

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ОТБЕЛИВАЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ НА ХЛОПЧАТОБУМАЖНУЮ ТКАНЬ

**К.В. Брянкин<sup>1</sup>, К.И. Мартьянов<sup>2</sup>, А.И. Леонтьева<sup>1</sup>, А.А. Дегтярев<sup>1</sup>**

*Кафедра «Химические технологии органических веществ»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1); hfov@mail.tambov.ru;  
ОАО «Пигмент», г. Тамбов (2)*

*Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гапановой*

**Ключевые слова и фразы:** волокно; крашение; концентрация оптического отбеливателя; коэффициент диффузии; массоперенос внутри волокон.

**Аннотация:** Приведена методика расчета концентрации отбеливателя внутри нитей хлопчатобумажной ткани в процессе крашения. Предложены расчетные зависимости.

### Обозначения

$C_0$ – концентрация белоефора КД-2 в отбеливающей композиции, кг/м <sup>3</sup> ;	ности волокон и растворенного в жидкости их микропор;
$C_{fib}$ – средняя концентрация отбеливателя в волокне нити хлопчатобумажной ткани, кг/м <sup>3</sup> ;	$L$ – длина зоны нанесения отбеливающей композиции на ткань, м;
$C_{lon}$ – концентрация оптического отбеливателя в нити утка ткани, кг/м <sup>3</sup> ;	$R$ – средний радиус нитей, м;
$C_{trv}$ – концентрация оптического отбеливателя в нити основы ткани, кг/м <sup>3</sup> ;	$R_{lon}$ – радиус нити утка ткани, м;
$C^*$ – растворимость белоефора КД-2 в отбеливающей композиции, кг/м <sup>3</sup> ;	$R_{trv}$ – радиус нити основы ткани, м;
$D$ – коэффициент диффузионного переноса белоефора КД-2 в волокне нити ткани, м <sup>2</sup> /с;	$r$ – радиус волокон нитей ткани, м;
$K_A$ – коэффициент адсорбционного равновесия оптического отбеливателя на поверх-	$v_F$ – расход отбеливающей композиции, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с);
	$v_L$ – скорость движения ткани, м/с;
	$\beta$ – коэффициент скорости внешнего массопереноса оптического отбеливателя, м/с;
	$\varepsilon$ – порозность нитей ткани;
	$\tau$ – продолжительность процесса крашения, с.

В процессе отбеливания тканей возникает необходимость определения концентрации отбеливателя, без проведения экспериментальных исследований исходя из показателей отбеливателя: коэффициента диффузии  $D$ , коэффициента массоотдачи  $\beta$  и радиуса нитей ткани  $R$ .

Процесс нанесения отбеливающей композиции на хлопчатобумажную ткань (далее ткань) осуществляется распылением ее на ткань по схеме, приведенной на рис. 1. Отбеливающая композиция распыляется на ткань с помощью форсунок таким образом, чтобы области раскрытия факела распыла форсунок перекрывались, и вся поверхность ткани была охвачена зонами распыла.

Процесс нанесения отбеливающей композиции на ткань осуществляется в непрерывном режиме подачи отбеливающей композиции и движения полотна хлопчатобумажной ткани. В зоне подготовки ткани осуществляется ее обработка горячей водой или паром, избыток воды отжимается валами, и в область крашения поступает влажная прогретая ткань с расширенными порами волокон [1].

