

нения защитных свойств в условиях сернистого ангидрида: при обработке этих кислот ультразвуком без термостатирования их защитная эффективность падает на 30 %, а воздействие ультразвука при термостатировании не оказывает влияния на этот параметр.

В электролите картина иная: УЗК обработка ОК (г. Скидель) приводит к повышению ее защитной эффективности на 25–35 %, а ОК (Чехия) – к снижению на 20–40 %.

Исследованием влияния УЗК на вязкость ОК различных производств установлено (рис. 6), что с повышением чистоты ОК это влияние нивелируется: так у ОК



Рис. 6. Влияние УЗК обработки на кинематическую вязкость ОК

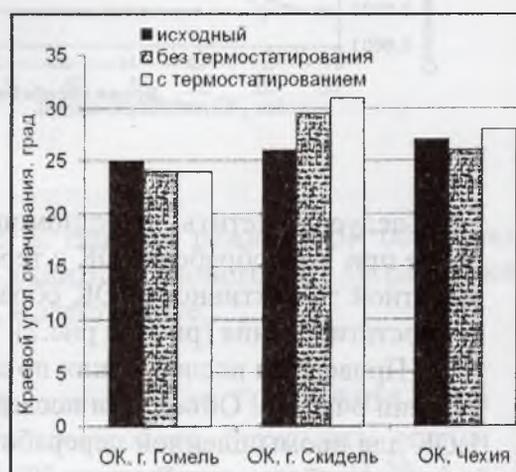


Рис. 7. Влияние УЗК обработки на краевой угол смачивания ОК

(г. Гомель) вязкость снижается на 15 % (без термостатирования) и на 25 % (с термостатированием), а у ОК (Чехия) – не изменяется.

При оценке влияния УЗК обработки на смачиваемость ОК (рис. 7) зависимость между степенью очистки ОК и краевым углом смачивания установить не удалось.

Следует отметить, что приобретенные новые свойства ОК под влиянием УЗК имеют стабильный характер и не релаксируют, по крайней мере, в течение года.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Павлов А.П., Павлова Э.М.

Учреждение Российской академии наук

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва, Россия

alpavlov@mail.ru

Несмотря на значительные успехи в строительстве транспортных магистралей, зданий, аэродромов, гидротехнических сооружений, вопросы повышения несущей способности грунта (особенно при производстве работ на слабых грунтах), создания дренажных систем, укрепления оснований и склонов сооружений остаются актуальной и трудной проблемой. Как показывает мировая практика последних лет, одним из решений данных вопросов, а часто единственным и экономически целесообразным, является использование геосинтетических материалов.

Геосинтетические материалы — класс полимерных строительных материалов, которые сами или в составе конструкций на грунтах могут выполнять функции армирования, фильтрации, разделения и дренирования. Это сборные конструкции, поставляемые в виде рулонов, листов или пластин, используемые в геотехническом, гидравлическом и транспортном строительстве.

Помещение геосинтетического материала в промежуток между слоем основания и подстилающим слоем и/или внутри слоя основания, в зависимости от выбора проектировщика, способно:

- уменьшить толщину самого слоя основания относительно неукрепленного варианта (при тех же механических характеристиках грунта и количестве циклов);
- увеличить срок эксплуатации конструкции (при той же толщине и использованном гранулированном материале);
- уменьшить количество требуемого материала (при том же количестве циклов и высоты слоя основания).

Большой зарубежный опыт использования таких материалов показывает, что, например, их применение в дорожном строительстве позволяет в среднем в два раза сократить расходы на строительство и эксплуатацию сооружений и в три-четыре раза увеличить срок службы дорожного покрытия.

Поскольку объекты, изготавливаемые с помощью геосинтетических материалов, предназначаются, как правило, для очень длительной эксплуатации (десятки лет), то описание их механических характеристик и, в основном, оценка возможного приращения деформаций, не приводящего за этот срок к разрушению, являются первоочередными задачами.

