

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ТОНКИХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ КАПИЛЛЯРНО- ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.П. Беляев<sup>1</sup>, В.П. Беляев<sup>1</sup>, А.Г. Дивин<sup>2</sup>

*Кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» (1),  
«Управление качеством и сертификация» (2), ГОУ ВПО «ТГТУ»;  
polymers@asp.tstu.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** гальванический преобразователь содержания растворителя в твердой фазе; капиллярно-пористый материал; коэффициент диффузии; неразрушающий контроль; полярный растворитель.

**Аннотация:** Рассмотрена автоматизированная система неразрушающего контроля коэффициента диффузии растворителей в тонких изделиях из капиллярно-пористых материалов, которая обеспечивает автоматизированное проведение эксперимента, измерение и регистрацию в режиме реального времени необходимой экспериментальной информации и расчет по разработанным алгоритмам искомой характеристики.

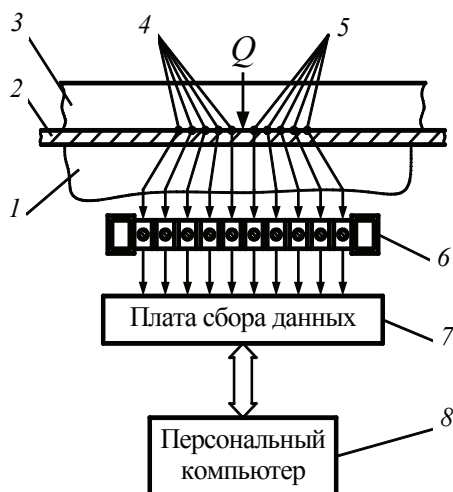
### Обозначения

$D$ – коэффициент диффузии, м <sup>2</sup> /с;	$U(r_1, \tau), U(r_2, \tau), \dots, U(r_n, \tau)$ – концентрация растворителя в твердой фазе в точках расположения гальванических преобразователей, кг/кг;
$r_1, r_2, \dots, r_n$ – расстояние от гальванического преобразователя до источника массы, м;	$r$ – пространственная координата, м;
$E(r_1, \tau), E(r_2, \tau), \dots, E(r_n, \tau)$ – ЭДС гальванических преобразователей, В;	$\tau$ – время, с;
$E_{\max}$ – критическое значение ЭДС, В;	$\tau_{\max}$ – время достижения максимума на кривой $U(r_0, \tau)$ , с.
$Q$ – количество жидкой фазы, наносимое в течение импульса, кг;	

На основании предложенного в работе [1] метода определения коэффициента диффузии полярных растворителей в тонких изделиях из капиллярно-пористых материалов разработана и изготовлена автоматизированная система неразрушающего контроля (АСНК) (рис. 1). Расчетная формула для определения коэффициента диффузии имеет вид

$$D = r_0^2 / (4\tau_{\max}).$$

В работе [2] показано, что искомый коэффициент может определяться без предварительной градуировки применяемых датчиков концентрации растворителей в твердой фазе, так как  $\tau_{\max}$  может быть найдено по максимуму на кривой изменения электродвижущей силы применяемых гальванических преобразователей.



**Рис. 1. Структурная схема АСНК диффузии растворителей в тонких изделиях из листовых капиллярно-пористых материалов**

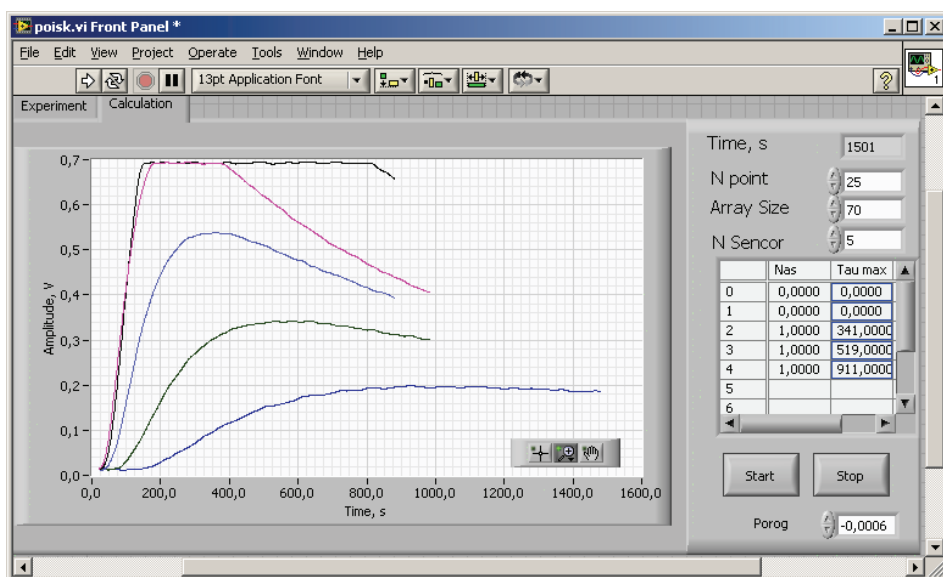
Автоматизированная система неразрушающего контроля включает в свой состав:

- измерительный зонд 3, укомплектованный точечным источником массы растворителя  $Q$  и электродами 4, 5 пяти пар гальванических преобразователей локальной концентрации растворителей в исследуемом листовом капиллярно-пористом материале, расположенными на concentрических окружностях различных радиусов:  $r_1, r_2, \dots, r_n$  относительно точки импульсного воздействия;
- коннектор 6, к которому подключены электроды 4, 5 гальванических преобразователей, расположенный на измерительном зонде 3;
- многофункциональная плата сбора данных PCI-1202H фирмы ISP DAS (Тайвань) 7;
- персональный компьютер 8.

Многофункциональная плата сбора данных PCI-1202H размещается в слоте PCI персонального компьютера. Она имеет в своем составе АЦП, ЦАП и дискретный выход DO для формирования управляющего сигнала.

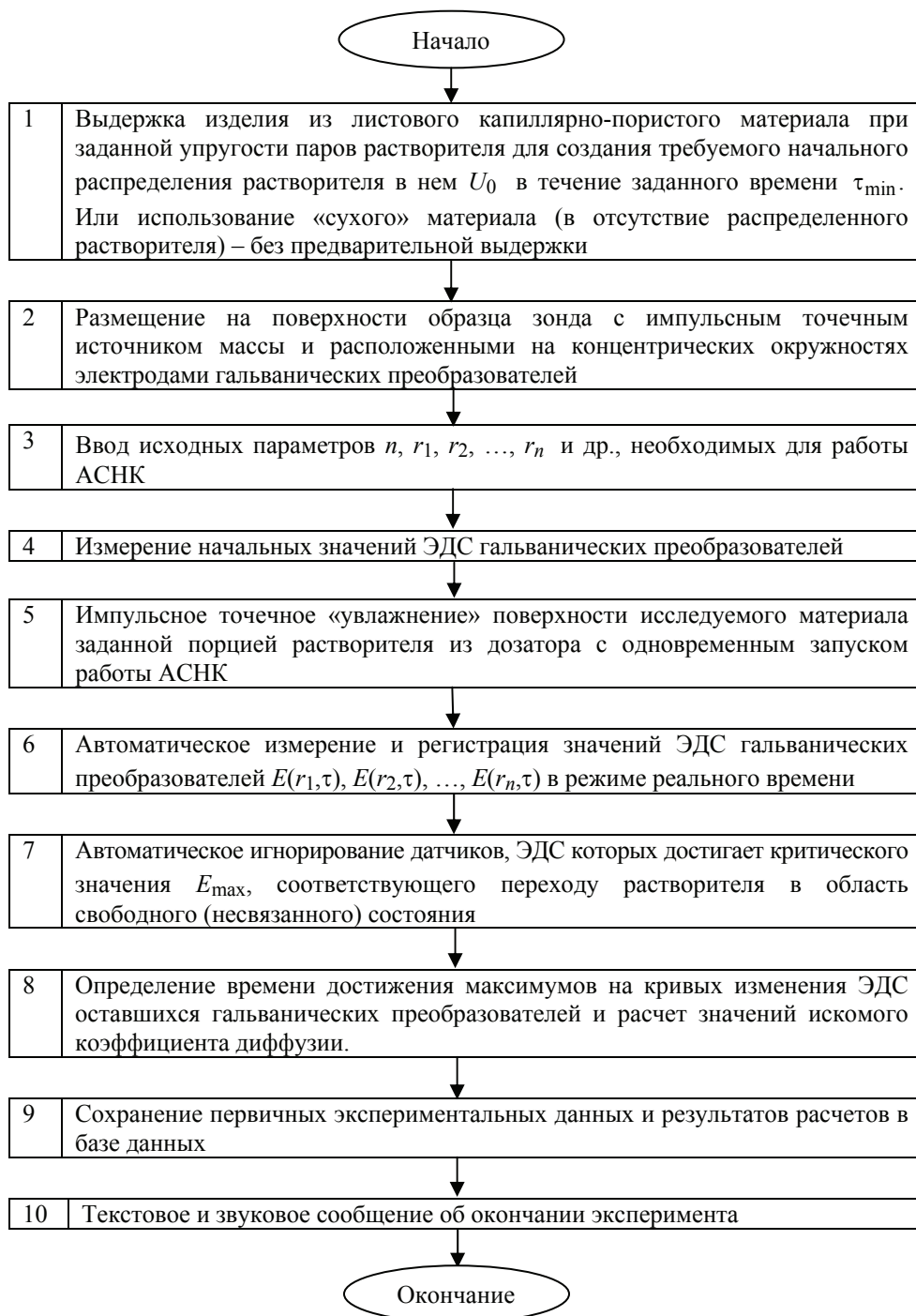
В разработанной АСНК аналоговый мультиплексор подключает к усилителю платы PCI-1202H поочередно один из пяти гальванических датчиков измерительного зонда с частотой 44 кГц. С помощью АЦП получают цифровые эквиваленты входных сигналов, которые сглаживаются, фильтруются и подвергаются обработке в соответствии с разработанным алгоритмом.

