

## О СОРБЦИОННО-ДИФфуЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*Я.Н. Ковалев, В.Д. Акельев*

Исходя из теоретических основ физико-химических процессов, протекающих на границе раздела «битумминеральные материалы», образование прочных водонерастворимых связей между этими компонентами при традиционных технологиях изготовления асфальтобетонных материалов, как правило, не происходит.

Эффективным способом повышения качества асфальтобетона является технология, обеспечивающая наличие адсорбционных центров в твердой фазе с высоким положительным потенциалом, перевод битума в состояние диффузно-сольватированных оболочек с образованием прочных связей хемосорбционного характера.

Следует иметь в виду, что адсорбционно связанная влага в виде мономолекулярного слоя практически всегда присутствует на поверхности минеральных составляющих. Она способна испаряться при температурах выше 700 °С, вследствие чего распределение битума происходит по тончайшему слою водной пленки, что препятствует адгезионным контактам.

В разрабатываемой технологии рассматривается вопрос о реконструировании смесительных агрегатов таким образом, чтобы поверхность твердой фазы (твердая частица) непосредственно взаимодействовала с битумом, который находится в аэрозольно-газовой фазе.

В дорожном строительстве наибольшее распространение получил асфальтобетон. Например, в США, Японии, России и ряде других стран процентное использование асфальтобетонных дорог составляет 91-95% общей протяженности всех дорог с твердым покрытием. Около 20% от общего объема выпускаемой в России асфальтобетонной смеси используется в промышленном и гражданском строительстве, остальные 80% применяются в дорожном строительстве.

Многочисленные исследования показали, что физико-механические характеристики асфальтобетона зависят от массы «свободного» битума, заполняющего межзерновое пространство, и битума адсорбированного твердой фазой.

Известно, что адсорбированные слои по сравнению со «свободным» битумом имеют значительно меньшую подвижность, что положительно сказывается на их релаксационной способности[1].

Структурообразование асфальтобетона зависит от оптимальной толщины битумной пленки на поверхности частиц минеральных компонентов.

Свойства битума в контактном слое зависят от характера минеральной поверхности, которая взаимодействует с битумом. На активной поверхности при толщине битумной пленки до 10 мкм возрастает роль адгезионных процессов, которые являются результатом эффективной ориентации структурных элементов битума. Известно, что у поверхности минеральных компонентов имеет место ориентация молекул битума. Ряд экспериментов показал, что пленка битума толщиной менее 1 мкм обладает свойствами, приближающимися к свойствам твердого тела.

При толщине пленки битума более 10 мкм этот эффект значительно слабее.

Процесс приготовления битумно-минеральных смесей протекает интенсивней при повышенных температурах, которым соответствует ньютоновский характер течения вязкой жидкости с минимальной вязкостью.

Необходимо, чтобы усреднённая толщина плёнки битума на минеральных частицах в асфальтовом бетоне стремилась к минимальному значению [2].

Известно, что на поверхности минеральных частиц образуются диффузные структурированные оболочки битума, плотность и вязкость которых максимальна у границы раздела «битум – минеральный материал». С удалением от этой границы вязкость и плотность битума убывают и становятся минимальными в зоне «свободного битума».

Гезенцев Л.Б. отмечает, что для получения наиболее прочной системы необходимо создать такие условия, при которых наибольшая часть битума находилась бы в структурированном состоянии. Масса «свободного» битума должна быть минимальной.

Аналитический обзор литературных источников показал, что определяющим условием сокращения количества «свободного» битума в асфальтобетоне является разработка и применение более совершенной технологии приготовления последнего.

В настоящей работе рассматривается твердая фаза (песок, щебень и т.д.) и газовая фаза (распыленное состояние битума) (рисунок 1).

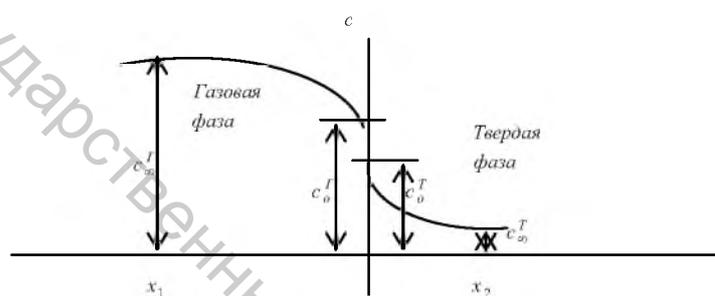


Рисунок 1 — Схема взаимодействия фаз

Равновесное состояние системы на границе раздела фаз можно выразить уравнением

$$c_o^G = \varphi \cdot c_o^T, \quad (1)$$

где  $c_o^G$  — концентрация газообразного битума на поверхности раздела, молярная доля;  $c_o^T$  — концентрация битума в твердой фазе на поверхности раздела, молярная доля;  $\varphi$  — постоянная.

