

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. О. ВАНУШ, Я. И. НИКОЛАЙЧИК, С. Д. ТРИФОНОВ,
Л. Д. ТРИФОНОВА, Ф. И. ЧЕРЯВИН

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОПИТОЧНЫХ
РАСТВОРОВ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В лабораторных условиях для измерения концентрации пропиточных растворов широко применяется весовой метод, основанный на определении весовых отношений армирующего материала, пропитанного связующим раствором произвольной концентрации, и этого же количества армирующего материала после выжигания связующего [1]. Обеспечивая достаточно высокую точность определения концентрации пропиточного раствора, этот метод не дает представления о ходе изменения концентрации связующего в процессе изготовления армированных пластиков на промышленных установках непрерывного действия.

В настоящей работе дается теоретическое обоснование и экспериментальное исследование фотометрического абсорбционного метода измерения концентрации полимерных растворов и приводятся результаты разработки прибора для непрерывного автоматического контроля концентрации растворов непосредственно в процессе пропитки армирующего материала.

Фотоэлектрические приборы (фотометры), основанные на измерении интенсивности лучистой энергии, частично поглощенной (абсорбированной) молекулами вещества, широко применяются для количественного анализа данного вещества в составе слабого раствора или в составе газовой смеси при низком давлении [2, 3]. При этом предполагается, что молекулы вещества не взаимодействуют между собой и поглощение раствором лучистой энергии точно следует закону Бугера—Ламберта—Бера

$$P = P_0 e^{-\alpha C d}, \quad (1)$$

где P_0 и P — соответственно интенсивности лучистых потоков на входе в слой поглощающего вещества толщиной d и на выходе из него;

α — показатель поглощения, характерный для каждого данного вещества;

C — концентрация вещества в растворе.

При больших концентрациях и наличии полимеров в растворе закон Бера нарушается, так как из-за взаимодействия между близкорасположенными молекулами и структурирования поглощающего вещества величина α начинает зависеть от концентрации раствора. При этом,

очевидно, формула (1) существенно усложняется, однако зависимость $P = P(C)$ может быть найдена экспериментально и в дальнейшем использована для градуировки измерительного прибора.

Связующие, применяемые в производстве армированных пластиков, в большинстве случаев (при ограниченной толщине слоя) представляют собой оптически прозрачную среду в видимом диапазоне длин волн. Эти же связующие практически полностью поглощают более короткие ультрафиолетовые волны, причем оптическая плотность связующего, измеренная при фиксированном значении длины волны, возрастает с увеличением числа его молекул или концентрации.

На рис. 1 представлено семейство спектральных характеристик

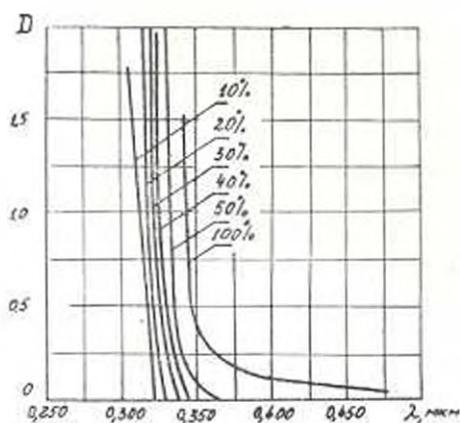


Рис. 1 Семейство спектральных характеристик поглощения растворов связующих на основе эпоксидных смол при различных значениях концентрации связующего.

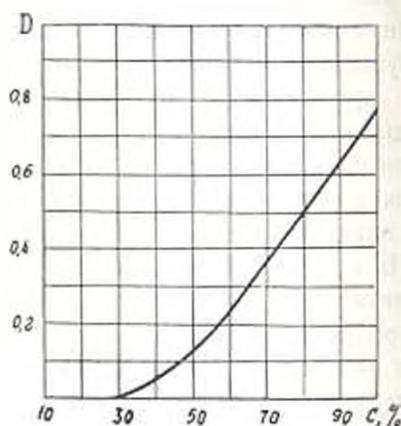


Рис. 2. Зависимость оптической плотности растворов от концентрации связующих при постоянной толщине слоя.

поглощения (в диапазоне длин волн от 250 до 500 нм) связующих на основе эпоксидных смол при различных значениях концентрации связующего, а на рис. 2 — зависимость оптической плотности D от концентрации связующего C при постоянной толщине слоя. Из рис. 1 и 2 видно, что оптическая плотность связующего при фиксированных значениях длины волны падающего излучения растет с увеличением концентрации связующего, а одному и тому же значению оптической плотности в коротковолновой области спектра излучения соответствуют меньшие значения концентрации связующего. Растворители, по сравнению со связующим, поглощают более короткие волны, это позволяет осуществить избирательный контроль параметров связующего. При соответствующем выборе длины волны лучистого потока обеспечивается, во-первых, зависимость его интенсивности от концентрации связующего в растворе и, во-вторых, избирательное взаимодействие связующего с лучистым потоком.

