

УДК 681.51:677.027.42+677-485.5

Н.В. ОВЕРКО

Херсонский национальный технический университет

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАНАЛЬНОГО ПОСЛОЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КРАСИТЕЛЯ НА ВОЛОКНЕ В СЕЧЕНИИ ТЕЛА ПАКОВКИ

В работе составлены аналитические выражения для вычисления изменения концентрации красителя на волокне при прохождении раствора красителя сквозь многослойную структуру тела паковки. Разработан алгоритм вычисления поканального послойного распределения динамики изменения концентрации красителя на волокнистом материале рассматриваемого радиального канала и представлена его структура. Выполнен компьютерный эксперимент и по его результатам получены графические зависимости изменения концентрации красителя на волокне от времени для различных начальных значений концентрации раствора красителя.

Ключевые слова: концентрация, паковка, волокно, алгоритм вычисления, компьютерное моделирование.

N.V. OVERKO

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

ALGORITHM OF CALCULATION OF CHANNEL-BY-CHANNEL LAYER-BY-LAYER DISTRIBUTION OF DYE CONCENTRATION ON FIBRE IN THE SECTION OF THE PACKAGE BODY

Abstract

The analytical expressions for calculation of the change in concentration of the dye on fiber during the passage of the dye solution through a multilayer structure of the package body are prepared in the work. The algorithm for calculation of channel-by-channel distribution layer dynamics of change in concentration of the dye on the fibrous material considered radial channel is developed and its structure is presented. The computer experiment is done and on it results graphic dependences of dye concentration change on fiber from time to time for various initial values of the concentration of a solution of the dye are obtained.

Keywords: concentration, package, fibre, algorithm of calculation, computer modeling.

Постановка проблемы

Данная работа направлена на дальнейшее развитие компьютерной модели процесса жидкостной обработки цилиндрической паковки крестовой намотки на уровне нити. Предыдущий этап исследования был посвящен вычислению скорости движения раствора в радиально-осевом сечении тела паковки [1]. Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия раствора красителя со структурой нити и заключается в разработке алгоритма для вычисления поканального послойного распределения концентрации красителя на волокне в радиально-осевом сечении тела паковки.

Разработанный алгоритм позволяет выполнить компьютерное моделирование процесса взаимодействия раствора красителя со структурой нити на уровне волокна и получить необходимые результаты, применяемые в рамках развития принципиально новой технологии крашения паковок в индивидуальном технологическом цикле.

Анализ публикаций по теме исследований

В работе [1] решена задача построения модели процесса взаимодействия потока обрабатываемого раствора со структурой паковки на уровне нити. Разработан алгоритм вычисления поканального послойного распределения скорости движения раствора в межволоконном пространстве сечения тела паковки. Отображение контуров сечений витков с учётом степени их деформации, а также разработка алгоритма, позволяющего получить детальную информацию о взаимном положении разнонаправленных витков в любом участке радиально-осевого сечения тела паковки при воздействии поля центробежных сил, представлены в работах [2, 3].

Цель работы заключается в разработке алгоритма вычисления поканального послойного распределения концентрации красителя на волокне и по результатам компьютерного моделирования определения поканального послойного распределения концентрации красителя на волокнистом материале в пределах радиального канала, выделенного в радиально-осевом сечении тела паковки.

Основная часть

При крашении тела паковки в поле центробежных сил раствор красителя перемещается от центра к периферии. В левой части рис. 1 представлено изображение паковки с выделенным в ее теле радиально-осевым сечением. Движение раствора красителя происходит в пределах радиального канала в этом сечении, увеличенное изображение участка которого показано в правой части рис. 1.

На этом участке условно в виде заштрихованных участков показано заполнение двух слоев волокнистым материалом и процесс постепенного изменения значения концентрации на волокне при прохождении раствора красителя от слоя к слою.

