

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Лёвушкин Д.М.

*фГБОУ ВПО Московский государственный университет леса, Мытищи
Мытищи, Россия (141005, г. Мытищи-5, ул.1-я Институтская, 1) konlenasoul@mail.ru*

В сложившихся условиях проблему дорожного строительства в лесу и, особенно, в тех районах РФ, где отсутствуют или имеются незначительные запасы качественных каменных материалов, можно решить за счет применения отходов металлургической промышленности в устройстве асфальтобетонных покрытий. В статье изучены свойства асфальтового бетона при воздействии различных нагрузок. Проявление асфальтовым бетоном свойства упругого или вязкого тела зависит от соотношения между временем действия нагрузки и временем релаксации. В шлаковых асфальтобетонных смесях время релаксации значительно больше времени действия нагрузки, следовательно, такое покрытие будет вести себя как упругий материал.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога, асфальтовый бетон, дорожное покрытие, модуль упругости.

STUDY OF THE PROPERTIES OF COATING FORESTRY ROADS UNDER INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS

Levuchkin D.M.

*Moscow State Forest University, Mytishi
Mytishi, Russia (141005, Mytisch-5i, 1 Institutskaya, 1) konlenasoul@mail.ru*

Under these circumstances, the problem of road building in the woods, and especially in those parts of Russia, where there are no or little stock of quality stone materials, can be solved through the use of waste iron and steel industry in the device of asphalt concrete pavement. The paper studies the properties of asphalt concrete when exposed to different loads. The asphalt shows of body an elastic or viscous and depends on the relation between the time of the on-loading and the relaxation time. In the mixtures of the slag the relaxation time is much greater than the duration of the load, therefore, this coating will behave as an elastic material.

Key words: logging road, asphalt concrete, pavement, the modulus of elasticity.

Актуальность вопроса. На сегодняшний день факторами, сдерживающими развитие лесопромышленного комплекса, наряду с такими, присущими всем отраслям промышленности, как низкий технический уровень производства, высокий уровень износа основных промышленно-производственных фондов, являются: сезонность лесозаготовительного производства, обусловленная географическими и природными условиями и недостаточным количеством лесных дорог круглогодочного действия, что требует концентрации значительных материальных и финансовых ресурсов.

В связи с тем, что в настоящее время дорожные организации лесного комплекса испытывают дефицит в нефтяных битумах и минеральном порошке, важное значение приобретают вопросы расширения ресурсной базы отрасли за счет использования отходов промышленного производства в виде металлургических шлаков, шламов, фусов. В сложившихся условиях проблему дорожного строительства в лесу и, особенно, в тех районах РФ, где отсутствуют или имеются незначительные запасы качественных каменных материалов, можно решить за счет применения отходов металлургической промышленности в устройстве асфальтобетонных покрытий.

Теоретический анализ. Асфальтовый бетон из электросталеплавильного шлака и шлама доменного производства является новой разновидностью асфальтовых бетонов. В связи с этим информация в технической литературе по реологическим свойствам такого асфальтобетона отсутствует [1,4].

Учитывая, что минеральная часть указанного асфальтобетона обладает химическими

и гидравлическими вязкими свойствами, поведение его от воздействия температуры и приложения нагрузки будет заметно отличаться от традиционного асфальтового бетона.

В качестве реологической модели асфальтового бетона на основе электросталеплавильного шлака и доменного шлака принята обобщенная модель Бюргерса (рис. 1).

Выведем основные уравнения для нахождения реологических параметров асфальтобетона ($\eta_{\text{б}}, \mu_{\text{к}}, T_{\text{рел}}$).