Для газовой и твердой фаз битума дифференциальные уравнения, описывающие поля концентраций, можно записать в виде

$$\frac{\partial c^G}{\partial \tau} = D_G \frac{\partial^2 c^G}{\partial x_1^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial c^T}{\partial \tau} = D_T \frac{\partial^2 c^T}{\partial x_2^2}, \quad (3)$$

где  $\tau$  — время, с;  $D_G$  — коэффициент диффузии битума в газовой фазе, м<sup>2</sup>/ч;

$D_T$  — коэффициент диффузии битума в твердой фазе, м<sup>2</sup>/ч.

Граничные и начальные условия представлены уравнениями (4-8):

$$c^G = \varphi \cdot c^T, \text{ если } x_1 = x_2 = 0, \quad (4)$$

$$D_r \frac{\partial c^r}{\partial x_1} = -D_T \frac{\partial c^T}{\partial x_2}, \text{ если } x_1 = x_2 = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial c^r}{\partial x_1} = \frac{\partial c^T}{\partial x_2} = 0, \text{ если } x_1 = x_2 = \infty, \quad (6)$$

$$c^r = \varphi \cdot c_\infty^r, \text{ если } \tau = 0, \text{ при } x_1 = 0 \div \infty, \quad (7)$$

$$c^T = \varphi \cdot c_\infty^T, \text{ если } \tau = 0, \text{ при } x_2 = 0 \div \infty. \quad (8)$$

Решение линейных дифференциальных уравнений (9-11) с использованием преобразования Лапласа приводит к уравнениям

$$\omega = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{c_\infty^r - \varphi c_\infty^T}{\left(\frac{1}{D_r}\right)^{0,5} + \varphi \left(\frac{1}{D_T}\right)^{0,5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}}, \quad (9)$$

где  $p$  — давление, Па;  $R$  — газовая постоянная, Дж/кг К;  $\omega$  — скорость абсорбции, моль/м<sup>2</sup> ч.

При этом общая масса абсорбируемого битума за время  $\tau$  может быть определена из уравнения

$$m = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{c_\infty^r - \varphi c_\infty^T}{\left(\frac{1}{D_r}\right)^{0,5} + \varphi \left(\frac{1}{D_T}\right)^{0,5}} \cdot \left(\frac{4 \cdot \tau}{\pi}\right)^{0,5}. \quad (10)$$

Коэффициент абсорбции определяется из выражения

$$K = \frac{P}{R_r} \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot \tau}{\pi}\right)^{0,5}}{\left(\frac{1}{D_r}\right)^{0,5} + \varphi \left(\frac{1}{D_T}\right)^{0,5}}. \quad (11)$$

В пограничном слое элемент, бесконечно малой толщины  $dx$ , ограниченный поверхностями, которые параллельны плоскости раздела фаз на расстояниях  $x$  и  $x + dx$  от этой поверхности (рисунок 2).

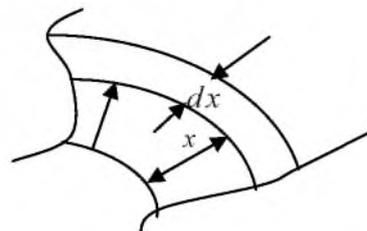


Рисунок 2 — Схема межфазового слоя элементов твердой и газовой фаз

Скорость диффузии  $\omega'$  в элементах поверхности, расположенной от плоскости раздела фаз на расстоянии  $x$ , определяется из уравнения

$$\omega' = -D \frac{dc}{dx}, \quad (12)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии,

$c$  — концентрация газа в твердой фазе на расстоянии  $x$ .