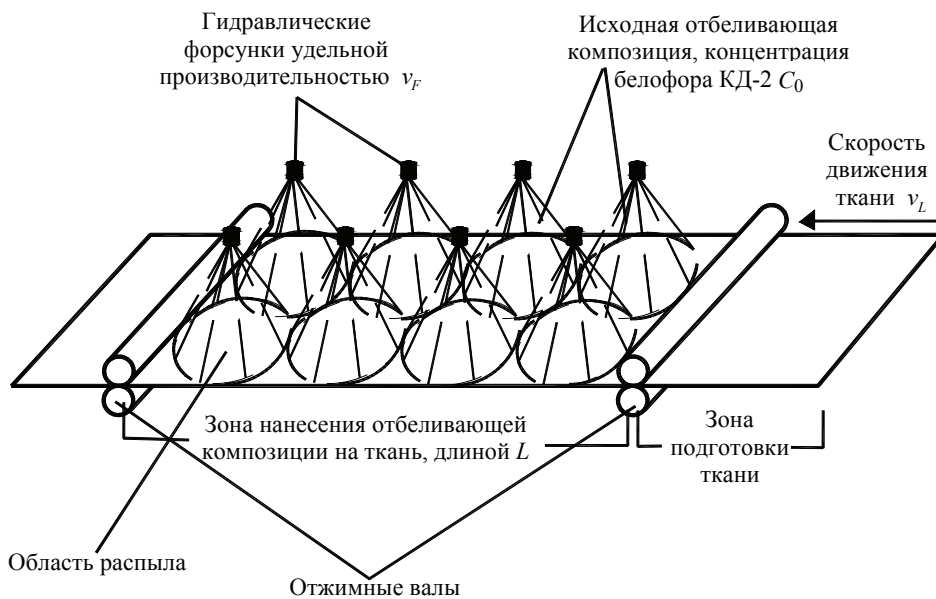


Рис. 1. Схема нанесения отбеливающей композиции на ткань

После нанесения отбеливающей композиции на ткань производится ее отжим и промывка холодной водой, обеспечивающая удаление отбеливающей композиции из пространства между нитями ткани, концентрация которой внутри волокон не изменяется.

Проникновение отбеливателя в волокна ткани идет путем адсорбции непосредственно на поверхность волокон (поток  $j_{mf}$ ) и диффузионным переносом в микropоры волокна (поток  $j_{mp}$ ) (рис. 2).

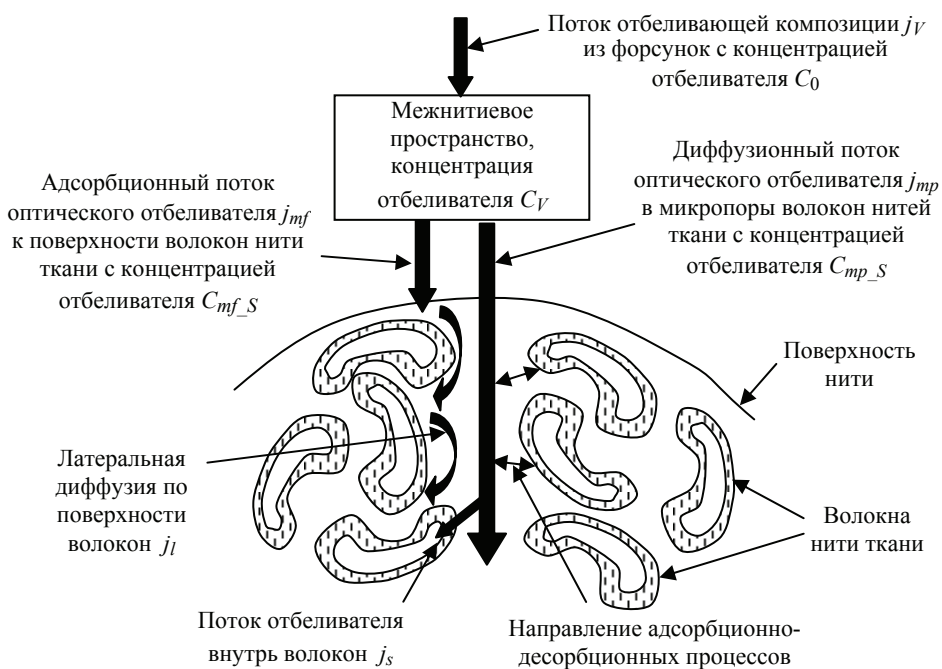


Рис. 2. Физическая модель процесса переноса отбеливателя внутрь волокон нитей х/б ткани

Внутри нити отбеливающее вещество переносится как по поверхности волокон, так и внутри микропор. При этом происходит движение отбеливателя из микропор на поверхность волокон и обратно, что создает условие равновесия между сорбированным и находящимся в межволоконном пространстве оптическим отбеливателем [2]. После проведения процесса нанесения отбеливающей композиции на ткань и ее промывки оптический отбеливатель из волокон не вымывается, и при сушке ткани тоже не происходит его удаления. Концентрация оптического отбеливателя (белофора КД-2) в волокне есть сумма адсорбированного на поверхности волокон нитей ткани белофора КД-2 и оптического отбеливателя с диффузионным потоком в микропоры волокон [4].

Процесс растворения кристаллических частиц оптического отбеливателя более быстрый, чем перенос оптического отбеливателя к поверхности волокна и в их микропорах. Концентрация растворенного оптического отбеливателя в межволоконном пространстве равна его растворимости отбеливателя в композиции данного состава при определенной температуре.

