтобетонами типа Д и Г по ГОСТ 9128-2013.

Асфальтобетон А16, предназначенный для нижних слоёв покрытия при тяжёлых условиях эксплуатации, можно соотнести к мелкозернистым асфальтобетонам по наибольшему размеру зерна, но учитывая содержание щебня (50...68 %) данный асфальтобетон можно соотнести только с мелкозернистым асфальтобетоном типа А, который имеет 50...60 % щебня и остаточную пористость в диапазоне 2,5...5,0.

Пример определения «доли соответствия» для асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013 (крупнозернистый типа Б) и ГОСТ Р 58406.2-2020 (для слоя основания с нормальными или тяжёлыми условиями движения с максимальным размером зерна 32 мм) представлен на рис. 1. Анализ показал, что для этого примера «доля соответствия» составляет около 62%.

Результаты сопоставления некоторых видов асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013 с асфальтобетонами по ГОСТ Р 58406.2-2020 приведены в табл. 2-4.

Для определения «частей соответствия» Δ_j асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013 для каждого асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020 необходимо полученные «доли соответствия» γ_{ji} соотнести с суммой «долей соответствия» $\sum_{i=1}^n \gamma_{ji}$ для данного типа асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2.2020.

$$\Delta_j = \frac{\gamma_{ji}}{\sum_{i=1}^n \gamma_{ji}}, \quad (2)$$

где i – порядковый номер асфальтобетона из ГОСТ 9128-2013;
 n – количество типов асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013, которые имеют «доли соответствия» более 40 % для рассматриваемого типа асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020.

«Части соответствия» крупнозернистых асфальтобетонов из ГОСТ 9128-2013 для некоторых видов асфальтобетонов из ГОСТ Р 58406.2-2020 приведены в табл. 2. В табл. 2...4 принято следующее сокращение: к/з – крупнозернистый, в числителе указаны «доли соответствия», в знаменателе – «части соответствия». Условные обозначения асфальтобетонов из ГОСТ Р 58406.2-2020 соответствуют оригиналу.

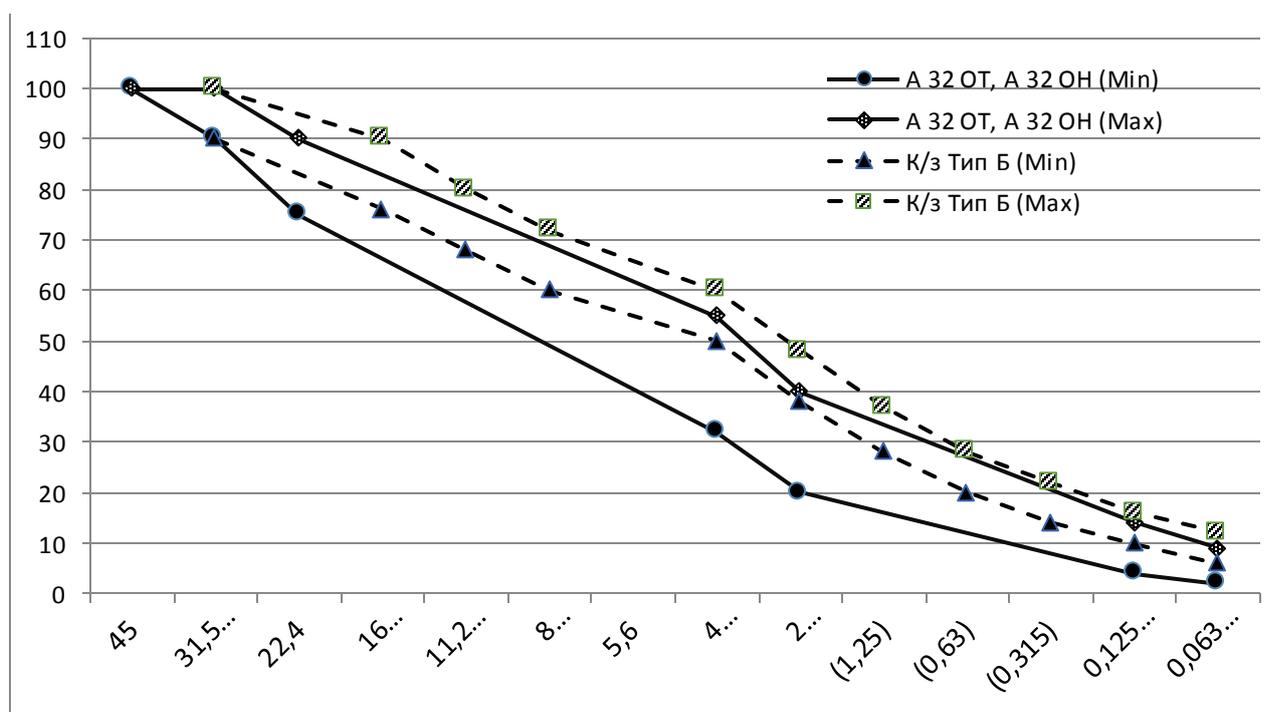


Рис. 1. Графическое сопоставление зернового состава асфальтобетона А32ОН, А32ОТ с крупнозернистым асфальтобетоном типа Б