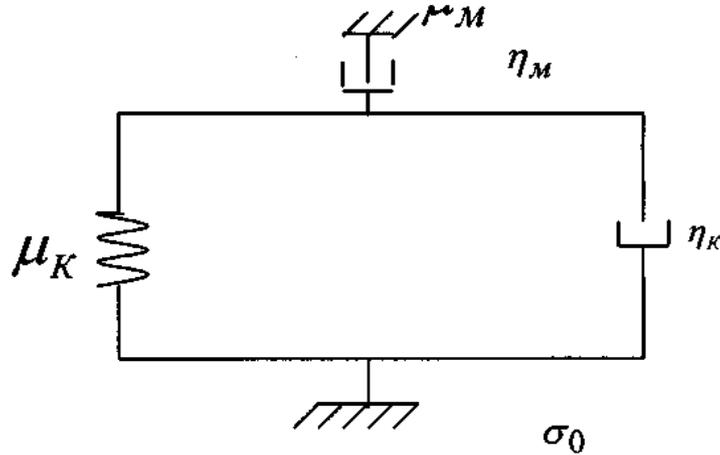


Рис.1. Обобщенная модель Бюргерса

Для напряжений, не превышающих предел текучести σ_0 , предложенная модель описывается дифференциальным уравнением [2].

$$\dot{\epsilon} + \frac{\eta_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}} \ddot{\epsilon} = \frac{\sigma}{\eta_{\text{б}}} + \dot{\sigma} \frac{\eta_{\text{к}} \cdot \mu_{\text{к}} + \eta_{\text{м}} \mu_{\text{м}} + \eta_{\text{к}} \mu_{\text{м}}}{\eta_{\text{м}} \mu_{\text{м}} \mu_{\text{к}}} + \ddot{\sigma} \frac{\eta_{\text{к}}}{\mu_{\text{м}} \mu_{\text{к}}}, \quad (1)$$

где $\dot{\sigma}, \dot{\epsilon}$ – скорость напряжений и деформаций;
 $\ddot{\sigma}, \ddot{\epsilon}$ – ускорения напряжений и деформации;
 $\mu_{\text{к}}, \mu_{\text{м}}$ – модули упругости;
 $\eta_{\text{к}}, \eta_{\text{м}}$ – коэффициенты вязкости.

Предположим, что при $T = 20^\circ \text{C}$ $\mu_{\text{м}}$ достаточно велико. Переходя к пределу при $\mu_{\text{м}} \rightarrow \infty$, получим:

$$\dot{\epsilon} = -\frac{\eta_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}} \ddot{\epsilon} + \frac{\sigma}{\eta_{\text{м}}} + \dot{\sigma} \frac{\eta_{\text{м}} + \eta_{\text{к}}}{\eta_{\text{м}} \mu_{\text{к}}}. \quad (2)$$

Для линейно возрастающих нагрузок $\sigma = \vartheta t$ (1) примет вид

$$\dot{\epsilon} + \frac{\eta_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}} \ddot{\epsilon} = \frac{\vartheta t}{\eta_{\text{м}}} + \vartheta \frac{\eta_{\text{м}} + \eta_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}} \eta_{\text{м}}}. \quad (3)$$

Решая уравнение (2), получим основное уравнение для линейного нагружения

$$\epsilon = c_1 + c_2 e^{-at} + t \left(\frac{b}{a} - \frac{f}{a^2} \right) + \frac{f \cdot t^2}{a \cdot 2}; f = \vartheta \frac{\mu_{\text{к}}}{\eta_{\text{к}} \eta_{\text{м}}}, \quad (4)$$

которое содержит две константы c_1 и c_2 , которые находим из начальных условий:

$$\epsilon(0) = 0; \dot{\epsilon}(0) = q. \quad (5)$$

Выражения для c_1 и c_2 имеют вид

$$c_1 = \frac{q}{a} + \frac{f}{a^3} - \frac{v}{a^2}; c_2 = -c_1; a = \frac{\mu_K}{\eta_K}; v = \vartheta \frac{\eta_M \mu_K + \eta_M \mu_M + \eta_K \mu_M}{\eta_M \eta_K \mu_M} \quad (6)$$

Рассмотрим уравнение (4) при небольших значениях t , ограничиваясь тремя членами разложения e^{-at} в степенной ряд (ряд Тейлора).

$$e^{-at} = 1 - at + \frac{1}{2} a^2 t^2. \quad (7)$$

из (4) получим теоретически приближенное выражение для деформации

$$\varepsilon = \frac{1}{2} t^2 (v - qa) + qt. \quad (8)$$

Экспериментальную кривую «деформация-время» при линейном нагружении с помощью интерполяционного полинома Лангранжа приблизим параболой.

