

# ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

## PLASTIC STRAIN OF ROAD ASPHALT CONCRETE COATINGS. SUBSTANTIATION OF PROPERTIES INDICES REQUIRED FOR CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS



**В. А. Веренько,**  
доктор технических наук,  
профессор Белорусского  
национального технического  
университета,  
г. Минск, Беларусь

**В. В. Занкович,**  
кандидат технических наук,  
заместитель директора  
по инновационной работе  
ООО «Дорожно-строительные  
инновации», г. Минск, Беларусь

*В статье представлены результаты исследований сдвигоустойчивости асфальтобетонов различной структуры, в том числе модифицированных, которые позволили на основании оценки устойчивости к появлению пластических деформаций обосновать величину требуемых показателей высокотемпературных свойств горячих асфальтобетонных смесей для условий Республики Беларусь.*

*The article quotes results of studying shear-resistance of asphalt concretes having different structure, including modified ones, which made it possible on the basis of evaluation of resistance to plastic deformations occurrence to substantiate quantity of required indices for high-temperature properties of hot asphalt concrete mixes for conditions of the Republic of Belarus.*

### Введение

Пластичность – способность материала дорожного покрытия резко увеличивать остаточную деформацию при превышении определенного уровня напряжения, называемого пределом пластичности.

Применительно к асфальтобетонам и бетонам, содержащим органическое вяжущее, термин «пластические деформации» не совсем точен. Как показано в [1], дорожные бетоны представляют собой сложный материал, обладающий спектром реологических свойств с различным содержанием упруговязкопластичных связей. Более правильно в отношении подобных материалов речь вести об остаточных деформациях, накапливаемых в различных областях реологического спектра и напряженного состояния. Данные деформации могут быть вызваны вязким течением битумных пленок, разрывом упругих связей, а также, безусловно, и пластическим деформированием. Поскольку в результате развития вышеуказанных деформаций итогом на практике является один и тот же их вид, то для сохранения терминологии и упрощения восприятия весь спектр остаточных деформаций, возникающих без разрушения материала, будем именовать пластическими.

Недостаточная устойчивость к сопротивлению пластическим

деформациям приводит к появлению колеи, гребенки, наплывов и других видов деформаций.

«Ответственным» за появление пластических деформаций может быть любой конструктивный слой дорожной одежды и земляное полотно. Возможна ситуация, когда «ответственность» несут несколько конструктивных слоев. В то же время наиболее часто пластические деформации накапливают верхний и нижний слои покрытия. Связано это с повышенным нагревом данных слоев в летний период и достаточно высоким уровнем напряжения в них от действия транспортной нагрузки.

Пластические деформации можно разделить на следующие группы:

- продольные колеи различной конфигурации;
- поперечные деформации в виде гребенки;
- наплывы, отпечатки и сдвиги, возникающие в локальных местах перераспределения транспортных потоков и на стоянках.

Не останавливаясь подробно на виде данных деформаций, отметим, что пластические деформации – наиболее опасный вид деформаций, приводящий к снижению качества дорожного покрытия, безопасности движения и потребительских качеств.

В связи с этим обоснованные требования к показателям

сдвигоустойчивости асфальтобетонов являются важным инструментом для обеспечения качества дорожных покрытий в течение расчетного срока службы.

### Результаты исследований

Для правильного установления причин и возможности появления пластических деформаций необходимо иметь критерий оценки устойчивости асфальтобетонного покрытия к пластическим деформациям.

Данный критерий должен отвечать следующим требованиям:

- по-возможности полно учитывать особенности напряженно-деформированного состояния материала покрытия под действием транспортной нагрузки;
- учитывать поведение материала в широком температурно-временном поле под действием нагрузки;
- быть достаточно простым и легко воспроизводимым на практике.

Для разработки такого рода критерия, определяющего сопротивляемость асфальтобетона пластическим деформациям, наиболее полно подходит теория композиционных материалов, основные положения которой изложены в [2].

