

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ПРЯДЕНИЯ В ЗОНАХ МАЛОЙ ВЫТЯЖКИ НА ЛЕНТОЧНЫХ МАШИНАХ\*

*Е.Н. САВЕЛЬЕВА, В.Г. ЛАПШИН, В.И. РОНЬЖИН, В.А. АВРЕЛЬКИН*

*(Ивановская государственная текстильная академия)*

При проектировании вытяжных приборов необходимо учитывать условия максимального использования возможностей каждой зоны вытягивания и, в том числе, возможности увеличения вытяжек в задней зоне, а также разложения общей вытяжки на частные с учетом структуры входящего продукта.

В зоне малых вытяжек происходит качественное изменение процесса вытягивания волокнистого полуфабриката. Действительно, если при больших вытяжках вытягивание происходит вытаскиванием передней парой цилиндров волокон, подводимых к ней в виде бородачки, со скоростью задней пары, то при малых вытяжках такой бородачки не образуется.

В данном случае происходит процесс смещения волокон сразу, как только они выйдут из зажима питающей пары.

Исследования, проводимые такими известными учеными, как Зотиков В.Е., Гинзбург Л.Н., Розенсон И.С. и др., показали, что при вытягивании продукта при большой вытяжке усилия вытягивания соизмеримо меньше, чем при вытягивании с малой вытяжкой.

Как происходит процесс вытягивания в первой зоне вытяжного прибора, представляет значительный интерес, поскольку от того, насколько будет подготовлен полуфабрикат к основному вытягиванию, соответственно настолько качественный продукт будет получен на выходе. Кроме того, создание благоприятных условий для осуществления закономерного движения волокон в задней зоне вытягивания позволит увеличить общую вытяжку.

В данной работе предпринята попытка смоделировать поведение волокон в задней зоне вытяжного прибора ленточной

машины с учетом структуры входящего продукта.

В настоящее время существует множество средств, осуществляющих моделирование технологических процессов. В ходе анализа проведенных исследований эффективности использования того или иного инструмента при моделировании технологического процесса был сделан выбор описания процесса утонения волокнистого продукта в пользу имитационного моделирования.

Достоинством данного инструмента являются широкие возможности и простота при описании процессов и последующем их моделировании. В отличие от традиционного аналитического моделирования принцип имитационного моделирования основывается на том, что математическая модель воспроизводит процесс функционирования во времени, причем имитируются элементарные события, протекающие в системе с сохранением логики их взаимодействия. В то же время имитационное моделирование – это моделирование, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования волокнистого продукта с устройствами, элементами текстильных машин, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

Проблемы, связанные с поведением волокон в процессе вытягивания, регулярно исследуются в научно-исследовательской литературе, в частности [1].

Задачей настоящего исследования является получение математического аппарата для создания имитационной модели с целью анализа протекания процесса вытягивания волокнистого продукта на ленточ-

\* Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых 2006-2007 гг.

ных машинах. Основой имитационного моделирования служит передаточная функция вытягивания волокнистого продукта.

Известно, что на утонение волокнистого материала оказывают влияние различного рода факторы. Так, в настоящей работе планируется промоделировать влияние диаграммы распределения волокон на процесс вытягивания волокнистого продукта.

Ранее в [1] было предложено исследовать изменение числа волокон в поле вытягивания отношением массы волокон ленты к изменению числа передних кончиков волокон в поле вытягивания.