В результате сопоставления гранулометрических составов выявлена необходимость определения для новых асфальтобетонов по ГОСТ Р 58406.2-2020 их расчётных характеристик, которые впоследствии можно было бы использовать при расчёте дорожных конструкций.

Таблица 2

Сопоставление гранулометрических составов дорожных асфальтобетонов, применяемых в основаниях при тяжёлых и лёгких условиях движения, по ГОСТ Р 58406.2-2020 к асфальтобетонам по ГОСТ 9128-2013

Асфальтобетоны по ГОСТ Р 58406.2-2020	Результаты сопоставления гранулометрических составов с асфальтобетонами по ГОСТ 9128-2013		
	К/з типа А	К/з типа Б	К/з пористый
A32OT	89,14/0,46	61,79/0,32	44,15/0,22
A32HT	82,53/0,55	35,95/0,24	32,11/0,21
A22HH	78,85/0,45	55,84/0,32	39,45/0,23

При определении модулей упругости асфальтобетонов для расчёта дорожных одежд на прочность предлагается следующий порядок:

- Выбирается критерий прочностного расчёта дорожной одежды.
- Определяются расчётные модули упругости асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013 необходимые для расчёта модуля упругости дорожного асфальтобетона по ГОСТ 58406.2-2020.

- Используя установленные «части соответствия» асфальтобетонов по ГОСТ Р 58406.2-2020 и ГОСТ 9128-2013 (см. табл. 2), а также нормативные модули упругости асфальтобетонов по ГОСТ 9128-2013, определяют модуль упругости дорожного асфальтобетона из ГОСТ Р 58406.2-2020 (для марок битума по ГОСТ 22245-90) по следующей формуле:

$$E = n_1 * E_1^0 + n_2 * E_2^0 + n_3 * E_3^0 + \dots + n_n * E_n^0, \quad (3)$$

где n_i – «части соответствия» i -го асфальтобетона по ГОСТ Р 58406.2-2020 и ГОСТ 9128-2013;

E_i^0 – нормативный модуль упругости i -го асфальтобетона по ГОСТ 9128-2013, МПа.

В качестве примера определим модуль упругости для асфальтобетона A32OT на битуме марки БНД 40/60:

$$E = n_1 * E_1^0 + n_2 * E_2^0 + n_3 * E_3^0 + \dots + n_n * E_n^0 = 0,46 * 6000 + 0,32 * 6000 + 0,22 * 3600 = 5421 \text{ МПа.}$$

Аналогичным образом проводится расчёт для всех видов асфальтобетонов и каждой марки битума (табл. 3).

Таблица 3

Расчётные характеристики дорожных асфальтобетонов, запроектированных на вяжущих по ГОСТ 22245-90, при расчёте на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Марка битума	Асфальто-бетон	Расчётные значения модуля упругости, МПа	Асфальто-бетон	Расчётные значения модуля упругости, МПа	Асфальто-бетон	Расчётные значения модуля упругости, МПа
БНД 40/60	А32ОТ	5421	А32ОН	5421	А22НН	6000
БНД 60/90		4115		4115		4500
БНД 90/130		3283		3283		3600
БНД 130/200		2145		2419		2600
БНД 200/300		1864		1864		2000

Согласно ГОСТ 33133-2014 в составе дорожных асфальтобетонов используются битумы с пенетрацией 50/70, 70/100, 100/130, 130/200. Таким образом, необходимо произвести уточнение расчётных характеристик асфальтобетонов с учётом указанных марок битума.

Для уточнения расчётных характеристик с учётом изменения интервалов пенетрации предлагается придерживаться следующего алгоритма:

1. Вынести на график расчётные характеристики асфальтобетонов, запроектированных по ГОСТ Р 58406.2-2020, указанные в табл. 5, с применением в составе битумного вяжущего по ГОСТ 22245-90 (БНД 40/60, 60/90 и т.д.).
2. С помощью вспомогательных построений на графике, соединить значения, соответствующие меньшей пенетрации для каждого из интервалов.
3. Спроецировать на вспомогательные построения интервалы пенетрации, соответствующие ГОСТ 33133-2014 (БНД 50/70, 70/100 и т.д.).
4. Спроецировать полученные точки на ось ординат и определить численное значение модуля упругости. Пример графика представлен на рис. 2. Результат представлен в табл. 4.