Исходя из данной теории, зависимость сопротивления сдвигу ( $R_{сдв}$ ) будет определяться следующими параметрами:

- количеством упругих связей, образующих конденсационно-кристаллизационный каркас ( $n_y$ );
- количеством обращаемых упругих связей ( $n_0$ );
- функцией угла внутреннего трения ( $\varphi$ ), то есть

$$R_{сдв} = R_c \cdot (n_y + n_0) + f(\varphi), \quad (1)$$

где  $R_c$  – предельная (максимальная) прочность асфальтобетона во всем диапазоне температуры и времени действия нагрузки.

Количество упругих связей  $n_y$ , образующих конденсационно-кристаллизационный каркас, однозначно соотносится с истинным пределом пластичности асфальтобетона или длительным модулем релаксации.

Количество обращаемых упругих связей  $n_0$  определяется величиной модуля релаксации, соответствующего фактической температуре и времени действия нагрузки.

С учетом зависимости (1), применительно к теории Мора – Кулона, в качестве критерия, определяющего сдвигоустойчивость асфальтобетона в дорожном покрытии, может выступать коэффициент запаса прочности ( $K$ )

$$K = \frac{R_c(n_y + n_0)}{\tau - \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – действующие касательные напряжения;  
 $\sigma$  – действующие нормальные напряжения.

Для сравнительных испытаний в Республике Беларусь используется упрощенный критерий [3]:

$$K = \frac{C \cdot n}{\sigma_p - m \cdot \sigma_c \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (3)$$

где  $n$  – параметр, учитывающий соотношение фактического и длительного модулей релаксации, принимаемый для сравнительных испытаний равным 0,7 (при условии, что за величину истинного предела пластичности принято внутреннее сцепление асфальтобетона ( $C$ ) при расчетной высокой температуре 50 °С);

$\sigma_p$  – контактные растягивающие напряжения от действия транспортной нагрузки, принимаемые для сравнительных испытаний равными 0,65 МПа – для участков разгона – торможения и 0,5 МПа – для участков равномерного скоростного движения;

$\sigma_c$  – контактные сжимающие напряжения от действия транспортной нагрузки, принимаемые для сравнительных испытаний равными 1 МПа;  
 $m$  – коэффициент, учитывающий несовпадение площадок действия контактных напряжений, принимаемый для сравнительных испытаний равным 0,43.

Исходя из зависимости (3) сдвигоустойчивость асфальтобетона будет обеспечена, если в результате действия транспортной нагрузки при высокой температуре, когда несущая способность вязких связей минимальна, не будет происходить разрушения конденсационно-кристаллизационного каркаса (сплошных упругих связей) от действия напряжений, которые в дальнейшем будут вызывать изменение формы и появление пластических деформаций.

Способность материала сопротивляться появлению пластических деформаций определяется величиной его уровня надежности ( $P$ ) по критерию сдвигоустойчивости (рис. 1).

Представленная на рисунке 1 зависимость получена в результате проведения исследований свойств асфальтобетонов конструктивных слоев дорожных одежд магистральных дорог и улиц в Республике Беларусь [4] и в Китайской Народной Республике [5] с последующим мониторингом их состояния на предмет оценки уровня дефектности в виде колеи, наплывов и сдвигов. Полученные результаты подвергались статистической обработке с целью получения функции распределения исследуемой величины, а именно коэффициента запаса по критерию сдвигоустойчивости.



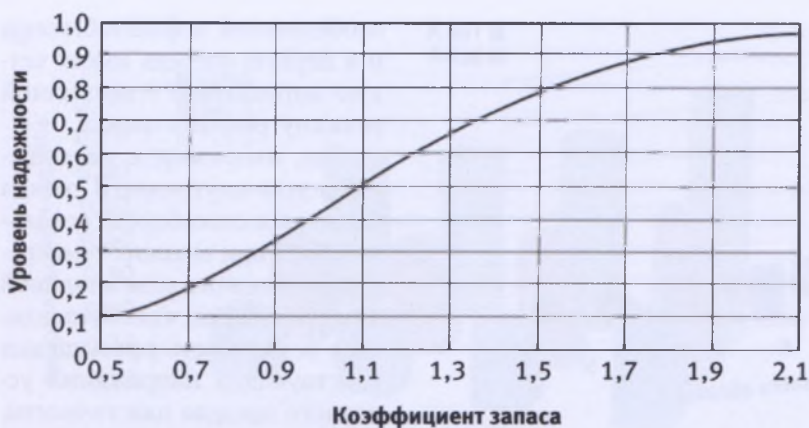


Рисунок 1 – Зависимость уровня надежности по критерию сдвигоустойчивости от коэффициента запаса



