



## РЕОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

**В. О. Золотарьов, В. В. Маляр, Ю. П. Ткачук**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
вул. Петровського, 25, м. Харків ГСП, Україна 61002.*

*Отримана 9 серпня 2006; прийнята 21 серпня 2006.*

**Анотація.** Запропонована реологічна модель асфальтобетону, ядром якої є степеневе рівняння. Параметри моделі можуть бути визначені за експериментальними даними залежності податливості від часу дії навантаження. Для асфальтобетону на бітумах трьох структурно-реологічних типах виконана перевірка застосовності цієї моделі.

**Ключові слова:** асфальтобетон, бітум, модель, реологія, податливість.

## РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

**В. А. Золотарев, В. В. Маляр, Ю. П. Ткачук**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
ул. Петровского, 25, г. Харьков ГСП, Украина 61002.*

*Получена 9 июля 2006; принята 21 июля 2006.*

**Аннотация.** Предложена реологическая модель асфальтобетона, ядром которой является степенное уравнение. Параметры модели могут быть определены по экспериментальным данным зависимостей податливости от времени действия нагрузки. Для асфальтобетонов на битумах трех структурно-реологических типах выполнена проверка применимости этой модели.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, битум, модель, реология, податливість.

## THE RHEOLOGICAL MODEL OF ASPHALT CONCRETE

V. Zolotariov, V. Malyar, Yu. Tkachuk

*Kharkiv National Automobile Highway University,*

*Petrovsky str., 25, вул. Петровського, 25, Kharkiv, Ukraine 61002.*

*Received July 9, 2006; accepted July 21, 2006.*

**Abstract.** The rheological model of asphalt concrete is offered. The model's kernel is exponential equation. The parameters of model can be defined from experimental data of dependences of flexibility from time of action of load. For asphalt concrete the verification of applicability of this model is executed on bitumens of the three structural-rheological types.

**Key words:** asphalt concrete, bitumen, model, rheological, flexibility.

Расчет дорожных одежд ведется из условия развития в асфальтобетоне обратимых деформаций [1]. Существование области линейного вязкоупругого поведения любых материалов, в том числе и асфальтобетона, предполагает возможность описания деформационных процессов в нем на основе принципа суперпозиции Больцмана [2, 3]. Этот принцип исходит из того, что для релаксирующего тела все воздействия на среду независимы и аддитивны, а ответная реакция среды линейна.

Особенностью области линейного вязкоупругого поведения асфальтобетона, как и любого вязкоупругого материала, является принципиальная возможность описания его механического поведения при различных режимах и видах испытания дифференциальными уравнениями, отвечающими реологическими моделями, составленными из нескольких элементов, отражающих вязкость, упругость и пластичность.

Для удовлетворительного описания реологической моделью поведения асфальтобетона предполагается использование большого числа элементов, вследствие широкого спектра времен релаксации, вызванного сложной молекулярной и надмолекулярной структурой битума, а также структурой адсорбционно-сольватных слоев битума.

В связи с этим, целесообразно рассмотреть возможность применения для описания деформационного поведения асфальтобетона под действием постоянного напряжения модель, ядром которой является предложенное для вязкоупругих жидкостей степенное уравнение Наттинга-Скотт-Блера [4], использованное впоследствии для асфальтобетона К. Юэтом [5]:

$$Y(t) = \frac{\gamma(t)}{\sigma} = At^p \quad (1)$$

где:

$Y(t)$  — функция податливости при ползучести;

$\gamma(t)$  — деформация, развивающаяся под действием напряжения  $\sigma$  за заданный промежуток времени  $t$ ;

$p$  — коэффициент пластичности;

$A$  — параметр, обладающий как свойствами упругости, так и вязкости.

Установление в [3] физической природы коэффициента пластичности показало, что в зависимости от величины коэффициента пластичности, уравнение (1) может описывать поведение асфальтобетонов, приближающихся к упругим или вязким телам. При  $p = 0$  материал ведет себя как тело Гука с модулем упругости  $A$ , при  $p = 1$  — как ньютоновская жидкость с вязкостью  $A$ .

Параметры модели  $A$  и  $p$  могут широко отражать многообразие поведения асфальтобетона в большом диапазоне температур и времени действия нагрузки. В этом случае отпадает необходимость составления многоступенчатых моделей с многочисленными пружинами и амортизаторами.

В общем виде модель, представленная элементом, отражающим обобщенное уравнение Ньютона-Гука, описывает функцию ползучести в виде прямой, наклонной к оси времени под разными углами.

Экспериментальными данными ряда исследователей [5, 6] показано, что для асфальтобетона характерны три области деформирования: первая — область малых времен, когда податливость очень мала ввиду развития преимущественно упругих деформаций; вторая — соответствует большим и постоянным значениям податливости, что обусловлено наличием конечной жесткости — долговременного модуля упругости; третья — промежуточная, связанная одновременно с развитием упругих и вязких деформаций.

