

**ООО «СВ-Сервис»**

**Долговечность геоболочек «ГеоФРАМ»  
в конструкциях автодорог**

## Долговечность геоболочек «ГеоФРАМ» в конструкциях автодорог

Использование геосинтетических материалов в качестве элемента усиления конструкций дорог все шире внедряется в практику дорожного строительства. Поэтому наряду с прогнозированием сроков службы конструкции на основе свойств дорожно-строительных материалов большое значение имеет расчет долговечности геосинтетических материалов строительного назначения.

Долговечность геосинтетических материалов, и в частности геоболочек «ГеоФРАМ», определяется двумя основными группами факторов:

- свойства исходного материала – надлежащее качество сырья и правильный подбор материала с учетом требований к конструкции геоболочки;
- условия эксплуатации – тепло, кислород, вода, УФ-излучение, химические среды, механические нагрузки.

В качестве параметра, связанного с химическим строением, составом и структурой геосинтетического материала и одновременно со временем потери работоспособности геоболочек «ГеоФРАМ» под воздействием комплекса эксплуатационных факторов, теоретически и экспериментально обосновано использование эффективной энергии активации термоокислительной деструкции  $E_d$ .

Энергия активации  $E_d$  – избыток энергии (потенциальный барьер), необходимый для разрушения химических связей, образующих основную цепь геосинтетического материала.

**1. Определение энергии активации.** Определение долговечности осуществляется по методике, изложенной в СТБ 1333.0 – 2002. Этот стандарт распространяется на геосинтетические изделия для строительства и устанавливает метод определения их долговечности расчетным путем по экспериментально определенному значению энергии активации термоокислительной деструкции (далее – энергии активации) материала геоболочек «ГеоФРАМ».

Метод определения долговечности основан на взаимосвязи между долговечностью геосинтетического материала геоболочек «ГеоФРАМ» и значением энергии активации, определяющей качество материала и уменьшающейся под воздействием эксплуатационных факторов.

Значение энергии активации определяют расчетным путем по потере массы навески материала геоболочки «ГеоФРАМ» от воздействия температуры при нагревании с заданной скоростью в определенном интервале температур на специальном приборе (дериватографе).

Навески испытуемого и эталонного материалов массой по  $200 \pm 1$  мг помещают в керамические тигли (их предварительно прокаливают при температуре  $600^\circ\text{C}$  в течение 1 часа, а потом выдерживают при комнатной температуре в течение 2 часов) и затем взвешивают.

Далее тигли с испытуемым и эталонным материалами устанавливают в дериватограф и нагревают навеску до температуры 500°C. Одновременно производят запись специального графика (дериватограммы).

На полученной дериватограмме отмечают значение потери массы навески ( $\Delta_m$ ) в процентах с точностью до 0,1% с шагом 10°C в интервале температур 350 – 410°C для полиэфира.

Вычисляют значение двойного логарифма  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$  для каждой температуры и строят график прямолинейной зависимости  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$  от обратной температуры  $T_d$ , применяя аппроксимацию по методу наименьших квадратов.

При этом на оси абсцисс откладывают величины  $(103/T_d)$ , где  $T_d$  – значения температуры, К, при испытании, а на оси ординат – величины  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$ .

Вычисляют с точностью до 0,1 тангенс угла наклона  $\varphi$  построенной прямой линии к оси ординат. Определяют значение энергии активации  $E_d$ , кДж/моль, по формуле:

$$E_d = \text{tg}\varphi \cdot R, \quad (1)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31 \cdot 10^3$  кДж/(моль·К).

В ходе исследований была испытана геооболочка «ГеоФРАМ» из полиэфирного иглопробивного полотна, для которой график по определению  $E_d$  показан на рис. 1.

