

## **Особенности структурообразования вновь устроенных асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки**

Жуковский Е.М.<sup>1</sup>, Кравченко С.Е.<sup>1</sup>, Помахо П.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ГП «Белгипродор»

*Дорожный асфальтобетон относится к материалам, качественные характеристики которого зависят от множества факторов, изменяющихся во времени. Наиболее подвержен таким изменениям ключевой компонент дорожного асфальтобетона – битум.*

*Описаны реологические свойства битума, применяемого в Республике Беларусь для устройства верхнего слоя покрытия, а также определено его влияние на процессы структурообразования асфальтобетона.*

*Отмечается о необходимости введения ограничений на движение по вновь устроенному асфальтобетонному покрытию после завершения уплотнения. Это объясняется тем, что битумы после завершения уплотнения асфальтобетонных находятся в вязком состоянии и постепенно переходят в упруго-вязкое. Воздействие транспортной нагрузки вызывает нарушение структуры битума, вплоть до её разрушения. Структурообразование асфальтобетона прямо пропорционально зависит от структурообразования битумов.*

*Воздействие транспортной нагрузки на асфальтобетонное покрытие в период структурообразования приводит к снижению прочности асфальтобетона, а также к накоплению деформаций, в том числе пластических. Это приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния дороги и снижению её долговечности.*

### *Введение*

Асфальтобетонные покрытия, которые широко распространены в Республике Беларусь и в мире, имеют много преимуществ перед остальными видами покрытий. К его положительным свойствам можно отнести такие как: достаточная механическая прочность, допускаемые упругие и пластические деформации, хорошее сцепление шин с покрытием, ровность, высокая демпфирующая способность, простота ремонта, а так же широкая механизация.

Однако зачастую в процессе эксплуатации покрытий устроенных их асфальтобетона возникает множество дефектов. Их природа различна. Дефекты могут быть вызваны качеством исходных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей, ошибками при проектировании их состава, нарушениями технологии устройства покрытий асфальтобетонных покрытий и дорожных конструкций в целом, а так же воздействия различных видов нагрузок, в том числе не нормативных транспортных.

Асфальтобетоны, как и битумы, являются вязко-упруго-пластичными материалами, прочностные характеристики которых зависят от множества факторов, основными из которых является время и температура. Причем влияние оказывает не только время воздействия нагрузок, но так же и время прошедшее с момента устройства асфальтобетонного покрытия или применения битума.

Наибольшее влияние на итоговую прочность и долговечность асфальтобетонных покрытий оказывают процессы структурообразования асфальтобетона и, в частности, битумов. В настоящий момент широко изучены процессы структурообразования битумов в зависимости от его группового состава, а так же процессы структурообразования асфальтобетонов в зависимости от состава его минеральной части, температурных режимов и режимам уплотнения.

Кроме того, можно предположить, что на структурообразование асфальтобетона, и как результат на его прочность, будет оказывать влияние время начала движения транспорта и его интенсивность по вновь устроенному покрытию после завершения его уплотнения. Однако в Республике Беларусь не регламентированы сроки открытия движения по вновь устроенным покрытиям.

### ***Релаксация напряжений в дорожном асфальтобетоне***

Асфальтобетон является дисперсным материалом, который имеет коагуляционный тип структуры. В таком случае минеральные частицы разделены пленками битума, который является вязкоупругой жидкостью, что обуславливает зависимость прочности асфальтобетона, его модуля упругости и других характеристик в зависимости от скорости деформирования. Это объясняется релаксацией напряжений в жидкоподобной плёнке [1].

Временная зависимость прочности может быть обусловлена двумя случаями:

- время релаксации  $t_r$  значительно меньше времени действующего напряжения  $t$ . Тогда полностью осуществляются все процессы релаксации напряжений и система однородна по напряженности во всем объеме. Механические характеристики принимают минимальное значение. Материал в таком случае проявляет свойства вязкой жидкости.

- время релаксации  $t_r$  значительно больше времени действующего напряжения  $t$ . В таком случае напряжения в процессе деформации не успевают релаксироваться. Прочность и модуль упругости при этом являются максимальными. Материал в таком случае ведет себя как идеально упругий.

Если время релаксации  $t_r$  приближено ко времени действующего напряжения  $t$ , то материал в таком случае ведет себя как упруго-вязкий.

Проявление асфальтобетоном упругих или вязких свойств зависит от отношения между временем действия нагрузки и временем релаксации напряжений. Время релаксации асфальтобетона главным образом зависит от его вязкости.

Изменение вязкости асфальтобетона связано главным образом с присутствием в его составе битума и изменяется схожим образом [2].