Рисунок 2 – Изготовление опытных образцов и проведение испытания на образование колеи (Wheel Tracking Test)

С целью более широкого исследования применимости показателя уровня надежности по критерию сдвигоустойчивости (рис. 1) для оценки сопротивляемости асфальтобетонов пластическим деформациям и прогнозирования их развития были проведены сравнительные испытания по разработанной в Республике Беларусь методике и по методике, применяющейся в Германии.

В Германии сопротивление асфальтобетонов пластическим деформациям было исследовано с помощью теста на образование колеи (Wheel Tracking Test), в соответствии с которым опытные образцы асфальтобетонов изготавливаются при помощи специального пресса (рис. 2).

Испытанию в водной среде (с температурой 50 °С) подвергались два опытных образца (32 × 26 × 4 см), к которым прикладывалась периодическая нагрузка 710 Н в количестве 20 000 раз (проходов колеса). Допустимая максимальная деформация после периодической нагрузки в 20 000 раз составляет в Германии 3,5 мм, (средний показатель по двум опытным образцам).

Сравнительным испытаниям были подвергнуты образцы асфальтобетонов (щебеночно-мастичных и щебеночных асфальтобетонов типа А), приготовленных в соответствии с действующими в Республике Беларусь нормами, в том числе модифицированных асфальтобетонов (рис. 3, 4). В качестве модификаторов, вводимых на стадии приготовления асфальтобетонных смесей, были использованы следующие полимерные добавки: PR-Plast® (Франция), Duroflex® (Германия), полимерная многокомпонентная добавка по [6] (Республика Беларусь), гранулированное резинобитумное вяжущее по [7] (Республика Беларусь). Исследованиям были также подвергнуты асфальтобетоны, приготовленные на модифицированных вяжущих (модифицированном битуме БМА 50/70 по [8] (Республика Беларусь), полимербитуме РтВ 45А (Германия), полимербитуме по [9] (Республика Беларусь), а также на битуме нефтяном дорожном БНД 60/90 по [10].

Различные способы модификации асфальтобетонов позволили достигнуть максимальной вариации свойств исследуемых асфальтобетонов при неизменном зерновом составе, в том числе свойств, определяющих их реологические особенности, речь о которых велась выше.

Полученные данные показали полную сходимость результатов совместных исследований сдвигоустойчивости. Коэффициент корреляции для уровня надежности (белорусская методика) и глубины колеи (немецкая методика) составляет более 0,90 как для асфальтобетона типа А, так и для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Это говорит о том, что обе методики испытаний являются сходимыми и позволяют с большой долей вероятности прогнозировать поведение асфальтобетона под транспортной нагрузкой в условиях воздействия высоких температур.

В то же время имеется четкое различие между зависимостями для асфальтобетона типа А и для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Так, щебеночно-мастичные асфальтобетоны имеют более высокую надежность в отношении





Рисунок 3 – Глубина колеи для экспериментальных образцов

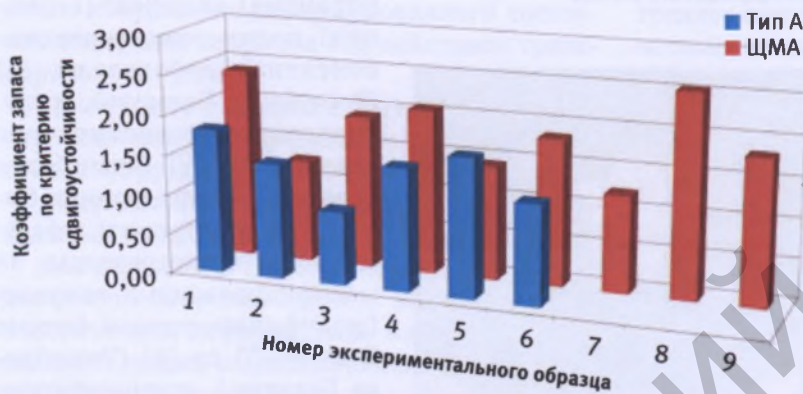


Рисунок 4 – Коэффициент запаса по критерию сдвигоустойчивости для экспериментальных образцов