Программа управления экспериментом, обработки экспериментальных данных и их визуализации разработана в среде LabView 9.0. На рис. 2 представлен вид панели управления ходом эксперимента с результатами опыта.



**Рис. 2 Вид панели управления экспериментом с результатами опыта**

Предлагаемый метод сравнительно просто организуется экспериментально. На рис. 3 представлена поточная диаграмма осуществления измерительных операций реализованного в АСНК метода неразрушающего контроля коэффициента диффузии растворителей в тонких капиллярно-пористых материалах.



**Рис. 3. Поточная диаграмма осуществления измерительных операций разработанного метода**

Таким образом, для определения коэффициента диффузии не требуется измерение реальных изменений концентраций растворителя  $U(r_1, \tau)$ ,  $U(r_2, \tau)$ , ...,  $U(r_n, \tau)$ , что связано с проведением длительных и трудоемких работ по градуировке датчиков концентрации для каждого исследуемого капиллярно-пористого материала и распределенного в нем растворителя.

В табл. 1 и 2 в качестве примера представлены результаты определения коэффициента диффузии этанола в образцах из фильтровальной бумаги и хлопковой ткани.

Таким образом, представленная АСНК позволяет осуществить измерение коэффициентов диффузии растворителей в различных материалах без дополнительной градуировки измерительных приборов, что существенно повышает оперативность исследований. Созданная АСНК для определения коэффициента диффузии полярных растворителей в изделиях из пористых материалов позволяет не только повысить точность измерений требуемых параметров, но и уменьшить продолжительность эксперимента. В частности, при измерении коэффициента диффузии

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований коэффициента диффузии этанола в фильтровальной бумаге ( $r_0 = 4 \cdot 10^{-3}$  м)**

№ опыта	Время достижения максимума кривой $E(r, \tau)$ , с	Коэффициент диффузии $D_i \cdot 10^9$ , м <sup>2</sup> /с	Математическое ожидание $\bar{D} \cdot 10^9$ , м <sup>2</sup> /с	Абсолютная погрешность измерения $\Delta D = (D_i - \bar{D}) \cdot 10^9$ , м <sup>2</sup> /с	$\Delta D_i^2 \cdot 10^{18}$ , м <sup>4</sup> /с <sup>2</sup>	Относительная погрешность измерения, %
1	563,3	7,08	5,76	+1,32	1,7319	7,1
2	616,9	6,48		+0,72	0,5242	
3	736,4	5,43		-0,33	0,1076	
4	787,6	5,08		-0,68	0,4638	
5	825,8	4,84		-0,92	0,8391	
6	722,3	5,54		-0,22	0,0493	
7	862,1	4,64		-1,12	1,2544	
8	594,9	6,72		+0,96	0,9293	
9	631,7	6,33		+0,57	0,3272	
10	886,1	4,51		-1,25	1,5525	
11	854,0	4,68		-1,08	1,1578	
12	709,1	5,64		-0,12	0,0142	
13	566,1	7,07		+1,31	1,7056	
14	653,2	6,12		+0,36	0,1325	
15	627,5	6,37		+0,61	0,3770	
16	805,5	4,97		-0,79	0,6304	
17	582,3	6,87		+1,11	1,2299	
18	618,4	6,47		+0,71	0,5013	
19	763,9	5,24		-0,52	0,2746	
20	782,9	5,11		-0,65	0,4238	

Таблица 2

**Результаты экспериментальных исследований коэффициента  
диффузии этанола в хлопковой ткани ( $r_0 = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м)**