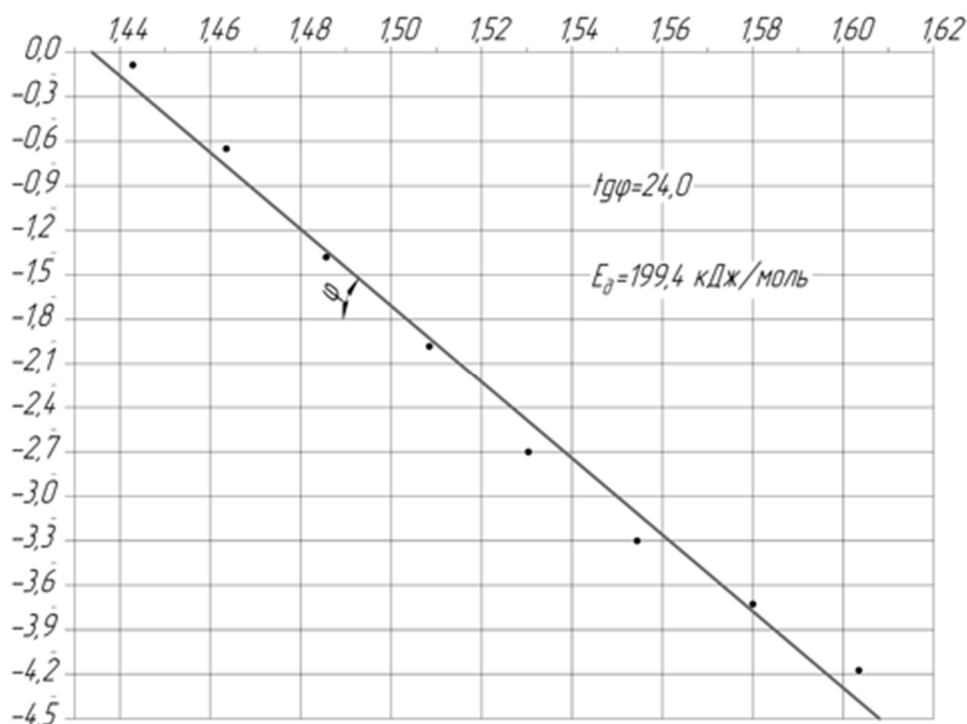


Рис. 1. Определение энергии активации  $E_d$  для геооболочки «ГеоФРАМ» из полиэфира.

Поскольку накопление во времени разрывов химических связей есть процесс старения полимера, параметр  $E_d$  связан с долговечностью геооболочек «ГеоФРАМ» экспоненциальной зависимостью:

$$\tau_{t_3} = \frac{1}{m} 10^{\alpha E_a + \beta} \cdot e^{E_a / (Rt_3)}, \quad (2)$$

где  $\tau_{t_3}$  – расчетная долговечность геооболочки «ГеоФРАМ» в годах при конкретном значении температуры эксплуатации (температуры грунта)  $t_3$ , К;  $m$  – коэффициент перевода долговечности в годы,  $m = 365$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, постоянные для данного класса полимеров, для полиэфира  $\alpha = -0,1661$ ,  $\beta = +2,590$ .

С учетом эксплуатационных факторов:

$$\tau_{t_3} = \frac{1}{m} 10^{-\alpha(E_a - E_{MB} - E_{pH} - \gamma \sigma_{ст}) + \beta} \cdot e^{(E_a - E_{MB} - E_{pH} - \gamma \sigma_{ст}) / (Rt_3)}, \quad (3)$$

где  $E_{MB}$  – снижение энергии межмолекулярных взаимодействий на границе «геооболочка «ГеоФРАМ» – грунт» за счет эффекта Ребиндера, кДж/моль;  $E_{pH}$  – снижение энергии активации за счет кислотности грунта, кДж/моль;  $\gamma$  – структурно-чувствительный коэффициент, для шва, как самого слабого элемента геооболочки «ГеоФРАМ», равный 53,75 кДж/(моль·МПа);  $\sigma_{ст}$  – напряжение в стенке ячейки геотехнической решетки, вызываемое механическими нагрузками, МПа.

Произведение  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  представляет собой долю энергии, на которую механические напряжения, возникающие в материале, понижают потенциальный барьер разрыва химических связей полимера  $E_d$ .

Расчетная долговечность геооболочки «ГеоФРАМ» в годах  $\tau_{общ}$  при переменных значениях температуры эксплуатации  $t_3$  определяется по формуле:

$$\tau_{общ} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i}{m_{i\text{ sum}}} \cdot \frac{1}{\tau_{t_3}} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где  $m_i$  – число часов взаимодействия грунта со среднемесячной температурой  $t_3$ ;  $m_{i\text{ sum}}$  – общее число часов взаимодействия грунта с переменными значениями  $t_3$ .