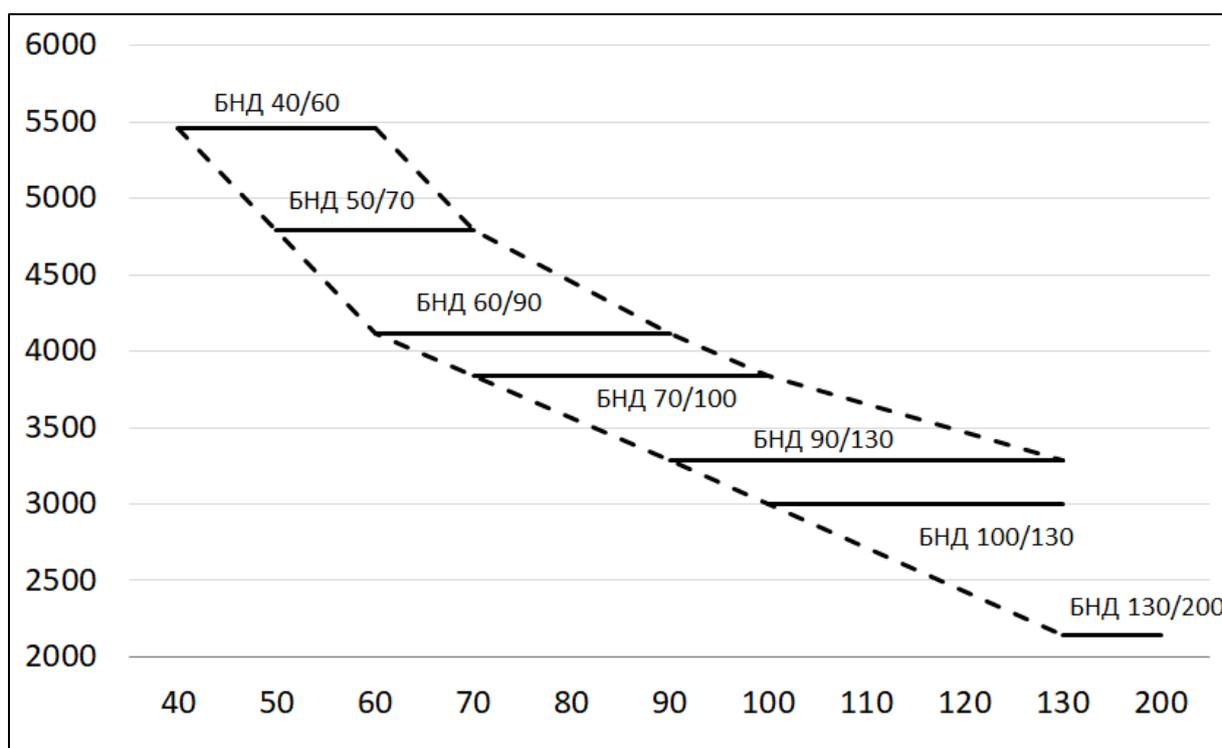


Рис. 2. Уточнение расчётных характеристик дорожного асфальтобетона А320Т по ГОСТ Р 58406.2-2020, применяемых для расчёта дорожной одежды на растяжении при изгибе

Таблица 4

Расчётные характеристики дорожных асфальтобетонов для расчёта дорожной одежды на растяжение при изгибе, с учётом применения в их составе битумного вяжущего по ГОСТ 33133-2014

Асфальтобетон	Марка битума	Расчётные значения модуля упругости E , МПа
А32ОТ	БНД 50/70	4786
	БНД 70/100	3838
	БНД 100/130	2999
	БНД 130/200	2145
	БНД 200/300	1864
А32НТ	БНД 50/70	5250
	БНД 70/100	4200
	БНД 100/130	3350
	БНД 130/200	2600
	БНД 200/300	2000
А22НН	БНД 50/70	5250
	БНД 70/100	4200
	БНД 100/130	3350
	БНД 130/200	2600
	БНД 200/300	2000

Выводы

1. На основе показателя «части соответствия» была предложена методическая последовательность определения расчётных характеристик

новых асфальтобетонов из ГОСТ Р 58406.2-2020. Соответствие устанавливается с асфальтобетонами по ГОСТ 9128-2013.

2. Для определения расчётных характеристик дорожных асфальтобетонов, гипотетически запроектированных по ГОСТ Р 58406.2-2020 с битумами из ГОСТ 22245-90, был разработан соответствующий алгоритм.

