

Федеральное агентство по образованию

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
ТЕКСТИЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В ДЕКАБРЕ 1957 ГОДА, ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

**№ 1С (300)  
2007**

Издание Ивановской государственной текстильной академии

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор *В.В. ЗРЮКИН*.

Заместители главного редактора: *Н.М. АШНИН, Ф.Ф. БЕЗДУДНЫЙ, М.Н. ГЕРАСИМОВ, Б.Н. ГУСЕВ, В.В. ИСАЕВ, К.И. КОБРАКОВ, Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, В.Л. МАХОВЕР, А.К. РАСТОРГУЕВ, Б.С. САЖИН, Г.И. ЧИСТОБОРОДОВ.*

Члены редколлегии: *В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ, В.Н. БЛИНИЧЕВ, В.В. ВЕСЕЛОВ, В.Ф. ГЛАЗУНОВ, В.М. ЗАРУБИН, Е.Н. КАЛИНИН, С.М. КИРЮХИН, А.М. КИСЕЛЕВ, А.Б. КОЗЛОВ, В.Н. КРОТОВ, Г.К. КУЗНЕЦОВ, Н.В. ЛУСТГАРТЕН, В.В. ЛЮБИМЦЕВ, Р.М. МАЛАФЕЕВ, Б.Н. МЕЛЬНИКОВ, А.Н. МОГИЛЬНЫЙ, С.Д. НИКОЛАЕВ, Ю.В. ПАВЛОВ, Е.Л. ПАШИН, К.М. ПИРОГОВ, К.Э. РАЗУМЕЕВ, А.Г. РЕПИН, Л.П. РОВИНСКАЯ, В.Е. РОМАНОВ, В.В. САФОНОВ, А.Г. СЕВОСТЬЯНОВ, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Н.А. СМИРНОВА, А.П. СОРКИН, Б.Б. СТРОГАНОВ, В.И. ТЕРЕНТЬЕВ, Н.Н. ТРУЕВЦЕВ, В.Д. ФРОЛОВ, И.Г. ЦИТОВИЧ, Л.П. ШЕРШНЕВА, Ю.С. ШУСТОВ, В.П. ЩЕРБАКОВ, С.С. ЮХИН, Ф.Н. ЯСИНСКИЙ.*

Ответственный секретарь *С.Л. ХАЛЕЗОВ*.

*Адрес редакции: 153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 21.*

*Тел.: (4932) 35-78-87. Факс: (4932) 41-50-88.*

*E-mail: [ttp@igta.ru](mailto:ttp@igta.ru)*

*<http://www.igta.ru>*

---

Издание зарегистрировано в Министерстве печати РФ. Регистрационный №796. Сдано в набор 01.03.2007. Подписано в печать 01.06.2007. Формат 60x84 1/8. Бум. кн.-журн. Печать офсетная. 23,25 усл.-печ. л.; 23,50 усл. кр.-отт. Заказ 3529.

Тираж 450 экз.

---

ОАО "Ивановская областная типография"  
153008, г. Иваново, ул. Типографская, 6.  
E-mail: 091-018@rambler.ru

УДК 331.108.2

**ВОЗМОЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ**

*В.Е. РОМАНОВ, Н.В. ЕФИМОВА, К.Г. ИВАНОВ, М.Н. ТИТОВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Одной из основных потребностей экономики является потребность в прогнозировании динамики различных экономических параметров, то есть в нахождении их временных зависимостей, направленных в будущее. При этом возникает необходимость – выявить такие показатели, которые наиболее полно отражают экономические тенденции.

К одним из таких параметров можно отнести заработную плату и некоторые ее градации. Размер заработной платы – это общепринятый показатель; очень часто именно через заработную плату характеризуются экономические достижения отрасли или, наоборот, ее спады. В статистических сводках широко используется понятие средней заработной платы (СЗП) за год или за месяц по различным отраслям, подотраслям, отдельным предприятиям и т.п.

Размер целевой заработной платы (ЦЗП) или ожидаемый доход, удовлетворяющий основные потребности человека (еда, жилье, отдых), то, что позволяет вести человеку достойную жизнь, гораздо реже приводится и анализируется. Как средняя заработная плата (СЗП), так и целевая (ЦЗП) являются функциями времени.

Выдвинем вполне очевидную гипотезу: если СЗП со временем растет и по своему численному значению приближается к ЦЗП, то рассматриваемая отрасль развивается и наоборот. Эту гипотезу объясняет рис. 1 (временная зависимость целевой (ожидаемой) и средней (фактической) за-

работной платы; 1 – благоприятная тенденция, 2 – неблагоприятная тенденция).

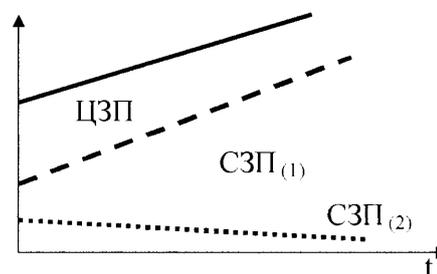


Рис. 1

Применим предложенный подход для анализа рынка образовательных услуг.

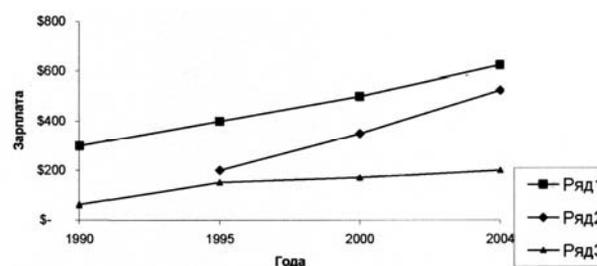


Рис. 2

На рис. 2 (ряд 3 – средняя бюджетная зарплата; 2 – коммерческая и 1 – целевая) представлено соотношение средней (реальной) и целевой заработной платы в сфере образовательных услуг г. Санкт-Петербурга с 1990 по 2004 гг..

Рассмотрим изменение СЗП в сфере образовательных учреждений, финансируемых из госбюджета за период с 1990 по 2004 гг. Данные по ЦЗП получены путем

опроса различных целевых групп респондентов с соблюдением стандартных подходов. Из рис.2 видно, что если ЦЗП увеличивается (ряд 1), то в такой области, как сфера образования, СЗП меняется медленно (ряд 3).

Это приводит к тому, что начинают создаваться альтернативные образовательные учреждения, в которых уровень средней заработной платы выше и которые финансируются не из государственного кармана. Рис. 2 свидетельствует: кривая СЗП коммерческая (ряд 2) ближе к ЦЗП в течение всего времени и приближается к ЦЗП, тогда как СЗП государственная удаляется.

Следует отметить, что возникновение новых тенденций – это объективная закономерность, в которой человеческий фактор играет разные роли, но не является определяющим. И поэтому можно создавать новые учебные программы и новые способы приема в институт и т.п., но тенденция "платить за обучение" доминирует все более над бесплатным получением образования в силу все большего превалирования рыночных отношений в данной сфере (образовательные услуги – это чисто рыночная терминология).

Из приведенного примера видно, что все большее отставание СЗП в государственном секторе образовательных учреждений приводит к возникновению и развитию платного образования, которое увеличивает СЗП. Например, в нашем университете (СПГУТД) происходит открытие новых специальностей, институтов, коммерческих структур и т.д. Рынок спроса на специалистов определенного профиля вынуждает к подобным изменениям.

Таким способом можно провести анализ по различным отраслям промышленности страны, региона, отдельного предприятия и выявить благоприятные и неблагоприятные тенденции. При этом прогноз возможен только в форме анализа тенденций: уменьшение одних и рост других, которые и будут определять будущее страны, региона, предприятия. Величина и изменение ЦЗП и СЗП отражают состояние экономики всей страны и поэтому тенденции развития региона, при данной тех-

нологии анализа, автоматически учитывают экономику страны в целом и ее динамику.

Проведенный выше анализ позволяет сделать качественные выводы, но если найти аналитическое описание временных зависимостей статистических данных, например, по той же заработной плате, то можно будет говорить и о количественных параметрах различных тенденций.

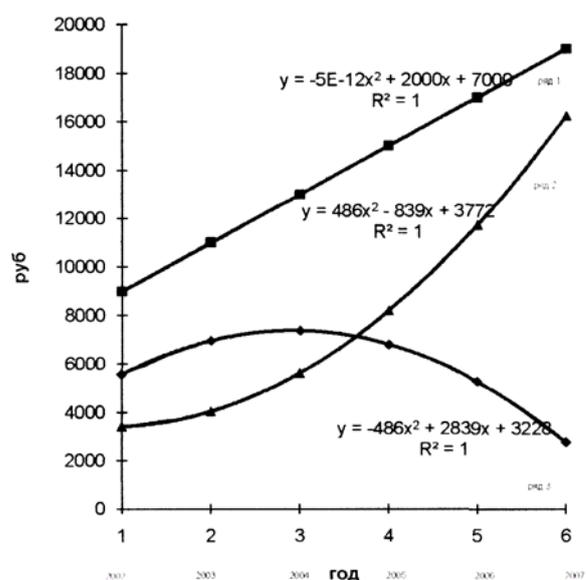


Рис. 3

По данным Петербургкомстата [1] динамика средней заработной платы за 2002...2004 гг. служащих легкой промышленности отражена на кривой ряд 2 (рис. 3), где 2002 г. принят за первый год ( $x=1$ ), соответственно 2003 г. – это вторая точка ( $x=2$ ) и 2004 г. – третья точка ( $x=3$ ) статистических данных. Остальные точки для 2005–2007 гг. рассчитываются по функциям, полученным методом подбора со степенью аппроксимации, равной единице. Динамику целевой заработной платы отражает ряд 1 рис. 3.  $R$  – достоверность аппроксимации. Данные по ЦЗП получены, как и аналогичные для рис.2, путем опроса различных целевых групп респондентов с соблюдением стандартных подходов.

Реальные характеристики рынка труда во многом определяются расхождением величин средней (фактической или статистической) и целевой заработной плат. Указанная разница отражена динамикой

ряда 3 и соответствует условию роста привлекательности данного вида деятельности и связанных с ней профессиями в отрасли легкой промышленности, так как разница между ЦЗП и СЗП уменьшается со временем.

Аппроксимация статистических значений подбором функциональных зависимостей с максимально возможной достоверностью  $R$  позволяет осуществить прогнозирование динамики рассматриваемых величин более точно в сравнении с графическим построением. Приведенная методика дает возможность прогнозировать не только тенденции развития отрасли, но и количественные показатели. Например, очевидно, что между уровнем СЗП и численностью занятых по видам деятельности есть определенная связь, поэтому анализ полученных аналитических выражений поможет установить и другие важные параметры экономических тенденций.

1. Закон Российской Федерации "О занятости населения в Российской Федерации" с изменениями и дополнениями по август 2004 года.

2. Закон Российской Федерации "О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации "Об образовании" от 13.01.96 г. № 12-13 (понятия об уровнях образования).

3. Инвестиции в экономику Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2001, 2002, 2003 гг. // Статистический сборник Петербургкомстата. – СПб, 2002...2004 гг.

4. *Попов А.* Потребность экономики в специалистах и квалифицированных рабочих: методические основы прогнозирования // Человек и труд. – 2004, №6.

5. *Кутузов В.М., Семенов Н.Н., Шестопалов М.Ю.* Модели организации подготовки и переподготовки кадров при взаимодействии с промышленно-экономическим комплексом региона // Мат. Всероссийск. научн.-практ. конф.: Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. – СПб, СПбГЭТУ, 23-24 октября 2003. С.97...104.

6. *Вишневская Н.* Проблемы и перспективы рынка рабочей силы // МЭиМО. – 2000, №8.

Рекомендована кафедрой менеджмента  
СПбГУТД. Поступила 25.12.06.

УДК 339.52:061.1

## ВЛИЯНИЕ ТАМОЖЕННОГО ТАРИФА НА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ

*Т.И. ФРАДИНА, Т.А. ПАВЛОВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В дореформенный период государство активно влияло на внешнеторговые операции и степень открытости внутренних рынков товаров и услуг, в частности, через таможенно-тарифную политику.

В сфере зарубежной конкуренции на рынках России произошла достаточно четкая дифференциация, существенная для понимания степени актуальности, возможностей и ограничений таможенно - тарифной политики. Можно выделить следующие сложившиеся типы рынков с точки зрения их привлекательности для ино-

странных фирм и конкурентных возможностей российских.

1. Сильно сократившиеся рынки товаров промежуточного применения (инвестиционные товары, сырье, материалы) для внутреннего пользования, где иностранные конкуренты не находят себе высокого спроса, подкрепленного платежеспособностью. Здесь возможности внедрения иностранных конкурентов ограничены.

2. Рынки товаров массового спроса с относительно низкой ценой и средним или низким качеством. На этих рынках наблю-

дается очень сильная конкуренция отечественных производителей с импортной продукцией, достаточно разрушительная для отечественной промышленности. К этому типу относится большинство подотраслей легкой промышленности.

3. Рынки товаров высокого качества для состоятельной прослойки населения. Эти рынки относительно ограничены по размерам и таможенно-тарифное регулирование этих рынков носит в большей мере фискальный характер, как средство пополнения федерального бюджета, хотя определенная часть российских предприятий может претендовать на конкуренцию на этих сегментах рынка.

4. Рынки массовых видов сырья, топлива и базовых материалов, пользующихся активным спросом в промышленно развитых странах. Здесь ситуация с конкуренцией России на мировом рынке наиболее прозрачна, так как участвующие во внешней торговле российские производители включились в систему оценок эффективности производства и сбыта на мировом рынке. Эта группа товаров также нуждается в продуманном таможенном тарифе, так как разрыв цен на мировом и внутреннем рынках негативно сказывается на насыщении внутреннего рынка и дает отрицательный эффект для экономики.

Большинство подотраслей легкой промышленности относится ко второму типу рынков.

Применительно к таможенно-тарифной политике России важно учитывать, что в рамках ВТО регулирование товарных потоков между странами-участниками основано в большей степени на использовании таможенных тарифов, и в меньшей степени – на количественных ограничениях ввоза и вывоза товаров. Средневзвешенная ставка импортного тарифа в странах-членах ВТО составляет 3...4%, а в России даже после корректировок в сторону снижения – средневзвешенный тариф для продукции текстильной промышленности составляет 10%, для легкой промышленности – 20%.

Вступление России в ВТО позволит воспользоваться преимуществами недис-

криминационных, стабильных и предсказуемых условий внешней торговли со странами ее участниками. Любая страна, вступающая в ВТО, должна взять на себя обязательства по связыванию тарифов, которые зафиксированы в перечнях уступок. А в дальнейшем они обязаны снижать тарифы, применяемые в отношении импортируемых продуктов. Развивающимся странам предоставляется право снижать свои тарифы на меньший процент, чем развитым, и в течение более продолжительного времени. Россия планирует вступить в ВТО на стандартных условиях для стран с рыночной экономикой, которые предполагают непродолжительный переходный период до 3 лет [1].

В то же время снижение таможенных тарифов России до уровней, преобладающих в ВТО, должно осуществляться поэтапно. Концепция уровня ставки ввозной таможенной пошлины исходит из принципа: чем ближе к стадии конечной продукции товар, тем выше ввозная таможенная пошлина.

Очень важен характер тарифной политики на момент переговорного процесса. Исторически сложилось, что налоговая система России носит фискальный характер. С целью повышения собираемости налогов Россия с 1 января 2001 г. унифицировала свой таможенный тариф. Унификация таможенного тарифа была осуществлена, в том числе и для того, чтобы уменьшить возможности контрабандного ввоза товаров. По однородным группам товаров с 1 января 2001 г. была введена единая пошлина.

Унифицированный тариф имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Положительные стороны состоят в следующем:

- правительство не всегда может эффективно и правильно определить приоритетные отрасли и производства, которые необходимо защитить на государственном уровне;

- упрощается таможенное администрирование;

– затрудняются манипуляции служащих таможенных органов с определением таможенной стоимости товара;

– снижается возможность коррупции представителей таможенных органов;

– таможенные пошлины в этих условиях не носят дискриминационный характер по отношению к импортерам.

При этом политика унификации таможенного тарифа не лишена недостатков:

– при значительном различии в технологическом уровне имеющих факторов производства возникает необходимость в дифференцированной защите потенциально конкурентоспособных отечественных товаров, а единая тарифная ставка не только не способствует, но может даже мешать решению этой задачи;

– не используется возможность получения дополнительных доходов бюджета за счет более высоких пошлин на товары высокого качества для состоятельной прослойки населения (третий тип рынка);

– в процессе переговоров страна, вступающая в ВТО, не может запрашивать дифференцированный тариф в переходный период для поддержки отдельных групп товаров.

За рубежом такая чрезмерная унификация таможенного тарифа не применяется, тем более для решения проблемы собираемости таможенных сборов и платежей.

Для решения проблемы дифференцированного подхода к родственным товарам, отличающимся условиями рынка и конкурентными возможностями российских производителей, необходимо определить влияние таможенного тарифа на результаты деятельности конкретного предприятия.

Проблема количественной оценки последствий присоединения к ВТО хозяйствующих субъектов отдельно взятой страны достаточно сложна. Существует ряд методик, позволяющих определить влияние вступления в ВТО на экономику отдельного государства, либо на отрасль промыш-

ленности. Данные методики основаны на расчете ряда детерминант на макроуровне, которые невозможно использовать на микроуровне.

Для анализа и оценки последствий изменения таможенного тарифа нами был использован показатель "эквивалентная пошлина" и инструментарий корреляционного анализа.

В качестве детерминанты нами был выбран относительный показатель уровня защиты внутреннего рынка – эквивалентная пошлина. В качестве независимых переменных: уровень рентабельности продукции и индекс промышленного производства отдельного предприятия.

Эквивалентная пошлина представляет собой ставку пошлины, учитывающей изменение цен на внутреннем и внешнем рынках по данной товарной группе, а также динамику курса иностранной валюты [2].

Эквивалентная пошлина рассчитывается по формуле:

$$Et = tt((Ipe I\$ / (Ip stt)) - 1 / stt + 1),$$

где  $E_t$  – эквивалентная таможенная пошлина;  $stt$  – доля исходной таможенной пошлины в цене конечного потребления;  $I\$$  – индекс роста номинального курса доллара;  $I_{pe}$  – индекс роста цен на импортные товары;  $I_p$  – индекс роста цен на внутреннем рынке.

Для расчета степени влияния макроэкономического показателя – эквивалентная пошлина – на результаты финансово-хозяйственной деятельности (ФХД) предприятия нами было исследовано производство хлопчатобумажных тканей. В качестве объекта исследования была выбрана группа предприятий "Альянс "Русский Текстиль". Расчет показателя эквивалентной пошлины по группе "ткани хлопчатобумажные" представлен в табл. 1 [3], [4].

Год	Ставка исходной таможенной пошлины	Доля исходной таможенной пошлины в цене конечного потребления	Индекс роста номинального курса доллара	Индекс роста импортных цен	Индекс роста цен	Коэффициент (индекс) роста эквивалентной пошлины	Эквивалентная таможенная пошлина
2000	20	0,14	113,9	91,17	119	0,0982	1,96
2001	20	0,14	103,7	121,6	111,9	1,8984	37,97
2002	15	0,11	107	92,6	107,9	0,2607	3,91
2003	15	0,11	97,9	67,4	110,7	-2,6542	-39,81
2004	15	0,11	93,9	103,4	108,6	0,0414	0,62
2005	15	0,11	98,2	106	104,3	0,9820	14,73

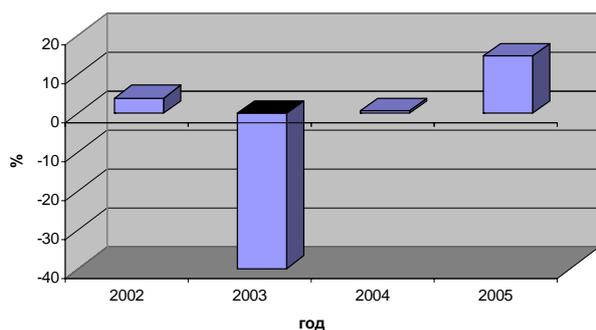


Рис. 1

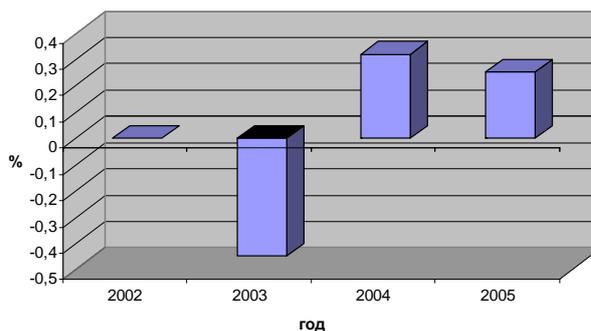


Рис. 2

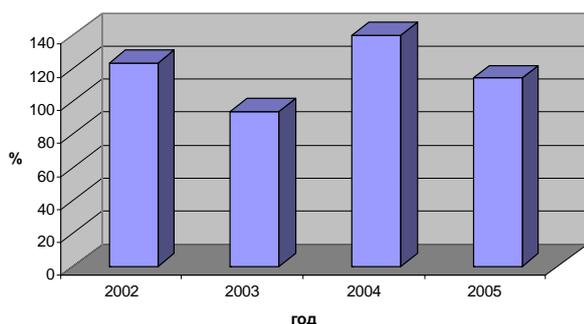


Рис. 3

На рис. 1 (динамика эквивалентной пошлины по позиции "ткани хлопчатобумажные"), 2 (рентабельность продаж группы компаний "Альянс "Русский Текстиль") и 3 (индекс производства Муромского хбк "Красный Луч") представлена динамика изменения исследуемых показателей за период с 2002 по 2005 гг.

Далее был рассчитан коэффициент парной корреляции для показателей эквивалентная пошлина и рентабельность продаж, который составил 0,89. Значение данного коэффициента свидетельствует о сильной взаимосвязи указанных факторов и об их прямой зависимости.

Коэффициент парной корреляции для показателей эквивалентная пошлина и индекс производства составил 0,67.

Таким образом, можно сделать выводы о том, что макроэкономический показатель эквивалентной пошлины находится в тесной взаимосвязи с показателями финансово-хозяйственной деятельности конкретного предприятия. Зная динамику цен на внутреннем и мировых рынках, а также уровень связывания таможенного тарифа при вступлении во Всемирную Торговую Организацию, можно будет дать примерную оценку количественному изменению объемов выпуска и уровня рентабельности и разработать мероприятия по снижению негативных последствий в новых условиях хозяйствования, с одной стороны, а с другой стороны – рассчитать уровень таможенного тарифа, который способен защитить внутренний рынок от экспансии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дюмулен И.И. Всемирная торговая организация. – М. : ЗАО "Издательство "Экономика", 2003.

2. [www.ecfor.ru](http://www.ecfor.ru) В.В.Ивантер, М.Н.Узяков и др. Количественный анализ экономических последствий вступления России в ВТО.

3. Жуков Ю.В. Рынок хлопчатобумажных тканей // Швейная промышленность. – 2006, №2.

4. Россия в цифрах. 2006: Крат. стат. сб. – М., Росстат, 2006.

Рекомендована кафедрой менеджмента. Поступила 25.12.06.

УДК 338.984

## ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

*Я.В.ИВАНОВСКИЙ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Управление предприятием заключается в том, что оно, с одной стороны, основывается на необходимости удовлетворения интересов участников создания предприятия (собственников, кредиторов) и субъектов, заинтересованных в его развитии (менеджеров, акционеров, работников, органов государственной власти, покупателей и т. д.), а с другой стороны – обеспечивает согласованное взаимодействие всех подсистем управления в ходе повседневного функционирования предприятия для достижения поставленных целей.

Функции управления можно представить как виды управленческого труда, связанные с воздействием на управляемый объект. Управление – это искусство добиваться результата посредством других людей.

К основным функциям управления можно отнести прогнозирование, планирование, организацию, мотивацию, контроль, анализ, подготовку и принятие управленческих решений. Все эти функции связаны между собой. Эффективность системы управления зависит не только от четкого выбора методов, принципов и функций управления, но и от факторов, способствующих повышению интенсивности процесса управления.

Если руководитель любого ранга желает обеспечить "безоблачное" будущее своему предприятию, он должен постоянно выполнять все управленческие функции. И начинать нужно с планирования. Если работа спланирована, то она должна быть организована, а работники – подготовлены

для ее выполнения. Качество труда во многом зависит от побуждающих мотивов. А чтобы определить точность выполнения планов, нужно проконтролировать процесс труда, результаты проанализировать и сделать соответствующие выводы.

Каждая из функций управления жизненно важна для предприятия. Вместе с тем планирование как функция управления обеспечивает основу для других функций и считается главнейшей из них, а функции организации, мотивации, контроля и анализа, в основном, ориентированы на реализацию тактических и стратегических планов предприятия.

Планирование – это определение основных направлений и пропорций развития производства с учетом материальных источников его обеспечения и спроса рынка. Сущность планирования проявляется в конкретизации задач, средств их достижения, сроков и последовательности реализации, выявлении материальных, трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для решения поставленных задач. Планирование – это начальный этап управления, однако оно представляет собой не "разовый" акт, а процесс, продолжающийся до завершения планируемого комплекса операций. Планирование направлено на оптимальное использование возможностей предприятия, в том числе наилучшее использование всех видов ресурсов и предотвращение ошибочных действий, обеспечение финансовой устойчивости и более высокой рентабельности капитала, чем у конкурентов.

Планируемые показатели деятельности предприятия должны отражать отраслевую специфику плана и представлять собой систему количественных и качественных, абсолютных и относительных, натуральных и стоимостных показателей.

В зависимости от направленности и характера решаемых задач различают планирование по времени: стратегическое (перспективное) и текущее (среднесрочное).

Стратегическое планирование охватывает период от пяти и более лет и дает комплексное научное обоснование проблемам, с которыми может столкнуться предприятие в предстоящий период. На основе стратегического планирования разрабатываются показатели развития предприятия на плановый период. Подобный метод наиболее применим для большинст-

ва отраслей промышленности. При выборе стратегии необходимо иметь в виду, что новые стратегии как в традиционных отраслях, так и в новых сферах бизнеса должны соответствовать накопленному потенциалу предприятия.

В системе стратегического планирования на предприятии цели претворяются в программы действий и тактические планы, бюджеты (годовые планы), планы прибыли, разрабатываемые для каждого из основных подразделений предприятия. Затем программы, тактические планы и бюджеты выполняются этими подразделениями, после чего определяются отклонения фактических показателей от запланированных (рис. 1 – схема первого этапа стратегического планирования).

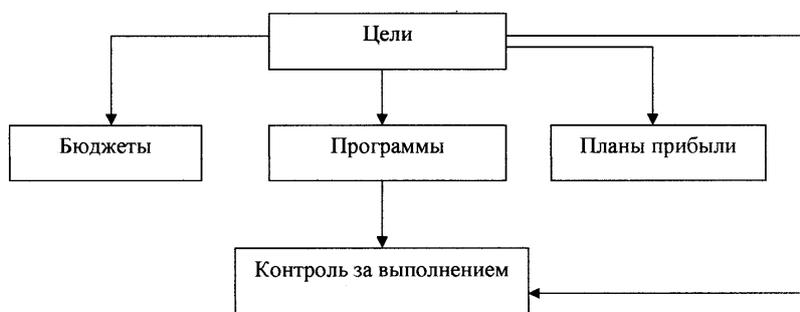


Рис. 1

Перспективы и цели связаны между собой и используются для выработки страте-

гии (рис.2 – схема второго этапа стратегического планирования).

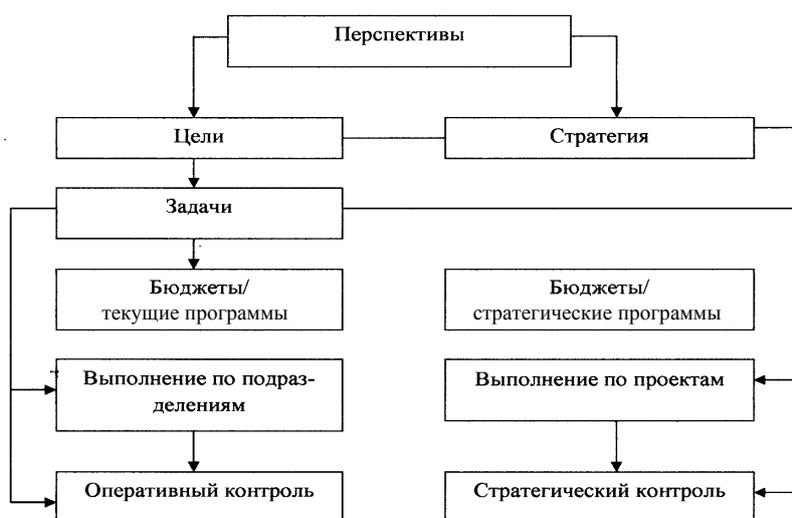


Рис. 2

Текущие программы (бюджеты) ориентируют оперативные подразделения пред-

приятия в их повседневной работе, направленной на обеспечение текущей рен-

табельности. Стратегические программы и бюджеты закладывают основы будущей рентабельности, что требует создания специальной системы исполнения, построенной на управлении проектами.

Текущее планирование заключается в определении промежуточных целей на пути достижения стратегических задач. При этом детально разрабатываются средства и способы решения задач, использование ресурсов, внедрение новой технологии. Текущее планирование осуществляется путем детальной разработки (обычно на один год) оперативных планов для предприятия в целом и ее отдельных подразделений в региональном, отечественном и международном масштабах.

Основными звеньями текущего плана являются календарные планы (месячные, квартальные, полугодовые), которые представляют собой детальную конкретизацию целей и задач, перечисленных в перспективном плане.

Реализация календарных планов осуществляется через систему бюджетов, или финансовых планов, которые обычно составляются на год или на более короткий срок по каждому отдельному подразделению, а затем консолидируются в единый бюджет, или финансовый план предприятия.

У каждого предприятия имеются свои специфические особенности планирования: по видам планов, их структуре и показателям, горизонту и срокам разрабатываемых планов и т. п. Планирование на предприятиях нацелено не только на экономию материальных ресурсов и снижение издержек, но, главным образом, на создание широкого ассортимента продукции, услуг, учитывающего различные потребности клиентов.

В условиях плановой экономики процесс централизованного планирования у большинства крупных предприятий осуществлялся "сверху вниз". Это означало, что плановые директивы разрабатывались на высшем уровне управления, где определялись цели, основные направления и главные задачи развития предприятия и предпринимались попытки увязать все звенья производственного механизма. Затем на более низких уровнях управления

эти цели и задачи конкретизировались применительно к деятельности каждого подразделения, устанавливались пропорции и объемы предоставляемых услуг. После соответствующего согласования плановых заданий с конкретными исполнителями планы окончательно утверждались высшим руководством.

Сегодня, чтобы иметь возможность правильно определить цели и задачи для каждого подразделения, высшее руководство должно располагать данными о состоянии и развитии каждой службы предприятия и каждой услуги, предоставляемой предприятием. Обычно эти данные содержатся в программах маркетинга, лежащих в основе разработки планов всех подразделений.

Практика показывает, что сегодня усиливается тенденция индикативного планирования, уже применяемая на американских предприятиях, где планы составляются, как правило, в производственных отделениях. По некоторым данным около 2/3 американских предприятий планируют "снизу вверх", 1/3 – на основе взаимодействия всех уровней управления, а планирование "сверху вниз" вообще отсутствует.

Организация процесса планирования на различных предприятиях имеет свои отличительные особенности, обусловленные различиями в организационной структуре управления в целом и характере производственно-технического процесса. Эти отличия касаются как сроков плановых периодов, так и самой процедуры планирования, а также функций отдельных подразделений, занимающихся вопросами планирования. При разработке перспективных планов предприятия часто устанавливаются различные плановые периоды и различные сроки по планам разных типов.

Таким образом, можно утверждать, что для выживания в конкурентной среде и успешного развития предприятию необходим четко разработанный план как на длительную перспективу, так и на текущий период.

Рекомендована кафедрой менеджмента. Поступила 25.12.06.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА БЮДЖЕТИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Л.К. СИРОТИНА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В условиях динамичности внешней среды промышленного предприятия определяющим фактором его жизнеспособности становится наличие эффективных технологий планирования, учета и контроля финансовых потоков, одной из которых является составление гибких бюджетов, которые позволяют управлять затратами на различных уровнях деловой активности предприятия.

Процесс бюджетирования, являясь средством повышения финансовой обоснованности принимаемых управленческих решений, в системе бизнес-среды предприятия может быть отнесен к сквозной функции основного бизнес-процесса управления организацией [1].

Одним из результатов выполнения данного бизнес-процесса является сводный бюджет, охватывающий все стороны деятельности предприятия, консолидированный из трех основных бюджетов: бюджета движения денежных средств, бюджета доходов и расходов и бюджета баланса (управленческого баланса) [2].

В данной статье исследуется бюджет себестоимости, являющийся важнейшей компонентой бюджета доходов и расходов. Рассматриваемый нами гибкий бюджет, в отличие от статического, составляется не для конкретного уровня деловой активности исходя из заданного объема реализации продукции, а для определенного его диапазона, то есть предусматривается несколько альтернативных вариантов объема реализации продукции и соответствующих им возможных величин отклонений фактического расходования ресурсов производства от планового. Для каждого такого уровня реализации определяется соответствующая сумма затрат, поэтому гибкий бюджет учитывает изменение затрат в за-

висимости от изменения уровня реализации и представляет собой динамическую базу для сравнения достигнутых результатов с запланированными показателями.

Контроль исполнения бюджетов всегда сопровождает бюджетный анализ (план-фактный анализ), одной из задач которого является использование полученных выводов для составления бюджета нового периода с учетом изменений, произошедших в прошлом периоде.

Информационным обеспечением план-фактного анализа исполнения бюджета является система комплексного нормативно-учета. Это такая система ведения учета операций предприятия, которая фиксируют не только плановые (бюджетные) и фактические показатели, но и отклонения фактических показателей от плановых [3].

Идея использования ретроспективных данных о подобных отклонениях для прогнозирования бюджетных показателей и лежит в основе исследований, описанных в данной статье. Проблема установления нормативов бюджетных показателей является неотъемлемой частью бизнес-процесса бюджетирования, однако еще большей проблемой является планирование величины отклонений затрат по их видам, что позволяет сделать бюджет предприятия более гибким, а процесс управления предприятием более органичным.

Важнейшим инструментом планирования отклонений затрат является использование системы стандарт-кост, позволяющей оценить характер, величину и причины отклонений, а также степень допустимости подобных отклонений для последующего их планирования с учетом всех факторов затрат.

Для того, чтобы контроль и организа-

ция управления были эффективны, необходимо определить порог существенности (значимости) отклонений. Значимость выявленных отклонений определяется менеджером. Обычно значимым считается отклонение, если оно составляет более 10% суммы нормативных затрат [3]. Несущественные отклонения не рассматриваются до тех пор, пока они не приобретают повторяющегося характера и не повлекут осложнений в работе.

На примере текстильного комбината, производящего тонкие сукна, исследование осуществляется в определенной последовательности.

Выбор статей распределения затрат и определение факторов, влияющих на их величину. Выделены такие статьи затрат:

1) сырье и материалы на основное производство (далее "Сырье и материалы"), стоимость которых зависит от цены за один килограмм сырья, нормы расхода сырья и объема выпуска ткани;

2) заработная плата основных производственных рабочих (далее "Зарботная плата рабочих"), размер которой зависит от комплексной сдельной расценки и объема выпуска продукции;

3) энергоресурсы на технологические нужды предприятия (далее "Энергоресурсы"), стоимость которых зависит от стоимости единицы расхода газа, воды, электроэнергии, норм их расхода и объема произведенной продукции;

4) общепроизводственные расходы, зависящие от суммы материальных производственных затрат, фонда оплаты труда вспомогательных рабочих, коммунальных платежей и прочих затрат;

5) общехозяйственные расходы, зависящие от суммы материальных затрат, фонда оплаты труда административно-управленческого персонала, арендных платежей, амортизационных отчислений и прочих затрат.

Факторный анализ статей затрат. Данный анализ позволяет выявить наиболее значимые факторы, повлиявшие на изменение величины каждой статьи затрат в отчетном периоде.

Анализ отклонений фактических пока-

зателей от плановых. Это позволяет установить, существуют ли устойчивые тенденции в развитии различных процессов и как с изменением плановых значений меняются отклонения от них. Характер и достоверность тенденций оцениваются в нашей работе с использованием метода трендового анализа, где  $X$  – плановая величина статьи затрат, тыс. руб.,  $Y$  – величина отклонения по данной статье затрат, тыс. руб.,  $R$  – достоверность аппроксимации. Так, установлено, что уравнения полученных линейных функций имеют вид:

1) по статье "Сырье и материалы на основное производство":

$$Y = 0,92X - 5132,8 \text{ при } R=0,88;$$

2) по статье "Зарботная плата основных производственных рабочих":

$$Y = 0,62X - 1110,2 \text{ при } R=0,92;$$

3) по статье "Энергоресурсы на технологические нужды предприятия":

$$Y = 1,16X - 2086,1 \text{ при } R=0,81;$$

4) по статье "Общепроизводственные расходы":

$$Y = 0,95X - 2386,1 \text{ при } R=0,82;$$

5) по статье "Общехозяйственные расходы":

$$Y = 0,36X - 649,2 \text{ при } R=0,81.$$

Важно помнить: полученные подобным образом прогнозные результаты имеют смысл в ограниченной экономическими, организационными и иными границами зоне релевантности. Так, например, в данном исследовании одной из важнейших границ, помимо организационно-технических, является порог рентабельности предприятия. В связи с этим не может быть исследовано поведение величины отклонений по статьям, включающим переменные затраты, при нулевом объеме производства с использованием описанных функций.