Процесс отбеливания волокна хлопчатобумажных тканей можно рассмотреть следующим образом:

- 1) распыл отбеливающей композиции на ткань;
- 2) конвективный перенос отбеливателя в межнитеевое пространство ткани;
- 3) растворение кристаллов белофора КД-2, находящихся в суспензии, вызванное смещением равновесия при переносе растворенного белофора КД-2 в волокна нитей ткани;
- 4) процесс адсорбции белофора КД-2 на поверхность нити  $j_{mf}$  и диффузия его в микропоры волокна  $j_{mp}$ ;
- 5) процесс переноса белофора КД-2 в микропорах волокон  $j_{mi}$  и латеральная диффузия по поверхности волокон  $j_j$ ;
- 6) десорбция оптического отбеливателя с поверхности нитей  $j_{dmf}$ ;
- 7) удаление потока отработанного отбеливателя  $j_{eluz}$ .

Для моделирования внутреннего массопереноса рассмотрим нити основы и утка ткани как бесконечные цилиндры с фиксированными радиусами. При условии независимости коэффициента диффузии от концентрации отбеливателя в волокне, распределение отбеливателя внутри волокна описывается уравнением в цилиндрических координатах [2–4]

$$\frac{\partial C(r; \tau)}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 C(r; \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C(r; \tau)}{\partial r} \right). \quad (1)$$

Начальным условием для уравнения (1) служит отсутствие отбеливателя в волокне в начальный момент времени

$$C(r; 0) = 0. \quad (2)$$

Граничным условием при  $r = 0$  будет условие симметрии

$$\frac{\partial C}{\partial r}(0; \tau) = 0. \quad (3)$$

Для границы  $r = R$  возможны два случая:

– внутренний и внешний массоперенос обладает примерно одинаковым сопротивлением

$$\frac{\partial C}{\partial r}(R; \tau) = \frac{\beta}{D} \left( C^* - \frac{1}{K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A))} C(R; \tau) \right). \quad (4)$$

– процесс лимитируется внутренним массопереносом

$$C(R; \tau) = C^* K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A)). \quad (5)$$

Рассмотрим оба этих случая.

При отсутствии лимитирующей стадии задача (1) – (4) решается в виде зависимости

$$\begin{aligned} \bar{C}(\tau) = & - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4C^* D^2 (K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A)))^3}{(Ds_i K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A)))^2 + (\beta R)^2} \times \\ & \times \frac{J_1^2(s_i)}{J_0^2(s_i)} \exp\left(-\frac{s_i^2 D}{R^2} \tau\right) + C^* K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A)). \end{aligned} \quad (6)$$

При лимитирующей стадии – внутренний массоперенос – задача (1)–(4) решается в виде зависимости

$$\bar{C}(\tau) = C^* K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A)) \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{s_i^2} \exp\left(-\frac{s_i^2 D}{R^2} \tau\right) \right). \quad (7)$$

Отсюда следует, что средняя концентрация отбеливателя в ткани будет суперпозицией усредненных по радиусу концентраций для нитей основы и утка [2–4]

$$C_{fib} = \frac{x_{lon} C_{lon} R_{lon}^2 + x_{trv} C_{trv} R_{trv}^2}{x_{lon} R_{lon}^2 + x_{trv} R_{trv}^2}, \quad (8)$$

где  $x_{lon}$  и  $x_{trv}$  – удельные доли нитей утка и основы х/б ткани.

Используя уравнения (6), (7) и коэффициент замедления, уравнение (8) преобразуется для случая с лимитирующей стадией к виду

$$\begin{aligned} C_{fib} = & \frac{C^* K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A))}{x_{lon} R_{lon}^2 + x_{trv} R_{trv}^2} \times \\ & \times \left( \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{s_i^2} \exp\left(-\frac{s_i^2 0,75D}{R_{lon}^2} \tau\right) \right) x_{lon} R_{lon}^2 + \right. \\ & \left. + \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{s_i^2} \exp\left(-\frac{s_i^2 0,5D}{R_{trv}^2} \tau\right) \right) x_{trv} R_{trv}^2 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Для случая без лимитирующей стадии