№ опыта	Время достижения максимума кривой $E(r, \tau)$ , с	Коэффициент диффузии $D_i \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup> /с	Математическое ожидание $\bar{D} \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup> /с	Абсолютная погрешность измерения $\Delta D = (D_i - \bar{D}) \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup> /с	$\Delta D_i^2 \cdot 10^{20}$ , м <sup>4</sup> /с <sup>2</sup>	Относительная погрешность измерения, %
1	857,5	6,56		-1,86	3,4596	
2	571,6	9,84		+1,42	2,0164	
3	584,7	9,62		+1,20	1,4400	
4	755,0	7,45		-0,97	0,9409	
5	742,1	7,58		-0,84	0,7056	
6	760,1	7,40		-1,02	1,0404	
7	796,7	7,06		-1,36	1,8496	
8	708,4	7,94		-0,48	0,2304	
9	539,3	10,43		+2,01	4,0401	
10	554,7	10,14	8,42	+1,72	2,9584	7,3
11	558,0	10,08		+1,66	2,7556	
12	627,1	8,97		+0,55	0,3025	
13	598,4	9,40		+0,98	0,9604	
14	805,9	6,98		-1,44	2,0736	
15	821,2	6,85		-1,57	2,4649	
16	781,3	7,20		-1,22	1,4884	
17	574,0	9,80		+1,38	1,9044	
18	788,9	7,13		-1,29	1,6641	
19	638,5	8,81		+0,39	0,1521	
20	614,1	9,16		+0,74	0,5476	

этанола в целлюлозных фильтрах и тканях погрешность результатов измерений не превышает 8 % при доверительной вероятности 0,95, длительность эксперимента – не более 15 мин (см. табл. 1 и 2).

*Список литературы*

1. Беляев, М.П. Неразрушающий экспресс-контроль коэффициента диффузии полярных растворителей в тонких изделиях / М.П. Беляев, В.П. Беляев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 1. – С. 41–47.
2. Пат. 2199106 РФ, МПК<sup>7</sup> G 01 N 15/08, 27/00. Способ определения коэффициента влагопроводности листовых капиллярно-пористых материалов / Беляев П.С., Гладких В.А., Сафронова Е.Н., Беляев М.П. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2000130439 ; заявл. 04.12.2000 ; опубл. 20.02.2003, Бюл. № 5. – 5 с.

## Automated System of Non-Destructive Control over the Diffusion Coefficient of Solvent in the Products Made from Capillary-Porous Materials

M.P. Belyaev<sup>1</sup>, V.P. Belyaev<sup>1</sup>, A.G. Divin<sup>2</sup>

*Departments: «Polymer Processing and Packaging» (1),  
«Quality Control and Certification» (2), TSTU;  
polymers@asp.tstu.ru*

**Key words and phrases:** capillary-porous material; diffusion coefficient; galvanic converter of solvent content in solid phase; non-destructive control; polar solvent.

**Abstract:** Automatic system of nondestructive control over solvent diffusion coefficient in fine products made of capillary-porous materials is studied. This system enables automatic experiment running, measurement and monitoring of all experimental data in real time as well as desired parameter calculation according to elaborated algorithm.

---

## Automatisiertes System der nichtzerstörenden Kontrolle des Koeffizienten der Diffusion der Lösungen in den dünnen Erzeugnissen aus den kapillar-porösen Stoffen

**Zusammenfassung:** Es wird das automatisierte System der nichtlöschbaren Kontrolle des Diffusionskoeffizienten der Lösungsmittel in den feinen Erzeugnissen aus den kapillarno-porösen Materialien betrachtet, die die automatisierte Versuchsdurchführung, die Messung und die Registrierung im Echtzeitbetrieb der notwendigen experimentellen Informationen und die Berechnung nach den ausgearbeiteten Algorithmen die notwendige Charakteristik gewährleistet.

---

## Système automatisé du contrôle non destructif du coefficient de la diffusion des solvants dans les produits fins à partir des matériaux poreux capillaires

**Résumé:** Est examiné le système automatisé du contrôle non destructif du coefficient de la diffusion des solvants dans les produits fins à partir des matériaux poreux capillaires qui assure le comportement de l'expérience automatisé, la mesure et l'enregistrement dans le régime du temps réel de l'information expérimentale nécessaire ainsi que le calcul d'après les algorithmes de la caractéristique recherchée.

---

**Авторы:** *Беляев Максим Павлович* – соискатель кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Беляев Вадим Павлович* – магистрант; *Дивин Александр Георгиевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством и сертификация», ГОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».