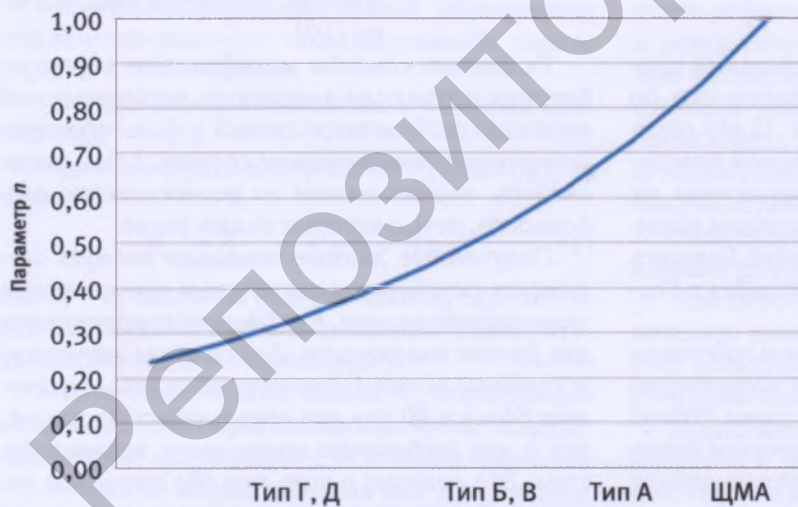


Рисунок 5 – Условная зависимость параметра  $n$  от структурных особенностей асфальтобетона

появления пластических деформаций. В то же время при расчетах коэффициентов запаса по формуле (3) данное преимущество нивелируется из-за постоянства величины параметра  $n$ .

Как показывают исследования [4, 5], величина параметра  $n$  однозначно зависит от структурных

особенностей асфальтобетона и в первую очередь имеет четкую корреляцию с величиной угла внутреннего трения.

Так, например, с уменьшением угла внутреннего трения снижается способность асфальтобетона при высоких температурах работать в зоне линейной вязкоупругости, что обуславливает вероятность превышения действующих напряжений условного предела пластичности, а следовательно, и способность асфальтобетона обеспечивать сдвигоустойчивость при многократном приложении нагрузки (рис. 5).

Таким образом, целесообразно для расчета коэффициентов запаса прочности по критерию сдвигоустойчивости (формула (3)) использовать следующие значения параметра  $n$ :

- для щебеночно-мастичных асфальтобетона  $n = 0,82$ ;
- для асфальтобетона типа А  $n = 0,67$ ;
- для асфальтобетона типа Б  $n = 0,53$ .

Результаты расчетов критерия сдвигоустойчивости в такой постановке позволяют сделать вывод о максимальной его сходимости с результатами испытаний на колеи по немецкой методике.

На рисунке 6 представлены результаты расчета требуемого лабораторного показателя внутреннего сцепления в зависимости от требуемого уровня надежности для асфальтобетона различной структуры и свойств: а) для участков равномерного движения; б) для участков разгона-торможения и остановок общественного транспорта.

В таблице 1 представлены результаты сопоставления уровня надежности по критерию сдвигоустойчивости с величиной глубины колеи по немецкой методике.

На основании представленных выше результатов можно установить требования к качеству асфальтобетона из условия устойчивости к пластическим деформациям, которые будут учиты-