Изменение податливости при переходе из первой во вторую область может быть описано последовательным добавлением к степенному элементу мгновенной податливости. Для предупреждения бесконечного развития деформаций ползучести, в соответствии с общепринятыми правилами построения моделей, в модель целесообразно ввести дополнительный упругий элемент, соответствующий равновесной упругости при очень больших временах действия нагрузки. Тогда, выражая мгновенную упругость через мгновенную податливость  $I_0$ , а равновесный модуль, обозначая через  $E_\infty$ , предлагаемую модель можно представить следующим образом (рис. 1).

$$Y(t) = \frac{\gamma(t)}{\sigma} = At^p \quad (1)$$

где:

$Y(t)$  — функция податливости при ползучести;

$\gamma(t)$  — деформация, развивающаяся под действием напряжения  $\sigma$  за заданный промежуток времени  $t$ ;

$p$  — коэффициент пластичности;

$A$  — параметр, обладающий как свойствами упругости, так и вязкости.

Для вывода общего уравнения рассматриваемой модели пользовались известными принципами составления уравнений реологических моделей.

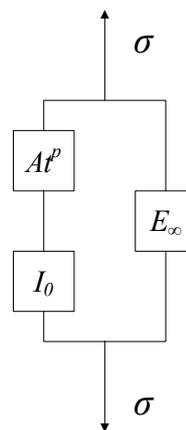


Рис. 1. Реологическая модель асфальтобетона

Уравнение для функции податливости:

$$I(t) = \frac{I_0 + At^p}{1 + E_\infty I_0 + E_\infty At^p} \quad (2)$$

$$\text{при } t \rightarrow 0 \quad I(t) \rightarrow \frac{I_0}{1 + E_\infty I_0}$$

$$\text{при } t \rightarrow \infty \quad I(t) \rightarrow \frac{1}{E_\infty}.$$

Для практического применения модели необходимо определить ее параметры на основе экспериментальных данных зависимости податливости от времени действия нагрузки. При этом  $I_0$  и  $E_\infty$  являются наиболее стабильными характеристиками и определяются из краевых условий. Коэффициент пластичности определяется по общеизвестной методике, как тангенс угла наклона вязкоупругой функции к оси времени, представленной в логарифмических координатах. Коэффициент  $A$  представляет собой значение податливости, отвечающее времени действия нагрузки, равному 1 сек. Практически значение коэффициента при каждой температуре обеспечивает привязку получаемой зависимости к реальной шкале времени.

Поэтому, целесообразно располагать данными о температурной зависимости коэффициента пластичности  $p$  и переменной податливости  $A$ .

Анализ результатов исследований закономерностей изменения модулей упругости и податливости показывает, что практически для всех асфальтобетонов значение податливости при минимальной температуре и времени испытания находятся в пределах  $(5..6) \cdot 10^{-7}$  1/ МПа. При высоких положительных температурах и большом времени испытания модуль упругости асфальтобетона не превышает 40,0..50,0 МПа. Таким образом, в качестве расчетных значений параметров модели использованы: длительный модуль –  $E_{\infty} = 50,0 \text{ МПа}$ , мгновенная податливость –  $I_0 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ МПа}^{-1}$ . Значения коэффициента пластичности и параметра могут быть приняты для асфальтобетона разного структурно-реологического типа [7] из таблицы 1.

Значения  $p$  и  $A$  могут быть получены и для асфальтобетонов других типов. В случае отсутствия данных при разных температурах можно ограничиться значениями податливости при  $t = 1$  с и коэффициента пластичности при той температуре, для которой требуется построить временную зависимость податливости. При этом необходимо определить коэффициент пластичности по двум значениям податливости в узком интервале времени испытания (минимальный диапазон 1 и 100 с).

Выполненная для асфальтобетонов на битумах трех структурно-реологических типов проверка применимости предложенной реологической модели показывает, что расхождение между расчетными и экспериментальными значениями податливости не превышает 25-30% (рис. 2).

Построение таких зависимостей имеет большое значение для изучения структурных особенностей асфальтобетона и может широко применяться с целью прогнозирования его поведения при разных временах воздействия нагрузки.

### Литература

1. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Иванова Н.Н. - М.: "Транспорт", 1973. - 328 с.
2. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. - М.: Химия, 1977. - 440 с.
3. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров. - М.: "Химия", 1975. - 350 с.
4. Рейнер М. Деформация и течение. Введение в реологию. - М.: "Гостоптехиздат", 1963. - 381 с.
5. Huet C. Etude par une m?thode d'imp?dance du comportement visco?lastique des materiaux hydrocarbons, Doctoral thesis, Facult? des sciences de l'universit? de Paris, 1963.
6. Руденский А.В. Обеспечение эксплуатационной надежности дорожных асфальтобетонных покрытий. - М.: "Транспорт", 1975. - 64 с.
7. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. - Х., "Вища школа", 1977. - 116 с.