Необходимо также определить, к какому разряду относятся анализируемые затраты. Если в результате анализа отклонение результирующего показателя от плана превысит установленные 10%, то такие затраты необходимо отнести к разряду неконтролируемых и наоборот. При планировании бюджетных показателей следует использовать прогнозные значения отклонений только по контролируемым затратам, как в целом по статьям, так и в их пределах с учетом всех факторов, влияющих на изменение бюджетных (фактических) показателей. Так, согласно результатам расчета отклонений по статьям затрат, представленным в табл. 1, можно утвер-

ждать, что в отчетном периоде имеет место перерасход материальных ресурсов производства на 0,9% за год и не более 12% в месяц, экономия фонда оплаты труда рабочих составляет 2,8% за год и не более 5,5% перерасхода в месяц, годовой перерасход энергоресурсов составляет 1,7%, по статьям "Общепроизводственные расходы" и "Общехозяйственные расходы" обнаружена годовая экономия 3,7% и 5,5%, соответственно. Перерасход ресурсов, например, в марте обусловлен увеличением объема производства, но с экономией фонда оплаты труда, а в декабре – повышением поставщиками стоимости сырья и материалов.

Т а б л и ц а 1

Месяц	Отклонение фактических показателей от плановых по статьям затрат, %				
	"Сырье и материалы"	"Заработная плата рабочих"	"Энергоресурсы"	"Общепроизводственные расходы"	"Общехозяйственные расходы"
Январь	4,9	2,5	5,64	2,5	-14,5
Февраль	9,4	-4,9	9,1	6,6	-8,8
Март	11,0	-0,1	13,4	-11,0	-8,4
Апрель	-4,5	-2,0	4,6	-0,4	-8,1
Май	1,5	-8,8	2,04	1,1	-9,2
Июнь	-1,9	-9,3	1,5	-7,6	-5,1
Июль	-7,7	-7,6	-9,7	-4,3	-8,7
Август	-1,4	4,0	13,3	0,1	-5,6
Сентябрь	6,2	0,7	0,7	-4,0	-6,0
Октябрь	8,6	7,7	6,3	-6,2	-10,0
Ноябрь	3,0	-0,1	1,5	-9,0	0,1
Декабрь	12,0	5,5	4,9	12,6	8,9
Итого	0,9	-2,8	1,7	-3,7	-5,5

Таким образом, порог существенности отклонений (10%) превышают не более двух месячных показателей в год. За счет повышения уровня обоснованности планирования на предприятии это число может быть снижено до нулевого значения. Тогда для прогнозирования бюджетных отклонений может быть привлечен весь объем месячных ретроспективных данных, что повысит степень обоснованности прогноза.

Полученные описанным образом данные о возможных отклонениях по статьям

затрат позволят решать ситуационные управленческие задачи, соответствующие различным уровням деловой активности предприятия. К таким задачам относятся изучение поведения затрат производства при изменении объема производства (табл.2), тарифов и цен на различные ресурсы, форм и размера заработной платы персонала, условий взаимодействий с деловыми партнерами, уровня рентабельности и цен на продукцию и т.п.

Показатель	Значение показателя при заданном объеме производства			
	89,7 т.п.м		101,1 т.п.м	
	план	откл.	план	откл.
1. Затраты, в т.ч., тыс.руб.	14469	969,0	15956	2255,5
1.1. Сырье и материалы	6276	641,0	7074	1375,0
1.2. Зарплата основных рабочих	1677	-70,0	1891	62,0
1.3. Энергоресурсы на технологические нужды	2217	486,0	2673	1015,0
1.4.Общепроизводственные расходы	2379	-126,0	2516	4,0
1.5. Общехозяйственные расходы	1910	38,0	1802	-0,5
2. Выручка от реализации, тыс.руб.	16451,7		19697	
3. Прибыль от продаж, тыс.руб.	1013,7		1485,5	
4. Запас финансовой прочности, %	24		33	
5. Эффект операционного рычага	4,1		3,1	
6. Маржинальная рентабельность, %	37		38	

Кроме того, использование полученных линейных зависимостей между плановыми показателями затрат и их отклонениями позволят при заданном уровне этих отклонений (0%, 5%, 10%, min, max и др.) сформировать бюджет производства с учетом соответствующего объема производства продукции.

Таким образом, предложенные в статье рекомендации позволят совершенствовать бизнес-процесс разработки бюджетов затрат предприятия с учетом изменения объемов производства и факторов себестоимости, а за счет этого решать различные управленческие задачи с минимальными затратами времени, обеспечивая тем са-

мым условия для стабильного развития организации.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Елиферов В.Г., Ретин В.В.* Бизнес-процессы: Регламентация и управление. – М.: ИНФРА-М, 2005.
2. *Добровольский Е. и др.* Бюджетирование: шаг за шагом. – СПб.: Питер, 2006.
3. *Кондратова И.Г.* Основы управленческого учета. – М.: "Финансы и статистика", 2001.

Рекомендована кафедрой менеджмента. Поступила 25.12.06.

УДК 65.012.2

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ КОММУНИКАТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*А.С. ТРОФИМОВ, С.В. ГОРИНОВА*

(Ивановская государственная текстильная академия)

На основании изучения информации, содержащейся в СМИ, в сети Интернет, в научной литературе, касающейся управления успешно развивающимися промышленными компаниями в России и заграни-

цей, заметно усиление коммуникативных элементов. Касательно группы компаний-лидеров, исследователи отмечают свойственную им простоту и демократичность отношений между сотрудниками и менед-

жерами, ориентацию на поддержание и формирование внутренних ценностей, на установление устойчивых деловых связей как внутри компаний, так и с их окружением, включающим группы с различными степенями связи с экономикой – с потребителями, поставщиками, акционерами, государственными, общественными и другими организациями. На фоне всемирной глобализации компании совершенствуют производство и системы сбыта и маркетинга, выпускают ценные бумаги, укрупняются. На стыке лоббирования компаниями собственных интересов и воздействия органов власти на развитие бизнеса образуются неформальные экономические структуры, такие как территориальные информационно-хозяйственные и логистические объединения, кластеры и др. [1...9].

Аналогичные процессы происходят и в национальной текстильной промышленности. Рассмотрим ее коммуникативное пространство, включающее участников, основные факторы среды, коммуникативные компоненты – информационный обмен и деловые взаимоотношения.

Основными игроками российской текстильной промышленности являются крупные корпоративные объединения, вы-

пускающие неконкурентную, относительно мировых рынков, продукцию, имеющие значительные доли рынка, при сильной зависимости от зарубежных поставщиков сырья (хлопок, шерсть, лен), низкую общую долю в доходной части государственного бюджета и задолженности по платежам, устаревшие основные фонды, дефицит квалифицированных рабочих и менеджеров. В подотраслях хлопчатобумажной и льняных бытовых тканей основной объем производства приходится на несколько корпораций, не более 6...10. Для прочих, менее благополучных производителей, ситуация более неустойчивая из-за слабого менеджмента, низкой восприимчивости к инновациям, слабой компьютеризации, практического отсутствия маркетинга и др. [8]. Для компаний отрасли характерны низкий уровень развития коммуникативных связей – деловых отношений и информационного обмена и недостаточное внимание к ним. Рассмотрим по результатам опроса руководителей коммерческой службы одной из крупных текстильных компаний Ивановской области среднего уровня, входящей в группу лидеров, их состояние и сопоставим с положением на рынке (табл. 1).

Таблица 1

Показатель	Покупатели	Акционеры	Органы государственного управления и их территориальные образования	Поставщики	Подразделения корпорации	Общество	Изменение значимости коммуникативных характеристик за 3 года
Коммуникативные связи							
Объем и качество исходящей информации	низкие	низкие	низкие	высокие	средние	низкие	среднее
Объем и качество входящей информации	низкие	низкие	низкие	высокие	высокие	низкие	среднее
Качество деловых отношений	среднее	низкое	низкое	среднее	высокое	низкое	низкое
Позиция на рынке							
Доля рынка	низкая						
Темпы увеличения объемов продаж	низкая						

Полученные данные показывают непропорциональное соотношение уровней информации относительно поставщиков и покупателей не в пользу последних, слабый информационный обмен компании с органами государственной власти и их территориальными образованиями и обществом. Здесь под обществом понимаются конечные потребители, общественные организации, СМИ, ассоциации, профсоюзы, общество защиты прав потребителей, окружающей среды и др. То же самое относится и к акционерам. Следует обратить внимание на выявленный при проведении исследования факт низкой степени изменения качества деловых отношений компании с внешним окружением за последние 3 года. Это говорит о недостаточном внимании руководителей к коммуникациям. Проведение регулярного мониторинга

позволит компаниям корректировать стратегическое планирование своей деятельности. Таким образом, результаты опроса подтверждают связь между позицией компании на рынке и состоянием ее коммуникативных связей.

Рассмотрим соотношение коммуникативных показателей с долями рынка на примере наиболее крупных текстильных корпораций за 2004 г., которые представлены в табл. 2 [2...4]. В качестве коммуникативных показателей взяты географические масштабы связей с покупателями (сбытовая сеть) и, как критерий их оценки, – число представительств в регионах; информационная открытость (оценивалась по частоте и объемам публикаций в СМИ и по публикации годовых отчетов), информативность и привлекательность интернет-сайта.

Таблица 2

Компания	Доля рынка, % [5]	Сбытовая сеть (связи с клиентами)	Информационная открытость	Качество интернет-сайта (информативность и привлекательность)
"Альянс "Русский текстиль"	22	очень развитая	высокая	высокое
"Ассоциация "ТДЛ"	12	слабая	низкая	среднее
"ТХ "Яковлевский"	8	не значительная	низкая	невысокое

На основании данных табл. 2 прослеживается взаимосвязанность экономических и коммуникативных показателей. Очевидно, что компаниям, достигшим более высоких экономических результатов, свойственны относительная информационная открытость, направленная на демонстрацию устойчивости и благополучия компании, ее стратегической направленности на высокие рыночные и финансовые результаты, поддержание репутации; организация потоков информации, формирование гибких и прочных контактов с клиентами на региональных рынках и эффективных связей с общественностью.

На примере этих корпораций, как основных представителей отрасли, рассмотрим влияние коммуникативных факторов среды на компании и на ситуацию в тек-

стильной промышленности в целом. Для этого воспользуемся данными составленной нами табл. 3.

Как видно из табл. 3, коммуникативные факторы связаны с экономическими, политическими, технологическими факторами и оказывают значительное влияние на хозяйственную деятельность предприятий отрасли.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, выделим главные стратегические аспекты развития коммуникативного пространства компаний текстильной отрасли.

1. Вопросы рассмотрения коммуникативного пространства выходят за рамки внутрифирменных отношений и маркетинга, они касаются как внешней, так и внутренней среды компаний.

Факторы среды	Влияние на коммуникативные связи	Отрасль	Компания
Информация, информационные технологии и телекоммуникации	Является основополагающим элементом коммуникативных связей	В целом слабое внедрение современных технологий. Низкая активность на рынке ценных бумаг	Эффективное использование информационных технологий "Альянсом "Русский текстиль" (АРТ) в системе складирования, в продажах через Интернет; в управленческом учете на "ТХ "Яковлевский" и др.
Интеграция	Требует высокого качества информационного обмена и деловых связей. Успех связан с построением прочных деловых отношений	Образование неэффективных текстильных ассоциаций (Ивановская область), "корпоративных" ассоциаций предприятий (ТДЛ), хозяйственного агропромышленного комплекса по переработке льна (Росконтракт), льняного кластера в Вологодской области [6]	Развитие тесного сотрудничества с ближним зарубежьем в обеспечении сырьем (АРТ, Ассоциация ТДЛ), использование западных технологий ("ТХ "Яковлевский"), создание совместных предприятий (АРТ)
Влиятельные лица	Оказывают определяющее влияние на информационный обмен и деловые отношения внутри и вне компаний	Слабое взаимодействие руководителей компаний между собой, между отраслью и государством для защиты отраслевых интересов	Состояние компаний зависит от их руководителей (К.Волков, Ю.Яблоков, А.Златкин) [7]
Глобализация	Стимулирует развитие деловых отношений и информационного обмена	При вступлении России в ВТО без господдержки отрасль может проиграть в конкурентов с текстильной промышленностью КНР	Развитие экономических связей с зарубежными компаниями, открытие зарубежных представительств и компаний (АРТ, ТДЛ, "ТХ "Яковлевский")
Инновации	Стимулирует развитие деловых отношений и информационного обмена	В целом низкий уровень инноваций в технологии и в управлении компаниями и персоналом по отношению к зарубежным конкурентам. Для лидеров характерна активизация поиска и внедрения управленческих решений	Развитие стратегического планирования в ТДЛ, сертификация системы управления на ТХ "Яковлевский", ТДЛ, развитие брендов и системы сбыта в АРТ, ДЛ, "ТХ "Яковлевский"

2. Роль коммуникативных связей и их влияния на результаты хозяйственной деятельности усиливается в связи с глобализацией экономики и вступлением России в ВТО.

3. При проведении стратегического анализа в системе политических, экономических, технологических и социальных факторов необходимо учитывать коммуникативные факторы.

4. При разработке стратегий необходимо учитывать широкий круг участников, связанных информацией и, особенно, деловыми отношениями в единой системе коммуникативного пространства и рассматривать деловые отношения как важный показатель в оценке хозяйственной

деятельности компаний.

5. Правительству Ивановской области совместно с руководителями предприятий, выпускающих более 60% хлопчатобумажных тканей и более 40% льняных бытовых тканей в России, следует рассмотреть вопросы создания текстильного кластера российского значения с центром в Иванове для противодействия негативным последствиям вступления России в ВТО.

Все сказанное выше позволяет составить представление о специфике коммуникативного пространства текстильной отрасли, включающего в себя факторы среды и ее участников. Его следует рассматривать, как область сферы стратегического управления, являющейся объективным от-

ражением современного состояния экономического и социального развития экономики и имеющей весомое значение для предприятий отрасли.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Портер М.* Конкуренция. – М.: Изд. Дом "Вильямс", 2003.
2. Интернет-сайт компании "Альянс "Русский текстиль" \ www.textile.ru.
3. Интернет-сайт компании "Ассоциация "ТДЛ" www.tdl-textile.ru.
4. Интернет-сайт компании "ТХ "Яковлевский" www.yatex.ru.
5. Российский рынок текстиля // Лица бизнеса. – 2005, №9/1.
6. *Громов С.М.* Интеграционные процессы в

льнопроизводственном комплексе Вологодской области // Мат. Междунар научн.-практ. конф.: Вступление России в ВТО. Повышение экономической эффективности льноперерабатывающего комплекса. – Вологда, 2006. С.7.

7. *Преображенская Т.* Текстиль с высоты "федерального полета" // Мануфактура. – 2005, 20.04. С.3.

8. *Фрадина Т., Смирнова М.* Направления организованного совершенствования предприятий текстильной и легкой промышленности // Директор. – 2004, №3. С.22...23.

9. Корпоративная логистика / Под ред. В.И.Сергеева. – М.: Инфра-М, 2004.

Рекомендована кафедрой организации производства и логистики. Поступила 25.12.06

УДК 316.354

## УПРАВЛЕНИЕ ВНУТРЕННИМ СОЦИАЛЬНЫМ ПОТОКОМ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ПРИНЦИПЫ

*С.М.СТЕПАНОВА*

(Ивановская государственная текстильная академия)

Эффективная деятельность предприятия не может осуществляться без систематического определения уровня использования имеющихся возможностей. Для подробного изучения и выявления потенциальных возможностей производственной системы ее микросреда может рассматриваться с позиций имеющихся ресурсов (производственных, технических и технологических, кадровых, маркетинговых и т.д.) [1]. Вследствие этого анализ внутренней среды организации, направленный на оценку имеющегося потенциала, с точки зрения его сильных и слабых сторон, касается практически всех ее ресурсов. Обращая внимание на область ис-

следования экономики труда, наиболее важным ресурсом являются изменяющиеся по количеству и качеству человеческие ресурсы хозяйствующего субъекта, обеспечивающие заданную эффективность экономической деятельности, то есть внутренний социальный поток организации [2], требующий постоянного целенаправленного изменения (управления), необходимого для координации всех имеющихся ресурсов.

Управление социальным потоком (СП), как составляющей ресурсного обеспечения предприятия, будет реализовываться по следующим этапам: планирование, учет,

анализ и регулирование. Планирование предназначено для формулирования целей всей организации (уровни первого ранга) и отдельных его структурных подразделений (уровни второго ранга). Учет – для получения объективной информации о реальном СП, на каждой его стадии в определенный временной срез. Анализ – для выявления причин отклонения реального СП от заданных величин. Регулирование – для формирования альтернативных вариантов улучшения состояния СП или приведения уровня реального СП к потенциальному (идеальному).

В зависимости от целей организации приоритетность функций управления социальным потоком может меняться.

В зависимости от "поля управления" социального потока<sup>1</sup> [3] все "уровни" управления социального потока можно рассматривать как уровни различных рангов.

К первому рангу будем относить управление организацией в целом с учетом влияния внешнего окружения. Управление в этом случае следует рассматривать, прежде всего, как явление общественного порядка, обеспечивающее целенаправленное руководство деятельностью людей, а в хозяйственно-экономической деятельности – руководство процессами воспроизводства трудовых ресурсов.

Уровни второго ранга могут выступать в виде управления отдельных производств, цехов, участков и т.п. Управление в этом

случае будет направлено на обеспечение наилучшего функционирования процесса производства продукции.

Уровнями третьего ранга является управление индивидуумами.

Как известно, человек представляет собой исключительно сложный объект управления. Эти уровни управления будем относить к третьему рангу только потому, что они входят как первичные звенья в уровни управления более высокого ранга.

При образовании уровней управления более высокого ранга появляются новые закономерности, отражающие сущность уровней нового ранга, их цели, критерии, задачи и функции. Закономерности, которые были присущи уровням управления более низкого ранга, продолжают функционировать в каждой составной части нового уровня, но доминирующее значение приобретают новые закономерности, отражающие связи вновь образованного уровня управления.

Например, в производственных уровнях управления второго ранга управление должно обеспечиваться слаженным функционированием совместного труда множества людей. В таких уровнях биологические и физические закономерности субъектов социального потока учитываются в виде ограничений, определяющих допустимые физиологические и физические нагрузки и пропускную способность каждого субъекта.

---

Поле управления – пространство, испытывающее на себе управленческие воздействия в каждый конкретный момент времени. Поле управления участников управленческой деятельности в социальном потоке определяется организационной структурой управления.



Рис. 1

Технологический процесс управления социальным потоком проходит определенные этапы (рис.1).

На первом этапе начинается процесс сбора информации о внешнем окружении.

На втором этапе идет сбор информации о состоянии организации, где будет анализироваться СП. Изучаются системы управления первого, второго и третьего рангов, определяются показатели оценки эффективности реального социального потока. Полученные данные позволят применять на следующем этапе математические методы для переработки информации и проектирования "потенциального" социального потока.

Третий этап характеризуется переработкой и преобразованием информации с помощью технических средств.

Принятие решений о потенциальном социальном потоке, необходимом для достижения целей организации, осуществляется на четвертом этапе. Здесь используется переработанная и преобразованная информация, характеризующая как внешнюю, так и внутреннюю среду организации.

На основании принятых решений на пятом этапе выдаются управляющие воздействия и команды, с помощью которых будет осуществляться формирование потенциального социального потока или корректировка реального.

Шестой этап характерен тем, что здесь реализуются принятые решения, выражающиеся в конкретных действиях (работе). Идет процесс преобразования реального социального потока в потенциальный (требуемый).

Изменение первоначального состояния социального потока под воздействием информационных процессов происходит на седьмом этапе. Такое изменение происходит под влиянием информации, меняющейся в результате ее переработки.

Восьмой, заключительный, этап последовательности процесса управления социальным потоком характерен получением окончательной информации о произошедших изменениях в социальном потоке в результате принятых и реализованных решений и подается на выход.

На выходе полученная информация анализируется, выявляются отклонения от заранее запланированных действий при формировании потенциального социального потока, и в случае отклонений от проектных показателей принимается решение о необходимых изменениях в управлении социальным потоком.

В силу особенностей социального потока управление им требует учета следующих его принципов:

- саморегулирование;
- иоморфизм;
- обратная связь;
- иерархичность управления;
- деление целого на составляющие;
- динамическая локализация.

Социальный поток отличается способностью к саморегулированию. Н. Винер показал, что принципы действия саморегулирования в живых организмах и технических устройствах одни и те же. В структуре и функциях управления имеется наличие изоморфизма. Социальный поток – как сложный динамический процесс не отличается от организмов живой природы, которые рассматриваются с точки зрения управления и связей. На изоморфизме основываются методы статистических испытаний с помощью программных средств, тем самым появляется возможность моделирования и проектирования социального потока как сложного динамического процесса.

Наличие обратной связи, сигнализирующей о достигнутых результатах – необходимое условие эффективного функционирования социального потока. На ос-

новании информации, полученной о результатах функционирования социального потока, идет процесс корректировки управляющего воздействия.

Под иерархичностью управления понимается многоступенчатое управление, характерное как для живых организмов, так и для организации. СП отличает иерархичность управления, поэтому нижние уровни управления отличаются большой скоростью реакции и быстротой переработки поступающих сигналов. Чем менее разнообразны сигналы, тем быстрее реакция – ответ на воздействие. По мере повышения уровня иерархии действия становятся более медленными, но отличаются большим разнообразием.

На верхнем уровне иерархии управления производственной организации находится административно-управленческий аппарат организации (ген.директор, технический директор, директор по экономике и финансам и др.), выдающие управленческие решения и команды на средний уровень иерархии управления – уровень производств, цехов, отделов. После определенной переработки управленческой информации на среднем уровне информация поступает на нижний уровень иерархии управления – участки. Результаты переработки информации на нижнем уровне по каналам обратной связи передаются на верхний уровень управления. В случае отклонения параметров социального потока от проектной величины с помощью действий на верхнем уровне иерархии управления осуществляется регулирование социального потока.

В социальном потоке благодаря наличию связей между элементами реализуется принцип динамического размещения, то есть локализация информации, при которой сообщения передаются во временной последовательности по каналам связи. Следовательно, одним из свойств социального потока, как динамического процесса, является организация структуры памяти в виде временной последовательности. Тем не менее, это не исключает статического размещения информации в элементах потока в течение определенного времени.

Однако последовательная во времени пересылка сообщений между элементами является главной предпосылкой организации функционирования такого множества элементов, как социальный поток.

Управление социальным потоком предназначено для сохранения основного качественного содержания потока, то есть совокупности таких его свойств, утеря которых влечет за собой сбой в работе организации в процессе взаимодействия с внешней средой.

1. Управление человеческими ресурсами: менеджмент и консультирование / Под ред. Щербина В.В. – М., 2004.

2. Степанова С.М. // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1.

3. Степанова С.М. Социальный поток как объект исследования / Сб. научн. тр.: Генезис экономических и социальных проблем субъектов рыночного хозяйства в России. – Вып. 5. – Иваново, 2006.

Рекомендована кафедрой менеджмента. Поступила 25.12.06.

УДК 338.14

## АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ЕГО РИСКОВОГО ПРОФИЛЯ

*Н.Н. МАСЮК, Е.В. ЧЕБЫКИНА*

(Ивановская государственная текстильная академия)

Анализ исследований, посвященных практике внедрения риск-менеджмента в систему управления российских компаний, показывает, что выявление рисков на этих предприятиях происходило путем анализа бизнес-процессов. Но практиками не указываются конкретные инструменты идентификации рисков. Некоторые авторы утверждают, что наиболее точно идентифицировать риски, связанные с теми или иными бизнес-процессами, можно путем анализа накопленной компанией информации о негативных событиях (ошибки в отчетности, кражи, порча товарно-материальных ценностей и т. д.), периодичности их возникновения и размере причиненного ущерба. Однако подобные ситуации могут существовать лишь в компаниях, внедривших систему менеджмента качества.

Первый и самый важный этап в процессе построения рискового профиля – идентификация рисков. Целью идентификации рисков является выявление потенциальных угроз как самому субъекту, так и его всевозможным ресурсам, выявление факторов рисков. Результатом этапа идентификации рисков предприятия является классификация рисков.

Анализ классификаций рисков, описанных в литературе, а также проведенный мониторинг рисков текстильных предприятий Ивановской области позволил предложить авторский вариант классификации рисков текстильных предприятий, представленный на рис. 1.



Рис. 1

Все риски текстильных предприятий разбиты на 12 групп: политические, производственные, технические, операционные, управленческие, финансовые, рыночные, маркетинговые, конкурентные, имущественные, риски ответственности, социальные риски.

В табл. 1 приведена полная классификация рисков текстильных предприятий.

№ риска	Наименование риска
1	Риск расторжения контракта из-за действий властей страны компании-контрагента
2	Риск нарушения контрактов со стороны Правительства РФ
3	Риск кардинальной корректировки правил ведения внешнеэкономической деятельности в РФ
4	Риск изменения налогового, таможенного законодательства РФ
5	Риск принятия административных мер, принимаемых региональной властью
6	Риск снижения объема производства из-за снижения производительности труда, простоев оборудования, отсутствия сырья
7	Риск увеличения издержек производства
8	Риск нарушения условий контракта контрагентами
9	Риск перебоя энергоснабжения и поставок топлива
10	Риск неподготовленности инструментального хозяйства для смены производимого продукта
11	Риск отсутствия на рынке труда достаточного количества квалифицированной рабочей силы
12	Риск поломки основного оборудования
13	Риск останова оборудования или прерывания технологического цикла предприятия по вине неосновных подразделений
14	Риск аварии вспомогательного производственного оборудования (вентиляционных устройств, водо- и пароснабжения, и др.; не вызывающие останова основного оборудования)
15	Риск удлинения сроков ремонта оборудования по сравнению с нормативными
16	Риск потерь из-за использования новых технологий
17	Риск выпуска некачественной (бракованной) продукции
18	Риск нарушения персоналом технологической дисциплины
19	Риск потерь, связанных с нанесением ущерба контрагенту в результате нарушения договорных обязательств (например, дисциплины поставок по срокам, качеству готовой продукции и др.)
20	Риск неполадок в системе обработки информации и утечка конфиденциальной информации
21	Риск недостаточной патентной защищенности продукции предприятия и технологии ее изготовления
22	Риск нарушения налогового законодательства, порядка и процедур, установленных регулирующими органами, влекущие потери (штрафы, т.д.)
23	Риск неадекватной формулировки собственных стратегических целей предприятия
24	Риск ошибочного прогноза развития внешней хозяйственной среды
25	Риск недостаточного качества управления или "управленческой команды"
26	Риск выбытия ключевых сотрудников предприятия (увольнение, болезнь, смерть)
27	Риск оттока квалифицированной рабочей силы
28	Риск обесценивания получаемых денежных доходов в результате инфляции
29	Риск изменения курсов валют
30	Риск получения убытка от нехватки денежных средств в определенный момент
31	Риск неспособности выполнить свои обязательства по расчетам
32	Риск непрофессионального управления денежными потоками, дебиторской и кредиторской задолженностью
33	Риск неуплаты покупателя за полученный товар
34	Риск неуплаты эмитента по облигациям, векселям
35	Риск потери средств или снижения планируемой доходности по вложенным средствам в новый проект
36	Риск снижения доходности по вложенным средствам в финансовые инструменты (ценным бумагам, т.д.)
37	Риск колебания цен на сырье
38	Риск колебания цен на вспомогательные материалы и запасные части
39	Риск колебания цен на обработку и отделку
40	Риск колебания цен на готовую продукцию (изменение конъюнктуры рынка)
41	Риск отказа покупателей от обязательства по покупке товара
42	Риск не востребоваемости продукции (изменение потребительских предпочтений, усиление конкурентной борьбы, неплатежеспособность потребителей)
43	Риск ошибочной оценки перспективного рыночного потенциала основных продуктов предприятия
44	Риск неверной оценки конкурентоспособного уровня цен на продукцию в традиционных сегментах рынка

45	Риск появления у конкурентов новой технологии производства с меньшими издержками
46	Риск появления нового производителя товара в секторе традиционной продукции предприятия
47	Риск освоения конкурентами производства замещающего товара
48	Риск ускоренного копирования конкурентами инноваций предприятия за счет использования промышленного шпионажа (например, копирование рисунка)
49	Риск подверженности недружественному поглощению
50	Риск потери имущества в результате краж, халатности, т.п.
51	Риск потери имущества в результате пожара
52	Риск потери имущества в результате производственной аварии
53	Риск потери или ухудшение качества сырья, готовой продукции в результате неправильного режима хранения на складах
54	Риск потери или ухудшение качества товара при транспортировке
55	Риск нанесения ущерба транспортному средству
56	Риск наступления ответственности за вред, причиненный жизни и здоровью работников в результате несчастного случая на производстве
57	Риск наступления ответственности за вред, причиненный имуществу третьих лиц (например, находящемуся в аренде, лизинге)
58	Риск наступления ответственности за вред, причиненный окружающей среде
59	Риск потерь, связанных с наличием производственных и социальных конфликтов
60	Риск потерь, связанных с безопасностью труда, ростом количества несчастных случаев
61	Риск потерь, связанных с неэффективной организацией социальной инфраструктуры

Рассмотрим более подробно риски, входящие в каждую группу.

Политические риски – это возможность убытков или сокращения размеров прибыли предприятия вследствие государственной политики стран, являющихся производителями, экспортёрами или импортёрами сырья (в основном хлопка). Данный риск является важным для текстильной отрасли, так как она является импортозависимой в отношении, прежде всего, сырья, красителей, других материалов. Например, ценовая политика продавцов хлопка зависит от объемов импорта в Китай, то есть политики Правительства Китая в отношении выделения импортных квот. К политическим рискам отнесены риски потерь в результате изменения таможенного, налогового законодательства, правил ведения внешнеэкономической деятельности. Например, недавнее непредсказуемое обострение отношений с Республикой Беларусь привело к невозможности закупки лавсана, производимого на Могилевской фабрике, одним из текстильных холдингов нашего региона. Учет данного вида риска особенно важен в нашей стране с ее несовершенным законодательством, отсутствием традиций и культуры предпринимательства. К политическим отнесен и региональный риск, связанный с особенностями региональной по-

литики, проводимой региональными властями.

Производственные риски — это риски, связанные с производственным процессом. Это риски, связанные со снижением объема производства из-за снижения производительности труда, простоев оборудования вследствие задержки поставок материалов, сырья или комплектующих поставщиками и партнерами, недостатка оснастки при смене ассортимента. Как показал анализ, серьезным для текстильных предприятий является риск увеличения издержек производства. Высок и риск невыполнения поставщиками обязательств по поставкам хлопка, так как их подводит грузоперевозчик. Очень серьезным риском текстильных предприятий является отсутствие на рынке труда достаточного количества квалифицированной рабочей силы.

Технические риски – риски, связанные с физическим и моральным износом оборудования. Это важный риск для текстильной промышленности, так как исследования показывают, что на текстильных предприятиях в основном используется физически и технически устаревшее оборудование. Именно поэтому данный вид рисков выделен в отдельную группу. В связи с этим появляется вероятность потерь, связанных с поломкой основного и

вспомогательного производственного оборудования, удлинения сроков ремонта. Но есть предприятия, целенаправленно занимающиеся обновлением производственного оборудования, что приводит к вероятности потерь из-за использования новых технологий.

Операционные риски – потери компании, вызванные ошибками или непрофессиональными (противоправными) действиями персонала компании, а также сбоями в работе оборудования. В данную группу авторы включили риски, связанные с выпуском некачественной продукции, нарушением персоналом технологической дисциплины, возможные потери, связанные с нанесением ущерба контрагенту в результате нарушения договорных обязательств, с неполадками в системе обработки информации, с утечкой конфиденциальной информации, потери в результате нарушения законодательства, порядка и процедур, установленных регулируемыми органами.

Управленческие риски – риски, связанные с управлением предприятием: ошибочные постановки целей и определение потенциала предприятия, неверный прогноз развития внешней хозяйственной среды. Эти риски зависят от профессионализма управленческого персонала, интеллектуальной базы предприятия и включают риски, связанные с пребыванием специалиста на своей должности (в том числе риск выбытия ключевых специалистов предприятия), с оттоком квалифицированной рабочей силы (так как отток рабочей силы является показателем деятельности по управлению кадрами).

Финансовые риски – риски, связанные с вероятностью потерь финансовых ресурсов, бывают двух видов: а) связанные с покупательной способностью денег и б) связанные с вложением капитала (инвестиционные).

Рыночные риски – риски, связанные с колебанием цен на сырье, вспомогательные материалы, обработку и отделку. В группу рыночных рисков авторы включили риск отказа покупателей от обязательства по покупке товара и невостребован-

ности продукции вследствие изменения потребительских предпочтений, усиления конкурентной борьбы и неплатежеспособности потребителей. Неслучайно эти риски выделены в отдельную группу – они крайне актуальны для текстильной отрасли.

Маркетинговые риски – риски ошибочного выбора целевого сегмента рынков сбыта продукции, неверной оценки конкурентоспособного уровня цен на продукцию. Фактором, сдерживающим развитие текстильной отрасли, является неучтенный импорт готовой продукции текстильной промышленности, продающейся по демпинговым ценам. В этой ситуации повышается роль разработки маркетинговой стратегии, так как очень велик риск выпуска продукции, неконкурентоспособной по цене.

Конкурентные риски – риски, связанные с появлением у конкурентов новой технологии производства с меньшими издержками, с появлением нового производителя товара в секторе традиционной продукции предприятия (текстильщики связывают этот риск прежде всего с импортом готовой продукции). В группу этих рисков включен риск ускоренного копирования конкурентами инноваций предприятия. Очень актуальный риск для предприятий – появление аналогов, копирование рисунка ткани.

Имущественные риски – риски, связанные с вероятностью потерь имущества вследствие пожара, подтопления, производственных аварий, кражи, диверсии, халатности, неправильного режима хранения, природных катаклизмов. Особенно актуален для текстильных предприятий риск потери имущества в результате пожара, так как сырье – хлопок относится к легко воспламеняемым материалам. В эту группу рисков включены транспортные риски, связанные с перевозкой грузов любым транспортом. Они бывают двух видов: карго – нанесение ущерба грузу, каско – нанесение ущерба транспортному средству.

Риски ответственности связаны с ответственностью предприятия за нанесение вреда третьим лицам, окружающей среде или персоналу, работающему на предприятии.

Социальные риски – это опасность потерь, связанных с наличием производственных и социальных конфликтов, неэффективной организацией социальной инфраструктуры, недостатками в обеспечении безопасности жизнедеятельности.

Для построения рискового профиля была разработана анкета, предлагающая оценить факторы риска предприятия посредством двух показателей: вероятности реализации и серьезности последствий реализации фактора риска. В анкете риски систематизированы в зависимости от факторов рисков в соответствии с представленной выше классификацией. Вероятность наступления рискового события оценивалась балльной системой от 0 до 1, серьезность последствий также оценивалась баллами от 0 до 10. Каждому баллу соответствовала своя качественная оценка.

На основе этой анкеты руководитель предприятия получает возможность оценить собственные риски путем сопоставления мнений топ-менеджеров, выявить среди них наиболее приоритетные, управление которыми можно было бы совер-

шенствовать в будущем благодаря более точному их количественному определению.

Анкета также позволяет оценить применяемые на предприятиях меры по предотвращению или минимизации рисков.

Анализ рисков, проведенный в группе текстильных предприятий "Текстильная компания "Русский дом" (г. Иваново), позволил сформировать рисковый профиль этого предприятия.

Проведенный анализ показывает, что наиболее важными, с точки зрения количественных характеристик, являются риски под номерами 7, 11, 12, 23, 24, 27, 37, 40, 42, 43, 51. Риски под номерами 7, 11, 12, 27, 37, 40, 42 имеют серьезные последствия и высокую вероятность наступления, а под номерами 23, 24, 43, 51 возникают редко, но несут катастрофические последствия.

Анализ методов управления наиболее важными рисками с точки зрения вероятности и последствий наступления рисковых событий на исследуемом предприятии, позволил построить матрицу рисков (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

№ риска	Наименование риска	Методы управления риском						
		диверсификация	превентивные меры	лимитирование	самострахование	нестраховой перенос риска	страхование	прочее
7	Риск увеличения издержек производства		+	+				
11	Риск отсутствия на рынке труда достаточного количества квалифицированной рабочей силы		+					
12	Риск потерь из-за поломок основного оборудования		+					
23	Риск неадекватной формулировки собственных стратегических целей предприятия	+	+					
24	Риск ошибочного прогноза внешней среды	+	+					
27	Риск оттока квалифицированной рабочей силы		+					
37	Риск колебания цен на сырье	+			+	+		
40	Риск колебания цен на готовую продукцию (изменение конъюнктуры рынка)	+						
42	Риск невостребованности продукции (в результате изменений потребительских предпочтений, усиления конкурентной борьбы, неплатежеспособности потребителей)	+	+					
43	Риск ошибочного выбора целевого сегмента рынков сбыта готовой продукции	+						
51	Риск потери имущества в результате пожара.	+					+	

Апробация разработанной классификации рисков на других текстильных предприятиях Ивановской области подтвердила ее практическую целесообразность и значимость.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование особенностей наступления рисков событий на текстильных предприятиях позволило разработать авторский вариант классификации рисков с учетом специфики текстильной отрасли.

2. Мониторинг рисков ситуаций на текстильном предприятии позволяет по-

строить рисковый профиль предприятия, включающий наиболее характерные для данного предприятия риски и методы их предотвращения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Качалов Р.М. Управление хозяйственным риском. – М.: Наука, 2002.

2. Бартон Т., Шенкир У., Уокер П. Комплексный подход к риск-менеджменту: стоит ли этим заниматься. – М.: Вильямс, 2003.

Рекомендована кафедрой финансов. Поступила 25.12.06

УДК 657.471.7:677.026.4

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ВЕРХНИХ ПРЕДЕЛОВ ЗАТРАТ НА ПРИОБРЕТЕНИЕ И УСТАНОВКУ НОВОЙ ТЕХНИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.И.ИЛЬИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

Анализ состояния текстильной промышленности показал, что без технического перевооружения отрасль не сможет стать конкурентоспособной. Однако в современных условиях хозяйствования инвесторы часто не рискуют вкладывать деньги в техническое перевооружение предприятий. Существующие методики определения экономической эффективности новой техники и поиска верхних уровней ее цены на интересующие инвесторов вопросы ответа не дают, так как не учитывают специфической особенности конкретных производств.