**2. Пример расчета.** Использовалась геооболочка «ГеоФРАМ» высотой 0,3 м. Дорожная конструкция состоит из земляного полотна высотой в среднем 0,5 м и армированной геооболочкой «ГеоФРАМ» дорожной одежды из песчано-гравийной смеси толщиной 0,18 м.

При определении долговечности геооболочек «ГеоФРАМ» необходимо учесть эксплуатационные факторы, снижающие энергию активации материала геооболочки «ГеоФРАМ» и, тем самым, ее долговечность. К таким факторам относятся:

**I. Воздействие жидкой фазы грунта** выражается в эффекте адсорбционного понижения прочности полимера (эффекте Ребиндера), который означает облегчение деформации и разрушения твердого тела в результате протекания на его свободной поверхности обратимых физико-химических процессов, приводящих к понижению поверхностной энергии тела. Показатель  $E_{MB}$  составляет 59 кДж/моль.

**II. Кислотность грунтового массива.** Преобладающие почвы в районе строительства дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные, для таких почв показатель кислотности составляет по всему профилю  $pH = 3,6 - 5,5$ , а параметр  $E_{pH}$  равен 8 кДж/моль.

### III. Механические нагрузки:

а) статические нагрузки от собственного веса грунта определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \gamma_0 z, \\ \sigma_x &= \sigma_y = \xi_0 \sigma_z,\end{aligned}\quad (5)$$

где  $\gamma_0$  – объемная масса грунта, равная для песчано-гравийной смеси 2,0 г/см<sup>3</sup>;  $z$  – глубина заложения геоболочки «ГеоФРАМ» (по ее верхнему краю),  $z = 0,08$  м;  $\xi_0 = \mu_0 / (1 - \mu_0)$  – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя;  $\mu_0$  – коэффициент относительной поперечной деформации, аналогичный коэффициенту Пуассона,  $\mu_0 = 0,3$ ;

б) дорожная конструкция воспринимает нагрузки от движущихся транспортных средств через упругие шины в очень короткое время – 0,1 с. В расчетах примем, что нагрузка воздействует постоянно и величина ее определяется по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= -q \left( 1 - \frac{\eta^3}{\sqrt{1+\eta^2}} \right), \\ \sigma_y &= \sigma_x = -q \left[ (1+\mu) \left( 1 - \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \right) + \frac{\sigma_z}{2q} \right],\end{aligned}\quad (6)$$

где  $q$  – расчетное давление, МПа;  $\eta = z/a$ ,  $a$  – радиус круга, эквивалентного по площади отпечатку колеса, м. При вычислениях принята нагрузка с параметрами  $q = 0,6$  МПа,  $a = 0,185$  м расчетного автомобиля группы А.

Расчетами установлено, что величина суммарного воздействия статических и динамических нагрузок составляет  $\sigma_z = 0,565$  МПа по оси Z и  $\sigma_y = 0,190$  МПа по оси Y. Расчетное значение механических нагрузок  $\sigma_{ст}$  принимается равным сумме  $\sigma_z$  и  $\sigma_y$ , т. е. 0,755 МПа.

Тогда произведение  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  будет составлять  $53,75 \cdot 0,755 = 40,6$  кДж/моль.

В результате получим, что итоговое значение энергии активации  $E_d$  с учетом  $E_{мв}$ ,  $E_{рн}$  и  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  составит 91,8 кДж/моль.

IV. Температура грунта дорожной одежды определяется по формуле:

$$t_3 = t_{air} + (t_{soi} - t_{air}) \frac{R_{sur} + \sum_{i=1}^n (R_{sur})_i}{R_{tot}}, \quad (7)$$

где  $t_{air}$  – температура воздуха, °С;  $t_{soi}$  – температура грунта на нижней границе системы «одежда – полотно», °С. Принимаем значения  $t_{soi}$  на глубине 0,8 м (поскольку общая высота дорожной конструкции составляет 0,7 м) и  $t_{air}$  по каждому месяцу;  $R_{sur}$  – сопротивление теплопереходу покрытия, м<sup>2</sup> · °С/Вт, принимаемое в расчетах в зависимости от скорости ветра, м/с. Значения скорости ветра по месяцам колеблются в пределах 2,6 – 3,7 м/с, а значения  $R_{sur}$  соответственно от 0,0765 до 0,084 м<sup>2</sup> · °С/Вт;  $R_{tot}$  – общее тепловое сопротивление дорожной конструкции, м<sup>2</sup> · °С/Вт.