**Таблица 1.** Значения параметров реологической модели для асфальтобетонов на битумах I, II и III структурного типа

Температура, °С	lg A(t)			p(t)		
	I	II	III	I	II	III
40	-4,50	-4,25	-4,60	0,26	0,17	0,20
30	-4,65	-4,70	-4,75	0,28	0,20	0,26
20	-4,90	-5,20	-5,00	0,32	0,25	0,27
10	-5,40	-5,70	-5,65	0,31	0,29	0,26
0	-5,75	-6,00	-6,00	0,25	0,28	0,18
-10	-5,85	-6,20	-6,20	0,19	0,16	0,14
-20	-5,95	-6,25	-6,30	0,17	0,12	0,10

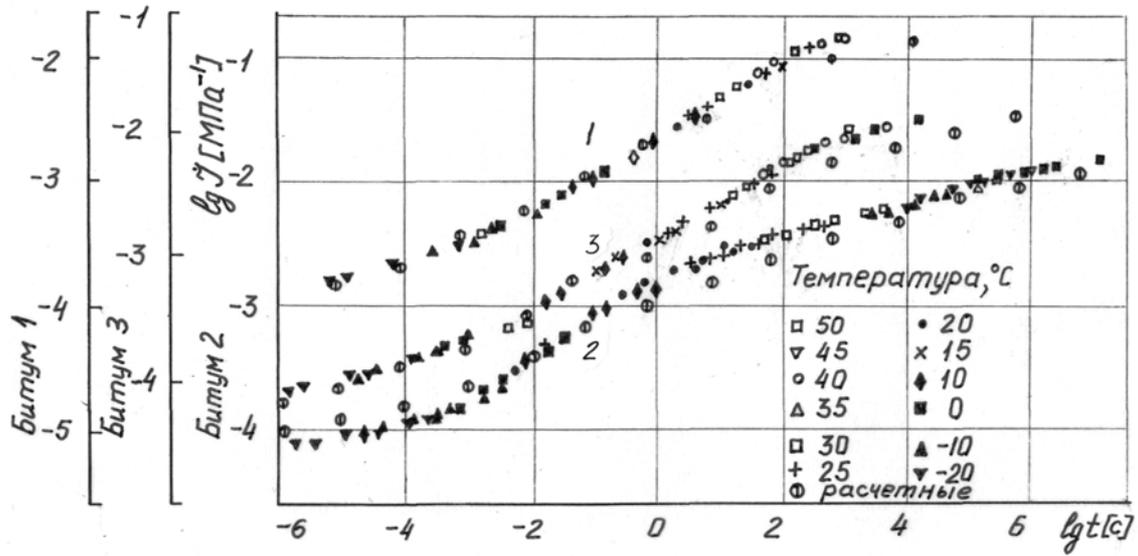


Рис. 2. Временная зависимость податливости для асфальтобетонів на битумах 1, 2 і 3 (цифри у кривих) відповідно I, II і III структурного типу. Температура приведення 25°C

**Золотарьов Віктор Олександрович** — д.т.н., професор, завідувачий кафедрою "Технологія дорожньо-будівельних матеріалів" Харківського національного автомобільно-дорожній університету.

**Маляр Володимир Володимирович** — к.т.н., доцент кафедри "Технологія дорожньо-будівельних матеріалів" Харківського національного автомобільно-дорожній університету.

**Ткачук Юрій Петрович** — к.т.н., доцент кафедри "Технологія дорожньо-будівельних матеріалів" Харківського національного автомобільно-дорожній університету.

**Золотарев Виктор Александрович** — д.т.н., профессор, зав. кафедрой "Технология дорожно-строительных материалов" Харьковского национального автомобильно-дорожний университета.

**Маляр Владимир Владимирович** — к.т.н., доцент кафедры "Технологии дорожно-строительных материалов" Харьковского национального автомобильно-дорожний университета.

**Ткачук Юрий Петрович** — к.т.н., доцент кафедры "Технологии дорожно-строительных материалов" Харьковского национального автомобильно-дорожний университета.

**Zolotariov Victor Oleksandrovych** — Dr.Sc., professor, the Head of Department of Technology of road-building materials Kharkiv National Automobile-road University, Department of Technology of road-building materials.

**Malyar Volodymyr Volodymyrovych** — Ph. D., Associate Professor of Department of Technology of road-building materials Kharkiv National Automobile-road University.

**Tkachuk Yuriy Petrovych** — Ph. D., Associate Professor of Department of Technology of road-building materials Kharkiv National Automobile-road University.