Для экспериментальных исследований и количественного анализа связующих нами, на основе абсорбционного метода, был разработан автоматический фотометр, структурная схема которого показана на рис. 3.

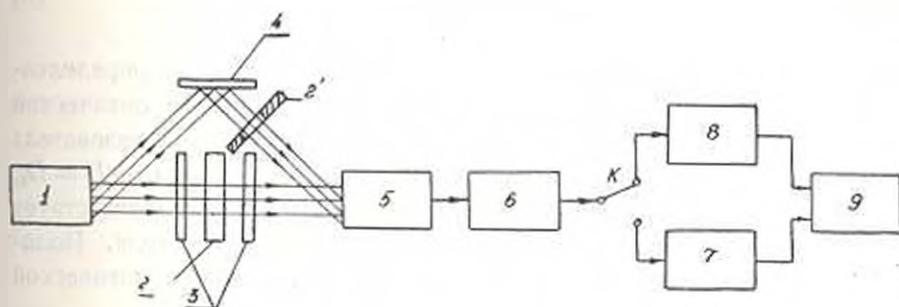


Рис. 3. Структурная схема абсорбционного фотометра с фотоэлектрическим измерительным преобразователем

Лучистый поток от источника излучения 1 проходит на фотоприемник 5 либо через исследуемый объект 2 и светофильтры 3 (рабочий канал), либо через компенсатор 2' и отражатель 4 (опорный канал). Электрический сигнал с выхода фотоприемника 5 поступает на усилитель 6 и затем на одно из запоминающих устройств 7 и 8, коммутация которых ключом K синхронна с коммутацией лучистого потока. Выходы запоминающих устройств подключены к окончательному преобразователю 9, вычисляющему отношение рабочего и опорного сигналов, которое регистрируется с помощью показывающего или самопишущего прибора.

Интенсивность лучистого потока, прошедшего через раствор связующего с оптической плотностью D , в соответствии с (1) определяется выражением

$$P_1 = P_0 e^{-D}. \quad (2)$$

Напряжение на запоминающем устройстве рабочего канала пропорционально интенсивности лучистого потока источника излучения P_0 , коэффициенту передачи исследуемого объекта, определяемому равенством $W = \frac{P_1}{P_0} = e^{-D}$, и коэффициенту усиления фотоприемника и усилителя g_0 , т. е.

$$U_1 = P_0 g_0 e^{-D}. \quad (3)$$

Если на фотоприемник одновременно направлен опорный световой поток интенсивностью $P_2 = P_0 e^{-D_0}$, то напряжение на запоминающем устройстве опорного канала имеет вид:

$$U_2 = P_0 g_0 W_0. \quad (4)$$

где $W_0 = e^{-D_0}$ — коэффициент передачи компенсирующего элемента.

Напряжение на выходе оконечного преобразователя при коммутации лучистых потоков в рабочем и опорном каналах пропорционально отношению напряжений на зажимающих устройствах:

$$U = U_0 \frac{U_1}{U_2} = U_0 \frac{W}{W_0} U_0 e^{-(D-D_0)} \quad (5)$$

Величину W_0 можно выбрать таким образом, чтобы при определенной концентрации раствора связующего (определенной оптической плотности D_0) напряжение на выходе оконечного преобразователя было равно U_0 . При этом, в соответствии с выражением (5), $D = D_0$.

Изменению концентрации раствора связующего соответствует изменение показаний на выходе оконечного преобразователя. Положив в формуле (5) $D - D_0 = \Delta D$ (где ΔD — изменение оптической плотности связующего), получим:

$$U = U_0 e^{\pm \Delta D}, \quad (6)$$

после разложения в ряд —

$$U = U_0 \left(1 \pm \Delta D + \frac{\Delta D^2}{2!} \pm \frac{\Delta D^3}{3!} + \dots \right). \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что шкала фотометра нелинейна, причем эта нелинейность сказывается тем больше, чем шире диапазон контролируемых концентраций ΔC и чем больше показатель поглощения связующего α . Это следует из соотношений (5) и (6) — учетом значения

$$D = d(\alpha C_0 + \alpha \Delta C). \quad (8)$$

Зависимость $U = U(\Delta C)$ различна для каждого связующего, характеризуемого своим определенным значением α .

В диапазоне изменения $0 < \Delta D < 0,1$ нелинейность шкалы прибора не превышает 5%. Поэтому для небольших изменений концентрации растворов связующих шкалу прибора можно считать практически линейной.