$$R_{tot} = R_{sur} + R_{sc} + R_{rb}, \quad (8)$$

где  $R_{sc}$  – тепловое сопротивление одежды,

$$R_{sc} = \sum_{i=1}^n h_i / \lambda_i, \quad (9)$$

где  $h_i$  – толщина слоев одежды с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i$ ,  $h_i = 0,18$  м. Для песчано-гравийной смеси  $\lambda_i = 2,61$  Вт/(м · °С). Тогда  $R_{sc} = 0,069$  м<sup>2</sup> · °С/Вт;  $R_{rb}$  – тепловое сопротивление земляного полотна,

$$R_{rb} = h_{si} / \lambda_{si}, \quad (10)$$

где  $h_{si}$  – толщина слоя грунта с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{si}$ , на нижней границе которого принята температура  $t_{soi}$ . Поскольку промерзание грунта составляет 15 – 20 см, то значение  $\lambda_{si} = 2,32$  Вт/(м · °С) примем для талого грунта. Тогда  $R_{rb} = 0.216$  м<sup>2</sup> · °С/Вт;

$\sum_{i=1}^n (R_{sur})_i$  – суммарное тепловое сопротивление слоев дорожной конструкции, расположенных выше плоскости, в которой определяется температура грунта. На расстоянии 0,08 м от верха покрытия и до начала геооболочки «ГеоФРАМ» его величина составляет 0,031 м<sup>2</sup> · °С/Вт.

Значения  $R_{tot}$  в зависимости от месяца колеблются в интервале 0,3615 – 0,3690 м<sup>2</sup> · °С/Вт.

Сведем данные по расчету  $t_3$  в табл. 1.

**Значения  $t_{air}$ ,  $t_{soi}$  и  $t_3$  по месяцам, °С.**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{air}$	-6,8	-6,3	-2,4	3,9	11,0	15,6	18,1	16,3	11,4	5,8	0,2	-4,6
$t_{soi}$	1,7	0,4	0,5	3,8	9,7	15,3	18,1	17,3	14,6	10,1	5,0	2,4
$t_3$	-4,3	-4,3	-1,5	3,9	10,6	15,5	18,1	16,6	12,5	7,1	1,6	-2,5

Расчет долговечности геооболочки «ГеоФРАМ» при конкретных значениях  $t_3$  покажем в виде табл. 2

Показатель	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ед	91,8 кДж/моль											
$10^{\alpha E_d + \beta}$	$10^{-0,1661 E_d + 2,590} = 2,41 \cdot 10^{-37}$ ч											
$m_i$ , ч	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$m_i$ sum, ч	8760											
$t_3$ , °С	-4.3	-4.3	-1.5	3.9	10,6	15,5	18,1	16,6	12,5	7,1	1,6	-2,5
$t_3$ , °К	268,7	268,7	271,5	276,9	283,6	288,5	291,1	289,6	285,5	280,1	274,6	270,5
$t_{i3}$ , лет	431	431	282	128	50	26	18	22	38	81	178	328

Общая долговечность геоболочек «ГеоФРАМ» в конструкции дороги, рассчитанная по формуле (4) на основе данных табл. 2, составит  $\tau_{\text{общ}} \approx 54$  года.

**Заключение.** Большая долговечность геоболочек «ГеоФРАМ» из полиэфира обусловлена:

- 1) химической природой полимера, высокой устойчивостью его химических связей к внешним воздействиям;
- 2) отсутствием УФ-излучения – самого опасного разрушающего фактора;
- 3) низкими температурами эксплуатации, а значительный период времени вообще отрицательными, когда полимер находится в «законсервированном» состоянии;
- 4) относительно небольшими механическими нагрузками.

Описанный выше способ позволяет определить долговечность в дорожной конструкции не только геоболочек «ГеоФРАМ», но и любого другого класса геосинтетических материалов, применяемых при строительстве дорог. При этом методика расчета дает возможность комплексно учесть все основные эксплуатационные факторы, воздействию которых подвергается полимерный материал.