Коэффициенты L и K для кривой найдем тремя методами:

- 1) методом интерполяции;
- 2) методом наименьших квадратов [1];
- 3) методом равных площадей [1].

1. Метод интерполирования:

$$\varepsilon = 25 \cdot 10^{-4} \text{ при } t = 60 \text{сек};$$

$$\varepsilon = 49,4 \cdot 10^{-4} \text{ при } t = 120 \text{сек};$$

$$\varepsilon = 0 \text{ при } t = 0,$$

$$\text{тогда } \varepsilon = \frac{t(t-60)}{120 \cdot 60} \cdot 49,4 \cdot 10^{-4} + \frac{t(t-120)}{-60 \cdot 60} \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 2 \cdot 10^{-5} t - t^2 \cdot 8,3 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{или } K = 0,42 \cdot 10^{-4}; L = -0,83 \cdot 10^{-8}.$$

2. Метод наименьших квадратов

X_i	Y_i	$X_i \cdot Y_i$	$X_i^2 Y_i$
1	25	25	25
2	49,4	98,8	97,6
3	70,5	211,5	634,5
4	88,4	353,6	1414,4
Σ		688,9	2271,5

$B=4,5$
 $A=0,5$
 $\frac{B-A}{4} = 1;$
 $\frac{B^3 - A^3}{3} = 30,3;$
 $\frac{B^4 - A^4}{4} = 102,5; \frac{B^5 - A^5}{5} = 369,05$

$$\begin{cases} 30,3 \cdot v + 102,5 \cdot c = 688,9 \\ 102,5 \cdot v + 369,05 \cdot c = 2271,5 \end{cases}$$

$$v = 31,1; c = -2,48, \hat{\varepsilon} = c x^2 + v x \quad (x - \text{в минутах})$$

$$\text{или } \hat{\varepsilon} = Kt + Lt^2; L = \frac{c}{3600} = -6,9 \cdot 10^{-4}; K = \frac{v}{60} = 0,518,$$

$$\varepsilon = \hat{\varepsilon} \cdot 10^{-4} \rightarrow L = -6,9 \cdot 10^{-8}; K = 0,518 \cdot 10^{-4}.$$

3. Метод равных площадей.

$$\left\{ \begin{aligned} \int_{0,5}^{2,5} (cx^2 + vx) dx &= \left(c \frac{x^3}{3} + v \frac{x^2}{2} \right) \Big|_{0,5}^{2,5} = c \frac{15,5}{3} + v \cdot 3 = 25 + 49,4 = 74,4 \\ \int_{2,5}^{4,5} (cx^2 + vx) dx &= \left(c \frac{x^3}{3} + v \frac{x^2}{2} \right) \Big|_{2,5}^{4,5} = c \frac{75,5}{3} + v \cdot 7 = 49,4 + 88,4 = 158,9 \end{aligned} \right.$$

из системы имеем: $c = -1,1$; $v = 26,69$

$$K = \frac{v}{60} \cdot 10^{-4} = 0,44 \cdot 10^{-4}; L = \frac{c}{3600} \cdot 10^{-4} = -3,1 \cdot 10^{-8}. \quad (9)$$

Значения K и L выбираем по методу (3), как наиболее близкое к среднему ($K = 0,44 \cdot 10^{-4}$; $L = -3,1 \cdot 10^{-8}$).

Приравнявая коэффициенты при равных степенях t в уравнении (9) получим первое уравнение для η_M, η_K, μ_K .

$$L = \frac{v - qa}{2}; K = q. \quad (10)$$

Для замыкания системы второе и третье уравнение найдем из решения (1) при $\sigma = \text{const}$ [3,5].