Техническое перевооружение производства нетканых материалов ориентировано на приобретение импортной техники, как правило, превосходящей имеющееся на отечественных предприятиях оборудование не только по скоростным параметрам, но и отличающееся заправочной шириной. Специфической особенностью производства нетканых материалов является

неполное использование заправочной ширины оборудования при выработке большинства артикулов.

На кафедре менеджмента и организации производства МГТУ им. А.Н.Косыгина разработан методический подход к оценке эффективности новой техники, базирующийся не только на оценке изменяющихся параметров полезности, но и на оценке изменения заправочной ширины оборудования и степени ее использования.

Предложен алгоритм поиска верхних пределов затрат на техническое перевооружение по оценочному критерию "стоимость обработки 1000 м<sup>2</sup> полотна на нетканом переходе на базовом уровне" (формула (14)), учитывающий специфику производства нетканых материалов, в том числе изменение заправочной ширины оборудования и степень ее использования.

Алгоритм расчета верхних пределов затрат на приобретение и установку единицы оборудования включает следующие этапы.

1). Расчет теоретической производительности оборудования по базовому варианту  $A_6$ , м/ч:

– для чесально-вязального оборудования

$$A_6 = \frac{50 \cdot 60 n_6}{1000 P_6}, \quad (1)$$

где  $P_6$  – число петель на 50 мм в продольном направлении;  $n_6$  – частота вращения главного вала до технического перевооружения (базовая),  $\text{мин}^{-1}$ ;

– для нитепрошивного оборудования

$$A_6 = \frac{60 n_6 \ell}{1000}, \quad (2)$$

где  $\ell$  – длина стежка, мм;

– для иглопробивного оборудования

$$A_6 = \frac{60 n_6 f}{1000}, \quad (3)$$

где  $f$  – величина подачи холста, мм.

2). Расчет основного машинного времени наработки 100 м полотна по базовому варианту  $t_{M6}$ , мин:

$$t_{M6} = \frac{60 \cdot 100}{A_6}. \quad (4)$$

3) Расчет коэффициента  $Ka_6$  по базовому варианту:

$$Ka_6 = \frac{t_{M6}}{t_{M6} + t_{вн6}}, \quad (5)$$

где  $t_{вн6}$  – неперекрываемое вспомогательное время на 100 м полотна по базовому варианту, мин.

4). Расчет коэффициента  $Kб_6$  по базовому варианту:

$$Kб_6 = \frac{T_{см6} - (T_{об6} + T_{лн})}{T_{см6}}, \quad (6)$$

где  $T_{см6}$  – продолжительность смены, мин;  $T_{об6}$  – неперекрываемое время обслуживания рабочего места за смену по базовому варианту, мин;  $T_{лн}$  – время на личные надобности и отдых за смену, мин.

5). Расчет коэффициента, учитывающего простои из-за совпадений  $Kc_6$  по базовому варианту:

$$Kc_6 = \frac{t_{M6}}{t_{M6} + t_{вн6} (No_6 - 1)(1 - Ka_6)}, \quad (7)$$

где  $No_6$  – норма обслуживания оператора по базовому варианту, количество единиц оборудования.

6). Расчет коэффициента полезного времени по базовому варианту  $Kпв_6$ :

$$Kпв_6 = Ka_6 Kб_6 Kc_6. \quad (8)$$

7) Расчет нормы производительности оборудования по базовому варианту  $Нм_6$ :

$$Нм_6 = A_6 Kпв_6, \quad (9)$$

где  $Нм_6$  – норма производительности оборудования, м/ч.

Аналогично проводятся расчеты теоретической производительности  $A_n$ , основного машинного времени  $t_{Mn}$ , коэффициентов  $Ka_n$ ,  $Kб_n$ ,  $Kc_n$ ,  $Kпв_n$  и нормы производительности оборудования  $Нм_n$  по новому варианту.

8). Расчет коэффициента  $K_n$ , учитывающего соотношение производительности новой и старой техники:

$$K_n = \frac{Нм_n}{Нм_6}. \quad (10)$$

9). Расчет коэффициента  $K_{ш}$ , учитывающего соотношение заправочной ширины полотна:

$$K_{ш} = \frac{Ш_n}{Ш_6}, \quad (11)$$

где  $\Pi_n$  – ширина полотна в заправке по новому варианту, м;  $\Pi_6$  – ширина полотна в заправке по базовому варианту, м.

$$Z_6 = \frac{Z_0 \frac{100+b}{100}}{176No_6} + \frac{Z_{пм} \frac{100+b}{100}}{176No_{пм6}} + \frac{Z_{уб} \frac{100+b}{100 \cdot Nч_{уб}}}{176No_{уб6}}, \quad (12)$$

где  $Z_0$  – среднемесячная заработная плата оператора, руб.;  $Z_{пм}$  – среднемесячная заработная плата помощника мастера, руб.;  $No_6$  – норма обслуживания оператора в базовом варианте;  $No_{пм6}$  – норма обслуживания помощника мастера в базовом варианте;  $No_{уб6}$  – норма обслуживания бригады узловязальщиц в базовом варианте, ед. оборудования;  $Nч_{уб}$  – норма численности узловязальщиц в бригаде в базовом варианте, чел.;  $b$  – норматив отчислений на социальные нужды, %.

11) Расчет часовых затрат  $\mathcal{E}_6$  на двигательную энергию в пересчете на единицу оборудования в базовом варианте, руб.:

$$\mathcal{E}_6 = \frac{(N\mathcal{E}_6 K_{пв6} K_{рo6} \mathcal{C}\mathcal{E})}{K_{п.э}}, \quad (13)$$

где  $\Phi_6$  – затраты на приобретение и установку старой техники, руб.;  $T$  – режимный фонд времени, ч;  $N_{ан}$  – норма амортизации, %;  $N_{рн}$  – норма, учитывающая затраты на ремонт и техническое обслуживание оборудования, %.

Предложенные нами формулы апробированы на предприятиях отрасли.

Таким образом, разработанная формула позволит специалистам предприятий, а

10) Расчет среднечасовой заработной платы производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды в пересчете на единицу оборудования в базовом варианте  $Z_6$ , руб.:

где  $N\mathcal{E}_6$  – мощность электродвигателя по базовому варианту, кВт;  $K_{пв6}$  – коэффициент полезного времени по базовому варианту;  $K_{рo6}$  – коэффициент работающего оборудования по базовому варианту;  $\mathcal{C}\mathcal{E}$  – цена одного кВт/ч электроэнергии, руб.;  $K_{п.э}$  – коэффициент, учитывающий потери в сети, трансформаторе,  $\cos \varphi$  и т.д.

Аналогично проводятся расчеты среднечасовой заработной платы производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды в пересчете на единицу оборудования  $Z_n$  и часовых затрат на двигательную энергию в пересчете на единицу оборудования  $\mathcal{E}_n$  по новому варианту.

12). Расчет  $\Phi_n$  верхних пределов затрат на приобретение и установку новой техники по критерию: "стоимость обработки 1000 м<sup>2</sup> полотна на нетканом переходе на базовом уровне":

$$\Phi_n = K_n K_{ш} \Phi_6 + \frac{[K_n K_{ш} (Z_6 + \mathcal{E}_6) - (Z_n + \mathcal{E}_n)] T}{\frac{N_{ан} + N_{рн}}{100}}, \quad (14)$$

также реальным и потенциальным инвесторам оперативно определять верхние пределы затрат на приобретение и установку новой техники при техническом перевооружении.

Рекомендована кафедрой менеджмента и организации производства. Поступила 25.12.06.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКАЗАМИ НА ТЕКСТИЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*Е.В. ФАДЕЕВА, О.С. ОЛЕНЕВА*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Успех предприятия в современных условиях возрастающей конкуренции зависит от гибкого реагирования производителей на изменение потребностей рынка. В настоящее время в связи с высокой конкуренцией на рынке текстильным предприятиям трудно поддерживать долгосрочные связи с контрагентами. Как правило, в сложившихся условиях договоры заключаются максимум на 1 год. В связи с этим на первый план выступает необходимость определения потребностей потребителей и ориентация производства на них, то есть производство "под заказ".

В текстильной промышленности запросы клиентов можно сгруппировать по следующим направлениям.

1. Ассортимент. Заказчик предъявляет спрос на артикулы тканей, отвечающие его потребностям. Он может выбирать артикулы из предложенного списка (например, из прайс-листа), а также заявить о желаемых технических характеристиках ткани. Заявленным требованиям к техническим характеристикам ткани может соответствовать производимая когда-либо предприятием продукция, следовательно, имеются запрошенные параметры ткани, либо возникнет необходимость разработки новой ткани (под требования клиента). Разработка и производство новой ткани достаточно длительный и трудоемкий процесс – фабрика должна обладать соответствующими трудовыми ресурсами, техническими и технологическими возможностями, временным интервалом.

2. Качество. Заказчик предъявляет определенные требования к качеству поставляемых тканей. Безусловно, готовые ткани по своему качеству должны соответствовать стандартам (ГОСТу) или техническим условиям, указанным в паспорте и (или) сертификате соответствия, но, прежде всего, должны отвечать требованиям клиента.

3. Количество. Заказчик требует выработать и поставить ткань в необходимом для него количестве.

4. Время. Клиент оговаривает сроки поставки тканей.

5. Цена. Стоимость заказа будет зависеть от его ассортимента, объема, срочности выполнения, условий оплаты и доставки.

Как известно, заявки, поступающие на текстильное предприятие, можно условно объединить в две основные группы: во-первых, на производство и поставку ткани из ассортимента фабрики (из всей совокупности артикулов тканей, когда-либо разработанных и выпускавшихся на предприятии); во-вторых, на разработку новой ткани.

Очевидно, что управление заказами можно представить как совокупность частных процессов.

1. Формирование договоров на поставку: определение потенциальных потребителей; определение приемлемых для обеих сторон условий поставки; заключение договоров.

2. Определение потребностей: сбор, обработка и обобщение заявок клиентов; анализ продаж за прошлые периоды; прогноз продаж в следующем периоде; составление заявок в производственную программу.

3. Контроль хода исполнения заказов и договоров: оформление заказа; составление графика выполнения заказов и отгрузок; экспедирование; принятие экстренных мер.

Многие предприятия в настоящее время испытывают затруднения при принятии решения о выполнении или отклонении заказа на поставку готовой ткани. Предприятию трудно оценить те положительные перспективы, которые оно может получить, принимая или отклоняя конкрет-

ный заказ. Для оценки существующих возможностей предприятия по выполнению того или иного заказа необходимо обладать штатом высококвалифицированных специалистов, которые могут объективно и разносторонне оценить ситуацию, либо иметь большие объемы накопленной статистической информации, на основании которой можно принять решение. Кроме того, принятие управленческих решений в этой сфере требует длительного времени, которым не всегда располагают заказчики и производители. Причины отказа заказчику могут быть как объективными, так и субъективными.

Например, на текстильной фабрике в отдел сбыта поступила заявка от потребителя на производство и поставку готовой ткани. Потребитель предъявил определенные требования к продукции и выполнению заказа, обозначив технические, качественные и ценовые характеристики готовой ткани, условия и сроки поставки и оплаты. Основная цель коммерческого предприятия – получение прибыли, ее максимизация за счет наиболее полного удовлетворения потребителей. Однако при принятии заказа к производству может выясниться, что до нужного срока предприятие не справится, либо вообще не может выполнить заказ на производство подобной продукции в связи с отсутствием соответствующей техники (в связи с большой загрузкой, напряженностью производственного задания, нехваткой оборудования, рабочих и т.д.). Возникает необходимость оценить возможности производства.

Мы выделяем факторы, влияющие на принятие управленческого решения в данной области. Это, во-первых, объективные факторы, не зависящие от менеджера (принимающего решение). Представление о них дает собираемая информация о состоянии системы снабжение – производство – сбыт и внешних факторах, воздействующих на нее.

Высокая динамичность и неопределенность внешней среды затрудняет принятие решений. В нашем случае можно пренебречь объективными внешними факторами, так как требуется оценить внутренние воз-

можности предприятия. Однако остается степень неизвестности относительно будущих заказов, их направления: ассортимента, объемов, временных, качественных и стоимостных ограничениях.

Внутреннее состояние системы определяется состоянием каждого из ее элементов и оптимальностью связей между ними. Применительно к оценке возможности реализации заказа потребителя на производстве в качестве элементов могут быть рассмотрены орудия труда (машины, механизмы), то есть техника, предметы труда (сырье, материалы), а также люди (труд). Фактором, определяющим характер взаимодействия этих трех элементов в процессе производства продукции, является технология.

Еще одним немаловажным объективным внутренним фактором оценки выполнимости заказа является наличие информации. Накопленная статистическая и информационно-справочная информация позволяет своевременно, оперативно и правильно проанализировать ситуацию.

К субъективным факторам относятся такие качества менеджера, принимающего решение, как аналитические способности, способность оценить ситуацию и решиться на разумный риск, наличие логического мышления, полученное образование, накопленный опыт и т.п.

Проанализировав все факторы и степень их влияния на принятие решения о принятии или отклонении того или иного заказа, можно выделить основные этапы принятия решения в этой области.

На первом этапе требуется оценить портфель продукции фабрики.

Второй этап предполагает анализ внутренних ресурсов.

На третьем этапе необходимо проанализировать ассортимент фактического производства.

Четвертый этап заключается в анализе плана производства и реализации на следующий период.

Выполнив все четыре этапа, менеджер принимает требуемое управленческое решение.

По данным этапам нами предложен алгоритм принятия решения о заказе на производство и поставку готовых тканей. Для оценки возможного варианта решения предлагается проводить следующие расчеты:

1. Количество заказанной готовой ткани  $i$ -го артикула на данный момент времени ( $ГТ_i$ ):

$$ГТ_i = ГТ_i^{\text{склад}} - ГТ_i^{\text{рез}} - ГТ_i^{\text{заказ}}, \quad (1)$$

где  $ГТ_i^{\text{склад}}$  – количество готовой ткани  $i$ -го артикула на складе  $ГП$ ;  $ГТ_i^{\text{рез}}$  – зарезервированное количество готовой ткани  $i$ -го артикула;  $ГТ_i^{\text{заказ}}$  – заказанное количество готовой ткани  $i$ -го артикула.

2. Текущая потребность в суровье для производства  $i$ -го артикула готовой ткани ( $ГТ_i^{\text{ст}}$ ):

$$ГТ_i^{\text{ст}} = \frac{ГТ_i}{\eta_i}, \quad \text{м} \quad (2)$$

где  $\eta_i$  – коэффициент выхода потерь по длине ткани в отделке.

3. Количество суровой ткани, необходимой для производства заказанной готовой ткани  $i$ -го артикула, на данный момент времени ( $СТ_i$ ):

$$СТ_i = СТ_i^{\text{склад}} - СТ_i^{\text{рез}} - ГТ_i^{\text{ст}}, \quad (3)$$

где  $СТ_i^{\text{склад}}$  – количество суровья для производства  $i$ -го артикула ткани, имеющееся в наличии на складе;  $СТ_i^{\text{рез}}$  – количество суровья  $i$ -го артикула, поставленное в резерв.

4. Текущая потребность в отделочных материалах для производства  $i$ -го артикула готовой ткани ( $ТП_n^{\text{ом}}$ ):

$$ТП_n^{\text{ом}} = СТ_i R_{in}, \quad (4)$$

где  $R_{in}$  – расход  $n$ -го материала на 1 м суровой ткани  $i$ -го артикула.

5. Количество  $n$ -го отделочного материала, необходимого для производства заказанной готовой ткани  $i$ -го артикула, на данный момент времени ( $ОМ_n$ ):

$$ОМ_n = ОМ_n^{\text{склад}} - ОМ_n^{\text{рез}} - ТП_n^{\text{ом}}, \quad (5)$$

где  $ОМ_n^{\text{склад}}$  – количество  $n$ -го отделочного материала на складе;  $ОМ_n^{\text{рез}}$  – количество  $n$ -го отделочного материала, поставленного в резерв.

6. Текущая потребность в пряже  $j$ -го артикула (основной и уточной) ( $ТП_j^{\text{п}}$ ):

$$ТП_j^{\text{п}} = СТ_i^{\text{недост}} Q_{ij}, \quad (6)$$

где  $Q_{ij}$  – расход пряжи  $j$ -го артикула с учетом отходов на 1 м суровой ткани  $i$ -го артикула.

7. Количество пряжи  $j$ -го артикула (основной и уточной) на данный момент времени ( $П_j$ ):

$$П_j = П_j^{\text{склад}} - П_j^{\text{рез}} - ТП_j^{\text{п}}, \quad (7)$$

где  $П_j^{\text{склад}}$  – количество пряжи  $j$ -го артикула на складе;  $П_j^{\text{рез}}$  – количество пряжи  $j$ -го артикула, поставленное в резерв.

8. Текущая потребность в смеси для производства пряжи  $j$ -го артикула ( $ТП_j^{\text{см}}$ ):

$$ТП_j^{\text{см}} = \frac{П_j}{\delta_j}, \quad (8)$$

где  $\delta_j$  – норма выхода пряжи  $j$ -го артикула из соответствующей смеси.

9. Текущая потребность в сырье  $k$ -го вида для производства пряжи  $j$ -го артикула ( $ТП_k^{\text{с}}$ ):

$$ТП_k^{\text{с}} = П_j \omega_{kj}, \quad (9)$$

где  $\omega_{kj}$  – доленое содержание  $k$ -го компонента в смеси для производства пряжи  $j$ -го артикула.

Количество компонентов в смеси (шерсти различного вида, искусственных и синтетических волокон) может быть от 1 до 15 для каждого артикула пряжи.

10. Количество  $k$ -го компонента смеси на данный момент времени ( $С_k$ ):

$$C_k = C_k^{\text{склад}} - C_k^{\text{рез}} - \text{ТП}_k, \quad (10)$$

где  $C_k^{\text{склад}}$  – количество сырья k-го вида на складе сырья;  $C_k^{\text{рез}}$  – количество сырья k-го вида, поставленного в резерв.

Выполнив предложенные расчеты, менеджер отдела сбыта определит, можно ли выполнить заказ покупателя в требуемом объеме.

Таким образом, предприятие получает механизм, позволяющий ему быстрее адаптироваться к динамике запросов потребителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колобов А.А., Омельченко И.Н. Основы промышленной логистики: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
2. Бирман Л.А. Управленческие решения: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2004.
3. Линдерс Майкл Р., Фирон Харольд Е. Управление снабжением и запасами. Логистика / Пер. с англ. – СПб.: ООО "Виктория плюс", 2002.
4. Хэссиг К., Арнольд М. Информационная логистика и менеджмент потока работ // Теория и практика управления. – 1998, № 3. С.29...31.

Рекомендована кафедрой менеджмента и организации производства. Поступила 25.12.06.

УДК 677.499.017.2/7

**СТАРЕНИЕ СВЕРХПРОЧНЫХ ПАРААРАМИДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НИТЕЙ  
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*В.Е. РОМАНОВ, Н.П. ЛЕБЕДЕВА, К.Е. ПЕРЕПЕЛКИН, Е.В. БЫЗОВА, А.В. ВИНОГРАДОВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Для получения различных видов технического текстиля – тяжело нагруженных текстильных материалов и изделий, средств страховки, спасения и безопасности (страховочные пояса, канаты, тросы, ленты, гибкие лестницы и др.), изделий баллистической защиты, высокопрочных композитов, изделий резинотехники (тяжелые шины, приводные ремни, шланги высокого давления и др.) применяются параарамидные нити, обладающие сверхвысокими механическими характеристиками [1...5]: канаты и тросы на их основе применяются при выполнении глубоководных работ – подъеме затонувших судов или глубоководных аппаратов со сверхбольших глубин, а также в качестве грузонесущих жил в электрических и оптоволоконных кабелях.

При хранении и эксплуатации вышеперечисленных изделий они испытывают

воздействие воды, водных сред, микрофлоры, что может снизить эксплуатационную надежность и сократить сроки возможной эксплуатации. В литературе практически нет сведений о влиянии эксплуатационных воздействий на параарамидные нити и изделия на их основе. В связи с изложенным целью исследований являлось изучение длительного воздействия влаги и микроорганизмов на механические свойства параарамидных нитей.

В качестве объектов исследования были выбраны основные виды параарамидных нитей отечественного и зарубежного производства: русар (Россия) – на основе гетеролициклического параполиамида, кевлар (США) и тварон (Нидерланды) на основе полипарафенилентерефталамида. Характеристики названных нитей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Нити	Линейная плотность, текс	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Влажность при стандартных условиях, %
Русар	59	225	3,1	3...4
Кевлар 49	130	155	2,2	2...3
Тварон 2040	110	185	2,8	2...3

При изучении длительного воздействия влаги на изменение механических свойств параарамидных нитей образцы выдерживались в дистиллированной воде в течение календарного года (365 суток). После воздействия водной среды по изменению раз-

рывной нагрузки и удлинения при разрыве оценивали влияние длительного воздействия влаги на исследуемые нити.

При изучении воздействия почвенной микрофлоры исследования проводились в Ленинградской области по методике, ре-

комендованной ГОСТом 9.060–75 для текстильных материалов. Экспонирование образцов нитей осуществлялось в летний период, благоприятный для развития микроорганизмов (с мая по ноябрь). Образцы нитей помещали в почву на глубину 10...12 см. Пробы нитей отбирали через каждые 20 дней, после чего оценивали изменение прочности и удлинения при разрыве.

Перед испытаниями все отобранные образцы нитей высушивали на воздухе и кондиционировали при нормальных условиях (относительная влажность  $65\pm 2\%$  и температура  $20\pm 2^\circ\text{C}$ ) в течение 24 ч. Испытания нитей проводились на разрывной

машине ZT-40 при зажимной длине 250 мм и времени до разрыва  $20\pm 2$  с. Одновременно записывались диаграммы нагрузка – деформация, позволяющие по наклону их начальной части оценивать величину модуля деформации. Полученные результаты представлены на рис. 1...4 (рис. 1 и 2 – изменение соответственно разрывной нагрузки нитей и удлинения при разрыве нитей после длительного воздействия дистиллированной воды; рис. 3 и 4 – изменение соответственно разрывной нагрузки нитей и удлинения при разрыве нитей после воздействия почвенных микроорганизмов; для рис. 1...4: кривая 1 – русар, 2 – кевлар 49, 3 – тварон 2040).

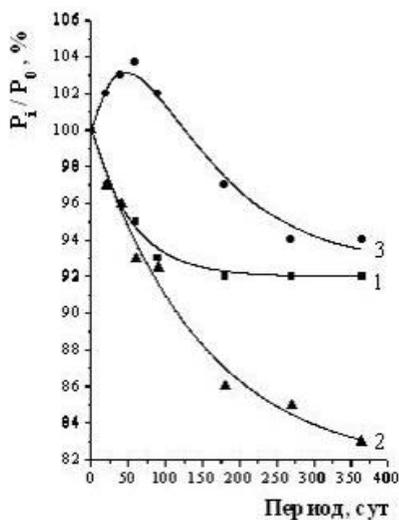


Рис. 1

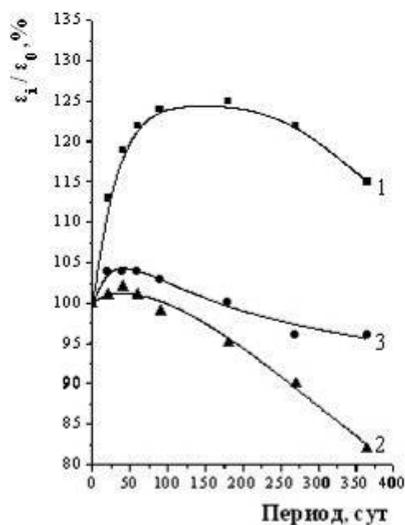


Рис. 2

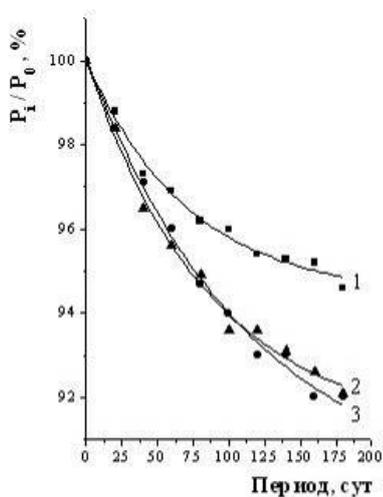


Рис. 3

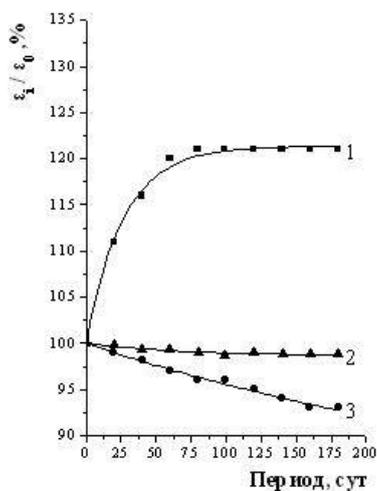


Рис. 4

При длительном воздействии влаги на изменение механических свойств наблюдается монотонное падение прочности нитей русар и кевлар, что, очевидно, связано с пластифицирующим действием воды. Изменение прочности нити тварон в начальный период имеет экстремальный характер, что может быть объяснено конкурирующим пластифицирующим воздействием влаги и одновременным дополнительным упорядочением структуры нитей. Удлинение при разрыве в начальный период увеличивается у всех нитей, а затем у нитей тварон и кевлар снижается, что, вероятно, объясняется конкурирующим влиянием таких факторов, как эффект пластификации водой, так и возможными структурными перестройками в пластифицированном состоянии.

Кинетика изменения прочности нитей русар и кевлар аппроксимируется экспоненциальной зависимостью вида

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_1 \exp(-t/t_1). \quad (1)$$

Изменение прочности нитей тварон может быть представлено двучленным экспоненциальным уравнением вида

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_2 \exp(-t/t_2) + A_3 \exp(-t/t_3). \quad (2)$$

Аналогичное двучленное экспоненциальное уравнение аппроксимирует изменение удлинения при разрыве всех исследуемых нитей

$$\varepsilon_i/\varepsilon_0 = (\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}} + A_4 \exp(-t/t_4) + A_5 \exp(-t/t_5), \quad (3)$$

где  $P_i/P_0$ ,  $\varepsilon_i/\varepsilon_0$  – значение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве при очередном промежуточном испытании;  $(P_i/P_0)_{\text{ост}}$ ,  $(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$  – разрывная нагрузка и остаточное удлинение при разрыве нитей после завершения экспонирования;  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  – коэффициенты, зависящие от вида нити (табл.2 – коэффициенты уравнений (1), (2) и (3) для описания кинетики изменения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве от продолжительности воздействия влаги).

Таблица 2

Коэффициенты уравнений	Русар	Кевлар 49	Тварон 2040
$(P_i/P_0)_{\text{ост}}$	91,9	81,4	92,6
$A_1$	8,01	18,5	-
$A_2$	-	-	-45,3
$A_3$	-	-	52,3
$t_1$	54,6	144	-
$t_2$	-	-	57,8
$t_3$	-	-	87,6
$(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$	111	5,0	92,5
$A_4$	-43,1	-8,1	-8,2
$A_5$	32,3	114	15,7
$t_4$	51,0	115	21,2
$t_5$	214	972	220

При выдерживании нитей в воде угол наклона диаграмм растяжения в начальной их части уменьшается, что свидетельствует о снижении модуля деформации.

При действии почвенных микроорганизмов с течением времени у параарамидных нитей русар наблюдается снижение прочности, свидетельствующее о постепенном микробиологическом разрушении. Повышение удлинения у гетероцикличе-

ских нитей русар, имеющих более высокие гигроскопические характеристики, указывает на одновременное пластифицирующее действие влаги и происходящие при этом структурные изменения. Прочность и удлинение при разрыве параарамидных нитей кевлар и тварон, имеющих более низкие гигроскопические свойства, изменяются в меньшей степени.

Кинетика изменения прочности и уд-

линения при разрыве параарамидных нитей русар, кевлар и тварон при воздействии почвенных микроорганизмов может быть также аппроксимирована экспоненциальными зависимостями:

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_6 \exp^{-1/t_6}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_i/\varepsilon_0 = (\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}} + A_7 \exp^{-1/t_7}, \quad (5)$$

где  $A_6$ ,  $A_7$ ,  $t_6$ ,  $t_7$  – коэффициенты, зависящие от вида нити (табл.3 – коэффициенты уравнений (4) и (5) для описания кинетики изменения прочности и удлинения при разрыве от длительности воздействия почвенных микроорганизмов).

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты уравнений	Русар	Кевлар	Тварон
$(P_i/P_0)_{\text{ост}}$	94,4	91,2	89,7
$A_6$	5,59	8,88	10,4
$t_6$	72,1	86,9	114
$(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$	121	98,6	81,5
$A_7$	-21,5	1,42	18,5
$t_7$	26,4	67,5	363

Анализ диаграмм растяжения, полученных после воздействия почвенных микроорганизмов, свидетельствует о незначительном снижении модуля деформации.

Для более полной оценки воздействия почвенных микроорганизмов проводили оценку поврежденности нитей микроскопическим методом [6]. Наблюдалась корреляция между разнообразием видового

состава микроорганизмов и степенью поврежденности нитей (табл.4 – характеристика поврежденности параарамидных нитей под действием микроорганизмов почвы и их видовой состав после максимального времени экспонирования). Следует также отметить незначительное количество плесневых грибов-разрушителей (например, таких, как *Aspergillus*).

Т а б л и ц а 4

Нити	Видовой состав микроорганизмов *		Изменения структуры
	бактерии	микровицеты	
Русар	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	-	Наблюдается обрастание и слабая дефектность поверхности, встречаются участки с глубокими трещинами и разрывами оболочек
Кевлар и тварон	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Aspergillus</i> sp.	Наблюдается обрастание микроорганизмами и слабая дефектность поверхности, выявлены изменения формы нитей (в виде вздутий), а также трещины оболочки

П р и м е ч а н и е. \* Выделение и идентификация микроорганизмов проводились по методам, описанным в [7], [8]

## ВЫВОДЫ

1. Исследовано изменение механических свойств параарамидных технических нитей при длительном воздействии эксплуатационных факторов: влаги и микроорганизмов.

2. Установлено, что прочность нитей при воздействии воды монотонно снижается, за исключением нитей тварон. Удлинение при разрыве всех нитей в начальный

период возрастает, а затем снижается. Предельное изменение разрывных характеристик в течение года не превышает 25%.

3. Установлено, что при воздействии почвенных микроорганизмов прочность всех нитей снижается, удлинение у нитей кевлар и тварон монотонно убывает, а у нитей русар – возрастает под влиянием пластифицирующего воздействия влаги. Определены видовой состав микроорга-

низмов и характер поврежденности нитей.

4. Изменения прочности и удлинения при разрыве в зависимости от продолжительности экспонирования в воде и почве аппроксимируются экспоненциальными зависимостями, позволяющими прогнозировать изменения этих показателей во времени. Найдены значения коэффициентов в этих зависимостях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Г.И., Варшавский В.Я. и др. Армирующие химические волокна для композиционных материалов. – М.: Химия, 1992.

2. Кузнецов В.Ю., Крохова О.В. Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии / Технич. справ. – М.: Нефть и газ, 1999. С.35...38.

3. Перепелкин К.Е., Мачалаба Н.Н. и др. Вестник СПбГУТД. – 2000, № 4. С.64...83.

4. Перепелкин К.Е. // Химические волокна. – 2001, № 5. С.3...7.

5. Мачалаба Н.Н. // Химические волокна. – 1999, № 3. С.3...10.

6. Ермилова И.А. Теоретические и практические основы микробиологической деструкции химических волокон. – М.: Наука, 1991.

7. Саттон Д., Феттергилл А., Ринальди. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. – М.: Мир, 2001.

8. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. – Л.: Наука, 1984.

Рекомендована кафедрой МТВМ СПбГУТД.  
Поступила 25.12.06.

УДК 677.017.7

## ПРОЦЕССЫ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ НИТЯХ

Е.С. ЦОБКАЛЛО, А.А. ТИХОМИРОВ, Л.Н. ПЕТРОВА, А.С. БАЛАНЁВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Полипропиленовые (ПП) пленочные нити завоевали лидирующее положение в производстве тканей для тарной продукции, упаковочного материала, успешно заменив более дорогостоящие веревочные материалы и шнуры. Во многих практических случаях переработки и эксплуатации нити подвергаются механическим воздействиям, в результате которых протекают процессы релаксации напряжений, приводящие к изменению их эксплуатационных свойств.

В работах [1...3] была установлена взаимосвязь деформационных характеристик со структурными изменениями, вызванными релаксационными процессами в

ПП пленочных нитях. Методами инфракрасной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния установлено, что следствием релаксации напряжений является упорядочение структуры аморфных областей, что проявляется в увеличении деформационной жесткости ПП нитей, а молекулярно-деструкционные процессы возникают с начальных стадий удлинения и продолжаются вплоть до разрыва. Выявленные структурные процессы в деформированных ПП пленочных нитях должны отражаться и на процессах релаксации напряжений этого материала.

Задачи настоящей работы состоят в исследовании длительных процессов релак-

сации напряжений в растянутых ПП пленочных нитях в широком диапазоне деформаций при различных температурах, в разработке методов аналитического описания и прогнозирования этих процессов на длительные времена.

Объектами исследования являлась ПП пленочная нить, производства ОАО "Тверьхимволокно", г. Тверь; кратность вытяжки  $\lambda=6$ ;  $T=130$ текс;  $\sigma_p=580$ МПа;  $\varepsilon_p=22\%$ . Исследования механических свойств нитей выполнялись на установке Instron-1122.

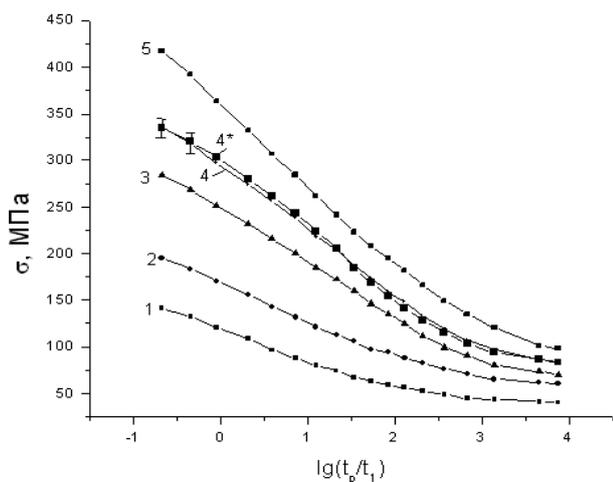


Рис. 1

На рис. 1 приведены семейства кривых релаксации напряжений  $\sigma\{lg(t_p/t_1)\}$  нити в диапазоне удлинений от  $1\% < \varepsilon < 15\%$  и длительности процесса 67 ч;  $T=20^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon, \%$ : 5(1), 7(2), 11(3), 13(4 – эксп., 4\* – расч.), 15(5). Типичным свойством процесса релаксации напряжений является высокая скорость изменения напряжений в начальный период времени, и замедление этого процесса во времени, поэтому релаксационные кривые представлены в полулогарифмической системе координат. Следует отметить, что процесс релаксации напряжений в ПП нити протекает достаточно интенсивно, особенно при высоких значениях  $\varepsilon = 11, 13, 15\%$ , при которых значения  $\sigma$  уменьшаются в 1,5...2 раза, что подтверждает протекание заметных структурных изменений, выявленных в [1...3]. Следует отметить, что при длительности процесса релаксации напряжений менее  $10^3$  с

зависимости  $\sigma\{lg(t_p/t_1)\}$  могут быть аппроксимированы прямыми линиями, то есть для описания процесса может быть использована простейшая логарифмическая функция, что было отмечено для ориентированного полипропилена и в [4]. Из такого подхода следует, что напряжения должны полностью исчезнуть через определенное время. Однако при длительных временах процесс релаксации напряжений "выходит на асимптоты", то есть подобная аппроксимация не может быть использована при длительных временах.

Для выяснения особенностей процессов релаксации напряжений в ПП нити зависимости  $\sigma\{lg(t_p/t_1)\}$  были перестроены в координаты  $E - lg(t_p/t_1)$ , где  $E = \sigma(t)/\varepsilon$  – релаксационный модуль (рис. 2;  $T=20^\circ\text{C}$ ).

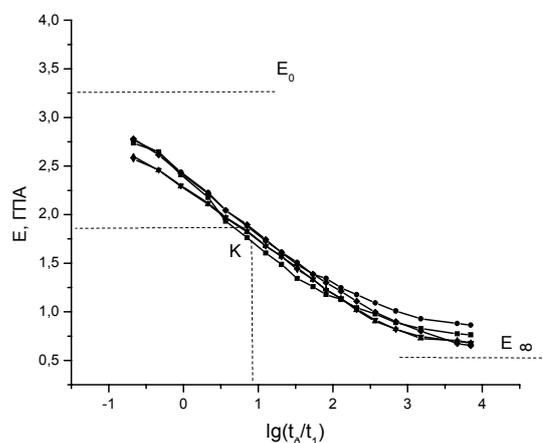


Рис. 2

Для исследуемой нити релаксационный процесс можно охарактеризовать как линейный, так как зависимости  $E\{lg(t_p/t_1)\}$ , соответствующие различным  $\varepsilon$ , можно считать полностью совпадающими. Полученная "общая" S-образная зависимость  $E\{lg(t_p/t_1)\}$  позволяет получать зависимости  $\sigma\{lg(t_p/t_1)\}$ , соответствующие различным  $\varepsilon$ , только на основании одной экспериментальной релаксационной кривой (при любом значении  $\varepsilon$ ), что существенно облегчает процесс описания и прогнозирования релаксационных процессов у ПП нитей.