### ***Вязкие свойства дорожных нефтяных битумов***

Под вязкостью понимают свойство жидкостей оказывать сопротивление необратимому перемещению одной их части относительно другой при сдвиге и других видах деформации.

Вязкость битума является основным механическим и реологическим свойством битума и характеризует внутреннее трение битума.

Битумы, состоящие из смеси высокомолекулярных соединений, таких как асфальтены, масла и смолы, представляет собой сложную дисперсную систему. Основное влияние на структуру битума влияет соотношение между входящими в его состав высокомолекулярных соединений.

Дисперсные системы подразделяются на коагуляционные и конденсационные структуры.

Коагуляционные структуры образуются молекулярным сцеплением беспорядочно расположенных коллоидных частиц. В местах контакта частиц имеются остаточные прослойки дисперсной системы толщиной от 3 до 5 молекулярных слоев, в результате которых у этих структур проявляется тиксотропия, ползучесть и небольшая прочность.

Конденсационные структуры имеют фазовые контакты, которые обеспечивают прочные связи между элементами структуры. В конденсационных структурах связи разрушаются необратимо, в отличие от коагуляционных структур. Поэтому данные структуры нетиксотропны.

Вязкость битума в первую очередь зависит от температуры. Причем с изменением температуры изменяются реологические состояния битума. Так при отрицательных температурах битум является наиболее вязким и находится в упруго-хрупком состоянии. С повышением температуры битум постепенно переходит в эластичное, упруго-пластическое, упруго-вязкое и вязкое состояние, что приводит к уменьшению времени релаксации и, как следствие, к возникновению пластических деформаций.

Границы реологических состояний зависят от группового состава нефтяных дорожных битумов. Битумы, которые применяются для верхнего слоя дорожного покрытия, в соответствии с СТБ 1062 должны иметь следующий групповой состав: асфальтены – 19–21 %, смолы – 32–34 %, масла – 45–49 %. Битум данного группового состава находится в упруго-хрупком состоянии при температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$  и характеризуется высоким модулем упругости. В интервале температур от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  данный битум в упруго-пластическом состоянии, при котором имеет предел текучести и проявляет эластичные свойства. С увеличением температур до  $+70^{\circ}\text{C}$  битум переходит в упруго-вязкое состояние, при котором предел текучести отсутствует, а существует значительная разница между вязкостью нарушенной и не нарушенной структуры. При больших температурах битум находится в истинно вязком состоянии [4].

Структура применяемого в Республике Беларусь битума при изменении температуры переходит от твердообразной конденсационной структуре к структурированной жидкости, а после истинной жидкости, которая представляет собой суспензию асфальтенов.

Для определения влияния механических воздействий на вязкость битума марки БД 60/90 по СТБ 1062 был использован ротационный вискозиметр (вискозиметр Брукфильда). Проведение испытания практически полностью соответствует методике определения динамической вязкости, изложенной в СТБ 2188.

Для проведения испытания отбирают битум в количестве 0,5 л, который необходимо разогреть до температуры на  $80^{\circ}\text{C}$  выше температуры размягчения. Битум процеживают через сито с сеткой № 063.

Для измерения вязкости используют шпindel № 27. Для данного шпинделя количество битума для испытаний в ячейке должно составлять 10,7 мл. Перед проведением испытания битум термостатируют при температуре испытаний  $135^{\circ}\text{C}$  в течении 60–90 мин.

Битум испытывают на динамическую вязкость при разных скоростях вращения шпинделя, которые обеспечивают измерение вязкости в пределах от 10 до 90 % диапазона прибора. Причем вначале скорость постепенно увеличивается, а затем уменьшается до первоначальной.

График изменения динамической вязкости битума при проведении испытания с постоянной скоростью вращения шпинделя, равной 100 мин<sup>-1</sup> представлен на рисунке 1. По данному рисунку видно, что график зависимости динамической вязкости от времени имеет вид логарифмической зависимости и практически не изменяется после прошествии 13 мин после начала испытания. Это свидетельствует об отсутствии тиксотропных свойств исследуемого битума, что характерно для битумов данного группового состава.

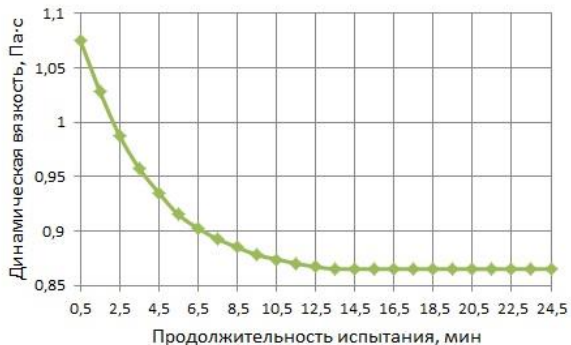


Рис. 1. Изменение динамической вязкости от времени

Результат измерения динамической вязкости представлен на рисунке 2. При проведении испытания единичное значение динамической вязкости принималось по прошествии 5 мин после изменения скорости сдвига.