Используя начальное условие $\varepsilon(0) = 0$; $\varepsilon(0) = r$, из (2) получим

$$\varepsilon = \frac{\eta_K \cdot r - \sigma \frac{\eta_K}{\eta_M}}{\mu_K} + \frac{\eta_M}{\mu_K} \left(\frac{\sigma}{\eta_M} - r \right)^{-at} \cdot l + t \frac{\sigma}{\eta_M} \quad (11)$$

При достаточно больших t , $l^{-at} \approx 0$, следовательно, теоретически получаем:

$$\varepsilon = \frac{\eta_K \cdot r - \sigma \frac{\eta_K}{\eta_M}}{\mu_K} + t \frac{\sigma}{\eta_M}. \quad (12)$$

Экспериментальную кривую «деформация-время» (рис. 2,3, табл. 1), при постоянной нагрузке приблизим прямой (при достаточно больших t).

$$\varepsilon = M + Nt \quad (13)$$

Приравнявая коэффициенты в (12) и (13), получим два уравнения

$$\mu = \frac{r - \frac{\sigma}{\eta_K}}{a} \quad (14)$$

$$\frac{\sigma}{\eta_K} = N. \quad (15)$$

Имеем:

- скорость нарастания деформации в начальный момент времени

$$r = \text{tg}\beta = 0,00046 \left(\frac{1}{\text{сек}} \right);$$

- скорость нарастания относительной деформации при $\sigma = \text{const}$ при t - велико

$$N = \operatorname{tg} \alpha = 6,1 \cdot 10^{-7} \left(\frac{1}{\text{сек}} \right);$$

- ту деформацию, с которой далее деформация возрастает линейно $M = 0,0108$.

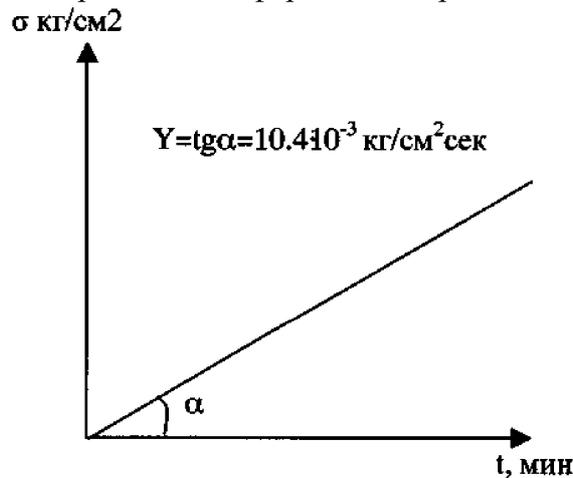


Рис. 2. Зависимость t при линейно-возрастающем нагружении

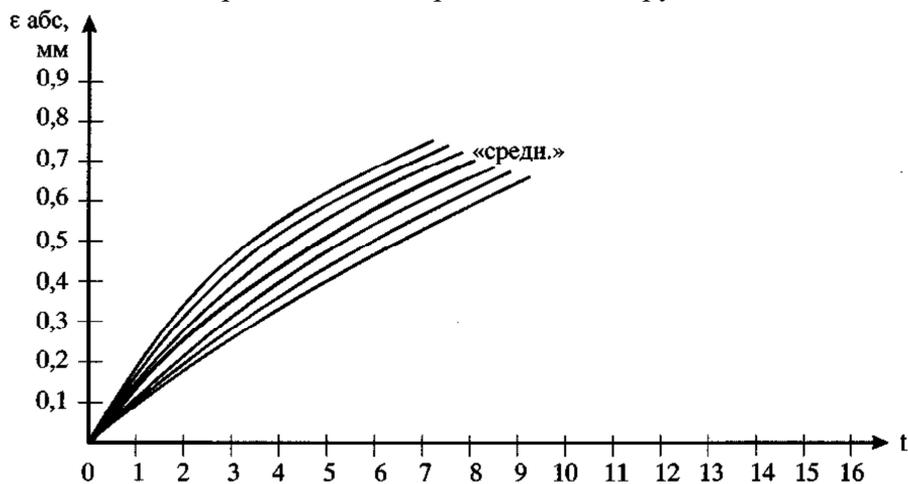


Рис. 3. Зависимость ϵ при линейно-возрастающем нагружении

Таблица 1. Величина деформаций

	15 с	30 с	45 с	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	6 мин	8 мин
ϵ абс., 10^{-3} мм	22	48	82,3	128	252,3	360	451	594	706
ϵ отн., 10^{-4} , мм	4,3	9,4	16,1	25	49,4	70,5	88,4	116,4	138

Из уравнения (13) находим вязкость

$$\eta_M = \frac{\sigma}{N} = \frac{2}{6,1 \cdot 10^{-7}} = 326 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кгсек}}{\text{см}^2}. \quad (16)$$