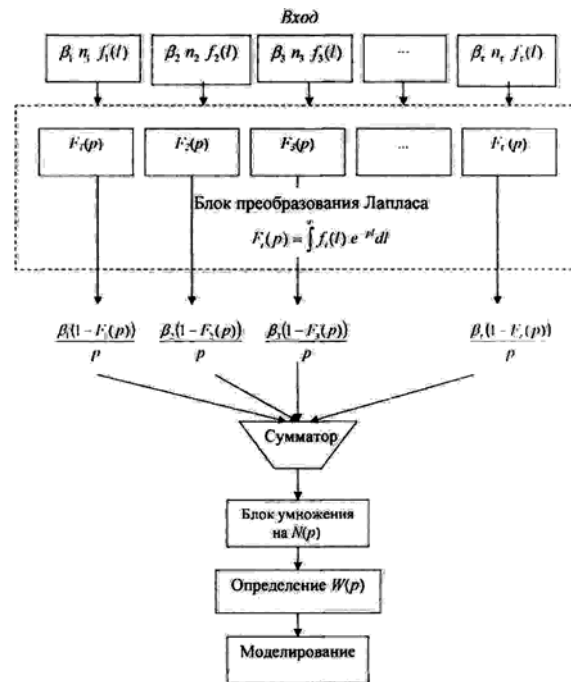
Предположим, что волокна в питающих лентах распрямлены и имеют некоторый закон распределения  $f_i(\ell)$ .

Тогда число волокон в зоне вытяжного прибора определится так:

$$m(x) = \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \left[ f_i(\ell) \int_{x-1}^x n(x) dx \right] d\ell, \quad (1)$$

где  $n(x)$  – плотность передних концов волокон;  $E$  – вытяжка;  $\beta_i$  – долевое соотношение волокон для каждой из питающих лент.

Применим следующий алгоритм:



$$\sum_{i=1}^{\tau} \beta_i = 1. \quad (2)$$

Пусть  $N(p)$  и  $M(p)$  – преобразования Лапласа  $n(p)$  и  $m(p)$  соответственно. Поскольку интегрирование от 0 до  $x$  соответствует делению на  $p$  в пространстве образов, то

$$L \left( \int_0^x n(x) dx \right) = \frac{N(p)}{p}.$$

Линейный сдвиг в верхнем пределе интеграла соответствует делению на  $e^{-p\ell}$ .

Тогда

$$L \left( \int_0^{x-\ell} n(x) dx \right) = \frac{N(p) e^{-p\ell}}{p}$$

и

$$L \left( \int_{x-1}^x n(x) dx \right) = L \left( \int_0^x n(x) dx - \int_0^{x-1} n(x) dx \right) = \frac{N(p)}{p} (1 - e^{-p}). \quad (3)$$

Преобразование Лапласа берется по переменной  $x$ , поэтому [2]:

$$\begin{aligned}
 L(m(x)) = M(p) &= L \left[ \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} \left[ f_i(\ell) \int_{x-\ell}^x n(x) dx \right] d\ell \right] = \\
 &= \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} f(\ell) \frac{1}{E} \left[ L \left( \int_{x-\ell}^x n(x) dx \right) \right] d\ell = \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} f(\ell) \frac{N(p)}{p} (1 - e^{-p\ell}) d\ell = \\
 &= \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \frac{N(p)}{p} \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} [f(\ell) - f(\ell)e^{-p\ell}] d\ell = \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \frac{N(p)}{p} \left[ \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} f(\ell) d\ell - \int_{\ell_{\min}}^{\ell_{\max}} f(\ell)e^{-p\ell} d\ell \right].
 \end{aligned}$$

Первое слагаемое в скобках – это полная вероятность и она равна единице. Второе слагаемое – это преобразование Лапласа функции  $f(\ell)$  по переменной  $\ell$ ; запишем его как  $F(p)$ .

В результате имеем:

$$M(p) = \sum_{i=1}^{\tau} \beta_i \frac{1}{E} \frac{N(p)}{p} [1 - F(p)]. \quad (4)$$

В условиях ООО "Ивановский меланжевый комбинат - Возрождение" были проведены производственные испытания с целью определения закона распределения волокон по длинам питающих вытяжной прибор лент.

Питание ленточной машины Л2-50-220 осуществлялось шестью лентами следующего состава: четыре ленты – 100% хлопка, две ленты – 70% хлопка и 30% лавсана. Хлопок – 2-го сорта V типа.