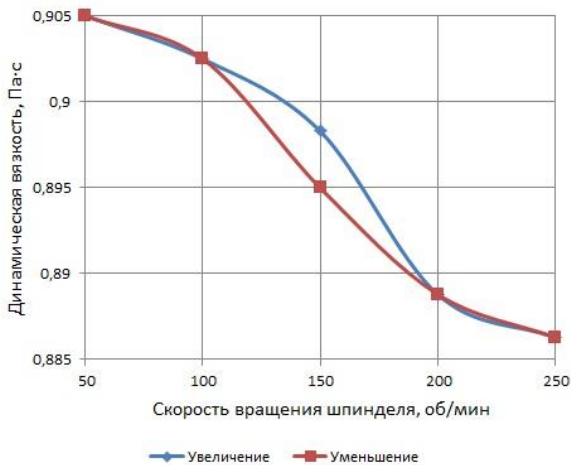


Рис. 2. Изменение динамической вязкости от скорости сдвига

По рисунку 2 видно, что с увеличением скорости вращения шпинделя динамическая вязкость уменьшается, а после дальнейшего снижения скорости начинает увеличиваться, однако, практически не достигая предыдущего значения. Это свидетельствует о необратимости процессов разрушения структуры битума под механическими воздействиями.

### *Влияние транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие*

Техническими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, в частности СТБ 1033, установлены следующие температурные режимы устройства асфальтобетонных покрытий устраиваемых из смесей на вязких битумах: температура в асфальтоукладчике, которая соответствует началу уплотнения должна быть не менее 150 °С для асфальтобетонных смесей типа С, и не менее 120 °С для остальных типов. Уплотнение завершается при температурах не ниже 90 °С для типа С, и не менее 80 °С для остальных типов.

Исходя из температур завершения уплотнения, можно видеть, что при завершении уплотнения асфальтобетонных смесей, битум, содержащийся в них, будет находиться в вязком состоянии, после чего постепенно будет переходить в упруго-вязкое, оказывая такое же влияние на состояние асфальтобетона.

При открытии движения сразу же после завершения уплотнения асфальтобетонных смесей, транспортная нагрузка будет оказывать воздействие на асфальтобетон, тем самым вызывая пластические деформации, не нарушая на первоначальном этапе (до температуры покрытия равной 70 °С) структуры битума и асфальтобетона в целом. Это объясняется тем, что при данных температурах битум подчиняется ньютоновским законам течения жидкости, а давление, передаваемое транспортной нагрузкой, согласно закону Паскаля, будет передаваться во все его точки одинаково, тем самым вызывая миграции битума, и как результат утолщение битумных пленок, что приводит к снижению сопротивляемости асфальтобетона нагрузкам. Кроме того, это может привести к частичному разуплотнению вновь устроенного слоя.

Дальнейшее воздействие транспортной нагрузки, в особенности интенсивной, в период структурообразования асфальтобетона вызывает негативное влияние на его структуру по двум причинам, природа возникновения которых одинакова.

Воздействие транспорта вызывает возмущения колебаний покрытия, которое в итоге приводит к необратимому разрушению структуры битума и снижению его вязкости, и как следствие нарушения структурообразования асфальтобетона.

Кроме того, при распространении волн напряжений в упруго-вязких и вязко-пластичных средах происходит демпфирование: частичное превращение механической энергии в тепловую, тем самым увеличивая температуру покрытия и снижая его вязкость, что негативно сказывается на времени релаксации асфальтобетона. Так же это может привести к переходу би-

тума в вязкое состояние, что приводит к негативным последствиям, описанным выше.

В итоге воздействие транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие приводит к снижению его прочности, накоплению деформаций, в том числе пластических, что негативно сказывается на транспортно-эксплуатационном состоянии и долговечности покрытий.

Однако в документах регламентирующих устройство асфальтобетонных покрытий в Республике Беларусь [7–8] отсутствуют требования, регламентирующие открытие движения после завершения уплотнения. Кроме того, данные ограничения отсутствуют в Украине, США и Российской Федерации [9–11].

Для оценки воздействия транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие были изготовлены образцы типа А, соответствующие СТБ 1033 и испытаны на сжатие согласно СТБ 1115. Однако подготовка к испытанию имела особенности.