Для аналитического описания и прогнозирования на длительные времена про-

цессов релаксации напряжений в работе применялось уравнение (1), широко используемое при описании релаксационных процессов в ориентированных синтетических нитях [5], [6]:

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0 \varepsilon - (E_0 - E_\infty) \varepsilon \varphi(t), \quad (1)$$

где  $\varphi(t)$  – нормированная релаксационная функция, меняющаяся от 0 до 1;  $E_0$ ;  $E_\infty$  – асимптотические значения релаксационного модуля, полученные при  $t \rightarrow 0$  и  $t \rightarrow \infty$ , соответственно.

В режиме деформирования при  $\varepsilon = \text{const}$  уравнение (1) принимает следующий вид:

$$E(t) = E_0 - (E_0 - E_\infty) \varphi(t). \quad (2)$$

В качестве нормированной релаксационной функции  $\varphi(t)$  был использован интеграл вероятности, предложенный ранее в работах [5], [6] для описания упруго-релаксационных процессов у синтетических ориентированных материалов:

$$\varphi(t) = (2\pi)^{-0,5} \int_{-\infty}^{V(\varepsilon, t)} \exp(-0,5z^2) dz, \quad (3)$$

где  $a$  – константа распределения;  $V(\varepsilon, t)$  – силовременной аргумент, определяющийся через значения характеристической деформационной функции  $f_\varepsilon$ :

$$V(\varepsilon, t) = a^{-1} (\lg t/t_1 + \lg f_\varepsilon). \quad (4)$$

При условии линейности вязкоупругих свойств справедливо следующее соотношение:

$$\lg f_\varepsilon = - \lg \tau_p, \quad (5)$$

где  $\tau_p$  – время релаксации, имеющее постоянное значение при заданной температуре в случае линейных вязкоупругих свойств материала.

Значения параметров, входящих в уравнения (1)...(5), определяются экспериментально из зависимости  $E\{\lg(t_p/t_1)\}$  (рис.2) согласно методике [5], [6]. В нашем

случае  $E_0 \cong 3,25$  ГПа;  $E_\infty \cong 0,5$  ГПа; значение  $\lg \tau_p = 0,95$  получаем графически как абсциссу точки К, найденной из зависимости  $E(\lg t/t_1)$  – как середина интервала ( $E_0 - E_\infty$ ). Значение  $E'_{\text{et}} = 0,5$  ГПа находим как тангенс угла наклона касательной к кривой  $E\{\lg(t_p/t_1)\}$  в точке К:

$$E'_{\text{et}} = \left. \frac{\partial E_{\text{et}}}{\partial \lg \frac{t_p}{t_1}} \right|_{t = t_1}. \quad (6)$$

Значение параметра  $a$  определяется также из зависимости  $E\{\lg(t_p/t_1)\}$ :

$$a^{-1} = \frac{2,5|E'|}{E_0 - E_\infty}, \quad a^{-1} = \frac{2,5 \cdot 0,5}{3,25 - 0,5} = 0,45. \quad (7)$$

Проведено количественное описание процесса релаксации напряжений в широком диапазоне деформирования и показано, что предложенный метод позволяет прогнозировать этот процесс по кратковременным экспериментальным данным на длительные времена и для широкого диапазона заданных деформаций. На рис. 1 в качестве примера приведены экспериментальные и расчетные кривые для  $\varepsilon = 13\%$ . Следует отметить, что в случае линейной вязкоупругости для проведения подобного прогнозирования необходимо иметь только одну кривую релаксации, полученную при относительно небольших временах и при одном каком-то значении  $\varepsilon$ . На основе предложенного метода разработана программа для ЭВМ, реализующая алгоритм прогнозирования [7].

Были исследованы процессы релаксации напряжений в ПП нити и при повышенной температуре. Температура стеклования ( $T_g$ ) ПП составляет около  $-12^\circ\text{C}$ , то есть физическое состояние ПП при температуре выше  $T_g$  можно формально рассматривать как высокоэластическое. Однако ПП не проявляет "каучукоподобные" свойства выше  $T_g$ , что объясняется высокой степенью кристалличности этого материала, составляющей около 75...85% [4].

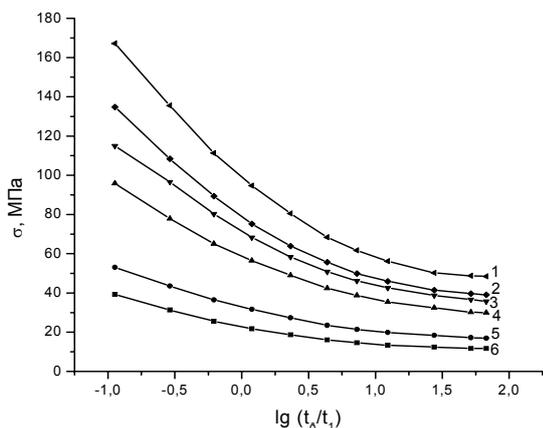


Рис. 3

На рис. 3 представлены кривые релаксации напряжений, полученные при  $T=90^{\circ}\text{C}$  в широком диапазоне  $\varepsilon$ : 13(1), 10(2), 9(3), 7(4), 3(6). Повышение температуры приводит к значительному увеличению интенсивности и к изменению характера релаксационного процесса. Асимптотический уровень напряжений  $\sigma_{\infty}$  при  $T=90^{\circ}\text{C}$  появляется за более короткое время (10 мин).

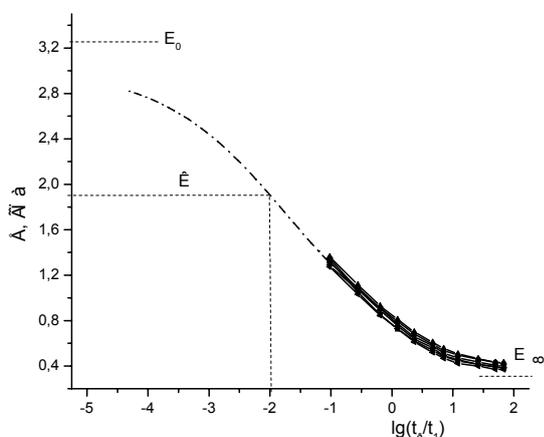


Рис. 4

Анализ построенных зависимостей  $E\{\lg(t_p/t_1)\}$  (рис.4) позволил охарактеризовать релаксационный процесс в ПП нитях и при повышенных температурах ( $T=90^{\circ}\text{C}$  – сплошные линии) как линейный, что позволило применить для его описания рассмотренный выше подход. Однако на кривой  $E\{\lg(t_p/t_1)\}$  четко выяв-

ляется лишь квазиравновесный модуль  $E_{\infty}$ . Ускорение релаксационных процессов при повышении температуры не позволяет "уловить" асимптотическое значение  $E_0$ . Было сделано предположение, что начальная асимптота является величиной постоянной, то есть не зависящей от температуры, то есть в момент времени  $t \rightarrow 0$  релаксационные процессы "начинаются" с одного уровня. С учетом этого предположения был аппроксимирован процесс релаксации напряжений при  $T=90^{\circ}\text{C}$  на малые времена (рис. 4), что необходимо для определения времени релаксации  $\lg t_p$  и величины  $E'_{et}$ . Проведено аналитическое описание процесса релаксации напряжений ПП пленочных нитей при  $T=90^{\circ}\text{C}$  для различных уровней заданной деформации. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений  $\sigma$  показало, что эти значения близки.

Выбранная нами температура  $T=90^{\circ}\text{C}$  является весьма высокой, с чем и связаны трудности в получении полной релаксационной кривой. При понижении температуры аппроксимирующий участок, связанный с продлением релаксационного процесса на малые времена, будет не столь значительным. Следует отметить, что величина параметра скорости релаксации  $E'_{et}=0,5$  ГПа оказалась не зависящей от температуры, что означает лишь "сдвиг" обобщенной кривой релаксации в область малых времен при увеличении температуры. Уменьшение параметра  $E_{\infty}$  при повышении температуры связано с протеканием необратимых структурных изменений, таких как термодеструкция, что и было показано в [3].

Проведение исследований релаксационных процессов при других температурах, определение релаксационных параметров этих процессов позволят получить зависимость  $\lg t_p(T)$ , что открывает возможность прогнозирования релаксационных процессов в ПП нитях не только в широком диапазоне деформаций, но и при различных значениях температуры.

## ВЫВОДЫ

Показано, что в широком диапазоне деформаций у ПП пленочной нити проявляются линейные вязкоупругие свойства. Разработан метод описания и прогнозирования релаксационных процессов в ПП пленочных нитях в широком диапазоне деформаций, основанный на выявленной линейной вязкоупругости свойств этих материалов. На основе предложенного метода разработана программа для ЭВМ, реализующая алгоритм прогнозирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Tsobkallo K., Tikhomirov A., Tshmel A.* // Polymer. – 2004. V 24. P.1689...1696.

2. *Цобкалло Е.С., Чмель А.Е., Тихомиров А.А.* // Химические волокна. – 2006, №1. С.32...35.

3. *Tsobkallo K., Tikhomirov A., Bozdogan A., Tshmel A.* // J. of Applied Polymer Science. – 2006 V.102. P.6074...6080.

4. *Перепелкин К.Е.* Структура и свойства волокон. – М.:Химия,1985.

5. *Сталевич А.М.* Деформирование высокоориентированных полимеров. Теория линейной вязкоупругости. Конспект лекций. Ч.1. – СПб: СПГУТД, 1995.

6. *Сталевич А.М.* // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1989, №3. С.23...29.

7. *Тихомиров А.А., Цобкалло Е.С.* Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2006611468. Дата регистрации 28 апреля 2006.

Рекомендована кафедрой сопротивления материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.064.6.004.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

*Г.И. ЛЕГЕЗИНА, К.Н. ШКРОБ, Т.П. ГРЕЧИНА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Текстильные материалы все чаще используются в различных отраслях промышленности в технических целях. Среди них большую группу составляют технические ткани и в том числе ткани для фильтров, значение которых существенно возрастает в связи с ростом требований по экологической безопасности.

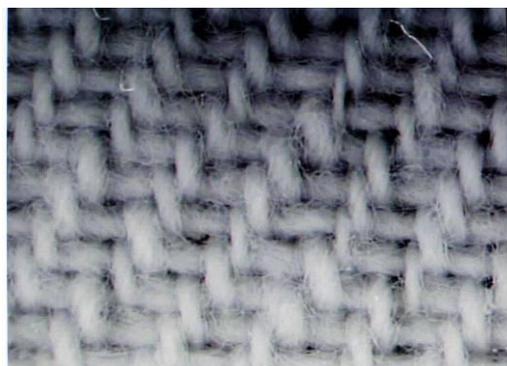
Как известно, фильтрование – это процесс разделения однородных систем при помощи пористых перегородок, которые задерживают одни фазы этих систем и пропускают другие. Фильтровальные перегородки представляют собой самую существенную часть фильтра и от правильности их выбора во многом зависит как произво-

дительность фильтровального оборудования, так и чистота получаемого фильтрата [1].

Фильтровальная ткань, выполняющая роль пористой перегородки, должна хорошо задерживать твердые частицы, обладать устойчивостью к химическому воздействию разделяемых веществ, теплоустойчивостью при температуре фильтрования, небольшим гидравлическим сопротивлением потоку фильтрата, не набухать при соприкосновении с жидкой фазой, иметь достаточную механическую прочность и способность легко освобождаться от осадка.

В качестве объекта для исследования была выбрана фильтровальная ткань Л-4 артикула ЗС-517-НМ, произведенная на фабрике технических сукон ОАО "Невская Мануфактура" (г.Санкт-Петербург), которая нарабатывалась переплетением саржа 2/2 из лавсановой пряжи при пяти вариантах заданной плотности по утку: 132,138,140,142 и 144 нитей/дм. Вид этой

ткани, полученный с помощью оптической установки MICROCOLOR-2000 (фирма Месдан-лаб, Италия), показан на рис.1 (вид лавсановой фильтровальной ткани Л-4; переплетение саржа 2/2: а) – вариант 1, б) – вариант 5), а основные заправочные характеристики ткани для 1 и 5-го вариантов приведены в табл.1.



а)



б)

Рис. 1

Т а б л и ц а 1

Показатели	Вариант 1	Вариант 5
Ширина ткани готовой/суровой, см	152/167	152/167
Линейная плотность пряжи, текс по основе/по утку	84/125	84/125
Плотность ткани, нитей/дм по основе/по утку	208/132	208/144
Число нитей в основе (фон)	3412	3412
Число нитей в кромках	60	60
Количество ремизок, фон/кромка	4/4	4/4
Поверхностная плотность, г/м суровой ткани/ готовой ткани	372/426	445/388

Известно, что качество фильтровальной ткани определяется такими параметрами, как задерживающая способность и скорость фильтрации. Очевидно, что фильтрационная способность выработанной ткани Л-4 зависит от ее структуры и может характеризоваться по величине ее воздухопроницаемости [2], [3].

Для определения зависимости между воздухопроницаемостью ткани и геометрическими размерами ее сквозных пор образцы лавсановой ткани Л-4, выработанной с постоянной плотностью по основе (208 нитей/дм) и варьируемой плотностью по утку (132, 138, 140, 142 и 144 ни-

тей/дм), подвергались испытанию на портативном аппарате Permtest-Meter при разности давлений 100 Па. Геометрические размеры пор определялись расчетным путем и экспериментально на установке MICROCOLOR-2000.

На рис.1 хорошо видна неровнота лавсановой пряжи, выработанной по аппаратной системе прядения, и существенные различия в размерах межнитевых сквозных пор. Сравнение полученных расчетных и экспериментальных данных для ткани Л-4 всех пяти вариантов и соответствующие значения воздухопроницаемости приведены в табл. 2.

Характеристики ткани вариантов 1...5						
по основе			по утку			воздухо- проницаемость, (м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с)
плотность, нитей/дм	расстояние между нитьями основы, мкм		плотность, нитей/дм	расстояние между нитьями утка, мкм		
	расчетное	эксперимен- тальное		расчетное	эксперимен- тальное	
208	48,2	56,5±7,4	132	76,0	85,3±7,2	0,26±0,01
208	48,2	56,0±5,2	138	72,3	77,8±7,6	0,25±0,01
208	48,2	58,6±6,8	140	71,7	75,2±5,3	0,19±0,004
208	48,2	51,7±5,5	142	70,7	73,8±6,4	0,18±0,005
208	48,2	49,5±6,3	144	69,7	68,5±5,5	0,14±0,01

Приведенные в табл. 2 показатели свидетельствуют о том, что практически все экспериментально измеренные размеры пор превышают расчетные значения, что, вероятно, обусловлено значительной неравномерной лавсановой пряжи. По мере роста плотности ткани по утку расстояние между уточными нитями достоверно снижается, уменьшая тем самым геометрические размеры пор ткани и величину ее воздухопроницаемости. В то же время, можно утверждать, что достоверно значимого влияния на расстояние между основными нитями рост плотности ткани по утку не оказывает.

Как следует из табл. 2, показатели воздухопроницаемости исследуемых образцов по мере роста плотности ткани по утку и, в соответствии с этим, уменьшения размера геометрических пор статистически достоверно снижаются. В процентном отношении рост плотности ткани по утку исследуемых образцов с 1-го по 5-й вариант составляет всего 9,1%, однако это обуславливает уменьшение площади пор почти на 30% и снижение воздухопроницаемости на 46%.

Номенклатура показателей оценки качества технических тканей регламентируется двумя нормативно-техническими документами: ГОСТом 4.36–84 "СПКП. Тка-

ни фильтровальные. Номенклатура показателей" и РД 17-01-013–89 "СПКП. Ткани технические. Номенклатура показателей". Все фильтровальные ткани подразделяются на три группы в зависимости от характера фильтруемого продукта: для фильтрации растворов, суспензий, эмульсий; для очистки технологических газов и промышленного воздуха; для диафрагм электролизных ванн. Набор показателей оценки качества для каждой из групп тканей определяется условиями изготовления на их основе соответствующих видов изделий, а также условиями последующей эксплуатации этих изделий.

Общими для всех групп технических тканей являются:

- определение толщины по фону и кроме при давлении 5кПа (ГОСТ 12023–66);
- определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве (ГОСТ 29104.4–91).

Поэтому в дополнение к воздухопроницаемости определены характеристики разрывной нагрузки, удлинения при разрыве, стойкости к истиранию и толщины образцов ткани Л-4 варианта 1 (плотность по утку 132 нитей/дм) и варианта 5 (плотность по утку 144 нитей/дм). Эти данные приводятся в табл.3 для ткани Л-4 варианта 1 и варианта 5.

Таблица 3

Показатель свойств ткани	Вариант 1	Вариант 5
Толщина, мм	0,94	0,85
Разрывная нагрузка по основе/по утку, Н	1357/1719	1364/1771
Удлинение при разрыве по основе/по утку, %	24,6 / 37,5	25,0/37,0
Стойкость к истиранию, цикл	6903	7106

Полученные результаты свидетельствуют о возможности регулирования в оп-

ределенных пределах фильтрационной способности ткани за счет изменения ее

плотности по утку при практическом сохранении ее физико-механических свойств и толщины.

## ВЫВОДЫ

1. Показана возможность экспериментального определения размеров пор тканей на оптической установке MICROCOLOR-2000.

2. Повышение плотности ткани по утку существенно влияет на фильтрационную способность ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андросов В.Ф., Кленов В.Б., Роскин Е.С. Текстильные фильтры. – М.: Легкая индустрия, 1977.

2. Дианич М.М., Бычков М.Ф., Шимановская Л.М. Влияние строения тканей на их воздухопроницаемость. //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1990, №6, С. 19...21.

3. Куличенко А.В. Теоретическая оценка взаимосвязи между воздухопроницаемостью и структурой фильтровальных тканей. //Межвуз. сб. научн.-исслед. тр. – СПб.: СПГУТД, 1995. С.142...149.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.11

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ КОМПЛЕКСА ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН\*

*М.В. КИСЕЛЕВ, А.А. СМИРНОВ*

(Костромской государственный технологический университет)

Механические свойства текстильных материалов являются самыми важными, поскольку они влияют на поведение волокон при обработке и на свойства окончательного продукта. При изучении механических свойств волокон наиболее важное значение имеют их исследования при растяжении. Одной из причин этого является форма волокон – малые поперечные размеры и значительная длина. Наиболее распространенными механическими характеристиками при растяжении являются удлинение и нагрузка при доведении образца до разрушения. Однако данные характеристики материала являются макроскопическими показателями характеристик материала. Для эффективного управления технологическими процессами обработки материалов важно знание основных закономерностей процесса разрушения. В целях изучения процесса разрушения применяются различные теории: статистическая,

кинетическая, теория дислокаций и ряд теорий применительно к полимерным материалам. Каждая из данных теорий использует различный математический аппарат, качество которого будет определяться теми упрощающими допущениями, которые были приняты при решении конкретной задачи. В большинстве случаев при моделировании поведения материала под нагрузкой принимается допущение об однородности материала и сплошности среды. Комплекс льняных волокон представляет собой сложную систему элементарных волокон, соединенных друг с другом клеящим веществом. При этом и материал клеящего комплекса, и материал элементарных волокон имеют различные физико-механические и геометрические характеристики, поэтому допущение об однородности материала комплекса льняных волокон является очень грубым.

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Р.В. Корабельникова.

В данной работе рассматривается построение математической модели разрушения комплекса льняных волокон при его растяжении с позиций механики сплошной среды. В основе математической модели процесса разрушения заложен метод конечных элементов. Для построения вероятностной статистической геометрической модели комплекса льняных волокон разработана модель в виде batch- файла на языке APDL ANSYS. В качестве исходных данных для моделирования льняного комплекса выбраны следующие характеристики: длина комплекса 50 мм, количество элементарных волокон 25, предел прочности при растяжении элементарных волокон изменялся в диапазоне 450...470 МПа, модуль упругости элементарных волокон изменялся в диапазоне 25...30 ГПа, предел прочности при растяжении материала клеящего комплекса изменялся в диапазоне 1,2...4 МПа, модуль упругости материала клеящего комплекса изменялся в диапазоне 25...30 ГПа. Результаты построенной геометрической модели комплекса представлены на рис 1.

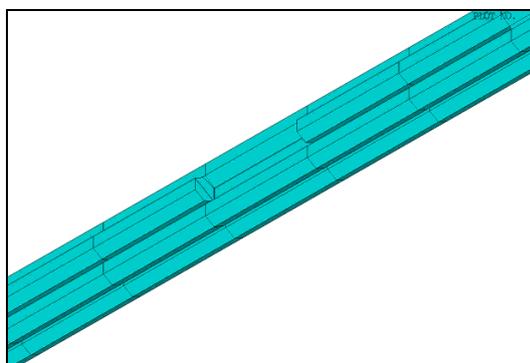


Рис. 1

Каждое элементарное волокно представлялось совокупностью 30 конечных элементов для определения его частичного разрушения. Клеящий комплекс формировался из конечных элементов, соединяющих элементарные волокна по всей их поверхности. Для определения динамики процесса разрушения использовался метод последовательных нагружений. В нашей работе метод конечных элементов применялся в форме перемещений, то есть незакрепленному концу комплекса задавалось

перемещение. На начальной итерации величина перемещения составляла 0,05мм и затем увеличивалась с шагом 0,1 мм. Расчеты выполнялись в ППП ANSYS v10. В качестве теории прочности использована теория “пучка”, известная из механики разрушения полимеров [1]. На каждой итерации фиксировалось количество разрушенных конечных элементов, имитирующих клеящий комплекс и элементарные волокна. Для учета разрушенных конечных элементов использовалась опция конечных элементов “жизнь и смерть”. С физической точки зрения “смерть” конечного элемента наступает тогда, когда интенсивность напряжений в нем достигает значения предела прочности. Результаты расчетов на I-й итерации представлены на рис. 2, 3.

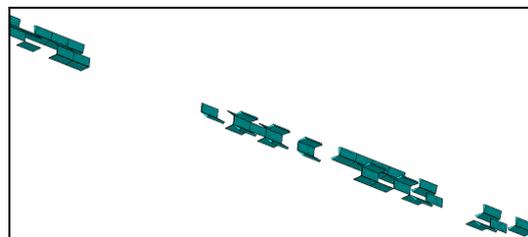


Рис. 2

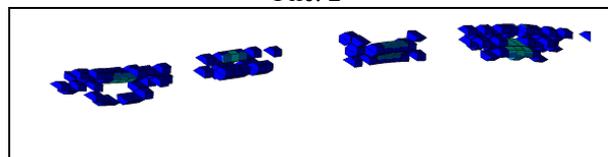


Рис. 3

Условием окончания расчетов является наличие магистральной трещины через произвольное сечение комплекса льняных волокон. Такое состояние комплекса при увеличении нагрузки на последней итерации соответствует состоянию, представленному на рис. 4.

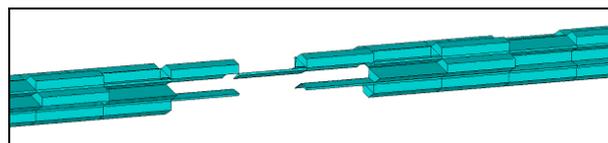


Рис. 4

Использование постпроцессора ANSYS дает наглядное представление процесса

разрушения комплекса волокон, однако реальное его использование весьма затруднительно в связи с малыми поперечными размерами комплекса. Для получения интегрированных количественных характеристик процесса нами разработана программа на языке Delphi 6. Программа подсчитывает количество разрушенных

конечных элементов клеящего комплекса и элементарных волокон на каждой итерации и представляет данные в виде графика. Результаты работы программы (динамика изменения количества разрушенных конечных элементов комплекса по итерациям) представлены на рис. 5.

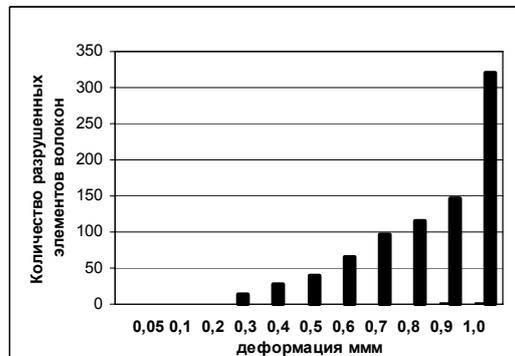
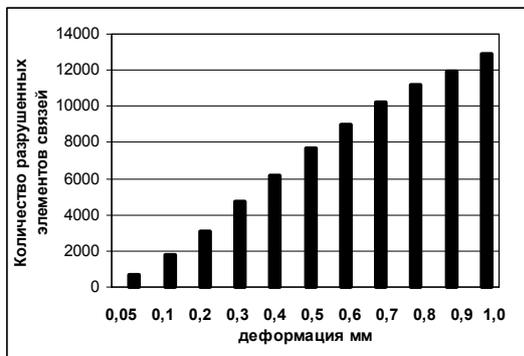


Рис. 5

По результатам вычислительного эксперимента величина предельной деформации до разрыва комплекса составила 2% в пределах погрешности шага приращения нагрузки, что соизмеримо с величиной деформации разрыва элементарного волокна.

## ВЫВОДЫ

1. Разработано программное обеспечение, моделирующее разрушение комплекса льняных волокон с учетом вероятностных

свойств элементарных волокон и клеящего комплекса.

2. Разработанная модель позволяет не только качественно, но и количественно оценить эффективность процесса разрушения комплекса льняных волокон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нарисава И. Прочность полимерных материалов: пер. с япон. – М.: Химия, 1987.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 25.12.06.

УДК 677.021.15.26

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ  
НА СТРУКТУРУ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН***В.Е. РОМАНОВ, А.А. ГРЕБЕНКИН, А.Н. ГРЕБЕНКИН, А.Е. МАКАРОВ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Известно [1], что любому кристаллическому материалу кроме обычного дебаевского спектра соответствует вполне определенный дискретный спектр собственных частот колебаний атомов в решетке, который определяется типом дислокаций и может быть рассчитан для любого материала. Если подвести к веществу энергию, равную величине  $W_i = h\nu_i$ , ( $W_i$  – пороговый уровень энергии;  $\nu_i$  – частота колебаний  $i$ -й моды в дискретном спектре), то эта энергия избирательно поглощается кристаллической решеткой, что приводит к резкому повышению амплитуды атомных колебаний  $i$ -й моды. Таким образом, в кристалле возможно протекание однофононных процессов, то есть, воздействуя на материал импульсами энергии  $W_i$ , можно влиять на уровень остаточных напряжений в нем. Пороговый уровень энергии может быть рассчитан, а можно его и не определять, поскольку затраты энергии и времени непосредственно на процесс снятия остаточных напряжений весьма малы. В этом случае к образцу достаточно подвести импульсы с энергиями всех дискретных уровней спектра, что и можно сделать, подвергая обрабатываемый материал импульсному ударному воздействию.

Интересно проследить за процессами диспергирования комплексов лубяных волокон и за изменением надмолекулярной структуры лубяных волокон при воздействии на них периодических ударных импульсов. Под действием удара должно происходить изменение системы водородных связей между ОН-группами соседних звеньев макромолекул целлюлозы в клеточной стенке волокон (стабилизирующих их взаимное пространственное расположение), конформаций оксиметильных и гидроксильных групп и соответственно изменение общей системы внутримолекулярных взаимодействий. Это не может не отразиться на взаимном пространственном расположении соседних звеньев и конформации макромолекулы целлюлозы в целом и, следовательно, на перестройке системы их трехмерной упорядоченности. Такие перестройки, наряду со снятием остаточных напряжений, не могут не привести к изменению соотношения между аморфными и кристаллическими областями целлюлозы.

Согласно вышеприведенным предположениям и расчетам проведена обработка различных лубяных волокон в гидродинамических полях. Для создания гидродинамических полей использовали электрогидродинамический эффект Юткина [2].

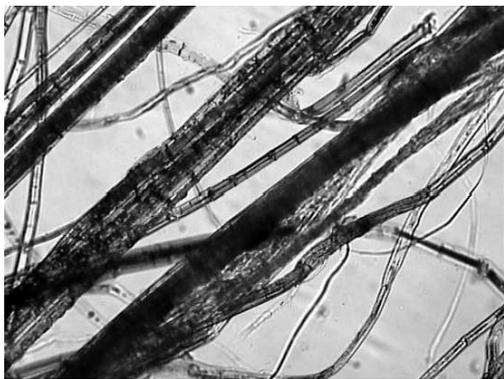


Рис. 1



Рис. 2

На рис.1 (волокно льняного луба после обработки в ГД-поле 15 мин ( $U_0 = 45\text{кВ}$  и  $C = 0,3\text{мкФ}$ ), увеличено в 300 раз) и 2 (волокно льняного луба после обработки в ГД-поле 15 мин при  $U_0 = 50\text{кВ}$  и  $C = 0,3\text{мкФ}$ ), увеличено в 300 раз) показаны образцы льняного луба после обработки в гидродинамическом поле в воде при различных значениях напряжения  $U_0$  на конденсаторе.

Как видно из представленных рисунков, при одном и том же времени обработки увеличение напряжения на конденсаторе ускоряет процесс расщепления лубяных

комплексов, поскольку увеличение напряжения приводит к увеличению амплитуды давления в ударной волне. Как показали исследования, время обработки при снижении напряжения  $U_0$  возрастает примерно в два раза на каждые 10кВ снижения напряжения  $U_0$ . Увеличение напряжения  $U_0$  до 60 кВ приводит к быстрому росту в массе волокна волокон “пуховой” группы, что указывает на процессы разрушения как самих комплексов, так и технических и даже элементарных волокон, имеющих какие-либо дефекты, связанные с предысторией образца.



Рис. 3



Рис. 4

На рис.3 (волокно пеньки после обработки в ГД-поле 15 мин при  $U_0 = 45\text{кВ}$  и  $C = 0,3\text{мкФ}$ , увеличено в 300 раз.) и 4 (волокно пеньки после обработки в ГД-поле 15 мин при  $U_0 = 50\text{кВ}$  и  $C = 0,3\text{мкФ}$ , увеличено в 300 раз) представлены волокна пеньки после обработки в гидродинамическом поле при разном напряжении  $U_0$ . На обоих снимках очень хорошо видно, что

увеличение напряжения приводит к расщеплению лубяных комплексов, причем тем больше, чем больше напряжение на обкладках конденсатора. Однако и для пеньки увеличение напряжения на конденсаторе до 60 кВ приводит к тому же эффекту, что и для льняного луба: резко возрастает доля очень коротких волокон, то есть идет разрушение не только по границе

раздела адгезив – субстрат, но и по дефектам самого волокна. Аналогичная ситуация и с волокном джута.

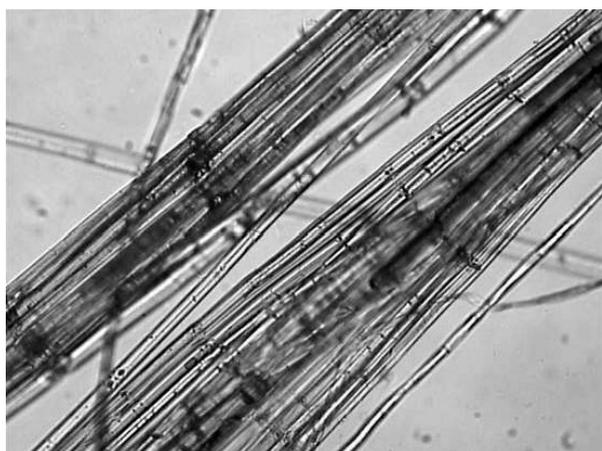


Рис. 5

На рис. 5 представлен образец джутового волокна после обработки в ГД-поле в

течение 15 мин при  $U_0 = 50$  кВ и  $C = 0,3$  мкФ. Увеличено в 300 раз. Оно также расщепляется в гидродинамическом поле и наблюдается примерно та же картина. Увеличение напряжения на конденсаторе  $U_0$  выше 50 кВ приводит к тому же эффекту, что и для луба льна и пеньки: начинается разрушение технического волокна до элементарного и ультракороткого, то есть установка начинает работать как дробилка.

В табл. 1 приведены температуры начала и окончания интенсивной термической деструкции и потеря массы при окончании деструкции льняного луба, обработанного различное время в гидродинамическом поле при  $U_0 = 50$  кВ и  $C = 0,3$  мкФ. Данные получены на основе кривых ТГА при проведении термической деструкции в платиновом тигле в среде азота.

Т а б л и ц а 1

Параметр	Время обработки образцов льняного луба в гидродинамическом поле, мин				
	0	3	5	7	15
$T_d, ^\circ\text{C}$	$280 \pm 2$	$292 \pm 2$	$307 \pm 2$	$287 \pm 2$	$280 \pm 2$
$T_{d \text{ окон.}}, ^\circ\text{C}$	$320 \pm 2$	$335 \pm 2$	$332 \pm 2$	$338 \pm 2$	$350 \pm 2$
$\Delta M, \%$	54,8	57,5	61,0	62,5	64,8

Как видно из таблицы, за первые пять минут обработки наблюдается рост температуры начала интенсивной термической деструкции, что связано, с одной стороны, с некоторым уплотнением аморфных и упорядоченных областей, с другой – с протекающими механохимическими реакциями и полиморфными превращениями макромолекул целлюлозы. При дальнейшей обработке структура становится все более рыхлой, что приводит к снижению температуры начала интенсивной термической деструкции. Интересно, что температура окончания интенсивной термической деструкции с увеличением времени обработки сначала увеличивается, затем наблюдается ее некоторая стабилизация, а после 7 минут обработки – снова плавный рост. При этом изменение массы при окончании интенсивной термической деструкции практически монотонно растет с увеличением времени обработки. Это объясняется тем, что при гидроударе в первую очередь

"размораживается" подвижность макромолекул целлюлозы, находящихся на поверхности микрофибрилл в поверхностных слоях клеточных стенок волокон из-за деполимеризации и частичного перехода в раствор пектина, лигнина и гемицеллюлозы. Что и приводит к перестройке надмолекулярной структуры целлюлозы: к ее уплотнению. При больших временах обработки начинается механохимическая деструкция уже самой целлюлозы, меняется молекулярно-массовое распределение, поэтому увеличивается время окончания интенсивной термической деструкции и растет потеря массы.

## В Ы В О Д Ы

1. При малых (до 5 мин) временах обработки гидроударом различных лубяных волокон наблюдается расщепление лубяных комплексов на длинное техническое волокно. При длительной обработке на-

блюдается обычная котонизация лубяного волокна, то есть разрушение технического волокна до элементарного и суперкороткого.

2. Высокое содержание пектиновых веществ в срединных пластинках лубяных волокон не дает возможности для получения чистого, мало засоренного волокна. Хотя содержание костры очень мало, пектиновые вещества при гидродинамической обработке переходят в гель, который, с одной стороны, заметно снижает коэффициент полезного действия удара, с другой – практически не удаляется с поверхности волокна.

3. По расщепленности чесаное льняное волокно, полученное методом гидроудара, практически может быть любым. В качест-

ве ограничения может выступать лишь прочность волокна, допускающая необходимую степень обрывности и качества пряжи вследствие появления повышенного процентного содержания волокон пуховой группы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.Я., Rogozin Ю.И. //Физика и химия обработки материалов. – 2001, №3. С.38...43.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. – М.-Л.: Машгиз, 1955.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.021

## ФЕРМЕНТНАЯ ОБРАБОТКА СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАРДНОЙ ХЛОПКОЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

*А.Ф. БОГДАН, И.И. ШАМОЛИНА, Н.Н. ТРУЕВЦЕВ, А.П. СИНИЦЫН*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова )

Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий, создание нового ассортимента изделий, отвечающих возросшим требованиям потребителей к их дизайну, комфортности и экологичности, являются важными условиями повышения конкурентоспособности товаров, выпускаемых отечественной текстильной промышленностью.

Проблема вовлечения коротковолокнистого льна и отходов льнопрядения в качестве дополнительного сырьевого ресурса, котонина, для обеспечения российских хлопко- и шерстоперерабатывающих текстильных предприятий по-прежнему остается актуальной.

На достигнутом уровне технологии переработки хлопкольняных смесей дальнейшее улучшение физико-механических свойств кардной льносодержащей пряжи

посредством оптимизации технологических процессов представляется затруднительным. Исходя из характера изменений структуры и свойств льняных волокон и изделий, достигаемых в результате ферментативных обработок, представляется целесообразным изучение возможности улучшения физико-механических и поверхностных свойств кардной хлопкольняной пряжи за счет обработки исходных волокон ферментами целлюлазного комплекса.

Цель работы состояла в исследовании возможности улучшения прядильных свойств котонизированного льняного волокна и физико-механических характеристик кардной хлопкольняной пряжи с помощью методов инженерной энзимологии.

В качестве объектов исследования были выбраны льняной котонин, полученный

из коротковолокнистого льна и отходов льнопрядения по механическому методу с использованием технологии вероятностного разрыва [1], и средневолокнистый хлопок 5-I. Характеристики ферментных препаратов, применявшихся в работе, приведены в табл. 1.

Было проведено три варианта ферментной обработки (табл. 2 – варианты обработки котонизированных льняных волокон препаратами целлюлазного комплекса).

Т а б л и ц а 1

Вид активности	Активность, ед/г	
	Aspiergillus Japonicus	Mix B
Карбоксиметил-целлюлазная	276	5121
В-глюканазная	636	7449
Ксиланазная	1807	8649
Полигалактуроназная	473	510

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Субстрат	Ферментный препарат	Вид обработки
1	Исходное волокно – механический котонин	Aspiergillus Japonicus	Обработка в аппарате Scour Tester, сушка при 95°C
2	Механический котонин, обработанный на установке Labor Mixer	Aspiergillus Japonicus	Обработка в аппарате Scour Tester, конвекционная сушка
3	Хлопкольная холстик лабораторной чесальной машины	Mix B	Обработка холстика по спрэй-методу

В первых двух вариантах льняные волокна были подвергнуты мокрой обработке мультиэнзимным комплексом на основе препарата Aspiergillus Japonicus в аппарате Scour Tester, а в третьем варианте – препарат Mix B, обладающий высокой реакционной способностью по отношению к целлюлозе и гемицеллюлозе, наносили на субстрат путем напыления его на хлопкольную холст (спрэй-метод). В варианте № 1 биохимическому воздействию подвергалось исходное льняное волокно, полученное после механической котонизации, а в варианте № 2 – волокно, дополнительно обработанное на установке Labor Mixer.