После сложения лент распределение волокон по длинам определяли простым геометрическим сложением. Результат представлен на рис. 1 (теоретическая и практическая диаграммы распределения волокон по длинам).

Далее известными функциональными зависимостями осуществляли аппроксимацию полученной кривой распределения волокон по длинам.

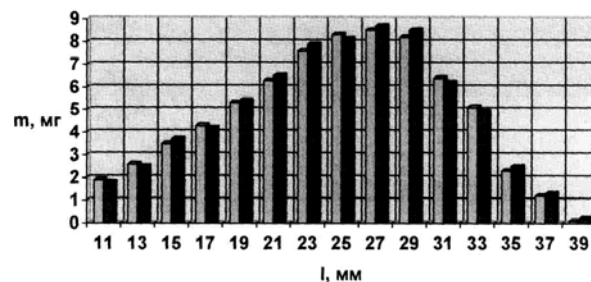


Рис. 1

Изю всех исследуемых функций полученная гамма-функция распределения имеет наилучшую сходимость с экспериментальными данными.

Пусть

$$f(\ell) = \frac{1}{\alpha^k} \frac{\ell^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\frac{\ell}{\alpha}}, \quad (5)$$

где  $k, \alpha$  – параметры функции;  $\Gamma(k)$  – гамма-функция.

Преобразование Лапласа имеет вид:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(\ell) e^{-p\ell} d\ell. \quad (6)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{1-F(p)}{p} &= \left[ 1 - \int_0^{\infty} \frac{1}{\alpha^k} \frac{\ell^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\frac{\ell}{\alpha}} e^{-p\ell} d\ell \right] \frac{1}{p} \frac{1}{E} = \\ &= \frac{1}{p} \frac{1}{E} \left[ 1 - \frac{\frac{1}{\alpha^k} \left( \frac{1}{\alpha} + p \right)^k}{\left( \frac{1}{\alpha} + p \right)^k} \int_0^{\infty} \frac{1}{\alpha^k} \frac{\ell^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\ell \cdot \left( \frac{1}{\alpha} + p \right)} d\ell \right] = \\ &= \frac{1}{p} \frac{1}{E} \left[ 1 - \frac{\alpha^k}{\alpha^k (1+p\alpha)^k} \frac{1}{\Gamma(k)} \int_0^{\infty} \ell \left( \frac{1}{\alpha} + p \right)^k e^{-\ell \cdot \left( \frac{1}{\alpha} + p \right)} d\ell \left( \ell \left( p + \frac{1}{\alpha} \right) \right) \right]. \end{aligned}$$

По определению функции это есть  $\Gamma(k)$ .  
В этом случае:

$$W(p) = \frac{1}{E} \frac{(1+p\alpha)^k - 1}{p(1+p\alpha)^k}. \quad (7)$$

Полученное выражение (7) для определения передаточной функции необходимо для построения имитационной модели, которая позволит исследовать неровность, образующуюся в процессе вытягивания, изменение числа волокон в поле вытягивания в зависимости от вида закона распределения волокон по длине. Моделирование вытягивания ленты производилось с использованием Simulink системы MatLab.

Целью имитационного моделирования является варьирование параметров, составляющих разработанную модель, для оптимизации выходной величины. Причем задача оптимизации параметров процесса вытягивания с помощью разработанной имитационной модели сводится к задачи минимизации неровности выходящего продукта.

После построения имитационной модели по рассчитанной передаточной функции был получен результат, изображенный на рис. 2 (изменение числа волокон и неровности, образующихся в процессе вытягивания).