3. Для перехода от расчётных значений модулей упругости асфальтобетонов на битумах марок, соответствующих ГОСТ 22245-90, к асфальтобетонам, проектируемых с битумами марок по ГОСТ 33133-2014, разработан соответствующий подход.

4. Предложены обоснованные расчётные значения модулей упругости асфальтобетонов по ГОСТ Р 58406.2.2020 для расчёта дорожной одежды по критерию растяжения при изгибе под кратковременными нагрузками.

Список литературы

1. Горячев, М.Г. Сопоставление дорожных асфальтобетонов, проектируемых по разным государственным стандартам, для обоснования их расчётных характеристик при проектировании дорожных одежд / М.Г. Горячев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1 (64). – С. 85-90.
2. Кириллов, А.М. Моделирование изменения модуля упругости асфальтобетона при нагружении / А.М. Кириллов, М.А. Завьялов // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 2 (54). – С. 70-76.
3. Лугов, С.В. Общие проблемы методов проектирования и назначение некоторых расчётных характеристик материалов дорожных одежд / С.В. Лугов, Е.В. Калёнова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2016. – № 1 (75). – С. 11-14.
4. Руденский, А.В. Определение расчётных значений модуля упругости асфальтобетона по результатам экспериментального определения фактических значений модуля упругости / А.В. Руденский, С.Ю. Поляков // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 2 (50). – С. 82-93.

5. Кирюхин, Г.Н. Эффективная модель модуля упругости асфальтобетона / Г.Н. Кирюхин // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2016. – № 1(51). – С. 78-84.
6. Яшнов, А.Н. Анализ расчетных моделей для определения модуля упругости асфальтобетона / А.Н. Яшнов, С.Ю. Поляков // Политранспортные системы: материалы IX Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 17–18 ноября 2016 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 73-79.
7. Rashadul, I. Backcalculated Modulus of Asphalt Concrete / I. Rashadul, T. Rafiqul, U. Mesbah // Civil Engineering and Construction. – 2019. – №. – 8(4). – С. 127-136.
8. Albayati, A. Equivalent Modulus of Asphalt Concrete Layers / A. Albayati, H. Al-Mosawe, T. Fadhil, A. Allawi // Civil Engineering. – 2018. – Т. 4. – № 10.
9. Füleki, P. Investigation of coherence between fundamental deformation properties of asphalt concrete mixtures and performance related parameters of bitumen // Investigation of coherence between fundamental deformation properties of asphalt concrete mixtures and performance related parameters of bitumen. Doctoral dissertation, Hungary, Győr. – 2013. – С. 160.
10. Setiawan, A. Developing the elastic modulus measurement of asphalt concrete using the compressive strength test / A. Setiawan, L. Suparna, A. Taufik // Conference materials «Proceedings of the 3rd international conference on construction and building engineering». Yogyakarta, Indonesia. – 2017. – № 1903.
11. Sangsefidi, E. The effect of aggregate gradation limits consideration on performance properties and mixture design parameters of hot mix asphalt / E. Sangsefidi, H. Ziari, M. Sangsefidi // Civil Engineering. – 2016. – Т. 20. – №. 1. – С. 385-392.

References

1. Goryachev M.G. *Vestnik moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2021, no. 1 (64), pp. 85-90.
2. Kirillov A.M., Zav'yalov M.A. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2015, no 2 (54), pp. 70-76.
3. Lugov S.V., Kalyonova E.V. *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*, 2016, no. 1 (75), pp. 11-14.
4. Rudenskij A.V. Polyakov S.YU. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury*, 2018, no. 2 (50), pp. 82-93.
5. Kiryuhin G.N. *Vestnik kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arhitektury im. N. Isanova*, 2016, no. 1(51), pp. 78-84.

6. Yashnov A.N., Polyakov S.YU. Politransportnyye sistemy: materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Novosibirsk, 2017, pp. 73-79.
7. I., Rafiqul T., Mesbah U. *Civil Engineering and Construction*, 2019, no. 8(4) p-p. 127-136.
8. Albayati A., Al-Mosawe H., Fadhil T., Allawi A. *Civil Engineering*, 2018, vol. 4, no. 10.
9. Füleki P. *Investigation of coherence between fundamental deformation properties of asphalt concrete mixtures and performance related parameters of bitumen*, Doctoral dissertation, Hungary, Győr, 2013, 160 p.
10. Setiawan A., Suparma L., Taufik A. *Conference materials «Proceedings of the 3rd international conference on construction and building engineering»*, Yogyakarta, Indonesia, 2017, No. 1903.
11. Sangsefidi, E., Ziari, H., Sangsefidi, M. *Civil Engineering*, 2016. Vol. 20, No. 1, pp. 385-392.

Рецензент: В.В. Ушаков, д-р техн.наук, проф., МАДИ