Рабочие растворы для вариантов № 1 и 2 готовили разведением ферментных препаратов в 0,1-молярном ацетатном буфере, а обработку в аппарате Scour Tester проводили при перемешивании (40 об/мин) продолжительностью 30 мин при температуре 50°C и модуле 30. Обработка волокна по варианту № 3 осуществлялась спрэй-методом с помощью пульверизатора: на хлопкольную холстик наносился буферный раствор pH 4,9, содержащий 0,1% фермента и 0,001% катапола.

Был поставлен эксперимент по обработке хлопкольной пряжи по кардной системе прядения на лабораторной прядильной установке Sherly Platt и получено

четыре образца пряжи с линейной плотностью 72 текс [2]. Пряжа вырабатывалась из смеси 70 % – хлопок 5-I и 30 % – котонизированное льняное волокно, причем смеся составлялась:

- из необработанных волокон хлопка и котонина (контрольный вариант);
- из хлопка и обработанного льняного котонина по варианту № 1;
- из хлопка и обработанного льняного котонина по варианту № 2;
- из обработанных хлопка и льняного котонина по варианту № 3.

Для того, чтобы комплексно охарактеризовать влияние разных вариантов биохимической обработки на прочностные свойства образцов опытной кольцевой льносодержащей пряжи, была использована методика построения "эллипсов равной вероятности", позволяющая оценить работоспособность и потенциальную обрывность полученной пряжи в условиях ее последующей переработки в ниточном производстве [3].

Исходя из того, что в процессах переработки (например, при перематывании) пряжа испытывает нагрузки, не превышающие обычно 100 сН, а деформации растяжения достигают 2...3 %, можно определить зоны потенциальной обрывности  $S_p$  и  $S_E$  и рассчитать вероятности попада-

ния значений  $P_i$  и  $E_i$  в эти зоны. Эллипсы равной вероятности, построенные на основании статистической обработки разрывных характеристик исследуемых вариантов пряжи, представлены на рис. 1.

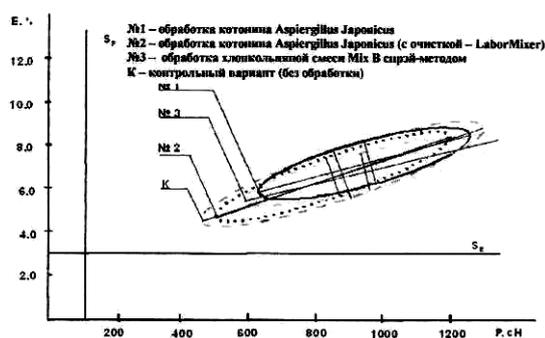


Рис. 1

Эллипс № 1, обладающий наименьшей площадью, показывает разброс значений разрывных нагрузок и удлинений пряжи, полученной с использованием обработки ферментами (вариант № 1). Из рис. 1 следует, что эта пряжа обладает наилучшими механическими свойствами: разрывной нагрузкой (на 10 % выше аналогичного показателя контрольного варианта пряжи), хорошей равномерностью по разрывной нагрузке и удлинению, наибольшей работой разрыва, тогда как контрольный вариант, полученный без энзимной обработки – наихудшими.

Хотя все наработанные варианты пряжи близки друг другу, вариант обработки № 1 предпочтительнее, так как характеризуется наибольшей работой разрыва и наименьшей дисперсией результатов по разрывной нагрузке и удлинению, а следовательно, меньшей вероятностью попадания результатов полученных полуцикловых характеристик в зоны потенциальной обрывности, отмеченные на рис. 1.

Следует отметить, что при применении спрэй-метода обработки хлопколязной смеси ферментами выработанная пряжа (вариант № 3) оказалась наиболее близка по свойствам к образцу (вариант № 1), при производстве которого применялась ферментная обработка в водных ваннах. Поскольку спрэй-метод нанесения фермента на субстрат является менее затратным по расходу воды и

энергии, его применение и дальнейшее совершенствование при ферментативной модификации волокон представляется наиболее целесообразным.

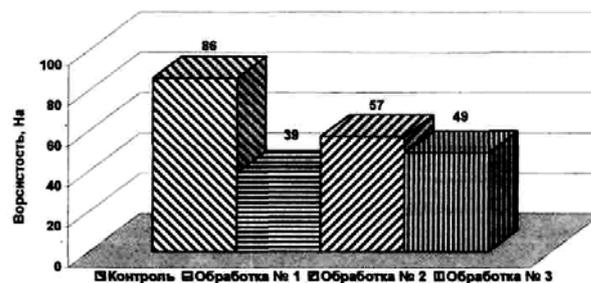


Рис. 2

Также было выявлено, что в результате ферментной обработки волокон индекс ворсистости у полученных образцов пряжи значительно понизился (рис. 2) – с 89 (контрольный вариант) до 36 (вариант № 1). Ворсистость пряжи измерялась на приборе Keisokki LST II.

С точки зрения технологии это изменение имеет положительный характер: уменьшение ворсистости ведет к понижению обрывности пряжи в технологических операциях, уменьшает износ рабочих органов машин, снижает запыленность.

Таким образом, использование энзимной обработки (варианты № 1 и 3) волокнистых смесей позволяет вырабатывать кардную льносодержащую пряжу с пониженной ворсистостью и улучшенными полуцикловыми разрывными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Способ подготовки короткого льняного волокна к прядению. Патент на изобретение RU № 2074578 С1, Бюл. № 6, 22.02.97.
2. Богдан А.Ф. Разработка технологии выработки ниток для рукоделия на основе хлопколязных смесей: Дис...канд. техн. наук. – СПб., 2006. С. 13.
3. Truevtsev N.N., Grishanov S.A., Harwood R.J. The Development of Criteria for the Prediction of Yarn behaviour under Tension. // Journal of the Textile Institute. – V. 88, №4, 1997. P.400...414.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов СПГУТД. Поступила 25.12.06.

## РОЛЬ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГАРНИТУРЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВОЛОКНОМ\*

С.Н. ВИХАРЕВ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Закрепление гарнитуры (игл) в игольчатых планках может быть двух видов: жесткое закрепление игл и податливое (закрепление игл в резинокаркасную основу и др.) Вид закрепления гарнитуры определяется назначением игольчатого барабана и требованиями к качеству перерабатываемого сырья. Так, при жестком закреплении гарнитуры (игл) игольчатые барабаны следует применять для грубого разрыхления волокнистого материала, для растаскивания слежавшихся и запутанных комков волокнистого материала. Закрепление гарнитуры на податливой основе, по нашему мнению, следует применять при щадящих режимах взаимодействия с волокном, когда высоки требования к качеству волокна, сохранению его природных свойств, особенно длины.

Рассмотрим особенности процесса нагружения волокна игольчатой гарнитурой в зависимости от ее податливости. Для изучения податливости игольчатой гарнитуры при взаимодействии с волокном используем методику изучения отбоя семян при валичном дженировании тонковолокнистого хлопка-сырца [1].

Составим динамическую и математическую модели, описывающие процесс нагружения.

На рис.1 представлена динамическая модель процесса взаимодействия иглы с волокном. Здесь  $m_1$  – приведенная масса частицы волокна;  $c_1$  – коэффициент жесткости пучка волокон;  $b$  – коэффициент демпфирования;  $m_2$  – приведенная масса

иглы;  $c_2$  – коэффициент жесткости иглы;  $v$  – линейная скорость движения иглы;  $z$  – координата движения центра масс.

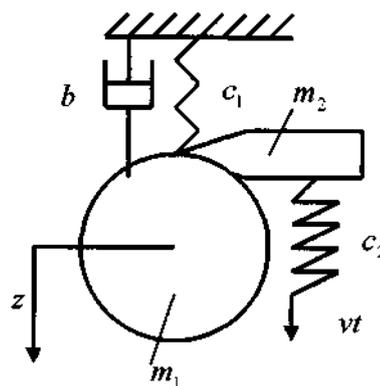


Рис. 1

При разработке модели были приняты следующие допущения:

- движение рассматривается при малых перемещениях иглы, поэтому оно принято прямолинейным;
- коэффициент жесткости и демпфирования примем постоянным;
- масса принята точечной;
- после начала контакта иглы с волокном будем считать, что разрыва нет.

Составим математическую модель процесса взаимодействия:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + k^2 z = \frac{1}{(m_1 + m_2)} c_2 vt, \quad (1)$$

\*Работа выполнялась при поддержке гранта Президента РФ (МД – 502.2007.8).

где  $k$  – круговая частота собственных колебаний системы;  $2n$  – коэффициент затухания;

$$k = \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{m_1 + m_2}}; 2n = \frac{b}{m_1 + m_2}. \quad (2)$$

Поскольку будем рассматривать нагружение системы при больших перемещениях, для упрощения анализа будем дополнительно считать, что  $m_1 + m_2 = m$ , а также пренебрежем сопротивлением, то есть будем считать, что  $n = 0$ . Тогда выражение (1) переписывается:

$$\ddot{z} + k^2 z = \frac{1}{m} c_2 vt. \quad (3)$$

Общим решением дифференциального уравнения (3) будет

$$z = A \sin kt + B \cos t + \frac{c_2}{mk^2} vt, \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  – произвольные постоянные интегрирования.

Из начальных условий определим при  $t = 0, z = 0; \frac{dz}{dt} = v$ , тогда

$$B = 0, A = v \frac{c_1}{c_1 + c_2} \sqrt{\frac{m}{c_1 + c_2}}.$$

В результате получим

$$z = \frac{c_2}{c_1 + c_2} vt + v \frac{c_1}{c_1 + c_2} \sqrt{\frac{m}{c_1 + c_2}} \sin \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{m}} t. \quad (5)$$

Рассмотрим выражение (5), описывающее процесс нагружения.

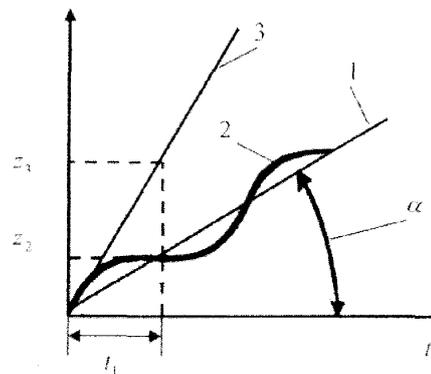


Рис. 2

Первое слагаемое представляет собой прямую линию 1 под углом к оси абсцисс  $\alpha$  (рис.2):

$$\alpha = \arctg \frac{vc_2}{c_1 + c_2}. \quad (6)$$

Эта линия (кривая 1) характеризует среднее значение перемещения массы за время одного периода колебаний.

Второе слагаемое (кривая 2) представляет собой синусоиду с амплитудой колебаний:

$$A = v \frac{c_1}{c_1 + c_2} \sqrt{\frac{m}{c_1 + c_2}}. \quad (7)$$

Эта синусоида описывает характер изменения процесса нагружения с податливой гарнитурой.

Для сравнения на графике показана прямая 3, описывающая нагружение системы при жестко закрепленной игле. Кривая 3 описывается уравнением

$$z = vt. \quad (8)$$

Сравнивая нагружение двух систем при каком-то времени  $t = t_1$  после начала взаимодействия, видим, что волокно, в случае нагружения податливой гарнитурой, меньше деформируется и тем самым, очевидно, меньше рвется при экстремальных нагружениях, чем за то же время при

взаимодействии с жесткозакрепленной гарнитурой. Причем в процессе нагружения податливой гарнитурой на передний план выходит соотношение жесткостей гарнитуры и пучка волокна. Чем более податливо основание гарнитуры, то есть чем меньше жесткость  $c_2$ , тем более полого будет располагаться линия 1 (рис. 2), относительно которой будет располагаться синусоида нагружения 2, тем более щадящий режим нагружения волокна будет наблюдаться. Чем грубее процесс, тем ближе ось 1 должна подходить к линии 3, то есть тем более жесткой должна быть гарнитура.

Дифференцируя уравнения (5) и (8) по времени, получим выражение для скорости нагружения для податливой и жесткой гарнитуры:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{c_2}{c_1 + c_2} v + \frac{c_1}{c_1 + c_2} v \cos kt, \quad (9)$$

$$\frac{dz}{dt} = v. \quad (10)$$

Анализируя выражения (9) и (10), видим, что скорость нагружения волокна податливой гарнитурой носит колебательный характер со средним значением скорости, равным

$$v_{cp} = \frac{c_2}{c_1 + c_2} v, \quad (11)$$

то есть гораздо меньшим, чем скорость нагружения жесткой гарнитурой, согласно (10).

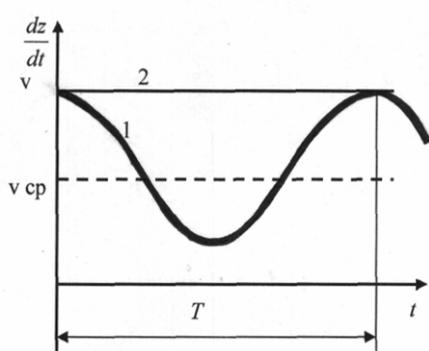


Рис. 3

На рис. 3 представлен график скорости нагружения для податливой 1 и жесткой 2 гарнитуры.

В целях анализа влияния податливости гарнитуры  $c_2$  на показатель соотношения скоростей нагружения  $\frac{v_{cp}}{v}$  обозначим это соотношение:

$$D = \frac{v_{cp}}{v} = \frac{c_2}{c_1 + c_2}. \quad (12)$$

Будем считать, что величина  $c_1$  характеризует среднюю жесткость пучков волокон при их обработке и зависит от вида операции (например, грубое, тонкое расчесывание). Тогда можно построить зависимость для соотношения средней скорости нагружения при различных соотношениях жесткости:

$$D = \frac{v_{cp}}{v}. \quad (13)$$

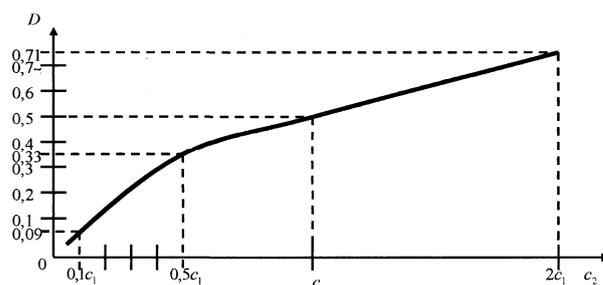


Рис. 4

На рис. 4 показан график зависимости соотношения жесткости гарнитуры и волокна по отношению к скорости нагружения при взаимодействии.

Из графика видно: чем выше жесткость гарнитуры, тем меньше разница между средней скоростью нагружения и скоростью жесткой конструкции гарнитуры.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующее заключение.

## ВЫВОДЫ

1. Податливость гарнитуры очистительных и чесальных машин, взаимодействующих с перерабатываемым волокном, оказывает значительное влияние на процесс нагружения волокна, что следует учитывать при проектировании машин.

2. Средняя скорость нагружения волокна зависит от соотношения жесткостей гарнитуры и пучков перерабатываемых волокон.

3. Выполненные исследования оригинальны и могут быть использованы при

проектировании различных очистительных и чесальных машин при выборе гарнитуры и способов ее закрепления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Корабельников Р.В.* Теоретические и экспериментальные исследования процессов и конструкций рабочих органов машин для переработки тонковолокнистого хлопка-сырца: Дис...докт. техн. наук. – Кострома, 1981

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 25.12.06.

---

УДК 621.021

## ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПУЧКА ВОЛОКОН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДВИЖУЩИХ И ТОРМОЗЯЩИХ УСИЛИЙ

Б.С. МИХАЙЛОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В различных технологических процессах (разрыхления, кардо- и гребнечесания, вытягивания и др.) технологии прядения происходит перемещение пучков волокон (а также отдельных волокон, сорных примесей и пороков) под воздействием движущих сил, достаточных для преодоления сил сопротивления их скольжению. Движущую силу  $F_{дв}(t)$  создают ножи разрыхлительных барабанов, зубцы, иглы рабочих органов, валики и цилиндры вытяжных приборов и т.п. Сопротивление  $F_c(t)$  перемещению пучков оказывает окружающая пучки волокнистая масса, гарнитура рабочих органов (шляпок, барабанов и др.), трение волокон о рабочие поверхности (колосники, прутки и т.п.).

Описать процесс движения пучков, отдельных волокон в сопротивляющейся среде, имеющий место на всех технологических переходах, можно с помощью одной общей модели.

Пусть рабочий орган (например, зуб барабана) захватывает группу волокон (пучок) и стремится с силой  $F_{дв}(t)$  извлечь и переместить ее относительно окружающей волокнистой массы. Волокна захваченной группы сцеплены с некоторым числом сзади лежащих волокон настолько сильно, что под действием силы  $F_{дв}(t)$  вся эта сцепленная группа, вся эта "цепочка" волокон, движется как одно целое. Если цепочку длиной  $L$  условно разделить на  $n$  последовательных элементов массой  $m_i$  каждый ( $i=1,2,\dots,n$ ), то можно получить

упрощенную модель волокнистой цепочки, показанную на рис. 1. Здесь каждый из шаров (элементов) массой  $m_i$ , помещенных в сопротивляющуюся среду, испытывает сопротивление движению  $F_{ci}(t)$ , обусловленное взаимодействием между элементами соседних цепочек. Сила сопротивления  $F_{ci}(t)$  складывается из двух составляющих: внешней силы трения скольжения  $F_{три}(t)$  и силы внутреннего трения (эта сила сопротивления элемента массой  $m_i$  изменяется пропорционально скорости его смещения и коэффициенту вязкого трения  $\gamma_i$  и возникает, например, если волокнистая масса имеет небольшую влажность). Пружины с жесткостью  $k_i$  отражают наличие упругих свойств элементов цепочки.

Общий метод расчета движения системы из  $n$  материальных точек в вязкой среде предложен Л.С. Маянцем [1, с.96].

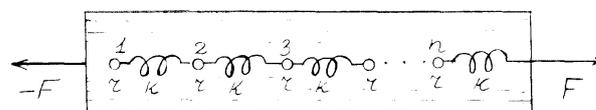


Рис. 1

С учетом этой работы для модели, изображенной на рис.1, система дифференциальных уравнений, передающих движение шаров при воздействии внешней силы  $F_{дв}(t)$ , будет следующая (сила  $F_{дв}$  идет на преодоление сопротивления движению, инерции и упругости пучка):

$$\begin{aligned}
& m_1 \frac{d^2 U_1}{dt^2} + F_{\text{тр}1} + r_1 \frac{dU_1}{dt} + k_1(U_1 - U_2) = 0, \\
& m_i \frac{d^2 U_i}{dt^2} + F_{\text{тр}i} + r_i \frac{dU_i}{dt} + k_i(2U_i - U_{i-1} - U_{i+1}) = 0, \quad (i=2, \dots, n-1), \\
& m_n \frac{d^2 U_n}{dt^2} + F_{\text{тр}n} + r_n \frac{dU_n}{dt} + k_n(U_n - U_{n-1}) = F_{\text{дв}}(t),
\end{aligned} \quad (1)$$

где  $U_i$  – смещение  $i$ -го шара;

$$F_{\text{мп}i} + r_i \frac{dU_i}{dt} = F_{\text{с}i}(t). \quad (2)$$

Система (1) решается только численными методами. В частном случае, когда все массы, сопротивления и жесткости, одинаковы и  $F_{\text{тр}i} = 0$ , можно получить аналитическое соотношение, приведенное в [1].

В данной работе, не анализируя общее решение системы (1), найдем величину перемещения центра тяжести (точнее, центра сопротивления) всей цепи  $\xi$  при условии  $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ ,  $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$ ,  $k_1 = k_2 = \dots = k_n = k$ . Для этого сложим все уравнения системы (1):

$$m \sum_{i=1}^n \frac{d^2 U_i}{dt^2} + r \sum_{i=1}^n \frac{dU_i}{dt} = F(t),$$

или

$$m \frac{d^2}{dt^2} \sum_{i=1}^n U_i + r \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n U_i = F(t), \quad (3)$$

где  $F(t) = F_{\text{дв}}(t) - F_{\text{тр}}$ ;  $F_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{тр}i}$ .

Суммарное смещение всех шаров модели  $\sum_{i=1}^n U_i$  равно их количеству, умноженному на  $\xi$ :

$$\sum_{i=1}^n U_i = n\xi.$$

Подставляя это выражение в (3), получим:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + r \frac{d\xi}{dt} = \frac{F(t)}{n}. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) представляет собой сумму общего  $\xi_{\text{общ}}$  и частного  $\xi_{\text{частн}}$  решений. Общее решение имеет вид:

$$\xi_{\text{общ}} = C_1 + C_2 e^{-\frac{r}{m}t},$$

где  $C_1, C_2$  – произвольные постоянные.

Частное решение  $\xi_{\text{частн}}$  зависит от вида функции  $F(t)$ .

Рассмотрим три важных вида функции  $F(t)$ .

Первый вид – действующая сила постоянна:  $F(t) = F_0 = \text{const}$ . Тогда при нулевых начальных условиях ( $t = 0 : \xi = 0, d\xi/dt = 0$ ) из (4) получаем

$$\xi = \frac{F_0 t}{r n} - \frac{F_0 m}{r^2 n} (1 - e^{-\frac{r}{m}t}). \quad (5)$$

Пусть сила  $F(t)$  изменяется по закону (второй вид функции  $F(t)$ ):

$$F(t) = \begin{cases} F_0 + bt, & \text{при } t \geq 0, \\ 0, & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда, решая (4), находим:

$$\xi = \frac{F_0 - \frac{m}{r}b}{r n} \left[ t - \frac{m}{r} \left( 1 - e^{-\frac{r}{m}t} \right) \right] + \frac{bt^2}{2 r n}. \quad (7)$$

Очевидно, что при  $b=0$  решение (7) совпадает с (5).

Важным является случай, когда сила  $F$  изменяется периодически, например, при воздействии на пучок ножей или зубцов разрыхляющего барабана. Пусть сила имеет синусоидальную зависимость  $F(t)=F_0\sin\omega t$ ; здесь  $-F_0 \leq F(t) \leq +F_0$ . Поскольку сила не должна быть отрицательной, то можно рассмотреть два варианта:

во-первых, перейти к модулю  $F(t) = F_0 |\sin \omega t|$ ;

во-вторых, принять, например,  $F(t)$  равным  $F_0+F_0\sin\omega t$ , тогда  $F(t)$  будет изменять-

ся от 0 до  $2F_0$ . Рассмотрим первый вариант.

Поскольку операции с выражением, содержащим модуль какой-либо функции, не удобны, поэтому, как показано на с.162 [2], целесообразно аппроксимировать выражение  $F_0\sin\omega t$  функцией (8), более удобной для дальнейших преобразований:

$$F(t) \approx F_0 0,64(1 - \cos 2\omega t). \quad (8)$$

Решение уравнения (4) для случая периодического изменения силы в соответствии с выражением (8) имеет вид:

$$\xi = C_1 + C_2 e^{-\frac{r}{m}t} + \frac{0,64F_0}{r n} \left( t - \frac{1}{2\omega} \sin 2\omega t \right). \quad (9)$$

Отсюда при нулевых начальных условиях получаем:

$$\xi = \frac{0,64F_0}{r n} \left( t - \frac{1}{2\omega} \sin 2\omega t \right). \quad (10)$$

Второй вариант синусоидального изменения силы  $F(t)$  будет рассмотрен дальше.

В том случае, когда цепочка движется без ускорения, выражения для  $\xi$  упрощаются. При этом из уравнения (4) имеем:

$$r \frac{d\xi}{dt} = \frac{F(t)}{n}. \quad (4a)$$

Отсюда:

$$\xi = \frac{0}{m} \int_0^t F(\tau) d\tau. \quad (11)$$

При  $F=\text{const}=F_0$  из (11) получаем:

$$\xi = \frac{F_0 t}{r n}. \quad (12)$$

Пусть  $F \neq \text{const}$  и линейно увеличивается во времени, то есть  $F=F_0+bt$ ; тогда

$$\xi = \frac{F_0 t + bt^2 / 2}{r n}. \quad (13)$$

Очевидно, что при  $b=0$  формула (13) переходит в (12); сами формулы (12) и (13) легко могут быть получены из (5) и (7) при  $m=0$ .

Из формул (12) и (13) следует, что смещение  $\xi$  пучка при отсутствии ускорения возрастает с ростом  $F_{\text{дв}}$  и  $t$  и уменьшается при увеличении сил сопротивления окружающей среды и числа элементов в цепочке (то есть при увеличении длины цепочки); от массы пучка смещение  $\xi$  не зависит, она (масса) влияет на смещение, как видно из формул (5) и (7), лишь при наличии ускорения. Не зависит смещение  $\xi$  и от упругости  $k$  элементов, что следует уже из уравнения (4).

Рассмотрим теперь синусоидальное изменение  $F$ :

$$\begin{aligned} F(t) &= F_0 + F_0 \sin \omega t, & t \geq 0, \\ F(t) &= 0 & t < 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда из (11) имеем:

$$\xi = \frac{F_0}{n r} \int_0^t (1 + \sin \omega \tau) d\tau = \frac{F_0 t}{n r} + \frac{F_0}{n r \omega} (1 - \cos \omega t) = \xi_1 + \xi_2. \quad (15)$$

Постоянная сила  $F_0$  дает смещение  $\xi_1 = F_0 t / (nr)$ . Синусоидальная составляющая силы дает смещение  $\xi_2$  – второе слагаемое в формуле (15).

Поскольку анализ смещения  $\xi_1$  уже проведен, сейчас остановимся на анализе смещения  $\xi_2$ .

Из (15) видно, что соответственно изменению знакопеременной силы (14) смещение  $\xi_2$  имеет также стационарный периодический характер с частотой вынуждающей силы и изменяется от нуля до величины:

$$\xi_{2, \max} = \frac{2F_0}{n g \omega}. \quad (16)$$

Мы видим, что с повышением частоты воздействия силы  $\omega$  амплитуда колебаний смещения  $\xi$  монотонно убывает до нуля. Она также тем меньше, чем больше  $n$  и  $r$ . Этот результат понятен: мы уже видели, например, из (12) и (13), что чем более кратковременно действие силы и чем длиннее цепочка, тем меньше смещение  $\xi$ .

Определим теперь работу  $A$ , производимую периодической силой  $F_0 \sin \omega t$  за один цикл и затрачиваемую на смещение  $\xi_2$ :

$$A = \int_0^T (F_0 \sin \omega t) d\xi_2 = \frac{F_0^2 \pi}{n r \omega}, \quad (17)$$

где  $T = 2\pi / \omega$  – период колебания силы.

что описывает перемещение соринки в прочесе и совпадает с уравнением (2.13) работы [3], полученным другим способом.

Из (17) видно, что работа за один цикл действия силы зависит от частоты и убывает при ее возрастании. Однако средняя величина работы за единицу времени, равная  $A/T = F_0^2 / (2nr)$ , не зависит от частоты.

Отметим, что вместо выражения (14) для  $F(t)$  можно использовать и формулу (8). В этом случае вычисление  $\xi$  по формулам (8) и (11) приведет к выражению (10). Анализ величин  $\xi_{2, \max}$  и  $A$ , определенных по выражению (10), приводит к тем же качественным результатам, которые были ранее получены при использовании для  $F(t)$  выражения (14).

До сих пор мы использовали систему (1) и уравнение (4) для анализа перемещения цепочки – пучка или отдельного волокна. Если же принять  $n=1$ , то уравнение (4) может описывать и движение соринки массой  $m$ . Решим для примера такую задачу, взятую из работы [3]: из неподвижного волокнистого слоя (прочеса) толщиной  $h$  удаляются под действием силы отсоса воздуха  $F_0$  и собственной тяжести  $mg$  ( $g$  – ускорение свободного падения) сорные частицы, находящиеся при  $t=0$  на расстоянии  $h_0$  от верхней поверхности прочеса (соринке, чтобы выйти из прочеса, надо пройти путь  $h-h_0$ ); надо найти перемещение этих частиц внутри прочеса.

Используя уравнения (4) при условии  $F(t)=F_0+mg$ ,  $n=1$  и при начальных условиях

$$(t = 0 : \xi = h_0, d\xi/dt = 0),$$

получаем :

$$\xi = h_0 + \frac{(F_0 + mg)t}{r} - \frac{(F_0 + mg)m}{r^2} \left( 1 - e^{-\frac{r}{m}t} \right), \quad (18)$$

При  $r=0$  уравнение (4) совпадает с уравнением (2.2) указанной работы и описывает движение соринки при отсутствии вязкого трения.

Отметим в заключение следующее:

1) В модели (1) окружающая пучок среда неподвижна ( $V_0=0$ ). Если же волокнистый слой движется, то в системе уравнений (1) вместо  $U_i$  надо записать

$(U_i' - V_0 t)$ , где  $U_i'$  – общее смещение  $i$ -го элемента, как это сделано на с.108 работы [4]. Тогда при решении уравнения (4) во все выражения для  $\xi(t)$  добавится слагаемое  $V_0 t$  (переносное движение пучка вместе со всем слоем).

2) В модель (1) и во все выражения для  $\xi$  входят силы сопротивления; по исследованию этих сил имеется ряд работ, например, в [5] исследуется задерживающая способность гарнитуры, в [6] определяется обобщенный коэффициент сопротивления слоя на подбильной решетке.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена общая модель в виде системы дифференциальных уравнений для определения перемещения пучка волокон под воздействием движущих и тормозящих усилий. Модель пригодна для исследования движения пучков, одиночных волокон, сорных примесей, имеющего ме-

сто на различных технологических переходах.

2. Получено дифференциальное уравнение для определения величины перемещения центра тяжести пучка волокон. Для нескольких частных случаев изменения движущих сил получены аналитические решения, описывающие движение пучка волокон и сорных примесей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Аскадский А.А.* Деформация полимеров. – М.: Химия, 1973.
2. *Мовшович П.М.* Самокруточное прядение. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
3. *Мирзабаев Б.* Совершенствование очистки волокнистого прочеса на шляпочных чесальных машинах: Дис... канд. техн. наук. – Ташкент, 1990.
4. *Михайлов Б.С.* Штапелирование жгута способом разрыва. – М.: Легпромбытиздат, 1993.
5. *Ашнин Н.М.* Кардочесание волокнистых материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
6. *Савиновский В.И., Лапшин А.Б., Янушевский Д.А.* К определению обобщенного коэффициента сопротивления движению лубоволокнистого слоя на подбильной решетке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1993, №6. С.15...18.

Рекомендована кафедрой технологии прядения и нетканых материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.021.18

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОКНООБМЕНА С УЧЕТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫПАДОВ В ЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЕ

*Н.М. АШНИН, В.Г. МЕШКОМАЕВ, Х.Х. ОСМАН*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Процесс чесания многокомпонентных смесей сопровождается образованием выпадов, имеющих сложную структуру, вследствие чего меняется состав прочеса на выходе. Для анализа состава перерабатываемой смеси на этапе чесания разработана математическая модель, учитывающая образование выпадов и их дальнейшее удаление из прочеса чесания и предусматривающая вариант их возврата в питаю-

щий бункер.

В имитационной модели процесс волокнообмена рассматривается на уровне потока волокон (массообмен) и на уровне единичного волокна [1], [2]. Переход волокон на уровне потока волокон задается коэффициентом распределения, а на уровне единичного волокна – вероятностью перехода. Процесс обрыва волокон моделируется посредством различных алгоритмов

обрыва волокон [3].

Математическая модель создана для исследования многокомпонентных смесей, то есть, совокупности групп волокон, имеющих различные физико-механические свойства и соответственно различное поведение в процессе кардочесания. Каждый компонент представлен в модели набором значений, соответствующих массам групп волокон с одинаковыми физико-механическими свойствами, объединенных в одномерный массив  $\alpha_i$ : ( $i=1, \dots, n$ ). Величина  $n$  определяет количество контролируемых групп волокон в компоненте смеси и характеризует информативность исследования, а каждое  $i$ -е значение массива определяет массу группы волокон, имеющих одинаковое значение показателя, определяющего поведение волокна в процессе кардочесания. Таким показателем в модели принимается вероятность перехода волокон в процессе волокнообмена в чесальной машине ( $P_i$ ), которая является функцией, зависящей только от длины волокна. Информация о состоянии многокомпонентной смеси по аналогии с предыдущим содержится в двумерном массиве  $\alpha_{ij}$ : ( $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$ ), где  $k$  – количество компонентов в смеси. Соответственно характеристика, определяющая поведение отдельных групп волокон, – вероятность перехода волокон в многокомпонентной смеси – представляется также в виде двумерного массива  $P_{ij}$ : ( $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$ ).

В процессе моделирования обрывности волокон при волокнообмене в чесальной машине предложен ряд искусственно заданных способов разрыва волокон в процессе чесания. В частности, задавались различные соотношения частей волокон, получающихся после разрыва волокна. Помимо этого изменяемым фактором являлась величина массы волокон загрузки главного барабана, подвергнувшейся разрыву за каждый оборот. При реализации этих алгоритмов в случайном порядке формировался псевдослучайный алгоритм разрыва волокон при волокнообмене, который оказался наиболее близким к реальному процессу обрывности при сравнении

с экспериментальными данными. Так как в реальном процессе чесания волокнистых смесей параллельно с переходом волокон с главного барабана на съемный происходит уменьшение массы перерабатываемых волокон из-за образования выпадов, то математическая модель была дополнена специальным блоком, учитывающим изменение масс и структур загрузок при выбывании волокон из процесса волокнообмена в зависимости от их длины.

Имитация возврата выпадов в бункер чесальной машины в математической модели учитывает время, необходимое для прохождения пути от момента их выпада в процессе чесания до попадания на гарнитуру главного барабана.

При построении математической модели были приняты следующие допущения.

1. Пучки волокон разработаны на отдельные волокна.

2. Переход волокон с главного барабана на съемный определяется величиной вероятности перехода, которая зависит только от длины волокна.

3. Переход волокон с главного барабана в выпады определяется величиной вероятности перехода выпадов, которая зависит только от длины волокна.

4. Не учитывается волокнообмен между главным барабаном и рабочими валиками (или шляпками).

5. Вся загрузка главного барабана является рабочей.

6. Взаимодействие волокон между собой отсутствует.

В основу алгоритма модели волокнообмена положено движение волокон в реальной чесальной машине. Контроль значений загрузок рабочих органов чесальной машины, их структуры и массы проводится в местах их формирования.

Основные обозначения математической модели:

$\alpha_{ij}^{\text{пит}}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – загрузка питания главного барабана.

$\alpha_{ij}^{\text{рб}}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – загрузка главного барабана.

$\alpha_{ij}^{\text{ост}}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – остаточная загрузка главного барабана.

$\alpha_{ij}^{сб}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – загрузка съемного барабана.

$\alpha_{ij}^{вып}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – выпад главного барабана.

$P_{ij}^{сб}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – вероятность перехода волокон на съемный барабан.

$P_{ij}^{вып}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – вероятность выпадов волокон с главного барабана.

Возврат выпадов в бункер характеризуется массой, структурой и временем возврата.

$T_{ij}$   $i=1, \dots, n, j=1, \dots, k$  – время возврата.

Численные значения вышеперечисленных массивов формируются следующим образом:

$\alpha_{ij}^{пит}$ ,  $P_{ij}^{сб}$ ,  $P_{ij}^{вып}$  задаются как исходные данные в процессе моделирования,

$$\alpha_{ij}^{гб} = \alpha_{ij}^{пит} + \alpha_{ij}^{вып} ((T_{ij}) + \alpha_{ij}^{ост}), \quad (\text{вычисляются для каждого оборота главного барабана})$$

$$\alpha_{ij}^{сб} = \alpha_{ij}^{гб} * P_{ij}^{сб}$$

$$P_{ij} = P_{ij}^{сб} + P_{ij}^{вып}$$

$$\alpha_{ij}^{ост} = \alpha_{ij}^{гб} * (1 - P_{ij})$$

$$\alpha_{ij}^{вып} = \alpha_{ij}^{гб} * P_{ij}^{вып}$$

Для определения эффекта влияния возврата выпадов в бункер чесальной машины на распределения и структуры загрузок рабочих органов чесальной машины рас-

смотрим результаты, полученные при исследовании на компьютерной модели волокнообмена процесса переработки волокнистой смеси, состоящей из волокон хлопка и льна. Массовые доли волокон хлопка и льна одинаковы. Структуры компонентов загрузки питания представлены на рис. 1 (распределение волокон по длине в загрузке питания).

В процессе расчетов по компьютерной модели были получены структуры компонентов смеси волокон на съемном барабане (рис.2 – распределение хлопкового волокна по длине в загрузке съемного барабана смесью хлопка и льна), (рис.3 – распределение льняного волокна по длине в загрузке съемного барабана смесью хлопка и льна), структуры волокон в выпадках (рис.4 – распределение хлопкового волокна по длине в загрузке выпадов смеси хлопка и льна), (рис.5 – распределение льняного волокна по длине в загрузке выпадов смеси хлопка и льна), (рис.6 – распределение смеси волокон по длине в загрузке выпадов). Для наглядности на рисунках эти характеристики приводятся в двух вариантах: при работе чесальной машины с возвратом выпадов в бункер и без возврата.