Из уравнения (14) найдем параметр a

$$a = \frac{r - N}{M} = 0,0426. \quad (17)$$

Из уравнения (10) найдем параметр b ; $K = q$

$$b = 2L + qa = -6 \times 10^{-8} + 187 \times 10^{-8} = 181 \times 10^{-8} \quad (18)$$

или с учетом (17, 18) можно выразить

$$b = 2L + q \frac{r - N}{M} \quad (19)$$

Переходя к пределу при $\mu_M \rightarrow \infty$ в (16), получим выражение для b

$$b = V \frac{\eta_M + \eta_K}{\eta_M \cdot \eta_K} \quad (20)$$

Таким образом, зная a , b , η_K определим модуль упругости и коэффициент вязкости из системы [6]:

$$\eta_K = \frac{V \cdot \eta_M}{b \cdot \eta_M - V} \quad (21)$$

$$\mu_K = a \cdot \frac{V \eta_M}{b \eta_M - V} = a \cdot \eta_K, \quad (22)$$

где: $V = \operatorname{tg} \alpha$; $V = 0,010 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{сек}}$;

$$\eta_K = \frac{0,0104 \cdot 3,26 \cdot 10^6}{181 \cdot 10^{-8} \cdot 3,26 \cdot 10^6 - 0,0104} = 5756 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{сек}},$$

$$\mu_K = 0,0426 \cdot 5756 = 245 \text{кг} / \text{см}^2$$

По найденным значениям η_K, η_M, μ_K находим время релаксации

$$T_{\text{рел.}} = \frac{\eta_M + \eta_K}{\mu_K} = \frac{3260000 + 5756}{245} = 13329 \text{сек} \approx 3,7 \text{часа}.$$

Релаксация – процесс самопроизвольного уменьшения напряжений, являющийся следствием внутреннего течения. Основным для характеристики процесса релаксации является время, в течение которого напряжение снижается на определенную величину.

Для асфальтового бетона релаксация в основном зависит от вязкости. С увеличением температуры вместе с уменьшением вязкости уменьшается и время релаксации напряжений в асфальтовом бетоне [2,7].

Проявление асфальтовым бетоном свойств упругого или вязкого тела зависит от соотношения между временем действия нагрузки и времени релаксации. Если время действия нагрузки очень мало по сравнению со временем релаксации, то материал ведет себя как идеально упругий. Если же это время велико по сравнению со временем релаксации, то материал проявляет свойства вязкой жидкости.

Вывод. Наши исследования показали, что в шлаковых асфальтобетонных смесях время релаксации значительно больше времени действия нагрузки, следовательно, такое покрытие будет вести себя как упругий материал.

Список литературы:

1. Боровик, В.С. Проектирование организации нововведений в дорожно-строительных работах [Текст]: дис. д-ра техн. наук / В.С. Боровик. – М., 1999. – 256 с.
2. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст]: монография / А.В. Скрыпников, Т.В. Скворцова, Е.В. Кондрашова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев; Воронеж: деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011. – 127 с.
3. Ковалев, Н.С. Исследования свойств асфальтовяжущих веществ на основе активных минеральных порошков [Текст] / Н.С. Ковалев // Межвузовский сборник статей. – Ростов - на - Дону, 1983. – С. 79–86.
4. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные ис-

следования. – Москва, 2011. – № 8 (ч.3). – С. 667–671.

5. Скрыпников, А.В. Обоснование ресурсных показателей при строительстве лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Т.В. Скворцова, Е.В. Кондрашова // В мире научных открытий. – Красноярск. – №9.6. – С.1841–1849.

6. Скрыпников, А.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. Москва, 2011. – № 8 – С. 379–385.

7. Скрыпников, А.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог [Текст]: монография / А.В. Скрыпников, О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова // Международный журнал экспериментального образования, №10: материалы VI общероссийской научной конференции «Перспективы развития вузовской науки». – Сочи, 22–25 сентября 2010 г. – С.88–91.

Рецензенты:

Белокуров В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Сушков С.И., д.т.н., профессор, директор, «Теллермановское опытное лесничество» Института лесоведения РАН, Воронежская обл.