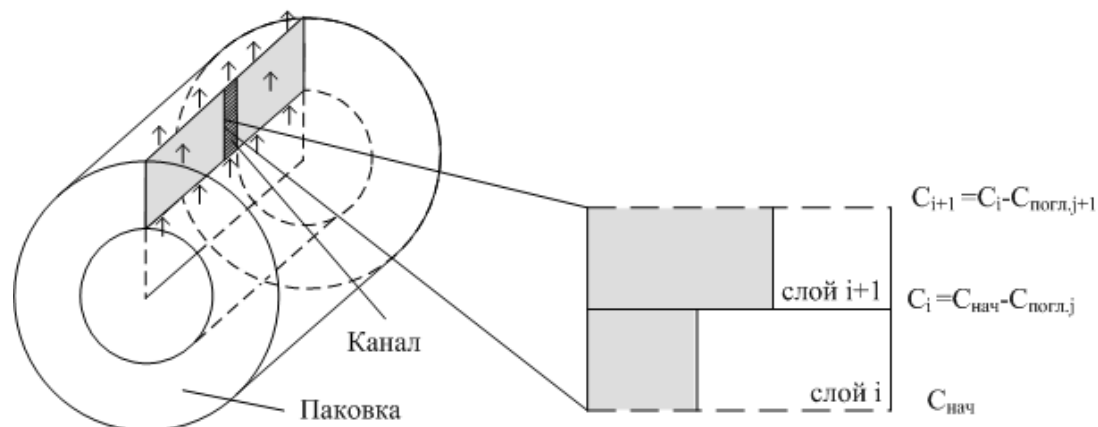


Рис. 1. Изменение концентрации от слоя к слою

Для построения алгоритма поканального послойного распределения динамики изменения концентрации красителя на волокне, в зависимости от времени пребывания раствора в канале, следует решить ряд задач: 1) вычислить массу волокнистого материала в каждом слое в пределах рассматриваемого канала; 2) вычислить предельно возможную массу красителя, которую способен поглотить волокнистый материал; 3) определить время пребывания волокнистого материала в контакте с раствором красителя; 4) построить график выхода красителя из обрабатывающего раствора на волокнистый материал в канале.

Вычислим массу волокнистого материала в слое. Для этого примем, что сечение имеет некоторую конечную толщину, равную диаметру нити. Определим массу волокнистого материала m как произведение линейной плотности нити T на ее диаметр d :

$$m = d \cdot T \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где m – масса волокнистого материала одного сечения нити, г;

d – диаметр нити, м;

T – линейная плотность нити, г/км.

На пути потока раствора красителя встречаются контуры сечений нитей, сквозь структуру которых проходит часть данного потока. Наличие сведений о послойном распределении контуров сечений нитей в канале [3] позволяет вычислить массу всего волокнистого материала M , умножив полученную массу одного сечения нити m на количество всех сечений в слое N_0 :

$$M_0 = m \cdot N_0, \quad (2)$$

где M_0 – масса волокнистого материала, г;

m – масса волокнистого материала одного сечения нити, г;

N_0 – количество сечений в слое.

При прохождении раствора красителя сквозь каждый слой рассматриваемого радиального канала происходит его истощение. Уменьшение концентрации раствора зависит как от начальной концентрации раствора красителя, так и от способности волокна поглощать краситель.

Перейдем к решению задачи вычисления предельно возможной массы красителя, поглощенной волокнами нитей в пределах рассматриваемого канала. Для исследования процесса крашения принято решение использовать активные красители. Данные красители являются широко распространенными и позволяют получить высокопрочную окраску за счет содержания в них особых групп атомов, способных создать прочную ковалентную связь с макромолекулами волокнистого материала. Поэтому максимальное значение насыщения волокон частицами активного красителя можно вычислить по формуле:

$$pogl_0 = M_0 \cdot S_{pogl}, \quad (3)$$

где $pogl_0$ – масса поглощенного красителя, г;

M_0 – масса волокнистого материала в слое, г;

$S_{\text{погл}}$ – величина насыщения, мг/г.

Концентрация красителя на поверхностном слое волокна в большей степени зависит от времени пребывания раствора красителя в слое и концентрации раствора в ванне.