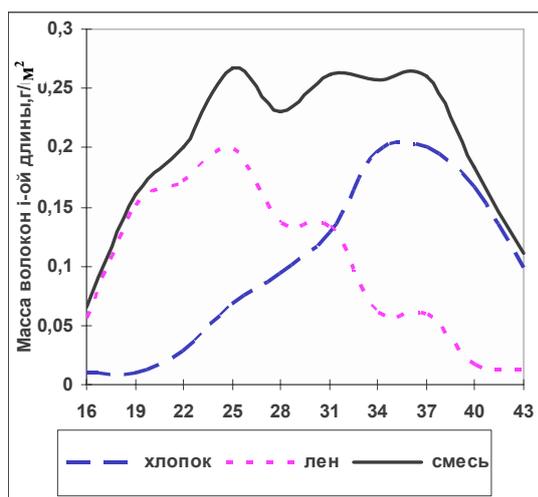


Рис. 1

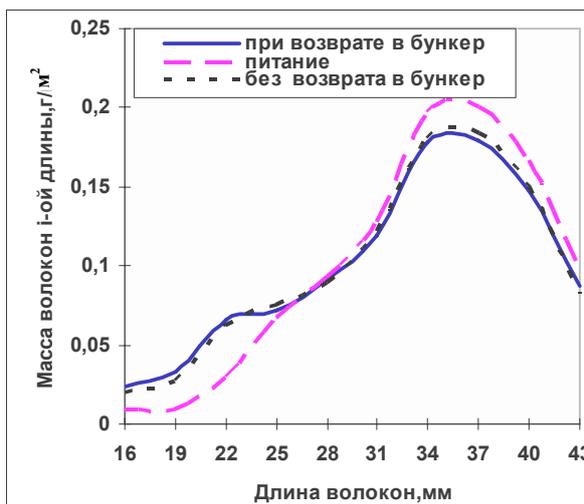


Рис. 2

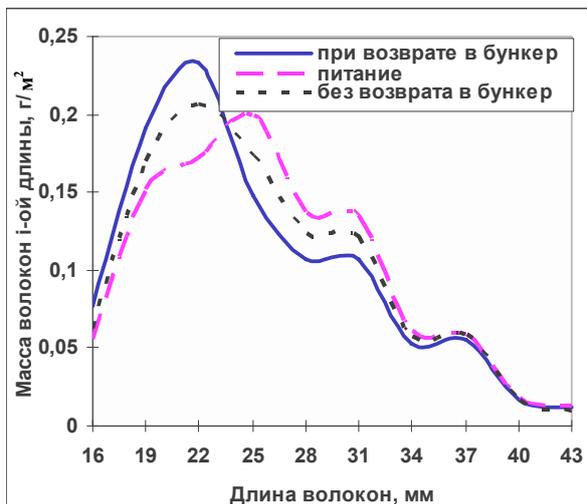


Рис. 3

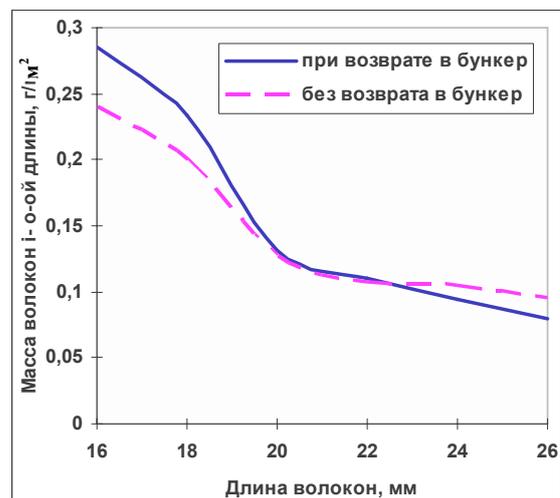


Рис. 4

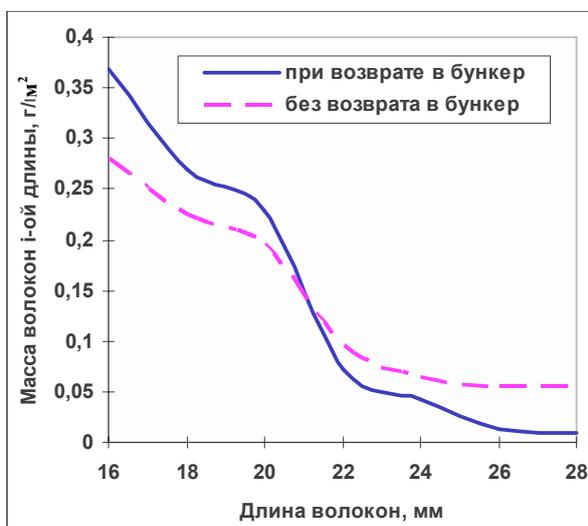


Рис. 5

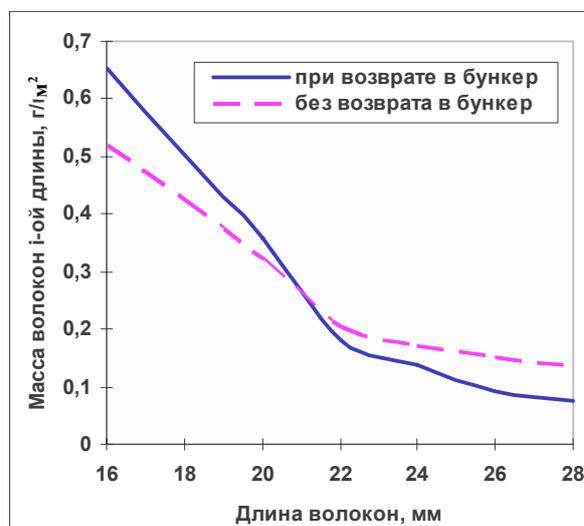


Рис. 6

Анализ рисунков показывает, что использование моделирования процесса чесания с учетом возврата выпадов в бункер чесальной машины позволяет контролировать структуры загрузок рабочих органов и осуществлять управление структурой волокнистой смеси в готовом продукте посредством частичного возврата выпадов в бункер.

## ВЫВОДЫ

Математическое моделирование процесса волокнообмена является эффективным методом исследования процесса кардочесания и позволяет подробно изучать процессы, которые сложно исследовать на практике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ашин Н.М. Кардочесание волокнистых материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
2. Ашин Н.М., Мешкомаев В.Г., Осман Х.Х. Моделирование процесса чесания с обрывом волокон // Вестник СПГУТД. – 2005, № 11.
3. Ашин Н.М., Мешкомаев В.Г., Осман Х.Х. Имитационное моделирование процесса волокнообмена хлопка в чесальной машине с учетом обрывности волокон // Вестник СПГУТД. – 2005, № 12.

Рекомендована кафедрой технологии прядения и нетканых материалов. Поступила 25.12.06.

## РАЗРАБОТКА ШЕРСТОЛЬНОЙ ПРЯЖИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАВОДСКОЙ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ШЕРСТИ\*

А.Н. РОМАНОВА, А.В. ГУСАКОВ, А.П. СИНИЦЫН

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,  
ООО "Институт технических суков",  
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова)

Побочным продуктом кожевенного производства является шерсть, снимаемая со шкур овец (заводская шерсть), она обычно используется в валяльно-войлочном производстве. В соответствии с данными ЕС [1] важной задачей является утилизация заводской шерсти в текстильном производстве. Исходя из анализа особенностей свойств овечьей заводской шерсти перспективным способом ее применения может быть смешивание с коротковолокнистым льном для расширения ассортимента текстильных материалов на основе воспроизводимого природного сырья, обладающих оригинальными свойствами и дизайном [2].

Целью исследования было получение шерстошной пряжи, включающей, наряду со стриженной шерстью, заводскую ферментативную овечью шерсть и льняной котонин, а также оценка компонентного состава и свойств данной пряжи.

Ферментативный метод обезволаживания кожевенного сырья применяется при низких температурах и не оказывает суще-

ственного влияния на прочностные свойства и качество получаемой шерсти. Кроме того, по сравнению с химическим он позволяет снизить загрязнение сточных вод и исключить из технологии вредные химические реагенты [1].

Для получения заводской ферментативной шерсти консервированные сухосолёные овечьи шкуры вымачивали в присутствии катапола и затем обезволаживали намазным способом водным раствором препарата щелочной протеазы протолихтерм (полученного с помощью бактериальной культуры *Vac. Licheniformis*, протеазная активность составила 2125 ед/г).

В трехкомпонентную смесь с шерстью вводили волокна короткого очищенного льна № 4 (ГОСТ 9394–76) и полиэфирное штапельное волокно (ГОСТ 10435–94).

Для волокон смеси определяли среднюю длину и среднюю линейную плотность [3], измеряли диаметр методом микроскопии и прочность на разрыв на приборе FM-27 фирмы Computex (Венгрия) в соответствии с ГОСТом 20269–93 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Свойства	Волокна			
	кроссбредная шерсть	ферментативная заводская шерсть	лен	полиэфирное волокно
Средняя длина, мм	94,2	43,5	51,0	66,0
Средний диаметр, мкм	26,3	29,7	-	-
Линейная плотность, текс	0,792	0,788	2,30*	0,33
Прочность, сН/текс	19,1	15,0	-	28,5
Относительное удлинение при разрыве, %	30	37	-	32

П р и м е ч а н и е. \* – с учетом расщепленности волокон.

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук И.И. Шамолиной.

По своим свойствам исследуемая овечья ферментативная заводская шерсть пригодна к переработке в аппаратной системе прядения шерсти.

Одним из основных критериев взаимозаменяемости волокнистых компонентов в шерстьсодержащих смесях является близость коэффициентов валкоспособности рассматриваемых смесей. Валкоспособность смесей волокон изучали с помощью специального устройства и по методике, разработанной в Институте технических сукон. Коэффициент валкоспособности (w, %) определяли как объемную усадку волокнистого шарика по формуле:

$$W = \left( 1 - \frac{D_1 D_2 D_3}{D_{\text{ср. иск}}^3} \right) \cdot 100,$$

где  $D_1, D_2, D_3$  – поперечники образующегося в результате валки эллипсоида по трем осям, а  $D_{\text{ср. иск}}$  – диаметр шарика из волокна, помещаемого в сферу перед началом валки, который принимается одинаковым для всех видов волокон и равен 5 см. Определенные коэффициенты валкоспособности исследуемых смесей приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели № п/п	Волокнистые смеси	Валкоспособность	
	сырьевой состав смеси и процентное содержание компонентов	коэффициент, %	среднее квадратическое отклонение
1	Заводская ферментативная шерсть – 45 Лен – 25 ПЭФ – 30	78,9	2,9
2	Ферментативная заводская шерсть – 5 Шерсть кроссбредная 58 <sup>к</sup> – 40 Лен – 25 ПЭФ – 30	77,7	2,8
3	Шерсть кроссбредная 58 <sup>к</sup> – 45 Лен – 25 ПЭФ – 30	77,0	2,5

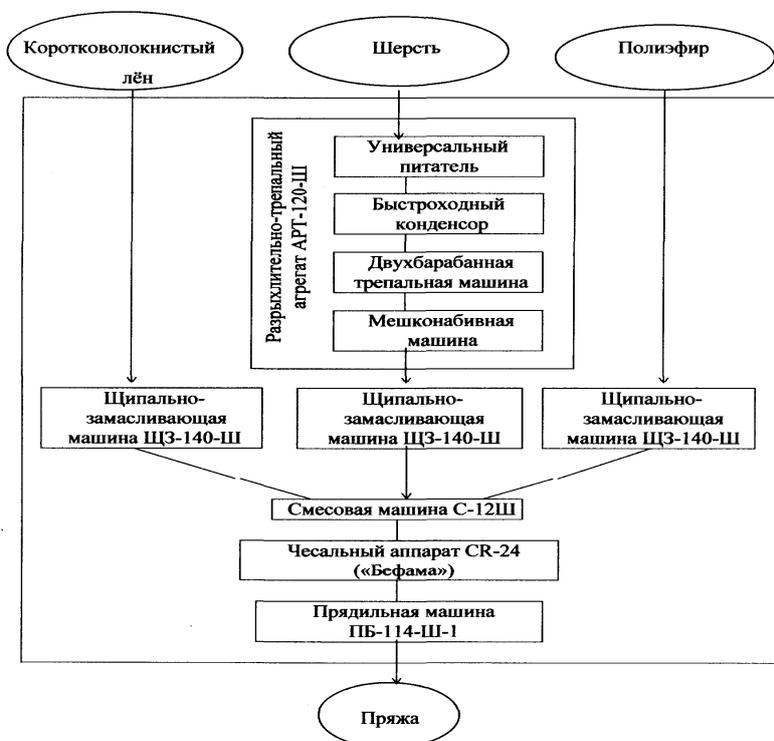


Рис. 1

Замена кроссбредной шерсти на ферментативную заводскую практически не изменила валкоспособности смеси. Оценка по t-критерию показывает отсутствие достоверных различий между смесями № 2 и 3.

Смеси №2 и 3 были переработаны в пряжу по схеме промышленного производства шерстольняной пряжи, приведенной на рис. 1.

Волокнистый состав пряж проверяли в соответствии с методикой [4], а прочность определяли на разрывной машине ИР 5062-0,5 в соответствии с ГОСТом 6611.2–73.

В табл. 3 сведены характеристики полученных вариантов пряжи.

Т а б л и ц а 3

Пряжа	Свойства пряжи						
	Линейная плотность, текс	Крутка, кр/м	Прочность, сН/текс	Коэффициент вариации, %		Содержание компонентов, %	
				линейной плотности	прочности	белковых	растительных
2	100	400	7,49	13,6	19,1	48,2	21,5
3	100	400	7,70	12,9	17,4	49,2	20,9

Сохранение заданного содержания коротковолокнистого льняного компонента наблюдается у шерстольняной пряжи, изготовленной как с добавлением заводской ферментативной шерсти, так и без нее.

### ВЫВОДЫ

Использование заводской ферментативной овечьей шерсти в смесях, включающих кроссбредную шерсть, льняной котонин и полиэфирное волокно, позволяет вырабатывать пряжу по аппаратной системе шерстопрядения с высоким содержанием белкового и растительного компонентов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference Document on Best Available Techniques for Tanning of Hides and Skins.- 2003. - <http://eippcb.jrc.es>.
2. Shamolina I.I., Romanova A.N., Lebedeva G.K., Asnis L.M., Grishanov S.A. Short Wool Fibre Manufacturing and Spinning in Blends with Flax. Proc. of 10<sup>th</sup> International Wool Textile Research Conference. – Aachen, Germany, 26 November-2 December 2000.
3. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1980.
4. Каторжнов Н.Д., Воителев Ю.А. Распознавание химических и природных волокон. – М.: Легкая индустрия, 1966.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 25.12.06.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОЙ ВЫТЯЖКИ ПРИ СМАТЫВАНИИ РОВНИЦЫ НА ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЕ\*

Е. С. КИРИЛЛОВА

(Костромской государственный технологический университет)

Согласно новой технологии получения бескруточной льняной ровницы мокрым способом мычку, выходящую из вытяжного прибора, подвергают увлажнению с одновременным ее уплотнением ложной круткой [1]. В результате получают некрученный продукт, который в дальнейшем подвергается химической обработке и переработке на прядильных машинах. Прочность полученной таким способом ровницы несколько меньше прочности ровницы, получаемой на рогулечных ровничных машинах. Следствием этого может явиться увеличение вероятности обрыва ровницы в питающей рамке прядильной машины или возникновение неконтролируемой вытяжки. Оценим величину возникающей при сматывании ровницы неконтролируемой вытяжки и вероятность обрыва ровницы.

Исходными данными для моделирования процесса возникновения неконтролируемой вытяжки являются полученные экспериментально зависимости натяжения ровницы от времени и распределения разрывной нагрузки ровницы по ее длине [2], [3]. При этом длина, на которой производятся замеры разрывной нагрузки, должна соответствовать расстоянию от точки схода ровницы с катушки до ее входа в вытяжной прибор. Зная скорость сматывания ровницы на прядильной машине, можно получить зависимость прочности ровницы от времени.

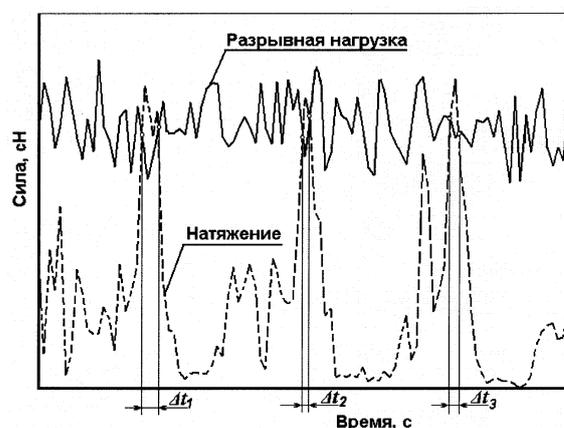


Рис. 1

Образцы таких зависимостей приведены на рис. 1, из которого видно, что в течение некоторых небольших промежутков времени натяжение ровницы превышает разрывную нагрузку. Поскольку прочность ровницы определяется силами трения между волокнами, то в течение этих промежутков времени происходит сдвиг волокон.

В первом приближении согласно схеме Н.А.Васильева [4] представим продукт состоящим из ряда групп волокон таким образом, что внутри одной группы длины волокон и их сдвиги друг относительно друга можно принять постоянными. Кроме того, принимается, что движение волокон каждой группы не влияет на движение волокон других группы.

На рис. 2 изображена расчетная схема для определения числа волокон в сечении при возникновении неконтролируемой вытяжки.

\*Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук П.Н. Рудовского.

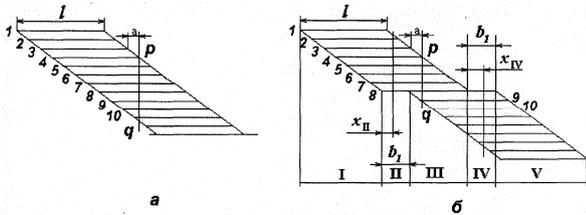


Рис. 2

Рассмотрим процесс сдвига волокон на примере одной группы волокон. Ровница согласно принятым допущениям изображена на рис. 2-а. Длина волокон в группе равна  $\ell$  и все они сдвинуты друг относительно друга на величину  $a$ . Число волокон в произвольном сечении  $pq$  продукта можно рассчитать по формуле:

$$n = E\left(\frac{\ell}{a}\right), \quad (1)$$

где  $E(x)$  – функция выделения целой части числа  $x$ .

В момент, когда натяжение становится больше разрывной нагрузки в наиболее слабом сечении на участке между точкой схода ровницы с катушки и ее входом в питающую пару вытяжного прибора, начинается сдвиг волокон. Он продолжается в течение всего отрезка времени  $\Delta t_1$ . В результате часть волокон продукта по одну сторону от наиболее слабого участка сдвинется на расстояние

$$b_1 = V_{ск} \Delta t_1, \quad (2)$$

где  $V_{ск}$  – скорость относительного скольжения волокон при сдвиге;  $\Delta t_1$  – продолжительность первого времени, в течение которого натяжение ровницы больше ее прочности.

Скорость относительного скольжения в общем случае является переменной величиной. Она равна разности:

$$V_{ск} = V_{пит} - V_{кат}, \quad (3)$$

где  $V_{пит}$  – скорость питающей пары вытяжного прибора;  $V_{кат}$  – линейная скорость поверхности катушки.

В случае, когда натяжение не превосходит разрывной нагрузки ровницы, эти

скорости равны и сдвиг волокон не происходит. Если же натяжение становится больше прочности ровницы, то ровница не может обеспечить вращение катушки с требуемой скоростью. В этом случае катушка останавливается. Остановка происходит не мгновенно, а время переходного процесса и закон движения во время этого процесса неизвестны и нуждаются в дополнительном исследовании. В силу этого в первом приближении примем, что

$$V_{кат} = kV_{пит}, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий снижение средней скорости поверхности катушки.

В этом случае

$$V_{ск} = V_{пит}(1 - k). \quad (5)$$

Таким образом, сдвиг волокон при возникновении первого случая превышения натяжения ровницы над разрывной нагрузкой составит:

$$b_1 = V_{пит} \Delta t_1 (1 - k). \quad (6)$$

Размещение волокон в продукте после завершения процесса сдвига волокон согласно принятым допущениям показано на рис.2-б. Определим число волокон в сечениях. Для этого продукт на схеме разобьем на пять участков. На участках I и V сдвиг волокон не происходит и число волокон в сечении продукта можно определить по формуле (1).

Участки II и IV имеют одинаковую длину, равную  $b_1$ . На участке II число волокон в продукте убывает по закону

$$n_{II} = E\left(\frac{\ell - x_{II}}{a}\right), \quad (7)$$

где  $x_{II}$  – текущая координата, отсчитываемая от начала участка II.

К концу участка число волокон становится равным:

$$n_{II} = E\left(\frac{\ell - b_1}{a}\right). \quad (8)$$

На участке III, который имеет длину  $\ell_{III} = \ell - B$ , число волокон в продукте не зависит от координаты и равно числу, определенному по формуле (8).

На участке IV число волокон возрастает по закону

$$n_{IV} = E\left(\frac{\ell - b_1 + x_{IV}}{a}\right), \quad (9)$$

где  $x_{IV}$  – текущая координата, отсчитываемая от начала участка IV.

К концу участка число волокон становится равным числу волокон на участке V.

Полученная зависимость изменения числа волокон по длине продукта в месте образования сдвига волокон иллюстрируется графиком на рис. 3.



Рис. 3

Прочность продукта в каком-либо сечении зависит от числа волокон в нем. Если прочность участка III окажется ниже разрывной нагрузки в следующий момент времени, то сдвиги волокон продолжатся и наступит обрыв ровницы. В противном случае будет продолжаться сматывание ровницы с катушки.

За время  $t$  – прохождения ровницы от места схода ее с катушки до входа в вытяжной прибор – возможно возникновение нескольких случаев превышения натяжения по отношению к разрывной нагрузке. Поскольку первый сдвиг волокон произошел в слабом месте и при этом снизил прочность ровницы, то последующие

сдвиги будут происходить в том же месте. Тогда полный сдвиг волокон за время  $t$  будет:

$$B = \frac{V_{пит}}{2} \sum_1^i \Delta t_i, \quad (10)$$

где  $i$  – число случаев превышения натяжением разрывной нагрузки ровницы.

Интервал времени  $\Delta t_i$  в каждом следующем случае должен определяться с учетом снижения прочности ровницы, вызванным уменьшением числа волокон в ее сечении.

Полученные зависимости использовались для создания имитационно-статистической модели прогнозирования неконтролируемой вытяжки и обрывности ровницы в зоне питания на прядильной машине. Модель позволяет определять ряд конструктивных и технологических параметров из условия исключения неконтролируемой вытяжки в продукте.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что превышение натяжения ровницы по отношению к ее разрывной нагрузке может приводить не только к ее обрыву, но и к возникновению неконтролируемой вытяжки.

2. Получены зависимости, позволяющие оценить снижение числа волокон в сечении ровницы при возникновении неконтролируемой вытяжки.

3. Полученные зависимости могут использоваться в качестве основы для построения имитационно-статистической модели образования неконтролируемой вытяжки ровницы в зоне питания прядильной машины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соркин А.П., Рудовский П.Н., Красильщик Э.Г., Гаврилова А.Б., Филиппюк А.Н., Гоголинский А.Г. Способ формирования ровницы и устройство для его осуществления. Патент РФ №2208070. – Оpubл. 10.07.2003, №19.
2. Соркин А.П., Кириллова Е.С. Анализ натяжения ровницы при сматывании с катушки // Вестник КГТУ. – Кострома, 2005, №11.

3. Кириллова Е.С., Рудовский П.Н., Соркин А.П. Влияние срока хранения увлажненной бескруточной ровницы на ее качество // Вестник КГТУ. – Кострома, 2006, №13.

4. Будников В.И., Будников И.В., Зотиков В.Е. и др. Основы прядения. – М.: Гизлегпром, 1945.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.022.6.017.045

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕВОСТЬЯНОВА ПРОЦЕССА СКРУЧИВАНИЯ ДВУХ НИТЕЙ

Е.С. ХОМЯКОВ, А.К. НАУМОВ

(Костромской государственный технологический университет)

Как известно [1], свойства пряжи, состоящей из компонентов с разными линейными плотностями, разными модулями упругости, разными свободными длинами и разными величинами натяжений, зависят от получаемой величины коэффициентов укрутки каждой ее составляющей.

Для теоретического исследования влияния определяющих параметров на процесс скручивания двух нитей (рис. 1 – схема скручивания двух нитей) в рамках математической модели примем следующие допущения:

– деформации растяжения скручиваемых нитей чисто упругие, то есть подчиняющиеся закону Гука;

– скручиваемые нити имеют постоянные по длине линейные плотности и крутки;

– приложенные к осям нитей натяжения сохраняются по длине;

– укруткой от дополнительного докручивания или раскручивания составляющих при скручивании нитей пренебрегаем и учитываем только укрутку по оси крученой нити, то есть вследствие винтообразного положения осей составляющих;

– свободной длиной каждого компонента скручиваемой нити считаем длину оси винтообразной составляющей, а длиной зоны скручивания – расстояние от крутильного органа до выпускной пары.

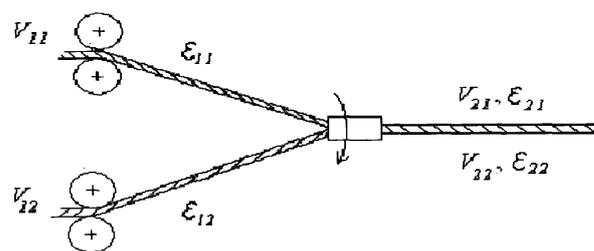


Рис. 1

Тогда [1] уравнение баланса свободной длины для  $i$ -й компоненты скручиваемой нити ( $i = 1, 2$ ) в рассматриваемой зоне:

$$\frac{V_{1i}}{1 + \varepsilon_{1i}} - \frac{V_{2i}}{(1 + \varepsilon_{2i})K_{yi}} = d \left( \frac{L}{(1 + \varepsilon_{2i})K_{yi}} \right) / dt, \quad (1)$$

где  $V_{1i}$ ,  $V_{2i}$  – скорости соответственно подачи и выпуска  $i$ -й компоненты нити в зоне скручивания;  $\varepsilon_{1i}$ ,  $\varepsilon_{2i}$  – относительные деформации входящей и выходящей  $i$ -й компоненты нити;  $K_{yi} = \cos(\beta_i)$  – коэффициент укрутки  $i$ -й компоненты нити ( $\beta_i$  – угол, образуемый винтовой линией с осью нити).

Считая, что в зону скручивания обе компоненты поступают недеформированными:  $\varepsilon_{1i} = 0$ , а относительные деформации и коэффициенты укрутки являются функциями времени, дифференцируя правую часть (1) по времени и выражая относительную деформацию каждой компоненты через величину силы натяжения,

модуль упругости и площадь поперечного сечения, приравнивания производные от-

носительной деформации по времени, получим [1]:

$$\frac{d \cos \beta_i}{dt} = \frac{\cos^2 \beta_i}{MN \cos^2 \beta_i + 8\pi K_i^2 E_i F_i} \left( \frac{M}{a_{2i}} - \frac{M^2 \cos \beta_i}{a_{1i}} - \frac{4N^3 K_i dF_i}{E_i^2 dt} \right), \quad (2)$$

где  $M = N + 4\pi K_i^2 F_i$ ,  $N = E_i \operatorname{tg}^2 \beta_i$ ,  $a_{1i} = L/V_{1i}$ ,  $a_{2i} = L/V_{2i}$ ;  $F_i$  – величина натяжения  $i$ -й компоненты нити;  $K_i$  – крутка  $i$ -й компоненты нити;  $E_i$  – модуль упругости,  $i=1,2$ .

Анализ полученной системы (2) нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений первого порядка ( $i=1,2$ ), связывающих изменение коэффициента укрутки с изменением натяжения в процессе скручивания и скоростями подачи и выпуска, показывает, что из-за сложности эти уравнения не поддаются методам аналитического решения и могут быть лишь смоделированы, с существенными допущениями, на аналоговых вычислительных маши-

нах АВМ, что и сделано А.Г. Севостьяновым в работе [1].

Предлагаем метод вывода системы дифференциальных уравнений, аналогичных уравнениям (2), однако отличающихся исключительной простотой записи и прозрачностью в физической интерпретации влияния одних параметров процесса скручивания на другие и поэтому названных авторами системой "канонических" уравнений Севостьянова.

Известно, что напряжение и относительная деформация чисто упругой компоненты скручиваемой нити подчиняются закону Гука:  $\varepsilon_i = \frac{F_i}{E_i S_i}$ . Производя очевидные преобразования, получим:

$$\varepsilon_i = \frac{F_i}{E_i \pi r_i^2} = \frac{F_i 4\pi^2 K_i}{E_i \pi \operatorname{tg}^2 \beta_i} = \frac{4\pi F_i K_i^2 K_{yi}^2}{E_i (1 - K_{yi}^2)} = \frac{4\pi K_i^2}{E_i} \cdot \frac{F_i K_{yi}^2}{1 - K_{yi}^2}. \quad (3)$$

Дифференцируя (3) и (1), принимая допущения, учитываемые при выводе (2), получим систему канонических уравнений

Севостьянова [2] в математической модели процесса скручивания двух нитей:

$$\dot{K}_{yi} = \frac{K_{yi}}{1 + \varepsilon_{2i} + \frac{2\varepsilon_{2i}}{1 - K_{yi}^2}} \left( \frac{1 + \varepsilon_{2i}}{a_{2i}} - \frac{(1 + \varepsilon_{2i})^2 K_{yi}}{a_{1i}} - \frac{\varepsilon_{2i} \dot{F}_i}{F_i} \right). \quad (4)$$

Следует отметить преимущество системы канонических уравнений (4) по отношению к системе, полученной Севостьяновым для анализа влияния определяющих параметров на процесс скручивания двух нитей (например, при постоянной величине натяжения  $F_i = \text{const}$ , производная

$\dot{F}_i = 0$ , а значит, в переходный период коэффициент укрутки не зависит от величины силы натяжения, что подтверждается моделированием на АВМ с изменением от 0,1 до 0,25 Н с шагом 0,05 Н).

Решая систему (4) относительно времени  $t$ , считая  $F_i = \text{const}$ , получим диффе-

ренциальное уравнение I-го порядка с разделяющимися переменными и, интегрируя систему (4), получим общий интеграл

$$t(\varepsilon_2, K_y) = a_2 \left( \frac{1+3\varepsilon_2}{1+\varepsilon_2} \ln |K_y| + \frac{a_1 \varepsilon_2}{(1+\varepsilon_2)(a_2(1+\varepsilon_2)-a_1)} \ln |K_y - 1| - \frac{a_1 \varepsilon_2}{(1+\varepsilon_2)(a_2(1+\varepsilon_2)+a_1)} \ln |K_y + 1| - \frac{a_2^2 - a_1^2 + a_2^2 \varepsilon_2 (4+3\varepsilon_2)}{a_2^2 (1+\varepsilon_2)^2 - a_1^2} \ln \left| K_y - \frac{a_1}{a_2(1+\varepsilon_2)} \right| \right) + C. \quad (5)$$

Анализ полученного общего интеграла показывает, что попытка выразить  $K_{yi} = K_{yi}(t)$  как функции коэффициентов укрутки, то есть найти общее решение системы (4), наталкивается на практически

(опуская индекс  $i = 1, 2$  для каждой компоненты нити):

непреодолимые математические трудности и не представляется возможным.

Аппроксимируя входящие в (5) коэффициенты укрутки логарифмических функций квадратическими, найдем:

$$K_y = \frac{(1+\varepsilon_2)(a_2(1+\varepsilon_2)+a_1)}{12a_2^2\varepsilon_2^2 + 16a_2^2\varepsilon_2 + 7a_1a_2\varepsilon_2 + 4a_2^2 + 3a_1a_2 - a_1^2} t + \frac{a_1(12a_2^2\varepsilon_2^2 + 16a_2^2\varepsilon_2 + 3a_1a_2\varepsilon_2 + 4a_2^2 + 3a_1a_2 - a_1^2)}{2a_2(1+\varepsilon_2)(12a_2^2\varepsilon_2^2 + 16a_2^2\varepsilon_2 + 7a_1a_2\varepsilon_2 + 4a_2^2 + 3a_1a_2 - a_1^2)}. \quad (6)$$

Полученное приближенное решение системы (4) дает возможность найти технологические параметры процесса скручивания двух нитей, решив систему  $K_{y1} = CK_{y2}$  при  $C=1$  – для получения безобвивочной структуры и при  $C < 1$  – для получения обвивочной структуры.

Анализ решения дифференциального уравнения (4) для  $i=1,2$  методом Эйлера при постоянных  $a_1, a_2, \varepsilon_2$  и различных начальных условиях показал, что коэффициент укрутки практически мгновенно асимптотически достигает своего значения и далее практически не изменяется, что дает возможность считать его постоянным (рис.2 – график  $K_y = K_y(t)$  решения диффе-

ренциальных уравнений (4)).

Считая  $K_{yi} = \text{const}$ , а значит  $\dot{K}_{yi} = 0$ , при  $F_i = \text{const}$  и  $\dot{F}_i = 0$  из (4) получим:

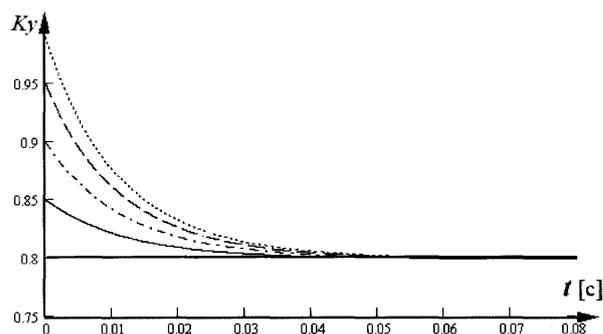


Рис. 2

$$\frac{K_{yi}}{1 + \varepsilon_{2i} + \frac{2\varepsilon_{2i}}{1 - K_{yi}^2}} \left( \frac{1 + \varepsilon_{2i}}{a_{2i}} - \frac{(1 + \varepsilon_{2i})^2 K_{yi}}{a_{1i}} \right) = 0. \quad (7)$$

Из (7) найдем:  $K_{yi} = \frac{a_{1i}}{a_{2i}(1 + \varepsilon_{2i})}$  и, учитывая, что  $a_1 = L/V_1$  и  $a_2 = L/V_2$ , выразим  $K_{yi}$ :

$$K_{yi} = \frac{V_{2i}}{V_{1i}(1 + \varepsilon_{2i})}. \quad (8)$$

Зависимость (8) позволяет задать скорости подачи и выпуска текстильного продукта, требуемые для получения той или иной структуры. Например, для получения безобвивочной структуры ( $K_{y1} = K_{y2}$ ) необходимо задать скорость подачи одной компоненты скручивания пропорционально скорости подачи другой:

$$V_{11} = \frac{V_{21}}{V_{22}} \frac{1 + \varepsilon_{22}}{1 + \varepsilon_{21}} V_{12}. \quad (9)$$

## ВЫВОДЫ

1. Зависимость (8) позволяет исследователю (еще на стадии проектирования) рассчитать необходимые скорости подачи и выпуска, достаточные для выработки пряжи требуемой структуры.

2. Уравнение (9) может быть использовано на практике для установления оптимальных скоростей подачи и выпуска при различных линейных плотностях скручиваемых нитей, что устраняет дополнительную операцию – наработку для экспертизы большого числа различных образцов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1994, №5. С.21...24.

2. Наумов А.К., Землякова И.В., Хомяков Е.С., Потапова Т.С. Вывод системы канонических уравнений Севостьянова в математической модели процесса скручивания двух нитей // Вестник КГТУ. – Кострома, 2002, №5. С.17...19.

Рекомендована кафедрой высшей математики.  
Поступила 25.12.06.

УДК 677.017.35

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ  
ОСНОВНЫХ И УТОЧНЫХ НИТЕЙ  
НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ОДНОСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ**

*Л.П. ПОЛЯКОВА, Б.М. ПРИМАЧЕНКО*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В процессе эксплуатации ткань подвергается многократным деформациям растяжения, изгиба и смятия, трению, воздействию светопогоды, тепловой и влажностной обработке, а также другим факторам износа. При этом стойкость к общему разрушению, которая в значительной степени зависит от строения ткани, является важнейшим показателем при оценке таких качеств, как прочность, износостойкость, долговечность.

Разрывная нагрузка, разрывное удлинение, раздирающая нагрузка – представляют собой характеристики, зависящие от таких параметров строения ткани, которые изменяют величину связи между ее структурными элементами, в частности, от длины перекрытий и их взаимного расположения в раппорте рисунка переплетения.

Ткани высокого качества должны длительное время обеспечивать удаление влаги с поверхности тела человека и осуществлять эффективный воздухообмен пододежного пространства с окружающей средой. Это качество может быть обеспечено выбором текстильных материалов с необходимыми физическими свойствами и оптимальным строением ткани. Поэтому для одежных тканей важны такие гигиени-

ческие характеристики, как гигроскопичность и воздухопроницаемость.

Основной целью данной работы является исследование влияния коэффициента переплетения  $F_n$  [1] на прочностные и гигиенические свойства ткани. Исследование проводилось на базе лабораторий кафедр ткачества и материаловедения СПГУТД. Эксперимент состоял из исследования четырех вариантов тканей, которые отличались друг от друга только пряжей, используемой в качестве утка (вариант 1 – 25×2 текс, х/б; вариант 2 – 29×2 текс, лен; вариант 3 – 50 текс, х/б; вариант 4 – 50 текс, 75% х/б + 25% лен). Основная пряжа использовалась во всех вариантах одинаковая — 25×2 текс, х/б. Для проведения эксперимента были выбраны десять переплетений, наиболее часто используемых при проектировании тканей. Образцы тканей вырабатывались на одном ткацком станке СТБ2-180. Все заправочные параметры были оптимизированы при выработке тканей полотняного переплетения и в дальнейшем не изменялись. В табл. 1 представлены значения коэффициента  $F_n$  и плотности по основе и утку (нитей/дм) тканей различных переплетений.