$$\begin{aligned} C_{fib} = & \frac{C^* K_A(1-\varepsilon(1-1/K_A))}{x_{lon} R_{lon}^2 + x_{trv} R_{trv}^2} \times \\ & \times \left( \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} A_{lon} \frac{J_1^2(s_i)}{J_0^2(s_i)} \exp\left(-\frac{s_i^2 0,75D}{R_{lon}^2} \tau\right) \right) x_{lon} R_{lon}^2 + \right. \\ & \left. + \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} A_{trv} \frac{J_1^2(s_i)}{J_0^2(s_i)} \exp\left(-\frac{s_i^2 0,5D}{R_{trv}^2} \tau\right) \right) x_{trv} R_{trv}^2 \right), \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$A_{lon} = \frac{4(DK_A(1 - \varepsilon(1 - 1/K_A)))^2}{(D_s K_A(1 - \varepsilon(1 - 1/K_A)))^2 + (\beta R_{lon})^2}; \quad (11)$$

$$A_{trv} = \frac{4(DK_A(1 - \varepsilon(1 - 1/K_A)))^2}{(D_i K_A(1 - \varepsilon(1 - 1/K_A)))^2 + (\beta_{trv})^2}. \quad (12)$$

Использование формулы (9) либо (10) будет зависеть от величин параметров  $D$ ,  $\beta$  и  $R$ .

Предложенные выражения для расчета средней концентрации в ткани в процессах отбеливания позволяют математически рассчитать наиболее вероятную концентрацию отбеливателя на ткани без проведения длительных процессов отбеливания.

#### *Список литературы*

1. Венкатараман, К. Химия синтетических красителей. В 6 т. Т. 2 : монография / К. Венкатараман ; пер. с англ. под ред. Б. А. Порай-Кошице. – Л. : Ленгосхимиздат, 1956. – 804 с.

2. Натареев С.В. Системный анализ и математическое моделирование процессов химической технологии : учеб. пособие / С.В. Натареев ; под ред. В.Н. Блиничева ; Иван. гос. хим.-технол. унт. – Иваново : [б. и.], 2007. – 80 с.

3. Математические методы обработки результатов и планирования экспериментов при изучении процессов отделки текстильных материалов : обзор / Ф.Л. Альгер-Песоцкий [и др.]. – М. : ЦНИИТЭИ Легпром, 1974. – 66 с.

4. Кричевский, Г.Е. Диффузия и сорбция в процессах крашения и печатания / Г.Е. Кричевский. – М. : Легкая индустрия, 1981. – 204 с.

---

## **Modeling of Transfer Process of Bleaching Composition on Cotton Fabric**

**K.V. Bryankin<sup>1</sup>, K.I. Martyanov<sup>2</sup>, A.I. Leontyeva<sup>1</sup>, A.A. Degtyarev<sup>1</sup>**

*Department "Chemical Technology of Organic Substances",  
TSTU (1); htov@mail.tambov.ru;  
Joint Stock Company "Pigment", Tambov (2)*

**Key words and phrases:** diffusion coefficient; dyeing; fiber; mass transfer within the fiber; optical bleach concentration.

**Abstract:** This paper describes a method of calculating the concentration of bleach in cotton fibers in the dyeing process. The dependencies of bleach concentration in cotton fibers have been calculated.

---

## **Modellierung des Prozesses der Übertragung der aufhellenden Komposition auf den Baumwollstoff**

**Zusammenfassung:** Es ist die Methodik der Berechnung der Konzentration des Aufhellers innen den Fäden des Baumwollstoffes im Prozess des Färbens angeführt. Es sind die Berechnungsabhängigkeiten der Konzentration des Aufhellers in den Fasern der Fäden des Baumwollstoffes vorgeschlagen.

## **Modélage du processus du transfert de la composition blanchissante sur un tissu cotonnier**

**Résumé:** Est présentée la méthode du calcul de la concentration du blanchisseur à l'intérieur du tissu cotonnier lors du blanchissement. Sont proposées les dépendances de la concentration du blanchisseur dans les fibres du tissu cotonnier.

---

**Авторы:** *Брянкин Константин Вячеславович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии органических веществ», начальник учебно-методического управления, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Мартьянов Константин Игоревич* – инженер-технолог, группа физико-механических процессов, Центральная лаборатория, ОАО «Пигмент»; *Леонтьева Альбина Ивановна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химические технологии органических веществ»; *Дегтярев Андрей Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химические технологии органических веществ», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Ткачев Алексей Григорьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---