Для прогнозирования времени крашения необходимо знать скорость перемещения раствора красителя в межнитевом и межволоконном пространствах, а также динамику процесса взаимодействия красителя с волокном.

Время пребывания волокнистого материала слоя в контакте с раствором возможно определить посредством вычисления толщины слоя. Толщина слоя определяется как произведение двойного диаметра нити на степень деформации нити, вызванной действием межслойных давлений (4).

Скорость перемещения раствора красителя в межволоконном пространстве определена в работе [1]. Зная скорость раствора в слое и его линейные радиальные размеры, можем определить время нахождения красильного раствора в данном слое (5).

$$h = 2 \cdot d \cdot dfm, \quad (4)$$

где h – толщина слоя, м;
 d – диаметр нити, м;
 dfm – коэффициент деформации нити.

$$t = \frac{h}{v}, \quad (5)$$

где t – время нахождения раствора в слое, с;
 h – толщина слоя, м;
 v – скорость раствора в межволоконном пространстве, м/с.

Определим количество граммов красителя, проходящего через определенное сечение канала во времени. Значение массы красителя, проходящего в единицу времени, необходимо для того, чтобы знать, сколько красителя поглотится за все время прохода. Для этого будем учитывать как расход раствора красителя, так и ограниченный участок, в котором он протекает – радиальный канал. Тогда формула примет вид:

$$C_{\text{нач}} = Q \cdot C_{\text{крас}} \cdot \frac{S_{\text{кан}}}{S_{\text{пак}}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{нач}}$ – масса красителя, поглощенного волокном в единицу времени, г/с;
 Q – расход раствора красителя, л/с;
 $C_{\text{крас}}$ – начальная концентрация раствора красителя, г/л;
 $\frac{S_{\text{кан}}}{S_{\text{пак}}}$ – отношение площади сечения радиального канала к площади сечения тела паковки.

При переходе от слоя к слою раствор красителя постепенно обедняется. Данный процесс определяется как разность значений концентрации пришедшего красителя к слою и поглощенного красителя волокнистым материалом в этом слое. Приведем вычисление поглощенного красителя в виде:

$$C_{\text{погл}_0} = C_{\text{нач}} \cdot T_0 \cdot k_p, \quad (7)$$

где $C_{\text{погл}_0}$ – масса красителя, поглощенного волокном в единицу времени, г/с;
 $C_{\text{нач}}$ – начальное значение массы красителя, поглощенного волокном во времени, г/с;
 k_p – коэффициент взаимодействия раствора с нитью;
 T_0 – время нахождения раствора красителя в пределах ячейки с учетом распределения расхода раствора в межволоконном пространстве радиального канала, с.

Тогда значение концентрации красителя на волокне для первого слоя на пути прохождения обрабатываемого раствора будет вычислено по формуле:

$$C_0 = C_{нач} - C_{погл_0} \quad (8)$$

Аналогично производим вычисления для всех остальных слоев. При этом начальное значение массы красителя, поглощенного волокном во времени, для следующего слоя является конечным для предыдущего.

$$C_{i+1} = C_i - C_{погл_{j+1}} \quad (9)$$

Результатом вычислений является матрица для четырех параметров, главным из которых является значение концентрации красителя на волокне.

Далее осуществляется переход к новому циклу вычислений послойного распределения красителя с учетом того, что начальное значение массы красителя является конечной для предыдущего цикла. Процесс продолжается до тех пор, пока не насытятся все 120 слоев паковки.

Таким образом, полученные аналитические выражения, в совокупности, позволили построить алгоритм динамики изменения концентрации красителя на волокне в структуре тела паковки (рис. 2).

При выполнении данной работы были приняты следующие допущения и ограничения:

1) поглощение красителя волокном из раствора в ячейке происходит за время движения переднего фронта раствора красителя через ячейку в радиальном направлении;

2) на первом этапе допускаем, что количество красителя, вышедшего на волокно, не зависит от концентрации (в определенных пределах).