Масса газовой фазы, транспортируемой за элементарный отрезок времени  $d\tau$  через эту поверхность, определяется из выражения

$$m_1 = -D \frac{dc}{dx} d\tau. \quad (13)$$

Масса газа, транспортируемого через противоположную поверхность элементарного слоя, расположенного от плоскости раздела фаз на расстоянии  $x + dx$ , равна

$$m_2 = -D \left[ \frac{dc}{dx} + d \left( \frac{dc}{dx} \right) \right] d\tau. \quad (14)$$

Скорость химической реакции пропорциональна концентрации, т.е.

$$-\frac{dc}{d\tau} = k \cdot c, \quad (15)$$

где  $k$  — константа скорости реакции.

Масса диффундирующего газа, химически взаимодействующего в элементарном объеме за время  $d\tau$ , равна

$$m_3 = -k \cdot c dx \cdot d\tau. \quad (16)$$

При стационарной диффузии уравнение материального баланса имеет вид

$$m_1 - m_2 = m_3, \quad (17)$$

или

$$-D \frac{dc}{dx} dx + D \left[ \frac{dc}{dx} + d \left( \frac{dc}{dx} \right) \right] \Delta\tau - k \cdot c dx \cdot d\tau = 0. \quad (18)$$

После упрощений уравнения (19), получим

$$\frac{d^2c}{dx^2} = \frac{k}{D} c. \quad (19)$$

Обозначив  $\frac{k}{D}$  через  $a^2$ , уравнение (20) можно записать в виде

$$c''(x) - a^2 c(x) = 0. \quad (20)$$

Используя методы преобразования Лапласа, можно найти из уравнений (18-20) выражения (21, 26-28).

$$c(x) = x_0 \cdot ch(ax) + \frac{x_1}{a} sh \cdot (ax), \quad (21)$$

где  $x_0 = const$  есть значение функции  $c(x)$  при  $x=0$ , а  $x_1$  — значение ее производной, т.е.

$$x_1 = c'(0) = \frac{dc(0)}{dx} = const. \quad (22)$$

Если  $x_0$  и  $x_1$  — произвольные числа, тогда  $c(x)$  является общим интегралом уравнения, которое можно представить в виде

$$c(x) = \kappa_1 \exp(ax) + \kappa_2 \exp(-ax), \quad (23)$$

Если известна концентрация газа в пограничном слое и в слое на расстоянии  $l$  от пограничного, при  $c=c_1$  при  $x=0$  и  $c=c_2$  при  $x=l$ , тогда

$$c_1 = \kappa_1 + \kappa_2, \quad (24)$$

$$c_2 = \kappa_1 \exp(al) + \kappa_2 \exp(-al). \quad (25)$$

Из (24) и (25) имеем

$$k_1 = \frac{c_2 - c_1 \exp(-al)}{2 \operatorname{sh}(al)}, \quad (26)$$

$$k_2 = \frac{c_1 \exp(al) - c_2}{2 \operatorname{sh}(al)}. \quad (27)$$

Подстановка (16) и (17) в общий интеграл дает

$$c = \frac{c_2 \operatorname{sh}(al) + c_1 \operatorname{sh}[a(1-x)]}{\operatorname{sh}(al)} = \frac{c_2 \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\kappa}{D}} \cdot x\right) + c_1 \operatorname{sh}\left[\sqrt{\frac{\kappa}{D}} \cdot x(1-x)\right]}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\kappa}{D}} \cdot l\right)}. \quad (28)$$

Представленные аналитические выражения показывают, что сорбционно-диффузионные химические процессы (скорость абсорбции, масса абсорбируемого битума) между газовой фазой битума и минеральными композициями зависят от концентрации, температуры, коэффициентов диффузии битума в системе, продолжительности контакта фаз, давления, геометрических характеристик.

#### Список использованных источников

1. Шульман З.П., Ковалев Я.Н., Зальцгендлер Э.А. Реофизика конгломератных материалов. Минск: «Наука и техника» (1978), 239с.
2. Рыбьев И.А. Оптимизирующие факторы прогрессивных технологий в строительном материаловедении. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в производстве строительных материалов. Материалы международной научно-технической конференции. Новосибирск: (1997), Ч.1., 206 с.

#### SUMMARY

The problems of phase interplay of a bitumen and mineral stuffs are reviewed.

The relations are submitted (shown), ground which one are possible are to calculated absorption coefficients, by (with) speed of absorption, weight of an absorbed bitumen, diffusive characteristics.