

УДК 693.78

Г. Б. Старков, А. В. Костылевский, А. М. Попов, С. И. Герасимов, В. М. Тихомиров

Учет процесса старения битума при устройстве асфальтобетонных покрытий

Старение битума – довольно сложный физико-химический процесс, в результате которого происходит изменение группового состава вяжущего и, как следствие, его физико-механических свойств.

Наиболее интенсивно процессы старения вяжущего протекают на технологических этапах приготовления асфальтобетонных смесей и устройства из них покрытий. В определенный временной промежуток битум в тонкой пленке находится на поверхности минеральных материалов при высоких температурах (150–170 °С) и при свободном доступе к нему кислорода воздуха. В таких условиях возникают наиболее благоприятные возможности для протекания химических процессов, приводящих в первую очередь к повышению вязкости органического материала. Вследствие этого возникает необходимость изменения технологических режимов работы уплотняющей техники при устройстве асфальтобетонных слоев покрытий.

В статье предлагается методика прогнозирования фактической вязкости битума, получаемой в зависимости от длительности протекания технологических процессов. Методика расчета представляет собой решение линейного однородного дифференциального уравнения. Исходными данными являются коэффициенты интенсивности старения битума, зависящие, в свою очередь, от температурно-временных факторов отдельных технологических этапов. Результатом разработки методики является назначение температурных режимов работы парка катков, зависящих от вида, типа асфальтобетонной смеси и фактической вязкости битума в ее составе. Полученные результаты позволяют обеспечить заданную плотность асфальтобетонных слоев покрытий в процессе строительства, что продлит срок службы автомобильной дороги.

Ключевые слова: старение битума, автомобильная дорога, асфальтобетонная смесь, вязкость.

Асфальтовым бетоном принято называть искусственный материал, получаемый в результате уплотнения асфальтобетонной смеси, состоящей из битума, минерального порошка, песка и щебня. Свойства битумов нефтяных, дорожных, вязких в асфальтобетоне не остаются постоянными. Под действием внешних факторов на различных этапах жизнедеятельности происходит закономерное изменение их физико-механических свойств (старение битума) [1–3]. Процесс старения битума можно подразделить на два этапа. Первый этап – это старение, которое происходит в процессе приготовления, транспортирования, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси [4–6]. Второй этап протекает длительное время, на протяжении всего периода эксплуатации асфальтобетонных покрытий. Вполне закономерно, что наиболее интенсивно процессы старения битума протекают на первом этапе, когда он находится в тонкой пленке на минеральном зерне при высоких температурах и свободном доступе кислорода воздуха. В это время битум наиболее интенсивно изменяет свои характеристики, становится более вязким [7, 8]. Именно вязкость битума оказывает большое влияние на удобообрабатываемость асфальтобетонной смеси в процессе перемешивания, а затем и

при укладке и уплотнении. В связи с этим в качестве показателя, характеризующего процессы старения органического вяжущего, была выбрана фундаментальная физическая характеристика жидкообразного и вязкоупругого состояния материалов – абсолютная динамическая вязкость в классической ньютоновской интерпретации, определяемая на приборе плоскопараллельного сдвига [9, 10].

Характер ее изменения в процессе прогрева позволил экспериментально установить, что при постоянной температуре $T = T_0$ динамическая вязкость изменяется во времени по закону

$$\eta(t) = A e^{kt}, \quad (1)$$

где $A = \eta(0)$ – начальное значение вязкости; k – интенсивность старения битума при температуре T_0 .

Данная функция является решением линейного однородного дифференциального уравнения с начальным условием

$$\begin{cases} \frac{d\eta}{dt} - k\eta = 0, \\ \eta(0) = A. \end{cases} \quad (2)$$

В процессе производства, транспортировки, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси интенсивность старения битума k

зависит от времени и изменяющейся температуры. Следовательно, $k(T) = k(T(t))$. В этом случае динамическая вязкость является решением уравнения с начальным условием

$$\begin{cases} \frac{d\eta}{dt} - k(T(t))\eta = 0, \\ \eta(0) = A. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда решение имеет следующий вид:

$$\eta(t) = A e^{\int_0^t k(T(s)) ds}. \quad (4)$$

Весь технологический процесс производства состоит из m этапов на временных интервалах (t_m, t_{m-1}) ; $m = 1, \dots, n$; $t_0 = 0$. Введем обозначения $T_m = T(t_m)$, $k_m = k(T_m)$ и $\Delta t_m = t_m - t_{m-1}$. Коэффициенты k_m определяются экспериментально.