Механика геосинтетических материалов - это сравнительно новая область исследований. И хотя материалы весьма специфичны, имеют крупную структуру и сами могут рассматриваться как конструкции, в настоящее время для оценки их поведения в тех или иных условиях используются макроскопические подходы, т.е. пренебрегается внутренней сложной структурой материала и рассматриваются общие характеристики усилий и удлинений. Такой подход несколько ограничен, так как нагрузки на какой-либо отдельный элемент структуры могут оказаться значительными, что может привести к его разрушению и таким образом спровоцировать дальнейшее разрушение соседних элементов. Для анализа подобных явлений необходимо привлечение методов микромеханики и механики конструкций.

Обычно максимально допустимая нагрузка для геосинтетических материалов определяется исходя из статической прочности деленной на целый ряд коэффициентов, среди которых коэффициент механического повреждения, показатели химической и бактериологической сред, коэффициент запаса прочности и пр. [1]. Вполне естественно, что учесть все факторы и их количественные характеристики довольно трудно, поэтому необходимо разрабатывать методы, дающие возможность осуществлять прогнозирование с достаточной надежностью. К таким методам можно отнести:

- эксперименты с последующей экстраполяцией полученных данных;
- метод конечных элементов;
- методы, основанные на моделях вязко-упругости.

Так как наибольшее число работ по прогнозированию свойств геосинтетических материалов основано на методах и подходах, известных для полимеров, остановимся подробно только на методах, основанных на моделях вязко-упругости. Полимеры обладают ярко выраженными вязкоупругими характеристиками и в соответ-

ствии с этим должно выбираться определяющее уравнение, т.е. уравнение, устанавливающее зависимость между нагрузкой, деформацией и временем.

В настоящее время известно, что наиболее перспективным подходом является подход, основанный на наследственных представлениях, как наиболее полно выражающий сущность самого процесса деформирования вязкоупругого материала [2]. Несколько упрощая, можно представить себе следующее. Пусть в некоторый момент  $\tau$  приложена нагрузка  $F(\tau)$ , которая действует в течение времени  $d\tau$ . Тогда материал сохраняет память об этом воздействии в виде некоторой деформации  $d\varepsilon$ , которая пропорциональна нагрузке  $F(\tau)$ , времени  $d\tau$ , в течение которого она действует, и зависит от времени, прошедшего с момента  $\tau$  до настоящего момента  $t$ , т.е. от  $t-\tau$ . Тогда его реакция  $d\varepsilon = f(t-\tau)F(\tau)d\tau$ , что приводит с добавлением упругой составляющей к следующему интегральному уравнению:

$$E\varepsilon(t) = F(t) + \int_0^t K(t-\tau)F(\tau)d\tau. \quad (1)$$

Здесь  $E$  - мгновенный модуль упругости,  $K(t-\tau)$  - ядро интегрального уравнения, определяющее наследственные свойства, или свойства памяти.

В нелинейном случае (а если деформации составляют несколько процентов, то нелинейность приходится учитывать), уравнение (1) может быть записано в виде:

$$\varphi(\varepsilon) = F(t) + \int_0^t K(t-\tau)F(\tau)d\tau, \quad (2)$$

где  $\varphi(\varepsilon)$  - кривая мгновенного деформирования. Уравнение (2) было опробовано на различных материалах: полимерах, композитах с полимерной матрицей и даже при некотором видоизменении для металлов, чувствительных к скорости нагружения. Основная задача при использовании уравнения (2) состоит в выборе ядра интегрального уравнения. Оно должно быть таким, чтобы достаточно точно описывать экспериментальные данные.