Результатом работы алгоритма (рис. 2), являются кривые изменения концентрации красителя на волокне от времени, которые описывают совокупность процесса выхода красителя на волокно для всех 120 слоев паковки (рис. 3).

Построение графика выхода красителя из раствора на волокнистый материал, в зависимости от времени крашения, возможно при наличии значения времени прохождения красильного раствора сквозь все слои паковки. Данное время вычисляется посредством суммирования всех временных значений 120 слоев паковки.

$$T = \sum_{i=0}^{n-1} t_i \quad (10)$$

где T – время прохождения раствора сквозь все слои паковки, с;

t – время нахождения раствора в слое, с;

n – количество слоев в канале.

Из рис. 3 видно, что построенная модель обладает хорошей чувствительностью к начальной концентрации красильного раствора. Кривые были получены для трех значений концентрации красителя – 20, 40 и 60 г/л. Выбор данных концентраций обусловлен рекомендациями источников [4, 5].

Полученные графики всех разработанных вариантов определения динамики изменения концентрации на волокне имеют подобную форму. Это указывает на то, что они отображают один и тот же закон распределения концентрации на волокне. Однако начальные условия для выполнения закона распределения отличаются.

На графике наблюдается постепенное выравнивание кривых. Известно, что процесс крашения прекращается на этапе, когда концентрация красителя на волокне становится равной концентрации в растворе. Поэтому, наблюдаемое выравнивание кривых означает, что разности концентраций в растворе и на волокне уже не существует, и волокнистый материал насыщен красителем.

Исследования процесса крашения проводились для значения скорости вращения тела паковки 262 рад/с. При данной скорости обработка паковки раствором концентрацией 20 г/л включает 405 циклов циркуляции раствора красителя сквозь всю структуру паковки. Общее время обработки занимает 4 мин 38 с. Рост концентрации раствора красителя до 40 г/л приводит к уменьшению количества циклов до 148 и общего времени до 1 мин 41 с. Наибольшая концентрация раствора красителя 60 г/л обеспечивает сокращение циклов обработки до 91, а общего времени – до 62 с.

Представленные результаты свидетельствуют о сокращении времени обработки паковки с ростом начальной концентрации раствора красителя.