Зависимости (6) и (8) были использованы при градуировке шкалы фотометра, которая проводилась на подготовленных образцах растворов связующих на основе эпоксидных смол по пяти значениям концентрации раствора в диапазоне от 42 до 65%. Показания фотометра, соответствующие известной концентрации связующего, отмечались по шкале стрелочного прибора. Обработка результатов измерения при градуировке фотометра осуществлялась методом наименьших квадратов, исходя из экспоненциального характера зависимости напряжения на выходе оконечного преобразователя от концентрации раствора связующего. В результате была найдена эмпирическая формула

$$U = 78,7 e^{-8,194(C-42)}. \quad (9)$$

Зависимость (9) графически представлена на рис. 4. Точки отмечены средние значения для каждого из девяти результатов измерений концентрации, выполненных фотометром при градуировке. Погрешность аппроксимации экспонентной напряженности на выходе оконечного преоб-

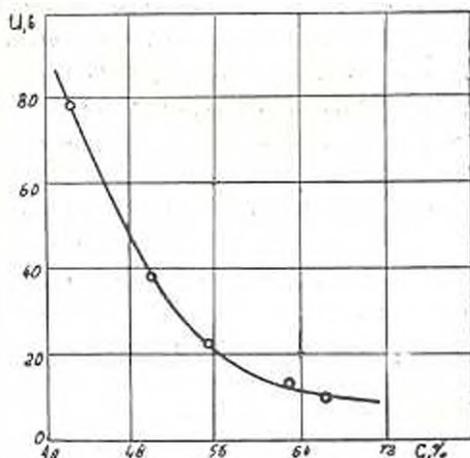


Рис. 4. Статическая градуировочная характеристика абсорбционного фотометра.

разователя и вариация показаний прибора составили соответственно 8,3 и 10%, а суммарная погрешность измерения с учетом погрешности аппроксимации и вариации показаний—14,5% от измеряемого значения концентрации. Указанная погрешность измерения не превышает значения, имеющего место при оценке концентрации растворов связующих методом выжигания. Полученная градуировочная характеристика фотометра использовалась для определения концентрации растворов самых разнообразных связующих на базе эпоксидных смол с введением соответствующих поправок.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования фотометрического абсорбционного метода определения концентрации растворов терморезактивных связующих на основе эпоксидных смол и прибора, реализующего этот метод, показали их практическую применимость для определения концентрации пропиточных растворов в производстве армированных пластинок как в режиме непрерывной регистрации показаний в течение всего технологического цикла, так и при экспресс-анализе через произвольные интервалы времени.

Վ. Օ. ՎԱՆՈՒՆԻ, ՅԱ. Ի. ՆԻՈՒԼԱՅՉԻԿ, Ս. Գ. ՏՐԻՖՈՆՈՎ,
Լ. Կ. ՏՐԻՖՈՆՈՎԱ, Ջ. Ն. ՉԻՐԱՐԻՆ

**ՏՈԳՈՐԻՉ ԼՈՒՄՈՒՅԹՆԵՐԻ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՅԻ ԶԱՓՈՒՄԸ ԼՈՒՍԱԶԱՓԱԿԱՆ
ՄԵԹՈԴՈՎ**

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Տեսականորեն և փորձարարական եղանակով ուսումնասիրված է թերմո-
ունակությամբ կապակցողների լուծույթների կոնցենտրացիայի որոշման լուսա-
չափական արտորոշիչուն մեթոդը, որը հիմնված է անցնող լուսային
հոսքի ինտենսիվության ֆոտոէլեկտրական չափման վրա՝ կապակցողի
լուծույթի կողմից րևկնող ճառագայթային էներգիայի ընտրարար կլանման
ժամանակ:

Քերված են էպօքսիդային խեժերի հիման վրա կապակցողների կլանման
սպեկտրալ բնութագրերը կապակցողի կոնցենտրացիայի տարրեր նշանակու-
թյունների դեպքում, իչպես նաև լուծույթի օպտիկական խտության կախումը
կապակցողի կոնցենտրացիայից: Տրված է ամրանավորված պլաստիկների
արտադրության ժամանակ առգորիչ լուծույթների կոնցենտրացիայի չափման
համար ավտոմատ լուսաչափի կառուցվածքային սխեման և նկարագրված է
նրա աշխատանքի սկզբունքն ու աստիճանավորման եղանակը: Տվյալներ են
բերված սարքի սխեմանրի վերաբերյալ և նշված է նրա դործնական կիրառ-
ման քննադատումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Захаров В. А. и др. Пропитка стеклотканей связующими. «Пластмассы», 1968, № 1.
2. Литвак В. И. Фотоэлектрические датчики в системах контроля, управления и регу-
лирования. М., «Наука», 1966.
3. Гринштейн М. М., Кучикян П. М. Фотоэлектрические концентратомеры. М., «Энер-
гия», 1969.