Ядра, входящее в (2) должны объединять поведение на бесконечности в виде логарифмической функции и иметь интегрируемую особенность при малых временах нагружения: это ядра Бронского, Слонимского и некоторые другие. Наиболее общим и отвечающим всем необходимым требованиям считается ядро Работнова [2]:

$$\mathfrak{E}_{-\alpha}(\beta, t-\tau) = (t-\tau)^{-\alpha} \sum_0^{\infty} \frac{\beta^n (t-\tau)^{n(1-\alpha)}}{\Gamma[(n+1)(1-\alpha)]}, \quad (3)$$

первый член которого есть функция Абеля  $k/(t-\tau)^\alpha$ , а при  $t \rightarrow \infty$  ядро (3) ведет себя как экспонента. Было показано [3,4 и др.], что если в уравнении (2) ограничиться только первым членом выражения (3), то прогнозирование поведения материалов на большие времена нагружения (порядка 1000 часов) достаточно хорошо согласуется с экспериментами, если в качестве параметров выбрать величины, определенные из кратковременных экспериментов, составляющих несколько секунд. Это означает возможность прогнозирования, по крайней мере, на 6 порядков времен. Такой вывод позволяет надеяться, что если параметры материала были определены при  $10^3$  час, то прогнозирование на три порядка вперед вполне допустимо [5,6,7].

Принцип прогнозирования, основанный на представлениях о наследственном характере деформирования материалов, был применен к анализу свойств полиэфирной георешетки и позволил описать достаточно большой объем экспериментальных данных, связанных как с ползучестью при различных температурах, так и с длительной прочностью [8].

## Литература

1. Voskamp W., Risseuw P. Method to Establish the Maximum Allowable Load under Working Conditions of Polyester Reinforcing Fabric. *Geotextiles and Geomembranes*. 1987. Vol. 6. № 1-3. P.173-184.
2. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М., Наука. 1977. 383 С.
3. Suvorova J.V. The influence of Time and Temperature on the reinforced plastic strength. In book: *Failure Mechanics of Composites*. Amsterdam. North-Holland. 1985. V.3. P.177-214.
4. Суворова Ю.В., Алексеева С.И. Инженерные приложения модели наследственного типа к описанию нелинейного поведения полимеров и композитов с полимерной матрицей. *Заводская лаборатория*, 2000. Т.66. №5. С.47-51.
5. Ашпиз Е.С., Сорина Т.Г., Суворова Ю.В. Прогнозирование долговечности геосинтетических материалов. В сб.: *Внедрение опыта прикладных перспективных технологий авиастроения в промышленности и на транспорте*. Москва. Труды НПП «Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК». 2001. С. 141-146.
6. Суворова Ю.В., Викторова И.В., Машинская Г.П., Финогенов Г.Н., Васильев А.Е. Исследование поведения органопласта при различных режимах нагружения и температур. *Машиноведение*. 1980. № 2. С.67-71.
7. Суворова Ю.В., Васильев А.Е., Машинская Г.П., Финогенов Г.Н. Исследование процессов деформирования органотекстолитов. *Механика композитных материалов*. 1980. № 3. С.538-540.
8. Суворова Ю.В., Павлов А.П. Прогнозирование ползучести и длительной прочности геосинтетических материалов с помощью модели наследственного типа. *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2003. №2. С.52-57.

## РЕОЛОГИЯ СМЕШАННЫХ ДИСПЕРСИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ И ЛАТЕКСОВ, СОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ДОБАВКИ

**Кошевар В. Д., Кажуро И. П.**

*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, 220072, г. Минск, ул.*

*Сурганова, д. 9*

e-mail: [koshevar@igic.bas-net.by](mailto:koshevar@igic.bas-net.by)

При создании рецептур воднодисперсионных лакокрасочных материалов (ВД ЛКМ) часто прибегают к применению различного типа реологических добавок, что позволяет управлять седиментационной и агрегативной устойчивостью и структурно-реологическими параметрами композиции [1]. Однако ввиду отсутствия систематических исследований по влиянию химической природы структурирующих агентов, концентраций их в составе ВД ЛКМ на реологическое поведение этих сложных систем подбор добавок к тому или иному составу осуществляется зачастую методом «проб и ошибок». Также весьма мало данных, содержащих информацию о возможности применения известных реологических уравнений состояния для описания реальных лакокрасочных систем [2].