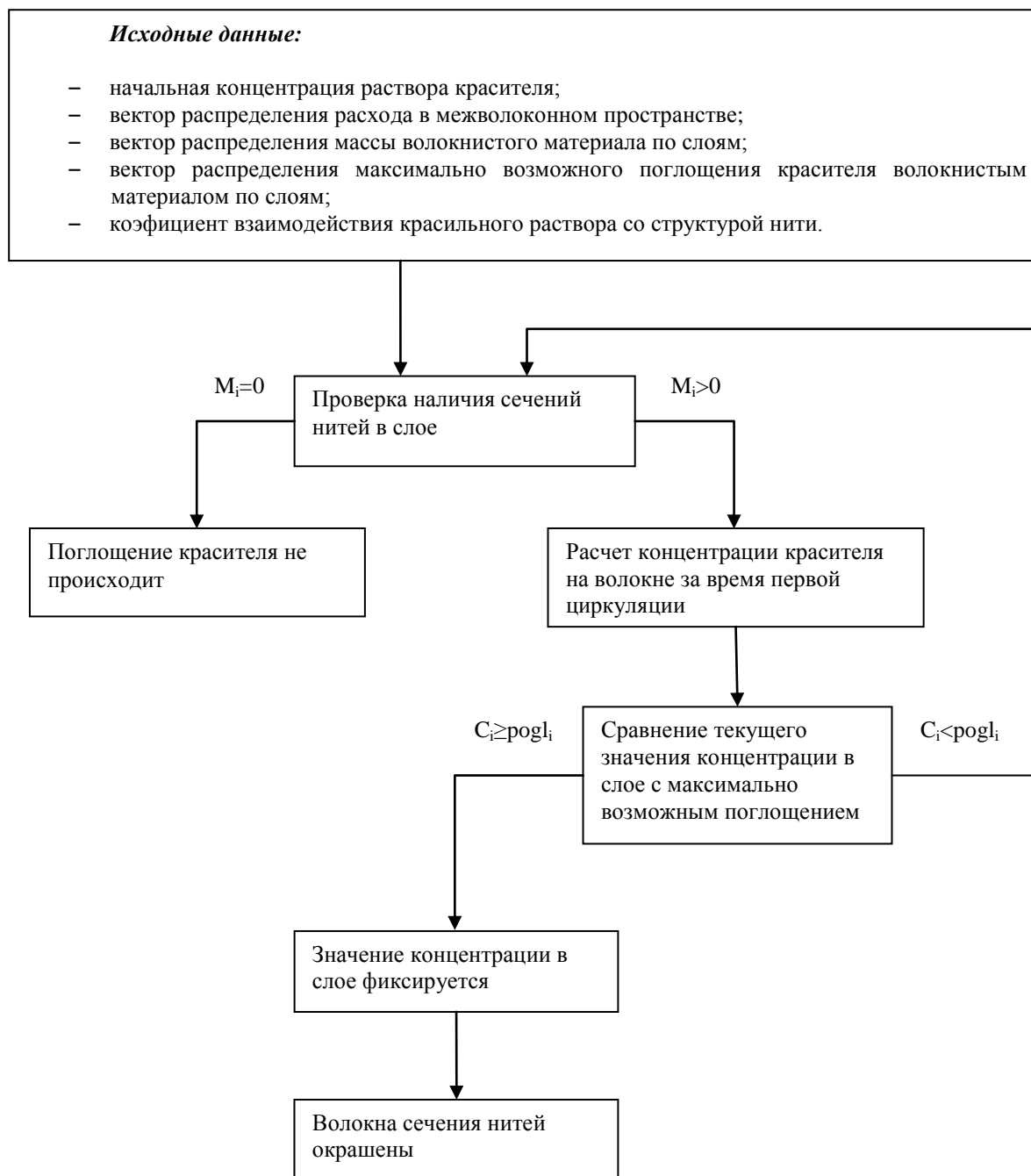


Рис. 2. Структура алгоритма определения поканального послойного распределения динамики изменения концентрации красителя на волокне

Выводы

1. Составлены аналитические выражения для вычисления изменения концентрации красителя на волокне при прохождении многослойной структуры тела паковки.
2. Разработан алгоритм вычисления поканального послойного распределения динамики изменения концентрации красителя на волокнистом материале рассматриваемого радиального канала.
3. Получены результаты компьютерного эксперимента в виде графических зависимостей концентрации красителя на волокне от времени для различных начальных значений концентрации раствора красителя (20, 40 и 60 г/л).
4. Установлена закономерность сокращения времени обработки паковки с ростом начальной концентрации раствора красителя.