Таблица 1

Переплетение	F <sub>п</sub>	Система нитей	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Полотно	2,4667	основа	225	224	227	223
		уток	202	201	206	208
Саржа 1/2	1,5545	основа	226	225	224	224
		уток	199	202	205	202
Рогожка 2/2	1,3594	основа	226	227	228	224
		уток	200	202	204	202
Саржа 1/3	1,1297	основа	224	224	225	224
		уток	200	203	203	202
Саржа 2/2	1,1094	основа	227	227	228	228
		уток	198	206	203	204
Саржа 1/3+4/4	0,7862	основа	227	227	226	226
		уток	201	206	206	203
Саржа 1/5	0,7359	основа	226	225	228	224
		уток	200	236	202	203
Саржа 3/3	0,7350	основа	225	227	225	226
		уток	203	244	201	202
Саржа 2/4	0,7265	основа	228	224	227	225
		уток	202	203	202	203
Сатин 6-рем	0,7044	основа	225	224	228	226
		уток	199	248	201	204

Определение прочностных и гигиенических свойств тканей различных переплетений осуществлялось согласно соответствующим ГОСТам. Статистическая обработка экспериментальных данных производилась с использованием компьютерных программ. Разброс экспериментальных

значений оценивался с помощью коэффициента вариации (C<sub>v</sub>). Результаты испытаний представлены в табл. 2...5 (табл. 2 – разрывная нагрузка при растяжении; 3 – разрывное удлинение при растяжении; 4 – раздирающая нагрузка; 5 – гигроскопичность).

Таблица 2

Переплетение	Система нитей	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		P, Н	C <sub>v</sub> , %						
Полотно F <sub>п</sub> =2,4667	основа	704	1,9	727	0,3	800	2,9	772	4,2
	уток	666	2,9	662	0,3	716	2,3	610	6,9
Саржа 1/2 F <sub>п</sub> =1,5545	основа	720	2,9	725	3,3	785	2,4	746	2,1
	уток	622	0,8	586	1,8	664	1,6	514	6,3
Рогожка 2/2 F <sub>п</sub> =1,3594	основа	724	2,4	685	2,3	708	1,0	683	1,3
	уток	624	1,7	560	1,5	647	1,1	463	16,0
Саржа 1/3 F <sub>п</sub> =1,1297	основа	710	2,1	698	3,2	723	1,3	702	2,1
	уток	606	0,2	547	5,2	628	3,7	459	7,9
Саржа 2/2 F <sub>п</sub> =1,1094	основа	696	2,7	721	1,0	775	2,5	730	3,0
	уток	594	4,1	529	6,6	630	3,1	475	5,4
Саржа 1/3+4/4 F <sub>п</sub> =0,7862	основа	696	5,1	669	2,8	720	2,0	657	2,4
	уток	691	4,6	491	3,9	583	3,6	416	6,2
Саржа 1/5 F <sub>п</sub> =0,7359	основа	668	3,4	643	1,5	720	2,1	700	2,6
	уток	562	2,2	583	4,5	607	0,9	469	8,9
Саржа 3/3 F <sub>п</sub> =0,7350	основа	687	2,3	681	2,9	707	1,9	677	3,7
	уток	579	7,5	628	3,9	618	3,5	437	5,9
Саржа 2/4 F <sub>п</sub> =0,7265	основа	654	2,5	685	4,1	742	1,9	680	1,8
	уток	505	2,6	541	3,7	644	2,5	443	7,2
Сатин 6-рем F <sub>п</sub> =0,7044	основа	665	1,9	650	4,6	714	2,4	703	0,6
	уток	552	3,1	571	7,4	598	7,6	456	7,0

Анализируя данные табл. 2, следует отметить, что общая тенденция уменьшения величины разрывной нагрузки ( $P$ ) при увеличении значения коэффициента переплетения  $F_n$  сохраняется по всем вариантам. Переплетениям, расположенным в порядке постепенного увеличения длины перекрытий: полотно – саржа 1/2 – саржа 1/3 – саржа 1/5 (рис. 1 – зависимость разрывной нагрузки от коэффициента переплетения) или полотно – саржа 2/2 – саржа 3/3, соответствуют значения величины разрывной нагрузки, убывающие в такой же последовательности.

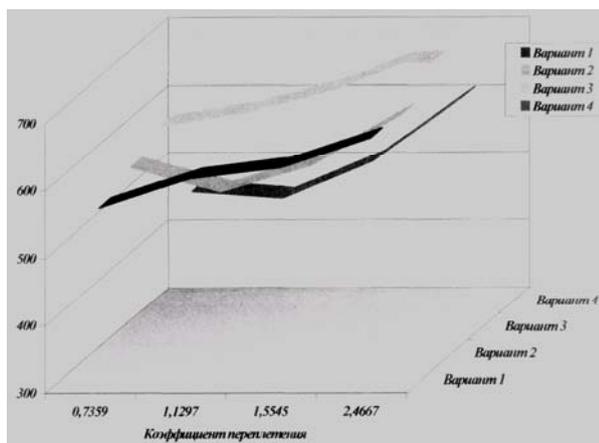


Рис. 1

Некоторое нарушение порядка убывания наблюдается в варианте 1, в котором у полотняного переплетения величина разрывной нагрузки по основе (704 Н) оказалась меньше, чем у саржи 1/2 (720 Н). Это объясняется повышенной напряженностью процесса формирования ткани, при выработке которой было отмечено увеличение приборной полоски и натяжения основных нитей в момент прибора [2].

На величину разрывной нагрузки значительное влияние оказывает плотность нитей в ткани, поэтому при проведении эксперимента все ткани выработывались на станке без изменения установленных плотностей. Таким образом, плотность нитей в тканях соответствует  $225 \pm 3$  по основе и  $204 \pm 4$  по утку. Исключение со-

ставляют три ткани в варианте 2, которые по техническим причинам имеют более высокую плотность по утку и, как результат, повышенные значения разрывной нагрузки по утку. Сравнивая величину разрывной нагрузки по вариантам, следует отметить, что более высокие значения соответствуют варианту 3, где в качестве утка была использована хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 50 текс.

Не менее важным показателем, характеризующим ткань, является разрывное удлинение ( $L$ ), так как его величина оказывает существенное влияние на эксплуатационные качества изделия. Известно, что на величину разрывного удлинения при растяжении большое влияние оказывает степень изогнутости нитей и их предварительная продольная деформация, с этой точки зрения, переплетение играет очень важную роль.

Согласно результатам испытаний (табл. 3) максимальные значения разрывного удлинения по основе во всех четырех вариантах имеют ткани полотняного переплетения, при этом ожидаемого последовательного убывания значений удлинения, связанного с уменьшением изогнутости нитей, не наблюдается. Ткани одного варианта, но различных переплетений (кроме полотняного) имеют близкие значения. Например, удлинение по утку: вариант 1 –  $17 \pm 2$  %; вариант 2 –  $13,5 \pm 1$  %; вариант 3 –  $19,5 \pm 1,5$  %; вариант 4 –  $14,5 \pm 1$  %. Более высокие значения удлинения соответствуют варианту 3, где в утке была использована хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 50 текс.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в исследуемых тканях величина разрывного удлинения зависит от линейной плотности и сырьевого состава пряжи в большей степени, чем от коэффициента переплетения. При этом удлинение зависит от коэффициента переплетения следующим образом: при  $F_n = 2,4667$   $L_y < L_o$ ; при  $F_n < 1$   $L_y > L_o$ ; при  $1 < F_n < 2$   $L_y$  и  $L_o$  имеют близкие значения.

Таблица 3

Переплетение	Система нитей	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		L, %	C <sub>v</sub> , %						
Полотно F <sub>п</sub> =2,4667	основа	21,0	1,7	22,0	2,8	22,4	1,8	24,3	1,1
	уток	15,3	2,9	12,1	3,5	18,0	2,0	15,2	3,7
Саржа 1/2 F <sub>п</sub> =1,5545	основа	12,2	4,0	15,3	1,8	18,2	1,5	15,5	2,3
	уток	16,8	1,6	13,5	3,0	20,1	2,1	14,8	1,9
Рогожка 2/2 F <sub>п</sub> =1,3594	основа	12,9	3,5	11,6	3,6	14,6	1,5	14,2	1,9
	уток	17,7	1,5	14,6	2,9	18,9	1,2	14,8	1,9
Саржа 1/3 F <sub>п</sub> =1,1297	основа	13,2	4,3	14,6	3,7	15,5	3,2	15,6	2,7
	уток	17,7	3,2	13,5	5,9	19,1	2,2	14,5	2,4
Саржа 2/2 F <sub>п</sub> =1,1094	основа	13,9	3,0	13,9	3,0	15,8	2,8	15,2	1,8
	уток	17,1	5,6	13,2	4,3	19,7	2,9	15,7	3,6
Саржа 1/3+4/4 F <sub>п</sub> =0,7862	основа	12,8	4,5	13,1	5,0	16,5	2,1	13,6	3,1
	уток	19,2	2,3	13,5	2,6	18,8	1,5	14,1	3,0
Саржа 1/5 F <sub>п</sub> =0,7359	основа	11,7	2,3	12,2	4,7	15,0	2,4	16,0	2,2
	уток	15,5	2,3	13,7	2,0	19,9	3,3	15,3	1,8
Саржа 3/3 F <sub>п</sub> =0,7350	основа	10,8	5,3	10,7	6,3	11,6	3,6	11,6	3,6
	уток	17,9	2,3	14,1	4,6	21,2	2,7	15,4	2,7
Саржа 2/4 F <sub>п</sub> =0,7265	основа	11,4	2,0	13,7	4,2	14,8	1,8	11,1	3,8
	уток	15,1	3,6	14,0	3,6	21,1	3,5	13,7	2,0
Сатин 6-рем F <sub>п</sub> =0,7044	основа	12,7	2,2	10,9	3,8	13,3	2,1	13,6	1,6
	уток	17,0	2,9	13,0	2,7	18,1	4,1	14,1	1,6

Раздирающая нагрузка занимает важное место среди характеристик прочностных свойств тканей. Особое место она занимает для технических и специальных тканей (брезенты, палаточные, тентовые). Результаты исследования показали, что на

величину раздирающей нагрузки (G) переплетение основных и уточных нитей оказывает более значительное влияние, чем на величину разрывной нагрузки и разрывного удлинения.

Таблица 4

Переплетение	Система нитей	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		G, Н	C <sub>v</sub> , %						
Полотно F <sub>п</sub> =2,4667	основа	34	15,7	38	8,1	41	2,4	37	2,4
	уток	28	4,4	28	9,5	30	2,8	29	8,8
Саржа 1/2 F <sub>п</sub> =1,5545	основа	43	9,7	47	9,7	46	4,2	47	18,1
	уток	47	7,5	44	5,3	41	7,9	32	7,7
Рогожка 2/2 F <sub>п</sub> =1,3594	основа	107	5,1	95	8,9	108	3,4	87	15,3
	уток	118	5,3	83	6,0	130	5,5	80	4,4
Саржа 1/3 F <sub>п</sub> =1,1297	основа	79	6,7	67	5,4	65	4,7	67	5,8
	уток	70	7,5	51	3,4	52	5,5	37	2,7
Саржа 2/2 F <sub>п</sub> =1,1094	основа	56	4,1	66	4,3	62	5,7	60	17,0
	уток	55	6,9	54	9,7	62	3,4	40	2,9
Саржа 1/3+4/4 F <sub>п</sub> =0,7862	основа	91	11,1	93	5,6	89	8,7	82	3,4
	уток	99	6,7	78	7,2	75	10,4	56	9,0
Саржа 1/5 F <sub>п</sub> =0,7359	основа	99	5,5	86	4,7	92	5,0	95	4,3
	уток	93	5,2	76	8,7	81	3,4	62	6,8
Саржа 3/3 F <sub>п</sub> =0,7350	основа	83	7,1	87	4,3	85	5,7	78	4,8
	уток	93	3,3	79	4,7	96	3,7	59	1,4
Саржа 2/4 F <sub>п</sub> =0,7265	основа	79	8,6	92	5,6	84	10,7	82	10,7
	уток	91	12,4	78	6,3	93	4,4	61	4,2
Сатин 6-рем F <sub>п</sub> =0,7044	основа	113	3,4	101	2,5	102	5,0	88	3,1
	уток	110	4,2	78	2,0	87	7,4	65	10,8

Анализ результатов (табл. 4) показывает, что минимальную стойкость к раздиранию (по основе и по утку) имеют ткани полотняного переплетения, а максимальные значения раздирающей нагрузки имеют ткани, выработанные переплетениями рогожка и сатин. Постепенное увеличение длины перекрытий в раппорте переплетения вызывает последовательное возрастание значений раздирающей нагрузки, причем сырьевой состав и линейная плотность пряжи, используемой в качестве утка, на величину раздирающей нагрузки оказывает влияние в меньшей степени, чем величина коэффициента  $F_{п}$ . Это связано с тем, что прочность на раздираание зависит в основном от числа одновременно разрывающихся нитей.

В тканях полотняного переплетения прочность к раздиранию в значительной степени зависит от прочности нитей, так как раздирающие усилия непосредственно воздействуют практически на одиночные нити. В то время как в тканях, имеющих длинные перекрытия, раздирающая нагрузка распределяется на группу нитей, вследствие чего стойкость к раздиранию возрастает. Это связано с уменьшением связи между структурными элементами, что дает нитям возможность сдвига и способствует более равномерному распределению нагрузки. Кроме того, наличие длинных перекрытий в раппорте переплетения снижает деформацию и напряжение нитей в ткани, сохраняя тем самым запас прочности нитей, что способствует повышению значений раздирающей нагрузки.

Стойкость ткани к истиранию представляет собой характеристику прочности, по которой можно судить о времени эксплуатации ткани, работающей на истирание. В процессе истирания часть волокон изнашивается и разрушается, часть – извлекается и выпадает, в результате чего происходит потеря волокнистого состава. Таким образом, большое влияние на износостойкость ткани оказывает степень закреплённости волокон, зависящая от параметров строения и структуры пряжи и ткани, при этом особое значение имеет переплетение.

Первые исследования зависимости стойкости к истиранию по плоскости от коэффициента переплетения проводились в соответствии с ГОСТом 18976–73. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию. Полученные данные показали, что все ткани в варианте 1 выдерживают без видимых повреждений поверхности более 6000 циклов, что не позволяет сравнивать результаты испытания тканей различных переплетений. В связи с этим было принято решение провести исследования в других условиях – с применением иного абразивного материала. В дальнейшем испытания стойкости тканей к истиранию по плоскости проводились согласно ГОСТу 15967–70. Ткани льняные и полульняные для спецодежды (абразив – водостойкая шкурка 1Э 775×30С1Г).

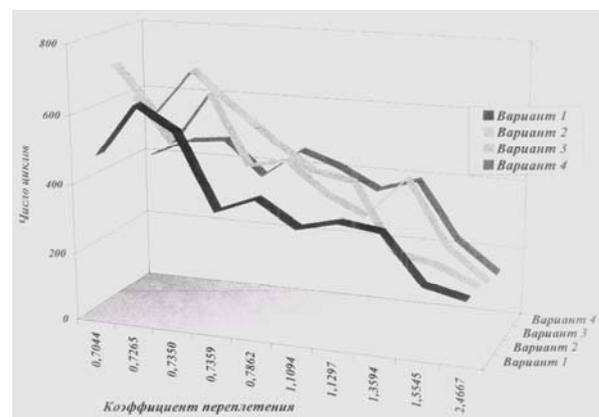


Рис. 2

Как видно из рис. 2, зависимость значений стойкости к истиранию от величины коэффициента переплетения прослеживается отчетливо, несмотря на существенный разброс экспериментальных данных (вариант 1 –  $7,7 \leq C_v \leq 37,4$ ; вариант 2 –  $7,7 \leq C_v \leq 56,5$ ; вариант 3 –  $4,5 \leq C_v \leq 30,9$ ; вариант 4 –  $6,5 \leq C_v \leq 46,7$ ). Это связано с тем, что на результаты испытаний оказывают влияние дополнительные факторы: вид волокон, степень закрепления нитей в ткани, величина крутки пряжи, состояние опорной поверхности, наличие или отсутствие выступающих на поверхности отдельных перекрытий, плотность ткани по основе и утку, толщина ткани, длина и равномерность распределения перекрытий в раппорте.

порте, рельефность поверхности ткани, степень напряженности волокон и другие.

Полученные результаты показали существенное влияние переплетения на стойкость к истиранию, при уменьшении значений  $F_n$  от 2,4667 до 0,7044 стойкость тканей к истиранию возрастает по всем вариантам от 140...172 до 404...719 циклов. При этом наибольшей стойкостью к

истиранию обладают ткани, имеющие в утке крученую льняную пряжу.

Анализируя представленные в табл. 5 значения гигроскопичности (Н), следует отметить, что исследуемые ткани во всех четырех вариантах имеют очень близкие значения: 11,0...13,4 %, поэтому функциональной зависимости гигроскопичности от коэффициента переплетения не наблюдается.

Таблица 5

Переплетение	$F_n$	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		Н	$C_v$	Н	$C_v$	Н	$C_v$	Н	$C_v$
Полотно	2,4667	11,2	2,7	11,0	6,5	11,6	0,7	11,2	6,2
Саржа 1/2	1,5545	12,2	2,1	12,9	1,5	11,8	2,1	12,4	0,9
Рогожка 2/2	1,3594	11,8	1,6	12,0	2,0	12,0	3,8	12,2	1,3
Саржа 1/3	1,1297	11,5	4,0	12,2	10,9	12,4	3,1	12,8	6,7
Саржа 2/2	1,1094	11,6	2,3	11,7	2,7	13,4	1,1	12,5	2,0
Саржа 1/3+4/4	0,7862	11,1	2,2	11,3	0,4	12,6	4,4	12,8	3,7
Саржа 1/5	0,7359	11,2	1,9	12,1	1,3	13,0	4,5	12,4	0,5
Саржа 3/3	0,7350	11,3	0,9	12,1	2,9	13,4	8,3	12,6	2,9
Саржа 2/4	0,7265	12,1	7,3	11,5	4,2	12,6	1,6	12,5	2,2
Сатин 6-рем	0,7044	11,7	1,5	12,9	0,1	12,4	1,8	12,3	3,8

Согласно данным табл. 5 гигроскопичность исследуемых тканей в большей степени зависит от сырьевого состава и линейной плотности уточной пряжи, чем от коэффициента переплетения. Так, более высокие значения гигроскопичности соответствуют тканям, в которых используется в качестве утка хлопчатобумажная одиночная пряжа 50 текс, в то время как ткани с крученой пряжей в утке в целом имеют меньшие значения гигроскопичности.

Анализ результатов испытаний воздухопроницаемости тканей (Q) обнаружил, что на данную характеристику переплетение оказывает значительное влияние, так как именно переплетение определяет характер вертикальных и горизонтальных изгибов основных и уточных нитей, а также площадь и расположение межнитевых пор. Зависимость величины Q от переплетения практически полностью повторяется во всех вариантах (рис. 3).

Переплетение рогожка имеет по сравнению с остальными переплетениями повышенное значение воздухопроницаемости. Рис. 3 показывает также наличие существенной зависимости воздухопроницаемости от линейной плотности и сырье-

вого состава пряжи. Более высокие значения Q имеют ткани с одиночной пряжей в утке, причем величина воздухопроницаемости тканей в варианте 4 несколько больше, чем в варианте 3.

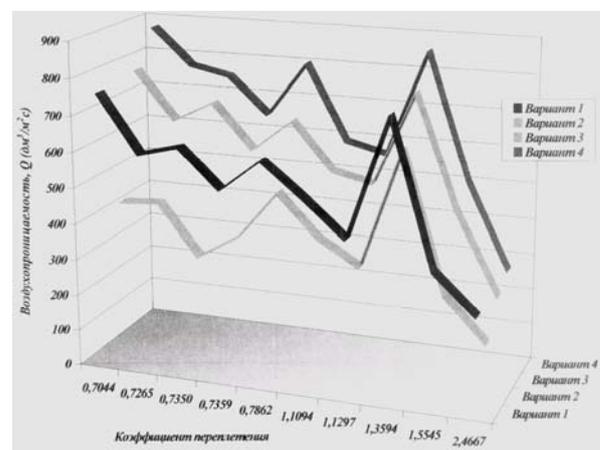


Рис. 3

## ВЫВОДЫ

1. При уменьшении значений коэффициента переплетения величина разрывной нагрузки уменьшается.
2. Величина разрывного удлинения в большей степени зависит от линейной

плотности и сырьевого состава пряжи, чем от коэффициента переплетения.

3. При уменьшении коэффициента  $F_{\text{п}}$  величина раздирающей нагрузки возрастает.

4. Гигроскопичность исследуемых тканей в большей степени зависит от сырьевого состава и линейной плотности пряжи, чем от величины коэффициента переплетения.

5. На величину воздухопроницаемости ткани существенное влияние оказывает как линейная плотность и сыревой состав пряжи, так и величина коэффициента  $F_{\text{п}}$ .

6. Используя коэффициент  $F_{\text{п}}$ , можно получить функциональную зависимость характеристик прочностных и гигиенических свойств тканей от переплетения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова Л.П., Примаченко Б.М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, № 1. С.44...49.

2. Полякова Л.П., Примаченко Б.М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 1. С.69...72.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 25.12.06.

УДК 677.054

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИТЕЙ ОСНОВЫ С ПОДВИЖНЫМ СКАЛОМ

*А.П.МАЛЫШЕВ, А.А.ШТЕРН*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

Силы трения, возникающие при контакте нитей основы с поверхностью элементов нитепроводящего тракта, описываются нелинейными зависимостями и существенно зависят от сцепления или относительного проскальзывания поверхностей контакта. Обычно при расчете упругой заправки принимается, что участки полного сцепления отсутствуют. Работа посвящена исследованию динамики основы с учетом возникновения полного или частичного сцепления нитей с поверхностью скала.

Для решения поставленной задачи, ввиду ее существенной нелинейности, проводилось математическое моделирование всего динамического процесса во времени. Учитывалось как фрикционное взаимодействие нитей основы, так и подвижность скального механизма.

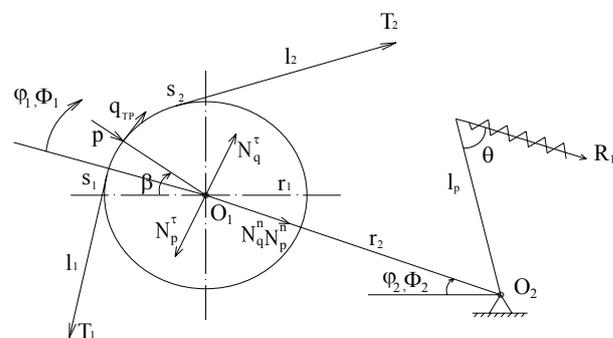


Рис. 1

Уравнения движения нити по шероховатой цилиндрической поверхности имеют вид (рис.1):

$$\begin{aligned} T' - q_{\text{TP}} &= \rho F \ddot{u}, \quad \frac{T}{r} - p = 0, \\ q_{\text{TP}} &= k f_{\text{TP}} p \text{sign}(U - r\Phi_1), \quad (1) \\ k &= 1, U \neq r\Phi_1; 0 < k < 1, U = r\Phi_1. \end{aligned}$$

Здесь  $T$  – сила натяжения нити;  $s$  – координата вдоль нити;  $\rho$  – плотность нити;  $F$  – площадь поперечного сечения нити;  $\ddot{u}$  – ускорение нити в тангенциальном направлении;  $r$  – радиус цилиндрической поверхности;  $p$  – погонная сила нормального давления нити на поверхность контакта;  $q_{\text{тр}}$  – погонная сила трения;  $f_{\text{тр}}$  – коэффициент трения;  $U$  – скорость нити;  $\Phi_1$  – угловая скорость скала.

Дополнив уравнение (1) соотношением упругости для нити и исключив с помощью второго уравнения силу  $p$ , получим [1]:

$$\begin{aligned} \dot{U} - T' &= -q_{\text{тр}}, \\ \dot{T} - U' &= 0, \\ q_{\text{тр}} &= kf_{\text{тр}} \frac{T}{r} \text{sign}(U - r\Phi_1). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $U$  – это скорость, отнесенная к скорости звука в нити;  $T$  – натяжение, отнесенное к произведению модуля упругости на площадь поперечного сечения нити;  $q_{\text{тр}}$  – сила трения, отнесенная к произведению модуля упругости на корень из площади поперечного сечения нити.

Система уравнений (2) решалась численным методом конечных разностей [1]. Основные расчетные соотношения для определения силы натяжения  $T$  и скорости  $U$  на каждом элементарном участке  $\Delta S$  нити:

$$\begin{aligned} T^* &= T_* + (U_n - U_{n-1}) \frac{\Delta t}{\Delta s}, \\ U^* &= U_* + (T_n - T_{n-1}) \frac{\Delta t}{\Delta s} - q_{\text{тр}}^* \Delta t. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь среднеинтегральные значения параметров в пределах шага по координате обозначены индексом  $*$ , причем нижним индексом помечены значения на временном слое  $t$ , верхним индексом – на слое  $t + \Delta t$ . Целочисленными индексами  $n$  и  $n-1$  обозначены среднеинтегральные в пределах  $\Delta t$  величины параметров при

$s_n = n\Delta s$  и  $s_{n-1} = (n-1)\Delta s$  соответственно.

Сила трения определяется нелинейной зависимостью, в которую входит неопределенный параметр  $k$ . Для его определения использовался следующий алгоритм.

1). Рассчитываем значение  $U_a^*$ , полагая, что  $q_{\text{тр}}^* = 0$ .

2). Определяем  $q_a$ , предполагая наличие проскальзывания.

3). На основе полученного значения усилия трения рассчитываем  $U_b^*$ .

4). Если проскальзывание на самом деле имеет место, то:  $\text{sign}(U_a^* - r\Phi_1) = \text{sign}(U_b^* - r\Phi_1)$ , и  $q_{\text{тр}}^* = q_a$ . В противном случае проскальзывание отсутствует и усилие трения определяется из условия полного сцепления соприкасающихся поверхностей на данном элементарном участке нити:

$$q_{\text{тр}}^* = \frac{(U_1^* - r\Phi_1)}{\Delta t}.$$

Здесь принимается во внимание, что сила трения имеет диссипативный характер. Она может уменьшить скорость относительного проскальзывания или даже свести ее к нулю, но не может изменить ее направление.

При описании динамики скального механизма помимо вращения скала учитывалось его движение на рычаге под действием переменного натяжения нитей основы. На рис.1 приведена расчетная схема скального механизма. За прототип был принят механизм станка СТБ.

На рис. 1:  $r_1$  – радиус скала;  $r_2$  – длина коромысла;  $l_p$  – длина рычага;  $R_p$  – усилие, развиваемое пружиной;  $T_1$  и  $T_2$  – натяжение ветвей основы;  $\theta$  – угол между пружиной и рычагом пружины;  $\varphi_1$  и  $\Phi_1$  – угол и угловая скорость вращения скала на своей оси;  $\varphi_2$  и  $\Phi_2$  – угол и угловая скорость коромысла;  $R_p$  – сила натяжения пружины.

$$N_q^\tau = \int_{s_1}^{s_2} q_{TP} \sin(\beta + \varphi_2) ds, \quad N_p^\tau = \int_{s_1}^{s_2} p \sin(\beta - \varphi_2) ds$$

– проекции сил трения и нормального да-

вления на нормаль к оси  $O_1O_2$ .

$$N_q^n = \int_{s_1}^{s_2} q_{TP} \cos(\beta + \varphi_2) ds, \quad N_p^n = \int_{s_1}^{s_2} p \cos(\beta - \varphi_2) ds$$

– проекции этих сил на ось  $O_1O_2$ .

Динамика такого скального механизма описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} J_2 \ddot{\Phi}_2 &= S_{TP} r_1 + r_2 (N_q^\tau - N_p^\tau) - m_1 g r_2 \cos \varphi_2 + \\ &+ R_p \ell_p \sin \theta - J_1 \ddot{\Phi}_1, \\ J_1 \ddot{\Phi}_1 &= S_{TP} - J_1 \ddot{\Phi}_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $S_{TP}$  – суммарная сила трения между нитью и поверхностью скала;  $J_1$  – массовый момент инерции скала относительно оси  $O_1$ ;  $J_2 = J_m + J_1 + m_1 r_2^2$ , где  $J_m$  – массовый момент инерции механизма относительно оси  $O_2$  без скала,  $m_1$  – масса скала.

Умножим первое уравнение на  $J_1$ , а второе – на  $J_2$ . Вычитая первое уравнение из второго уравнения, получим:

$$\begin{aligned} J_1 \dot{\Phi}_1 &= S_{TP} r_1 - \frac{J_1}{J_2 - J_1} M, \\ (J_2 - J_1) \dot{\Phi}_2 &= M, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\dot{\Phi}_1 = \ddot{\Phi}_1$ ;  $\dot{\Phi}_2 = \ddot{\Phi}_2$ ;  
 $M = (N_q^\tau - N_p^\tau - m_1 g \cos \varphi_2) r_2 + R_p \ell_p \sin \theta$ .

Основные расчетные формулы для определения  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  получаем с помощью схемы "предиктор-корректор"[2]:

$$\begin{aligned} \Phi_1^* &= \Phi_{1*} + \left[ (S_* + S^*) \frac{r_1 \Delta t}{2J_1} - (M_* + M^*) \frac{\Delta t}{2(J_2 - J_1)} \right], \\ \Phi_2^* &= \Phi_{2*} + (M_* + M^*) \frac{\Delta t}{2(J_2 - J_1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Рассмотренный алгоритм численного моделирования реализован в виде программной системы. В качестве исходных данных приняты следующие конструктивные размеры станка СТБ:  $r_1=0,075$  м;  $r_2=0,152$  м;  $f_{TP}=0,3$ ;  $\rho=800$  кг/м<sup>2</sup>;  $F=1,13 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>;  $\ell_p=0,14$  м;  $R_p=14520$  Н/м;  $\angle\theta=60^\circ$ ;  $\beta_2-\beta_1=$

$=47^\circ$ ;  $\varphi_{2H}=4^\circ$ ;  $m_1=58,6$  кг;  $J_1=0,134$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_2=2$  кг·м<sup>2</sup>.

Начальное натяжение нити  $T=0,4$  Н. Смещение на конце сбегавшей ветви нити определяется на основании закона движения ремизок[3]:

$$\begin{aligned} h &= \frac{h_{\max}}{t_1} t + \frac{h_{\max}}{\pi} \sin \frac{\pi t}{t_1} \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \\ h &= h_{\max} \quad \text{при } t_1 < t \leq t_2, \\ h &= h_{\max} \left( 1 - \frac{t - t_2}{t_s - t_2} \right) + \frac{h_{\max}}{\pi} \sin \frac{\pi(t - t_2)}{t_s - t_2} \quad \text{при } t_2 \leq t \leq t_s. \end{aligned} \quad (7)$$

Скорость движения точки контакта нити с ремизкой определялась дифференци-

рованием по времени этих зависимостей. В расчетах использовалась величина проек-

ции вертикальной скорости на направленные нити слева от точки контакта. Принималось, что

$$t_s = 0,2c; t_1 = \frac{t_s}{3}, t_2 = \frac{2t_s}{3}, h_{\max} = 0,05\text{м.}$$

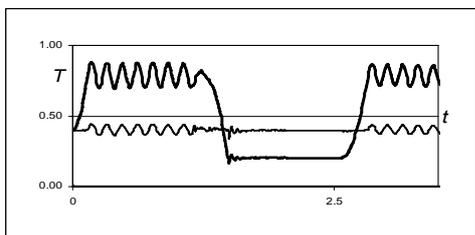


Рис. 2

На рис.2 показано изменение натяжения нити по времени в точках с координатами  $s_1$  (тонкая линия) и  $s_2$  (жирная линия) соответственно. Время приведено в миллисекундах, а натяжение – в ньютонах. Видно, что натяжение в правой точке существенно меняется при работе ремизного механизма. В левой точке оно изменяется значительно меньше. Механизм подвижного скала сглаживает динамическую нагрузку на набегающую ветвь нити. Четко видны колебания натяжения, вызванные продольными волновыми процессами в нити.

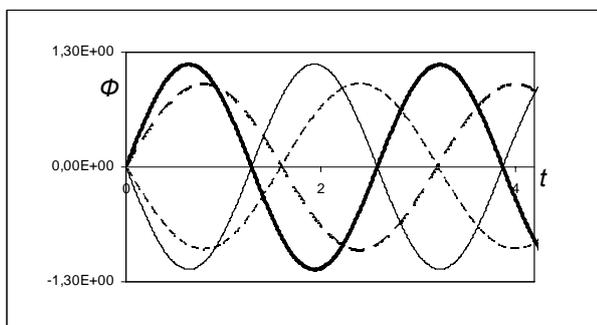


Рис. 3

На рис.3 показано изменение по времени угловых скоростей вращения скала (жирная линия) и рычага скального механизма (тонкая линия). Время по-прежнему приведено в миллисекундах, а скорость – в рад/с. Штрихпунктирные линии соответствуют более массивному скалу с увеличенным в 1,5 раза моментом инерции.

Волновые процессы в обеих ветвях нити протекают значительно быстрее, чем изменение скорости вращения скала. В связи с этим неизбежно возникают моменты полного торможения нити на его поверхности, что подтверждает необходимость учета сцепления нити со скалом.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана и апробирована методика численного моделирования динамики нитей основы с учетом частичного или полного сцепления их с поверхностью подвижного скала.

2. Подтверждена возможность полного торможения нитей на поверхности скала и изменения направления их относительного проскальзывания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мальшев А.П. // Известия РАН. МТТ. – 2000, №4. С.165...172.
2. Турчак Л.П. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987.
3. Савин О.А., Титов С.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. - 2004, №6. С.88...89.

Рекомендована кафедрой теории механизмов приборов и машин. Поступила 25.12.06.

УДК 677.04/03

**КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ И БИОХИМИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ  
ЛЬНОСОДЕРЖАЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***А.В. ЧЕШКОВА, Б.Н. МЕЛЬНИКОВ, Л.Н. МОНАХОВА, Е.А. СМИРНОВА***(Ивановский государственный химико-технологический университет,  
ОАО "Яковлевский льнокомбинат" (г.Приволжск))**

Современные тенденции в моде определяют новые функции и качество льняных изделий. Дессинаторские решения все чаще направлены на разработку костюмных льносодержащих тканей повышенной мягкости и драпируемости. Недостатком известных химических составов для мягчения, используемых в процессах заключительной отделки, является то, что они не обеспечивают долговременного эффекта мягчения, который во многом зависит от условий и числа стирок при последующей эксплуатации тканей и изделий из них. Это связано с тем, что мягчитель лишь поверхностно нанесен на текстильный материал. Применяемые синтетические реактивы в композиционных составах мягчителей могут являться дерматологически небезопасными и значительно ухудшать сточные воды производства в экологическом плане. В связи с возрастающими требованиями к качеству текстильных материалов и экологизации производства использование ферментативных катализаторов весьма актуально для современного производства. Особый интерес представляет создание совмещенных технологий подготовки и заключительной отделки для природноокрашенных суровых тканей, окрашенных пестротканей и тканей с цветными нитями

применительно к современному и действующему оборудованию отечественных производств [1], [2].

Задачей данного исследования являлось определение оптимальных условий тополитического воздействия ферментов на текстильный целлюлозный материал с целью изменения его упругоэластических свойств, а именно мягкости и пластичности (драпируемости). Для достижения поставленной цели необходимо решить комплексную задачу: освободить льняной материал от примесей, придающих окраску и жесткость (лигнин) и одновременно максимально сохранить ценные свойства волокнообразующего полимера – целлюлозы.

Результаты анализа технических свойств ферментативно модифицированных тканей позволяют заключить, что обработка композицией гидролаз в условиях, оптимальных для проявления каталитической активности ферментов (50°C в течение 60 мин) без дополнительного механического воздействия, недостаточна для получения требуемой расшлихтовки и желаемых эффектов мягчения и осветления. Технические результаты уступают полученным при механохимическом способе отделки. (табл. 1 – сравнительные резуль-

таты мягчения суровых льняных тканей по механической технологии (1) и фермента-

тивными способом (2)).

Т а б л и ц а 1

Способ подготовки	Белизна, %	Мягкость, %	Разрывная нагрузка, Н	Капиллярность, мм
Арт.1003 (отбеленная ткань)				
1. Механохимическое мягчение (ЛЖО+АИРО 1000S)	83,9/85,2	11,1/55,6*	680/8,5**	85/110
2. Ферментативное мягчение (ВК-3)	83,9/84,4	16,7/50,0	480/5,6	85/90
Суровая ткань, арт. 1010 (серый лен)				
1. Механохимическое мягчение (ЛЖО+АИРО 1000S)	36,5/52,3	14,4/44,4	705/9,2	25/85
2. Ферментативное мягчение (ВК-3)	36,5/40,8	14,4/33,3	550/7,3	25/70

П р и м е ч а н и е. \* в числителе дроби – результаты до обработки, в знаменателе – после; \*\* в числителе дроби – результаты для полоски ткани, в знаменателе – для одиночной нити.

Для природноокрашенных тканей действующий режим отделки состоит из нескольких стадий, а именно: щелочной отварки, обработки щавелевой кислотой и далее – механическом воздействии, совмещенном с обработкой синтетическими мягчителями.

Увеличение длительности обработки целлюлазами до 180 мин, при условии точного соблюдения оптимальных рН и температуры, а также активация процесса ферментативного гидролиза целлюлазами путем механического воздействия на волокнистый материал ( $V_{\text{вращения}} 600 \text{ об/мин}$ ), не способствуют более эффективному протеканию процессов депектинизации, делигнификации и получению требуемого качества подготовки (рис.1, кривая 2). На рис.1: 1 – Амилоризин П10Х; 2 – Целлолигнорин П10Х; 3 – Целлобранин ГЗХ; 4 – Целлюзим; 5 –  $\beta$ -глюканаза; 6 – Целлофоеитидин П10Х; 7 – Целлоконингин П10Х; 8 – Целловиридин Г10Х; 9 – Блюзайм; 10 – Пектавоморин П10Х; 11 – Ксилоглюканфоеитидин П10Х; 12 – Целлюлаза 100; 13 – Пектофоеитидин П10Х + Целлолигнирин П10Х; 14 – Пектофоеитидин П10Х + Целлобранин ГЗХ; 15 – Вискозим + Целлюзим; 16 – Мацерробациллин ГЗХ+ Целлобранин ГЗХ; 17 – МЭК-1; 18 – Пектофоеитидин П10Х + Целловиридин Г10Х; 19 –  $\beta$ -глюканаза+ эндополигалактуроназа+ $\beta$ -маннанназа (суммарная концентрация препаратов в растворе 0,5 % от массы льняного волокна, модуль 1: 50).