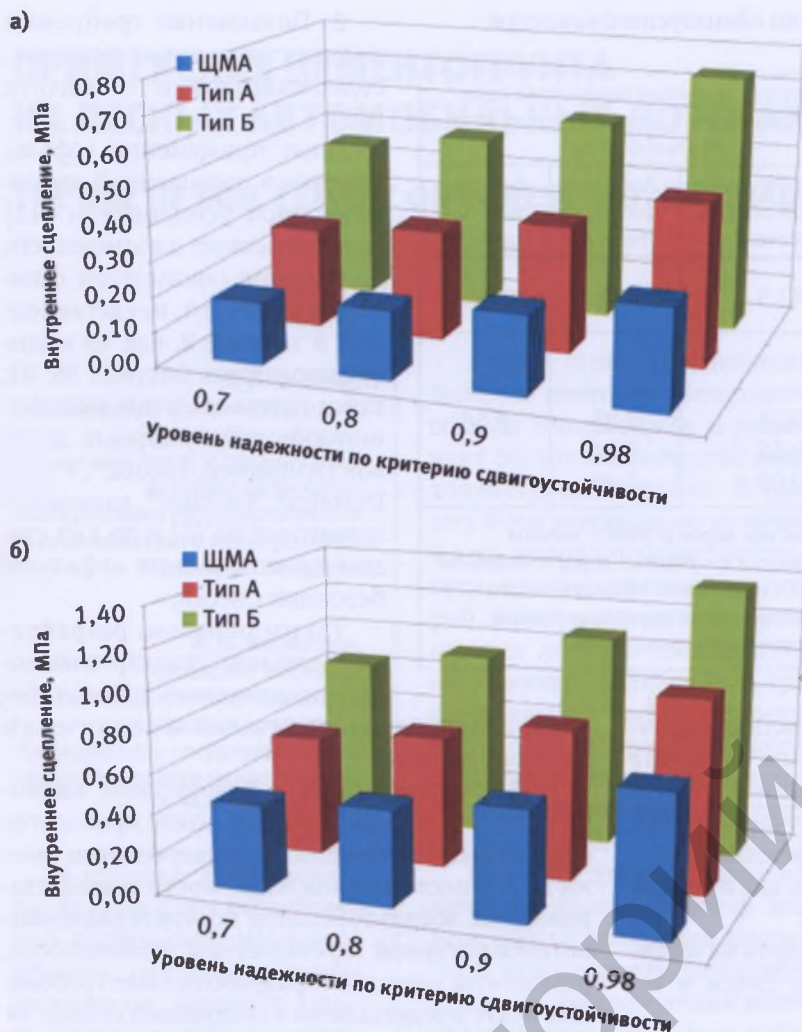


Рисунок 6 – Требуемый лабораторный показатель внутреннего сцепления

вать условия работы асфальтобетона и особенности его свойств (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, для обеспечения надежной работы асфальтобетонных покрытий без появления пластических деформаций необходимо достижение высоких расчетных характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона. В настоящее время действующий в Республике Беларусь стандарт [11] позволяет, в соответствии с его минимальными требованиями, выпускать долговечные по критерию сдвигоустойчивости асфальтобетонные смеси, которые могут использоваться для устройства покрытий участков дорог и улиц с легким равномерным движением. Предел прочности на сжатие при температуре 50 °С, который является основным показателем контроля качества высокотемпературных свойств асфальтобетонов, должен составлять порядка 0,8–1,0 МПа, что вполне согласуется с требованиями действующего стандарта. Однако такая ситуация серьезно осложняет обе-

спечение надежности асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. При этом под серьезным вопросом необходимость модификации асфальтобетонных смесей, так как достижение таких низких показателей сдвигоустойчивости, регламентируемых стандартом республиканского уровня, достигается при использовании дорожных нефтяных битумов. Хотя мировая практика показывает обратное. Даже в Российской Федерации, не говоря о Европейском союзе, существует постановление, что все щебено-мастичные асфальтобетонные смеси, применяемые для устройства покрытий дорог федерального значения должны быть модифицированными. Это при том, что российские дорожные нефтяные битумы имеют более высокие эксплуатационные характеристики в сравнении с белорусскими.

Так, например, при достижении требуемых показателей сдвигоустойчивости для уровня движения 2 (в соответствии с таблицей 2), ориентировочное среднее значение предела прочности на сжатие при температуре 50 °С составит 1,4–1,7 МПа, а для уровня движения 3 – 1,8–2,2 МПа.