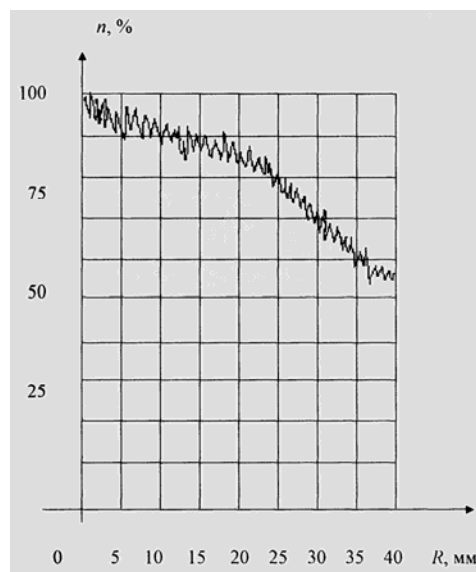


Рис. 2

Оценить эффективность протекания процесса вытягивания можно как по конечному продукту, то есть по качественным показателям ленты (в случае вытягивания на ленточной машине), так и по кривой утонения вытягиваемого полуфабриката, то есть сопоставлением кривой утонения при идеальном движении волокон с кривой при реальном моделируемом движении.

Определение оптимальных характеристик и построение после этого оценочной кривой утонения (весовым способом) является длительным и трудоемким процессом.

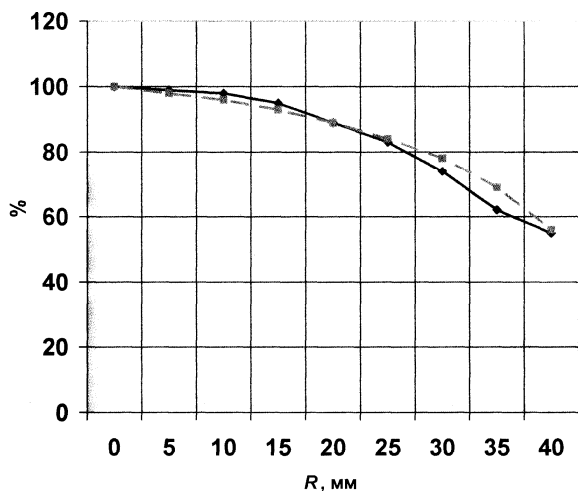


Рис. 3

На рис.3 представлена кривая утонения, полученная при моделировании (сплошная линия), а также теоретическая кривая (штриховая линия) утонения, где волокна движутся согласно первой предельной схеме.

Как сказано выше, одним из показателей, определяющих эффективность процесса вытягивания, является структура продукта, а именно функция распределения волокон по длинам.

Предлагаемая имитационная модель позволяет подобрать такую функцию распределения, при которой моделируемая кривая приблизилась бы к теоретической.

Анализируя полученный результат, можно сделать вывод о том, что моделируемая кривая утонения по своим значениям близка к теоретической. Это подтверждено критериальным анализом о значимости разницы средних значений, свидетельствующей о том, что помимо конструктивных параметров вытяжного прибора существенное влияние на эффективность

процесса вытягивания оказывает структура продукта.

При моделировании процесса утонения были использованы различные кривые распределения (нормальное, Вейбула, лог-нормальное и т.д.). Так, использование гамма-функции распределения волокон по длинам позволило увеличить в задней зоне вытяжного прибора ленточной машины вытяжку с 1,12 до 1,9 без снижения качественных характеристик продукта.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана передаточная функция процесса утонения волокнистого полуфабриката, необходимая для создания имитационной модели, позволяющей моделировать поведение волокон в процессе вытягивания.

2. Аналитическое исследование, проведенное нами, показало, что на поведение волокон в процессе вытягивания кроме системы силового воздействия (уплотнители, ограничители ширины, ремешки, устройства, образующие изогнутое поле вытягивания, и т.д.) влияет закон распределения волокон по длинам, и это необходимо учитывать при моделировании изучаемого процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
2. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. – М.: Айрис пресс, 2004.

Рекомендована кафедрой маркетинга. Поступила 04.09.06.