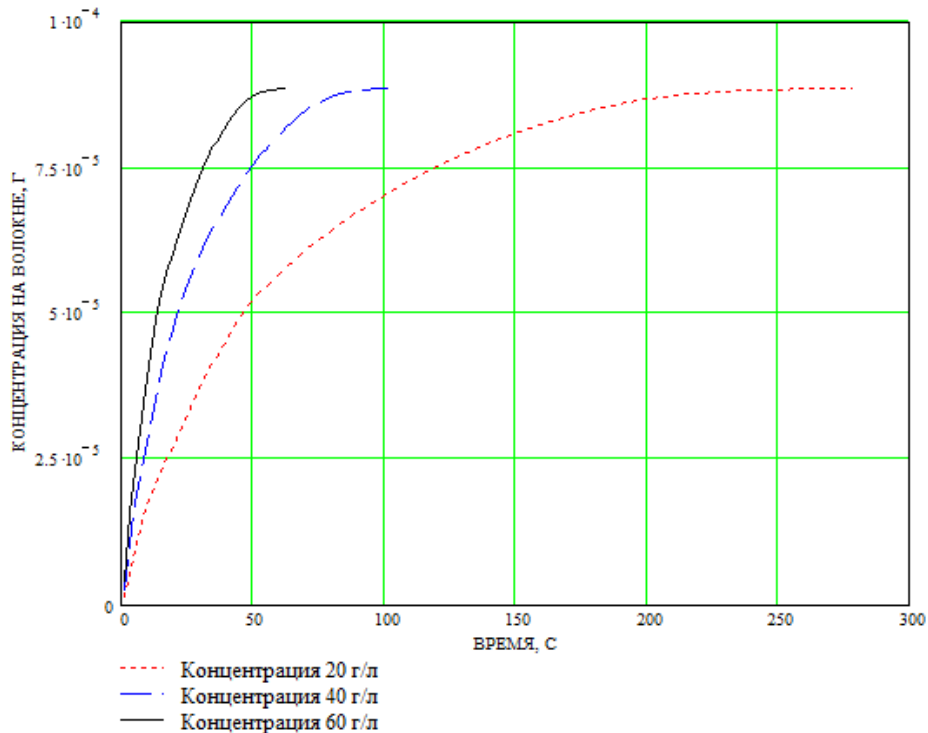


Рис. 3. Динамика изменения концентрации красителя на волокне от времени

Литература

1. Бурдуленко В.Е., Алгоритм вычисления поканального послыоного распределения скорости движения раствора в межволоконном пространстве тела паковки / В.Е. Бурдуленко, Д.А. Бойко, В.Б. Сыс // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – Издание ХНТУ, Херсон: 2012. – №2(20). – С. 14-19.
2. Сыс В.Б. Исследование распределения вариантов взаимного положения контуров сечений витков в масштабе тела паковки / В.Б. Сыс, В.Е. Бурдуленко, Д.А. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. – Видавництво ХНУ, Хмельницький: 2012. – №3. – С. 125-129.
3. Сыс В.Б. Алгоритм раздельного отображения витков противоположного направления в модели формирования структуры паковки / В.Б. Сыс, В.Е. Бурдуленко, Д.А. Бойко // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. – Національна академія наук України, Інститут проблем моделювання в енергетиці, Київ: 2012. – №63. – С. 177 – 184.
4. Лабораторный практикум по применению красителей: учебное пособие для студентов вузов / [Мельников Б.Н., Блиничева И.Б., Кириллова М.Н. и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1972. – 246 с.
5. Мельников Б.Н. Применение красителей / Б.Н. Мельников, П.В. Морыганов. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 264 с.

References

1. Burdulenko V.E., Bojko D.A., Sys V.B. Algoritm vychislenija pokanal'nogo poslojnogo raspredelenija skorosti dvizhenija rastvora v mezhvolokonnom prostranstve tela pakovki, Problemy legkoj i tekstil'noj promyshlenno-sti Ukrainy, Herson, 2012, No. 2(20), pp. 14-19.
2. Sys V.B., Burdulenko V.E., Bojko D.A. Issledovanie raspredelenija variantov vzaimnogo polozhennja konturov sechenij vitkov v mashtabe tela pakovki, Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, Hmel'nic'kij, 2012, No. 3, pp. 125-129.
3. Sys V.B., Burdulenko V.E., Bojko D.A. Algoritm razdel'nogo otobrazhenija vitkov protivopozlozhnogo napravlenija v modeli formirovanija struktury pakovki, Modeljuvannja ta informacijni tehnologii. Zbirnik naukovih prac', Nacional'na akademija nauk Ukraïni, Institut problem modeljuvannja v energetici, Kiïv, 2012, No. 63, pp. 177-184.
4. Mel'nikov B.N., Blinicheva I.B., Kirillova M.N. i dr. Laboratornyj praktikum po primeneniju krasitelej: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov, Moscow, Legkaja industrija, 1972, 246 p.
5. Mel'nikov B.N., Moryganov P.V. Primenenie krasitelej, Moscow, Legkaja industrija, 1971, 264 p.