## Заключение

В соответствии с требованиями белорусского стандарта [11], регламентируемое максимальное значение предела прочности на сжатие при температуре 50 °С составляет порядка 0,9–1,2 МПа, что не позволяет говорить о высокой надежности асфальтобетонов по критерию сдвигоустойчивости. Это говорит лишь о том, что стандарт ориентирован на выпуск асфальтобетонов на дорожных нефтяных битумах. В связи

Таблица 1

Уровень надежности (Р)	≥ 0,98	≥ 0,90	≥ 0,80	≥ 0,70
Глубина колеи, мм	≤ 2,5	≤ 3,0	≤ 3,5	≤ 4,0



**Таблица 2 – Требуемые показатели сдвигоустойчивости асфальтобетонов**

Показатель сдвигоустойчивости	Требуемое значение показателя сдвигоустойчивости в зависимости от типа асфальтобетона		
	Щебеночно-мастичный асфальтобетон	Асфальтобетон типа А	Асфальтобетон типа Б
Угол внутреннего трения, не менее, град	42,5	40	37
Внутреннее сцепление, не менее, МПа:			
- уровень движения 1	0,23	0,36	0,58
- уровень движения 2	0,55	0,76	-
- уровень движения 3	0,69	0,96	-

*Примечание* – Уровень движения 1 – участки дорог и улиц с легким равномерным движением. Уровень движения 2 – участки дорог с тяжелым равномерным движением, участки улиц с пропуском общественного транспорта, в т. ч. участки разгона-торможения на дорогах и улицах. Уровень движения 3 – остановки общественного транспорта.

с этим при таких низких характеристиках прочности является нецелесообразным введение в стандарт допусков по модификации асфальтобетонных смесей. Она в таком случае является экономически и технически неэффективной.

Исходя из вышесказанного, есть два пути для выхода из сложившейся ситуации:

1. Разработка отдельного стандарта на модифицированные асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны.

тоны является экономически и технически целесообразной.

В настоящее время в Белорусском национальном техническом университете проводятся совместные с Техническим университетом имени Бойта исследования надежности модифицированных асфальтобетонов по критериям низкотемпературной и усталостной устойчивости, результаты которых и разработанные требования будут представлены в следующей статье. ➤

2. Повышение требуемых прочностных характеристик, содержащихся в стандарте [11].

Опыт применения асфальтобетонов повышенной деформационной устойчивости [12] свидетельствует о возможности достижения показателей сдвигоустойчивости, представленных в таблице 2, как на модифицированных битумах [8, 9], так и путем введения модифицирующих полимерных добавок (например, Lucobit®, РТЭП, Duroflex®, PR-Plast®, многокомпонентных по [6] и др.) на стадии приготовления асфальтобетонных смесей.

Таким образом, разработка отдельного стандарта на модифицированные асфальтобе-

#### Список использованной литературы

1. Веренько, В. А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / под ред. И. И. Леонovichа. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 246 с.
2. Веренько, В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск : Беларуская энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2008. – 304 с.
3. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013.
4. Участие в исследованиях и разработке рекомендаций по обеспечению структурной устойчивости асфальтобетона с учетом его напряженно-деформированного состояния в условиях современных транспортных нагрузок: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. В. А. Веренько; исполн.: В. В. Занкович (и др.). – Минск, 2007. – 90 с. – Библиогр. : с. 66. – № ГР 20072304.
5. Занкович, В. В., Макаревич, А. А., Веренько, В. А. и др. Экспериментально-теоретические исследования и разработка методики диагностики асфальтобетонных покрытий применительно к погоднo-климатическим условиям провинции Хэнань / Компания «Гаюань», г. Синсянь. – 2010. – 204 с. (на китайском языке, регистрационный номер : 084300510016).
6. Добавки полимерные модифицирующие многокомпонентные. Технические условия : ТУ ВУ 690610504.001-2012.
7. Вяжущее резинобитумное. Технические условия : СТБ 2302-2013.
8. Битумы модифицированные дорожные. Технические условия : СТБ 1220-2009.
9. Полимербитумы для асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости : ТУ ВУ 100059044.002-2011.
10. Бтумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия : ГОСТ 22245-90.
11. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2004.
12. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон повышенной деформационной устойчивости для конструктивных слоев дорожных одежд улиц г. Минска : ТУ ВУ 100019869.001-2011.

Статья поступила в редакцию 05.09.2014