После извлечения образца из формы он устанавливался на виброплощадку, где на образец передают давление 0,03 МПа, тем самым моделируя воздействие транспортной нагрузки. Время вибрации увеличивалось для каждой серии образцов. После завершения вибрации, образцы сразу же испытывались на сжатие. График снижения прочности на сжатие от времени вибрации показан на рисунке 3.

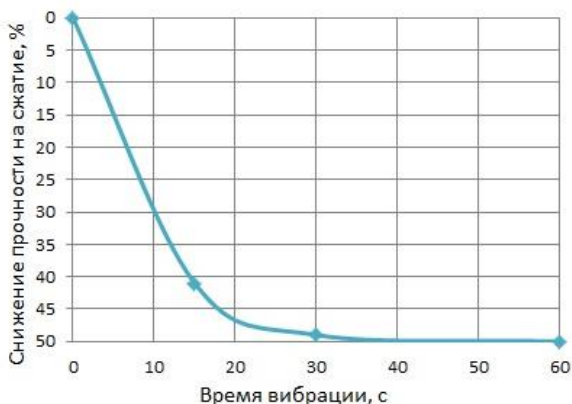


Рис. 3. Снижение прочности асфальтобетона от механического воздействия

По рисунку 3 видно, что воздействия, которые вызывают механические колебания, к которым и относится транспортная нагрузка, на вновь устроенный асфальтобетон, особенно продолжительные, приводят к снижению

прочности асфальтобетона практически вдвое. Это подтверждает теоретические предпосылки о снижении долговечности асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки, описанные выше.

### **Заключение**

Специфические свойства асфальтобетона, а в большей степени битума, как его основного компонента показывают, что воздействие транспортной нагрузки на вновь устроенные асфальтобетонные покрытия может негативно сказываться на их прочности и дефектности, ухудшая транспортно-эксплуатационное состояние дороги и снижая в итоге долговечность.

Теоретические предпосылки подтверждаются экспериментальными данными. Видно, что битумы, применяемые в Республики Беларусь, не обладают тиксотропными свойствами, а разрушение их структуры практически необратимо. Длительное механическое воздействие (вибрация) может вызывать снижение прочности асфальтобетона до 50 %.

Таким образом, в настоящее время остро стоит проблема дальнейшего изучения данного вопроса с целью установления оптимальных сроков начала движения транспорта, в том числе и построечного, по вновь устроенному асфальтобетонному покрытию после завершения уплотнения. Учёт данных особенностей позволит снизить накопления деформаций на начальном этапе работы покрытия, что положительным образом будет сказываться на транспортно-эксплуатационном состоянии дороги, и как итог не приведет к снижению прочностных её показателей и долговечности.

### **Литература**

1. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов : учебно-методическое пособие / Я. Н. Ковалев ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2007. – 263 с.
2. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия: СТБ 1062-97. – Введ. 1997-07-01. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997.
4. Колбановская, А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
5. Битумы и битумные вяжущие. Метод определения динамической вязкости: СТБ 2188-2011. – Введ. 2011-07-01. – Минск : Госстандарт, 2011.



6. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033-2016. – Введ. 2016-01-27. – Минск.: Госстандарт, 2016.

7. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059-2012 (02191). – Введ. 2012-09-01. – Минск : Минтранс Республики Беларусь, 2012.

8. Автомобильные дороги. Правила устройства асфальтобетонных покрытий и защитных слоев: ТКП 094-2012 (02191). – Введ. 2012-10-01. – Минск : Минтранс Республики Беларусь, 2012

9. Автомобильные дороги: СНиП 3.06.03-85. – Введ. 1986-01-01. – Москва : ФГУП ЦПП, 2019.

10. Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина I. Частина II.: ДБН В.2.3-4:2015 . – Чинні з 2016-04-01. – Київ, Мінрегіон України, 2015.

11. AC 150/5370-14B - Hot Mix Asphalt Paving Handbook 2000. American Association of State Highway and Transportation Officials, Federal Aviation Administration, Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association, U.S. Army Corps of Engineers, American Public Works Association, National Association of Country Engineers. United States of America. 2013.

12. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115-2013. – Введ. 2013-10-31. – Минск.: Госстандарт, 2013.

13. Жуковский, Е.М., Кравченко, С.Е.. Влияние транспортной нагрузки на структурообразование вновь устроенных асфальтобетонных покрытий / Е.М. Жуковский, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. 2020. № 1. с. 92–97.

УДК 625.7

## **Особенности конструирования одежд городских улиц и дорог**

Зленко Л.В.

Белорусский национальный технический университет

При конструировании дорожных одежд городских улиц и дорог необходимо учитывать особенности, связанные с условиями их строительства и эксплуатации, такие как ограниченная возможность изменения проектных отметок продольного профиля; необходимость временного сбора воды у