При небольших относительных изменениях температуры на различных этапах технологического процесса можно считать, что $k(T(t))$ является линейной функцией. В этом случае каждый этап можно разбить на подэтапы.

Тогда при $t \in (t_{m-1}, t_m)$

$$k(T(t)) = \frac{k_m - k_{m-1}}{t_m - t_{m-1}}(t - t_{m-1}) + k_{m-1} \quad (5)$$

и

$$\begin{aligned} \int_{t_{m-1}}^{t_m} \left(\frac{k_m - k_{m-1}}{t_m - t_{m-1}}(t - t_{m-1}) + k_{m-1} \right) dt = \\ = \frac{(k_m + k_{m-1})(t_m - t_{m-1})}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, увеличение вязкости на m -м этапе вычисляется по формуле

$$\begin{aligned} \eta(t_m) &= \eta(t_{m-1}) e^{\int_{t_{m-1}}^{t_m} k(T(s)) ds} = \\ &= \eta(t_{m-1}) e^{\frac{(k_m + k_{m-1})\Delta t_m}{2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая формулу связи абсолютной вязкости с условной (пенетрацией)

$$\Pi = 2 \cdot 10^3 \eta^{-0.2}, \text{ или } \eta = \left(\frac{\Pi}{2 \cdot 10^3} \right)^{-5}, \quad (8)$$

получим формулу для условной вязкости на m -м этапе

$$\Pi(t_m) = \Pi(t_{m-1}) e^{\frac{(k_m + k_{m-1})\Delta t_m}{10}}. \quad (9)$$

В случае, когда технологический процесс состоит из m этапов, имеющих свои временные промежутки и температурные режимы, для расчетов используется формула

$$\Pi(t_4) = \Pi(t_0) e^{-\frac{1}{10} \sum_{m=1}^4 (k_m + k_{m-1}) \Delta t_m}, \quad (10)$$

где $\Pi(t_4)$ – ожидаемое значение показателя условной вязкости для битума после устройства покрытия при четырех технологических этапах, мм^{-1} ; $\Pi(t_0)$ – первоначальное значение показателя условной вязкости для исходного битума (до старения), мм^{-1} .

Формула (10) позволяет в зависимости от температурных режимов и длительности технологических процессов получить фактическую условную вязкость битума асфальтобетона непосредственно в построенном покрытии.

Для анализа и оценки интенсивности старения битума с исходной условной вязкостью 103 мм^{-1} (марка БНД 90/130) в составе асфальтобетонной смеси в зависимости от продолжительности технологических циклов с применением формулы (10) рассчитан прогнозированный показатель условной вязкости битума во вновь устроенном асфальтобетонном покрытии. Исходные данные для расчета приведены в таблице.

Результаты расчета показали, что за технологический цикл устройства асфальтобетонного покрытия значение показателя пенетрации снизилось со 103 до 63 мм^{-1} . То есть вязкость в результате старения битума уменьшилась на 40 условных единиц. Следовательно, битум из марки БНД 90/130 перешел в марку БНД 60/90.

Такое изменение показателя условной вязкости должно учитываться при выборе технологических режимов уплотнения асфальтобетонной смеси. В частности, рекомендуется для асфальтобетонной смеси типа А с применением битума марки БНД 90/130 начинать уплотнение при температурах $150\text{--}140^\circ\text{C}$, заканчивать процесс при температуре 95°C , а для аналогичной смеси, но с применением битума БНД 60/90 – начинать при $155\text{--}145^\circ\text{C}$, а заканчивать при 110°C [9]. Разница, как видим, достаточно существенная. К тому же следует учитывать, что температура выпуска асфальтобетонной смеси все же соответствует

Исходные данные для расчета

Технологический этап	Продолжительность этапа Δt_m , ч	Температура		Коэффициент интенсивности старения битума	
		в начале этапа T_{m-1} , °C	в конце этапа T_m , °C	в начале этапа k_{m-1}	в конце этапа k_m
Хранение	1,0	150	150	1,1	1,1
Транспортировка	0,5	150	140	1,1	1,0
Ожидание, выгрузка и укладка	0,6	140	130	1,0	0,9
Уплотнение	0,4	130	70	0,9	0,4

Примечание. Минеральная часть асфальтобетона – изверженные горные породы.

марке БНД 90/130, а на начало технологической операции марка битума по условной вязкости уже соответствует БНД 60/90, что зна-

чительно суживает временной интервал, отводимый на уплотнение асфальтобетонной смеси.

Библиографический список

1. Гезенцев Л. Б. Асфальтовый бетон. М.: Изд-во литературы по строительству, 1964. 441 с.
2. Прочность и долговечность асфальтобетона / Б. И. Ладыгин, И. К. Яцевич, С. Л. Вдовиченко и др. Минск: Наука и техника, 1972. 288 с.
3. Рыбьев А. И. Асфальтовые бетоны. М.: Высш. шк., 1969. 399 с.
4. Скрипкин А. Д., Старков Г. Б., Колесник Д. А. Старение битума в технологическом процессе его подготовки для производства асфальтобетонных смесей // 68-я науч.-метод. и науч.-исслед. конф.: Сб. статей МАДИ. М., 2010. С. 48–56.
5. Лысихина А. И. О стабильности битумов и взаимодействии их с минеральными материалами. М.: ГУШОСДОР МВД СССР, 1952. 175 с.
6. Старков Г. Б. Влияние вида минерального заполнителя асфальтобетона на старение битума в тонких пленках при воздействии температурно-временных факторов // Качество. Инновации. Наука. Образование: Материалы междунар. науч.-техн. конф. 15–17 нояб. 2005 г.: В 2 кн. / СибАДИ. Омск, 2005. Кн. 1. С. 55–57.
7. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 264 с.
8. Печеный Б. Г. Битумы и битумные композиции. М.: Химия, 1990. 256 с.
9. ОДМ 218.3.020–2012. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей. М.: Информавтодор, 2012. 39 с.
10. Зубков А. Ф., Андрианов К. А., Любимова Т. И. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей: Учеб. пособие. Тамбов: ТГТУ, 2009. 80 с.

G. B. Starkov, A. V. Kostylevskiy, A. M. Popov, S. I. Gerasimov, V. M. Tikhomirov

Account the Ageing Process of Bitumen at the Device Asphalt Coatings

Abstract. Ageing of bitumen is rather complicated physico-chemical process, in which there is a change in the group composition of the binder and, as a consequence, the physical and mechanical properties.

Most intensively the processes of aging of the binder take place in the technological stages of preparation of asphalt concrete mixtures and structure of these coatings. In this time period, the bitumen in a thin film is located on the surface of the mineral material at high temperatures (150–170) °C and with free access of oxygen to it. In such conditions there are more favourable opportunities for the occurrence of chemical processes leading primarily to high viscosity of organic material. The consequence of this factor entails changes in technological modes of operation of the sealing equipment in the installation of asphalt layers of pavements.

In the article the forecasting technique of the actual viscosity of the bitumen is produced, depending on the duration of the technological processes. Method of calculation represents the solution of a linear homogeneous differential equation. The initial data are the intensity factors of ageing of bitumen are dependent in turn on temperature and time factors of the individual process stages. The results of the developed technique is to assign the temperature conditions of the Park's rinks, depending on the species, type of asphalt mix and the actual viscosity

of the bitumen in its composition. The obtained results allow to achieve a desired density of asphalt layers of coatings in the construction process, which will ensure the extension of the service life of the road.

Key words: *ageing of bitumen; road; asphalt concrete mix; viscosity.*

Старков Глеб Борисович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора ООО «Стройсервис». E-mail: s_t_58@mail.ru

Костылевский Анатолий Викторович – министр транспорта и дорожного хозяйства Новосибирской области. E-mail: kosav@nso.ru

Попов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» СГУПС. E-mail: 47604@mail.ru

Герасимов Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительная механика» СГУПС. E-mail: strmech@sgups.stu.ru

Тихомиров Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика» СГУПС. E-mail: twm@stu.ru