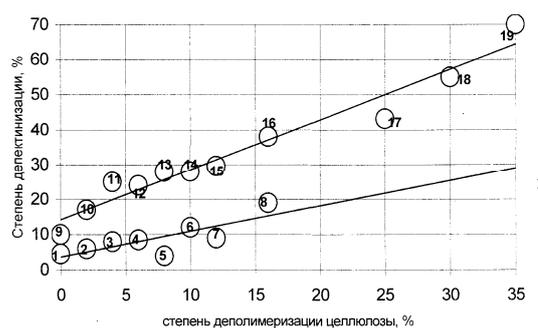


Рис. 1

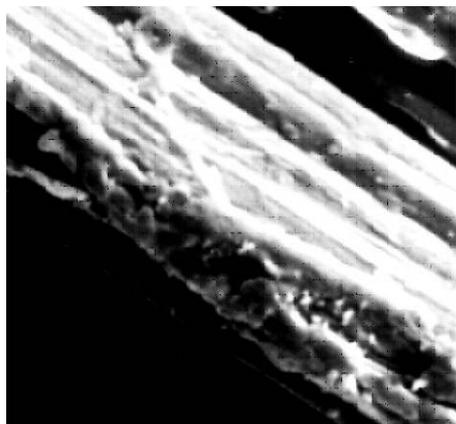
Более результативно совмещение действия полифункциональных композиций, включающих комплекс ферментов, селективно действующих на различные примеси и технологические загрязнения, а также на целлюлозу поверхностных слоев волокна, с механическим воздействием.

Корреляция между степенью деполимеризации целлюлозы длиноволокнистого льна и степенью депектинизации.

Комплексное воздействие композиции гидролаз, в отличие от "биополировки" только целлюлазами, обеспечивает отбеливание, котонизацию, повышение ворсистости и мягчение материала. Эффективность действия полиферментной композиции обусловлена специфической модификацией комплексного льняного волокна, сопровождающейся депектинизацией и снижением степени полимеризации целлюлозы (рис. 1, кривая 1). Ферментная композиция должна содержать амилазы – для расшлихтовки, пектиназы (эндополигалактоураназа) – для котонизации, ксиланазу и арабиназу – для эффективной делигнификации и целлюлазу ( $\beta$  1,4-глюканазу) – для поверхностной эро-

зии волокон. Температурный диапазон активности полиферментных препаратов составляет от 45 до 75°C при pH 5,5...7,5 при концентрации в растворе от 1 до 5 г/л, что

выгодно отличает их от препаратов химической природы и обеспечивает высокую экологичность процессов.



а)



б)

Рис. 2

Методом электронной микроскопии установлено, что в результате сочетания ферментативной обработки и механического воздействия на льняной материал происходит нарушение структуры клеящего вещества срединных пластинок и, как следствие, расщепление волокна на комплексы от 3 до 8 волокон. Остаточный лигнин локализуется в новообразованиях (кристаллах) (рис. 2-б) (на рис. 2 представлены электронные растровые микрофотографии поверхности нативного длиноволокнистого льна (а – 1:1000) и после ферментативной модификации (б – 1:1000)). В результате такой модификации образуется дополнительная система капилляров, что положительно сказывается на капиллярности и гибкости волокна.

Нарушение структуры лигнин-полисахаридного комплекса в результате действия пектиназ, селективной расщиповки амилазами и частичной "эрозии" по-

верхности за счет действия целлюлаз обеспечивает специфическую делигнификацию и "отбеливание" природноокрашенных льняных тканей (рис. 3 – спектры отражения льняной ткани арт. 1010, подготовленной ферментативно-механическим способом; длительность ферментативной обработки: 1 – 180 мин, 2 – 120 мин, 3 – 60 мин, 4 – 30 мин, 5 – суровая ткань).

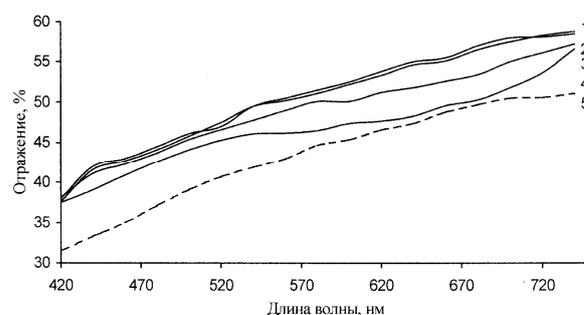


Рис. 3

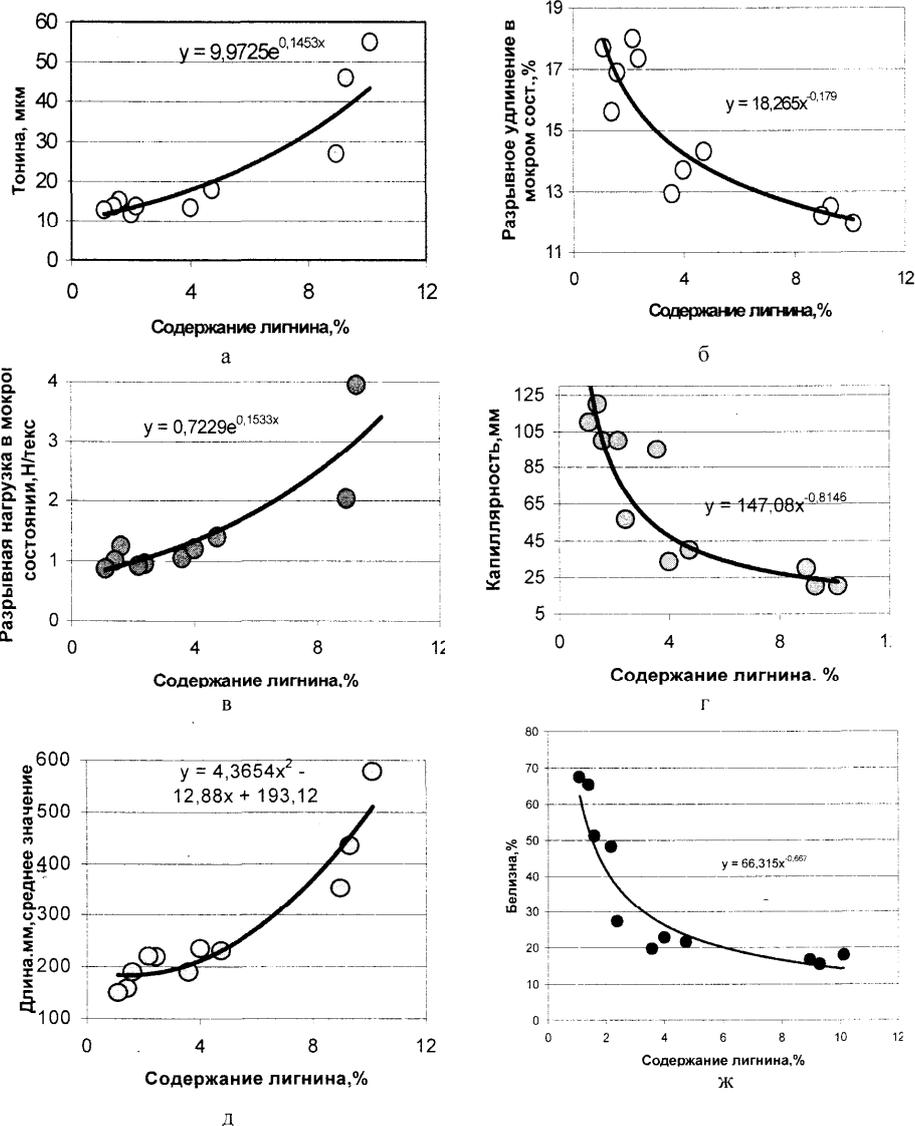


Рис. 4

Установлены корреляции (рис. 4) между параметрами, определяющими технические свойства льна различного качества и содержанием в нем лигнина. В эксперименте использовали волокно различного качества: после механической, биохимической подготовки и после всего цикла беле-ния (включая щелочно-перекисное беле-ние). Полученные данные явились основой для разработки процессов ферментативной подготовки, беле-ния и заключительной отделки льносодержащих материалов по сокращенным схемам, где ферментативная обработка на первой стадии определяет построение технологического процесса в целом. Для реализации данных технологий из известных коммерческих препаратов рекомендуются композиции, например, Аквазим, Биопреп, Целлюзим фирмы No-

vozymes или Амилоризин, Пектофоетидин, Целловиридин (АО Восток) или композиционные препараты ферментов и ПАВ, на-пример, такие как Биофлекс (ООО Биохим, г. Москва), Биолен (АО Ивхимпром), Био-софт (АО Ивхимпром) или Брюзайм (ООО Русфермент, г.Москва) в сочетании с Ами-лазой НТ.

Производственными испытаниями под-тверждено, что механобиохимическая об-работка позволяет нивелировать цветовые пороки материала (желтизна, бурый отте-нок), повысить белизну на 8...10 ед, ка-пиллярность на 60...70 мм и мягкость льняной ткани более чем в 3 раза. Степень расшлихтовки достигает 98...99%, а сум-марная степень удаления примесей от 10 до 40% , что превосходит результаты по-стадийной технологии обработки природ-

ноокрашенных тканей путем щелочной отварки, обработки щавелевой кислотой и последующего механохимического мягчения.

Разработаны несколько вариантов построения технологий (табл. 2 – результаты производственных испытаний совмещенной технологии подготовки и мягчения природноокрашенных льняных (1,2) и полульняных (3,4) тканей):

– для линий ЛЖО (1 секция),

– для обработки расправленным полотном (ВК-3, линии Бенингер, Вакаяма) в сочетании с механической обработкой на аппаратах Airo-1000s влажного полотна,

– для обработки тканей и изделий на машинах типа КТ-100.

– "холодная" ферментативная обработка на машинах рулонно-перемоточного типа с последующим ворсованием или обработкой на Airo-1000s сухого полотна (для котонинсодержащих и полульняных тканей).

Таблица 2.

№ п/п	Технология	Разрывная нагрузка, Н	Вязкость, ед	Устойчивость к истиранию, циклы	Мягкость, %	Капиллярность, мм	Белизна, %
1	Ферментативно-механическое мягчение **	840/776*	2,0/1,92	-/8037	0/60	20/70	32,9/40,6
2	Ферментативное мягчение на КТ-100	935/620	2,3/1,99	-/8534	0/36	20/110	28,5/37,5
3	Плюсовочно-роликовый способ ***	550/490	2,5/2,09	-/9094	5/28	12/165	35,0/40,5
4	Модуль линии ЛЖО (обработка в жгуте)	575/510	2,5/1,98	-/9234	5/25	30/120	42,0/48,8

Примечание. \* в числителе – значения для суровой ткани, в знаменателе – после ферментативно-механической отделки. Условия процесса: препарат Биофлекс 2...3 г/л, 60°C, pH 6-7; \*\* ферментативная обработка на джигере ВК-3 (20 мин – 2 прохода), отжим, механическое мягчение на AIRO-1000 s в течение 30 мин. \*\*\* ферментативное мягчение (пропитка 60°C, выдерживание в ролике 6...12 ч, промывка, сушка, ворсование или обработка на AIRO-1000 s.

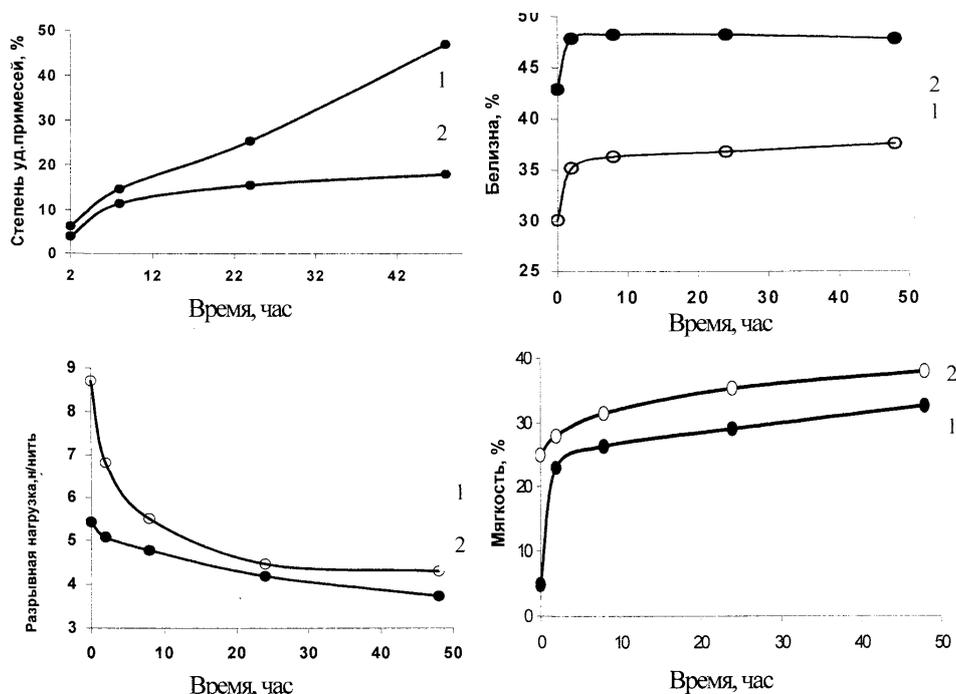


Рис. 5

На примере изменения технических свойств природноокрашенной льняной (кривая 1) и полульняной (кривая 2) ткани (рис. 5) показано влияние длительности ферментативного воздействия полиферментным препаратом Биофлекс (композиция амилаз, пектиназ, целлюлаз). Технология предусматривает пропитку при температуре 60...70 °С, отжим до 100% остаточной влажности и выдерживание ткани без дополнительного подогрева в течение 30 мин...48ч. Можно видеть, что в результате эффективной расшлихтовки, частичной депектинизации и делигнификации материала уже за 1...6 ч достигается требуемый эффект подготовки: частичное "отбеливание", высокая капиллярность при допустимом снижении прочностных свойств. Оптимальная длительность ферментативной обработки в температурном режиме от 45 до 75°С – 60...180 мин.

Результатами практической реализации способа в условиях отделочного производства Красавинского, Яковлевского и Гаврилов-Ямского льнокомбинатов доказана возможность снижения разнооттеночности полотен природноокрашенной льняной ткани и получения новых эффектов мягчения на тканях с цветными нитями в процессе подготовки. В условиях отделочного производства Яковлевского льнокомбината получены природноокрашенные льняные ткани, полностью выработанные по ферментативным технологиям от подго-

товки ровницы до подготовки ткани. Высокая экологичность предлагаемых совмещенных процессов подготовки и мягчения подтверждается снижением БПК с 8881 до 545, ХПК с 4991 до 180 мг/л O<sub>2</sub>, повышением прозрачности сточных вод с 9 до 20, снижением концентрации взвешенных и сухого остатка более чем в 5 раз.

## ВЫВОДЫ

1. Выбраны рациональные высокоэкологичные режимы механобиохимической подготовки льняных тканей, обеспечивающие дополнительный эффект лонгированного мягчения.

2. Экспериментально и практически подтверждена возможность отделки природноокрашенных льносодержащих тканей по технологиям, минимизирующим использование химических реагентов, основанным на совмещении биохимических и механических обработок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чешкова А.В., Мельников Б.Н. // Текстильная химия. Спец. вып. РСХТК. – 2000, № 2(18). С.112...117.

2. Чешкова А.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 1. С.67...70.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 25.12.06.

УДК 663.28:667.662:32

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИНТЕЗА АЗОКРАСИТЕЛЕЙ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ИХ ЭЛЕКТРОННОГО СТРОЕНИЯ

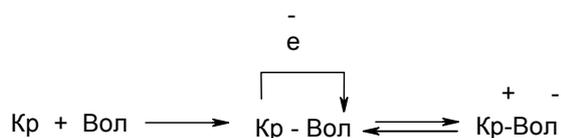
*К.И. КОБРАКОВ, К.Г. АЛЕКСАНИЯ, Г.С. СТАНКЕВИЧ, В.Ю. ОРЛОВ, Р.С. БЕГУНОВ, И.И. БРОДСКИЙ*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина,  
Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова)

Ранее нами было показано, что в ряду структуроподобных азокрасителей существует корреляционная зависимость между потенциалом ионизации (ПИ) молекулы

азокрасителя и прочностными характеристиками окраски образцов, полученных с его помощью [1].

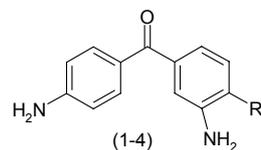
Обнаруженная зависимость, на наш взгляд, объясняется тем, что существует взаимосвязь между уровнем подвижности (возбудимости) электронной системы молекулы азокрасителя (хромофорной системы) и энергией донорно-акцепторного взаимодействия красителя с активными центрами (функциональными группами) макромолекул волокна. Хемосорбционная стадия процесса крашения, на которой и реализуется донорно-акцепторный механизм взаимодействия красителя с волокном, сопровождающаяся образованием комплекса с переносом заряда (КПЗ) [2], возможно является определяющей для последующего закрепления красителя на окрашиваемом объекте.



Чем более подвижна, более возбудима электронная система молекулы красителя, тем легче происходит взаимодействие молекулы красителя с функциональными группами волокна, облегчается его адсорбция и поэтому краситель лучше выбирается из раствора и прочнее фиксируется на волокне. За критерий «подвижности» электронной системы азокрасителя нами выбран потенциал ионизации (ПИ), который рассчитывается по методу РМ-3 с полной оптимизацией геометрии молекулы красителя.

Настоящая работа выполнена в продолжение указанных выше исследований [1] и целью ее является оценка прогностических возможностей обнаруженной зависимости.

В качестве объектов исследования были выбраны азокрасители на основе диаминов (1...4), полученные восстановлением соответствующих динитропроизводных, и до наших исследований в реакцию азосочетания не вовлекались:



1) R= OMe, 2) R=OC<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, 3) R=Cl, 4) R= —N<sub>6</sub>

Следует отметить, что полиядерные диамины ароматического ряда, содержащие первичные аминогруппы в различных бензольных кольцах, продолжают оставаться объектами пристального внимания химиков, занимающихся поиском новых красителей для текстильных материалов.

Это связано с возможностью получения бисдiazосоединений, которые можно использовать в реакции азосочетания с различными азокомпонентами, обеспечивая широкую цветовую гамму синтезируемых красителей.

Рассматривая диамины (1...4) в качестве потенциальных diaзосоставляющих, мы предположили возможность синтеза бисазокрасителей (5...12), для которых провели расчет ПИ (табл. 1 – потенциалы ионизации красителей (5...12) и значения цветовых различий (ΔE) образцов до и после испытаний). Проанализировав полученные данные, мы осуществили синтез красителей (5,6), имеющих наибольшее (8.72) и наименьшее (8.27) значения ПИ соответственно.

По стандартной методике [3] выделенными красителями (5,6) окрасили образцы шерстяной ткани, для которых исследовали устойчивость к мокрой обработке и сухому трению с использованием спектрофотометра data-color, (модель 3880), с пакетом программ "Павлин", позволяющего определять общее цветовое различие (ΔE) до и после испытаний. Результаты приведены в табл. 1.

Далее нами построены графики зависимости устойчивости окрасок, полученных с использованием красителей (5,6) к вышеуказанным физико-химическим воздействиям от ПИ (рис. 1 – зависимость устойчивости окрасок к сухому трению (1) и мокрой обработке (2) ΔE от ПИ.).

Таблица 1

№ п/п	Формула красителя	ПИ, эВ по методу РМ-3	ΔE, определенный экспериментально			ΔE, определенный по графической зависимости		
			мокрая обработка	сухое трение	различие м/ж ΔE граф и эксп., %	мокрая обработка	сухое трение	различие м/ж ΔE граф и эксп., %
5		8,72	3,2	2,47	-	-	-	
6		8,27	1,4	0,75	-	-	-	
7		8,5	2,5	1,72	8	2,3	1,6	
8		8,6	2,61	1,89	13	2,3	1,7	
9		8,74	3,45	2,76	1	3,4	2,6	
10		8,68	3,25	2,5	4	3,1	2,3	
11		8,3	1,5	0,95	0	1,5	0,9	
12		8,53	2,45	1,9	2	2,4	1,6	

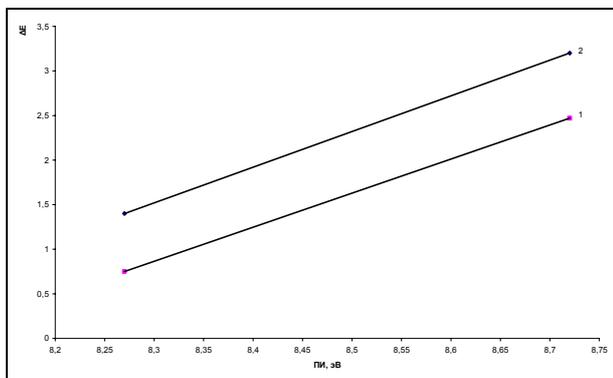


Рис. 1

Затем, используя эти графики и расчетные значения ПИ, были получены теоретические значения  $\Delta E$  испытаний устойчивости окрасок к мокрой обработке и сухому трению для каждого из красителей (7...12) (табл. 1). Для подтверждения теоретических выводов были синтезированы красители (7...12), строение которых подтверждено ИК-спектроскопией, электронными спектрами поглощения (ЭСП) и элементным анализом. Полученными красителями окрашены образцы шерстяной ткани, и для окрашенных образцов, так же как для красителей (5,6), проведены испытания на устойчивость окрасок к действию мокрой обработки и сухого трения. Полученные в результате испытаний значения  $\Delta E$  приведены в табл. 1. Сравнение полученных теоретических и экспериментальных значений  $\Delta E$  показывает, что различие между ними составляет 0...18%.

УДК 677.027.34

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ ПРИ КРАШЕНИИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ

С.ХАССАН, А.М.КИСЕЛЕВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Одним из перспективных направлений в развитии процессов колорирования текстильных материалов является использование бифункциональных активных красителей (БФК). Как правило, эти красители

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что найденная корреляционная зависимость между прочностными характеристиками окрашенного образца и ПИ красителя дает возможность, не приступая к синтезу красителя по данным квантово-химических расчетов, оценить возможную устойчивость полученных с его помощью окрасок к действию физико-химических факторов.

Очевидно, что такой прогноз позволяет с практической точки зрения повысить эффективность процессов разработки новых материалов, сократить материальные и временные затраты на проведение эксперимента.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егорова Л.Р. Взаимосвязь электронного строения органических красителей и свойств окрашенных текстильных материалов: Дис...канд. хим. наук. – М., 2004.
2. Сафонов В.В., Лаврова Н.К. Электронная теория адсорбции красителей на текстильных волокнах // Химическая промышленность. – 1991, №7. С. 67.
3. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. – М.: Легпромбытиздат, 2001. С.269...323.

Рекомендована кафедрой органической химии красителей МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 25.12.06.

рекомендуются для крашения по периодическому способу, но могут быть применены и для непрерывных технологий крашения и печати [1]. Наиболее часто БФК в хромофорной системе содержат одновре-

менно моногалоидтриазиновую и винилсульфоновую активные группы. Такие гетеробифункциональные красящие вещества универсальны, требуют использования меньших количеств электролита, меньше зависят от величины модуля ванны. Они позволяют получить очень высокую степень ковалентной фиксации на целлюлозных текстильных материалах (более 90 %), что обуславливает получение окрасок высокой прочности [2].

Некоторыми зарубежными фирмами (Сумитомо, Япония, Клариант, Швейцария, и др.) разработаны различные технологии крашения БФК (метод охлаждения, "New All in" и др.), однако отечественных разработок в данной области пока немного.

В статье представлены результаты сравнительного изучения свойств и особенностей применения моно- и бифункциональных активных красителей в процессе крашения подготовленной хлопчатобумажной ткани. Характеристика использованных в работе красителей представлена в табл. 1.

В статье представлены результаты сравнительного изучения свойств и особенностей применения моно- и бифункциональных активных красителей в процессе крашения подготовленной хлопчатобумажной ткани. Характеристика использованных в работе красителей представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Марка активного красителя	Тип хромофорной системы	Активная группа	Молекулярная масса, а.е.м	Содержание красящего вещества, %
Ярко-красный 5СХ	ДХТ	-Cl -Cl	615,0	75,9
Ярко-красный 6С	МХТ	-Cl	801,5	90,1
Бордо 4 СТ	ВС	-SO <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH=CH <sub>2</sub>	792,4	87,2
Ярко-голубой КХ	ДХТ	-Cl -Cl	681,4	96,2
Ярко-голубой К	МХТ	-Cl	840,2	86,2
БФ-красный 6С	МХТ+ВС	-SO <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH=CH <sub>2</sub> +Cl	995,5	83,7
БФ-синий	МХТ+ВС	-SO <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH=CH <sub>2</sub> +Cl	837,4	74,4

П р и м е ч а н и е. ДХТ – дихлортриазиновая система; МХТ – монохлортриазиновая система; ВС – винилсульфоновая система.

Известно, что для активных красителей, образующих ковалентную связь с волокном, повышение растворимости не приводит к снижению устойчивости окрасок к мокрым обработкам [3]. Однако повышенная растворимость красителя может снизить коэффициент его распределения между ванной и волокном и привести к уменьшению степени полезного использования. В результате исследования водной растворимости (табл. 2) исследуемых красителей установлено, что для БФК она сравнима с растворимостью монохлор-

триазиновых и винилсульфонового красителей. При этом выявлена корреляция между количеством сульфогрупп в молекулах активных красителей и их растворимостью в воде. В целом растворимость изученных красителей не достигает максимума (110...120 г/л), но находится на уровне, обеспечивающем технологические удобства крашения. При этом БФК, несмотря на достаточно высокую растворимость, образуют окраски с устойчивостью к мокрым обработкам не ниже 5 баллов.

Т а б л и ц а 2

Марка активного красителя	Количество сульфогрупп в молекуле красителя	Растворимость в воде, г/л
Ярко-красный 5СХ	3	80,4
Ярко-красный 6С	4	85,3
Бордо 4 СТ	4	88,2
Ярко-голубой КХ	2	77,6
Ярко-голубой К	2	73,3
БФ-красный 6С	4	90,2
БФ-синий	3	83,7

Диффузионная активность красителя определяет общую продолжительность процесса крашения и прочностные показатели окрасок, которые зависят от глубины проникновения молекул красителя в волокнистый субстрат. В работе, на основании расчета коэффициентов диффузии (по времени половинного крашения) активных красителей в целлюлозное волокно, уста-

новлено, что БФК по диффузионной способности занимают промежуточное положение между красителями с различными активными группами (табл. 3) в соответствии со следующим рядом

$$\text{МХТ} > \text{БФК} > \text{ВС} > \text{ДХТ}.$$

Таблица 3

Марка и тип активного красителя	Время половинного крашения, с	$D \cdot 10^9 \text{ см}^2/\text{с}$
Ярко-красный 5СХ (ДХТ)	96	2,62
Ярко-красный 6С (МХТ)	54	4,60
Бордо 4 СТ (ВС)	87	2,89
Ярко-голубой КХ (ДХТ)	90	2,80
Ярко-голубой К (МХТ)	60	4,20
БФ-красный 6С (МХТ+ВС)	72	3,50
БФ-синий (МХТ+ВС)	75	3,36

Экспериментально доказано, что максимальное влияние на скорость диффузии БФК оказывает температура крашения и концентрация мочевины в красильном растворе.

На основании определения сродства моно- и бифункциональных активных красителей к целлюлозному волокну (табл.4)

сделан вывод о том, что БФК обладают повышенной сорбционной способностью и величиной термодинамического сродства к указанному субстрату (сравнимыми с ди-хлортриазиновыми красителями), что свидетельствует о повышенной реакционно-способности по отношению к гидроксильным группам целлюлозы.

Таблица 4

Марка активного красителя	Тип активного красителя	$C^b$ , ммоль/кг	Кр	кДж/моль
Ярко-красный 5СХ	ДХТ	15,34	25,60	7,89
Ярко-красный 6С	МХТ	7,37	12,27	6,11
Бордо 4 СТ	ВС	2,27	3,78	3,24
Ярко-голубой КХ	ДХТ	8,98	14,95	6,59
Ярко-голубой К	МХТ	3,82	6,50	4,50
БФ-красный 6С	МХТ+ВС	11,16	19,26	7,03
БФ-синий	МХТ+ВС	16,27	22,02	8,04

С целью подтверждения данного вывода в работе определены константы скорости взаимодействия исследуемых красителей с целлюлозным волокном ( $K_{\text{целл}}$ , мин<sup>-1</sup>) и значения степени их ковалентной фикса-

ции ( $C_{\text{Ф}}$ , %) при крашении хлопчатобумажной ткани по плюсовочно-запарному способу. Результаты эксперимента представлены в табл. 5.

Таблица 5

Марка и тип активного красителя	Выбираемость красителя, мг/г	Кцелл, мин <sup>-1</sup>	СФ, %
Ярко-красный 5СХ (ДХТ)	11,95	0,408	68,3
Ярко-красный 6С (МХТ)	5,03	0,153	65,7
Бордо 4 СТ (ВС)	8,02	0,263	65,0
Ярко-голубой КХ (ДХТ)	11,89	0,402	71,0
Ярко-голубой К (МХТ)	4,44	0,131	68,1
БФ-красный 6С (МХТ+ВС)	13,45	0,474	87,3
БФ-синий (МХТ+ВС)	13,78	0,490	90,1

П р и м е ч а н и е. При проведении эксперимента образцы хлопчатобумажной ткани обрабатывались в растворе, г/л: краситель – 20; карбонат натрия – 10, продолжительность запаривания от 1 до 15 мин.

На основании определения констант скорости взаимодействия активных красителей с целлюлозным волокном был получен ряд, подтверждающий максимальную реакционную способность БФК:

$$\text{БФК} > \text{ДХТ} > \text{МХТ} > \text{ВС}.$$

Это связано с одновременным присутствием в хромофорной системе бифункциональных красителей монохлортриазиновой и винилсульфоновой групп и спецификой протекающих электронных взаимодействий. Высокая реакционная способность БФК обуславливает повышенную степень их ковалентной фиксации (до 90 %) в условиях крашения по плюсовочно-запарному и плюсовочно-термофиксационному способам.

Применение активных красителей в процессах колорирования текстильных материалов осложняется протеканием побочной реакции их гидролиза в водной среде. В результате наблюдается десорбция незафиксированной формы красителя при промывке, снижается прочность полученных окрасок, большее количество крася-

щего вещества поступает в сточные воды [4], [5].

В связи с этим в работе методом десорбции гидролизованной формы красителей определена степень их гидролиза. Значения константы скорости гидролиза рассчитывали по уравнению первого порядка [6]:

$$K_g = \frac{2,303}{t_1 - t_2} \lg \frac{D_2}{D_1}, \quad (1)$$

где  $t = t_1 - t_2$  – время гидролиза красителя, мин;  $D_1$  – оптическая плотность раствора при времени  $t_1$ ;  $D_2$  – оптическая плотность раствора при времени  $t_2$ .

Сравнение результатов изучения кинетики гидролиза и ранее полученных данных о реакционной способности активных красителей позволило выявить наличие обратной связи между этими характеристиками (табл. 6). Отсюда следует вывод о том, что БФК характеризуются минимальной скоростью гидролиза по сравнению с монофункциональными красителями (значения  $K_g$  для БФ-красного 6С и БФ-синего составляют соответственно 5,7 и 4,8 мин<sup>-1</sup>).

Таблица 6

Марка и тип активного красителя	Кцелл, мин <sup>-1</sup>	СФ, %	$K_g$ , мин <sup>-1</sup>
Ярко-красный 5СХ (ДХТ)	0,408	68,3	8,4
Ярко-красный 6С (МХТ)	0,153	63,7	14,9
Бордо 4 СТ (ВС)	0,263	65,0	18,1
Ярко-голубой КХ (ДХТ)	0,402	71,0	7,3
Ярко-голубой К (МХТ)	0,131	68,0	16,8
БФ-красный 6С (МХТ+ВС)	0,474	87,3	5,7
БФ-синий (МХТ+ВС)	0,490	90,1	4,8

П р и м е ч а н и я. 1. Данные представлены для плюсовочно-запарного способа крашения. 2. Значения  $K_g$  приведены для  $t = 120$  мин. 3. Значения  $K_{целл}$  и СФ взяты из табл. 5.

При экспериментальной оценке влияния pH и температуры на степень гидролиза БФК показано, что они более устойчивы к щелочному гидролизу в диапазоне pH = 6.8-13.1 и действию повышенных температур (80...85°C).

Таким образом, полученные сравнительные результаты свидетельствуют о преимуществах БФК перед монофункциональными активными красителями при крашении хлопчатобумажной ткани. Они выражаются в повышении степени ковалентной фиксации, снижении степени и скорости гидролиза, получении более интенсивных и прочных окрасок при уменьшении загрязнения производственных сточных вод.

## ВЫВОДЫ

1. Проведено сравнение свойств моно- и бифункциональных активных красителей при крашении хлопчатобумажных тканей по непрерывным технологиям.

2. Установлено, что БФК характеризуются достаточной растворимостью, повышенным средством и реакционной способностью по отношению к целлюлозному волокну, что обуславливает увеличение степени их ковалентной фиксации (до 90%) и, как следствие, интенсивности и прочности окрасок.

3. На основании изучения кинетики гидролиза активных красителей показано, что БФК менее склонны к образованию гидролизованной формы в щелочной среде и при повышенных температурах.

4. Подтверждена перспективность использования БФК в процессах колорирования текстильных материалов из целлюлозных волокон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кочергин А.Б., Разуваев А.В.* Экономичная гамма бифункциональных активных красителей // *Текстильная химия.* – 2004, № 3. С.21...28.

2. *Карпов В.В.* Активные красители в Советском Союзе и в России // *Текстильная химия,* 2004. – № 3. С.9...12.

3. *Романова М.Г., Гордеева Н.В.* Активные красители в текстильной промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1987.

4. *Кричевский Г.Е.* Физико-химические основы применения активных красителей. – М.: Легкая индустрия, 1977.

5. *Калонтаров И.Я.* Свойства и методы применения активных красителей. – Душанбе, Дониш, 1970.

6. *Николаева Н.В.* Исследование совместимости активных красителей в процессах крашения материалов из целлюлозных волокон: Дис...канд. техн. наук. – М.: РосЗИТЛП, 2005.

Рекомендована кафедрой химической технологии и дизайна текстиля. Поступила 25.12.06.

УДК 677.844.1 + 677.842.35

## ПРИДАНИЕ ОКРАСКИ СМЕСОВОЙ ТКАНИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ ЧЕРНОГО ЦВЕТА

*Н.А. ИВАНОВ, Л.А. КОВЖИН, Н.А. ТИХОМИРОВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Объектом окрашивания служила ткань, содержащая (%): шерсть – 40, вискозное волокно – 30, лен – 20, капрон – 10. Получение на таком субстрате ярких, однотонных, интенсивных, устойчивых, тем более,

всегда модного и востребованного черного цвета окрасок представляет собой актуальную, требующую оптимального решения задачу. Поскольку основой всех компонентов смеси являются полимеры, со-

державшие в макромолекулах реакционно-способные функциональные группы, то целесообразно исследовать возможности активных красителей для разработки способа крашения смесей различных волокон.

В работе использованы монофункциональные красители фирмы Холидей кемикалс (Россия): активный черный TNT, активный черный N 150% и бифункциональный краситель фирмы Цемесс (Россия): активный глубоко-черный БФ-К. Проведено крашение как смесовой ткани, так и раздельное крашение всех компонентов смеси в отдельных красильных ваннах. При выборе условий крашения по одному, двухстадийному способу, использованы рекомендации ранее выполненных исследований по крашению текстильных материалов из смесей шерсти со

льном [1]: активный краситель – 5% от массы волокна; модуль ванны – 20:1; общее время крашения – 80 мин; температура крашения – 60°C.

Растворы красителей до и после крашения охарактеризованы спектрами поглощения в видимой области и хроматограммами на бумаге. Цветные зоны бумажных хроматограмм и окрашенные волокнистые материалы охарактеризованы спектрами отражения и колориметрическими характеристиками (получены с помощью спектрофотометра Color i 5 фирмы Gretag Macbeth). Установлено, что красители являются смесовыми. В табл. 1 приведены характеристики цветов зон хроматограмм (зоны перечислены в порядке усиления хроматографической подвижности).

Т а б л и ц а 1

Марка красителя	Цвет зоны на хроматограмме	Координаты цвета ( $D_{65}$ ) в CIE Lab		
		L	a	b
Активный глубоко-черный БФ-К	Коричневый	53,35	5,32	19,48
	Сине-черный	60,14	2,78	-3,40
	Оранжевый	69,40	4,86	4,33
	Синий	59,12	-8,30	-29,08
Активный черный TNT	Сине-черный	35,59	-0,94	-20,33
	Желтый	83,02	-5,62	17,15
	Синий	52,72	-6,72	-33,4
	Оранжевый	84,66	3,40	11,29
Активный черный N 150%	Оливковый	40,48	-7,19	18,45
	Желтый	82,19	-4,52	31,24
	Синий	53,85	-6,98	-34,14
	Красный	83,24	2,94	2,02

Хроматографирование проводилось с использованием бумаги FN-12 (быстрая) радиальным способом, с использованием элюента, предложенного Шрамеком [2] для характеристики субстантивности активных красителей: 2%-ный раствор двухзамещенного фосфорнокислого натрия в 5%-ном аммиаке.

При крашении указанными смесями красителей, имеющих различные хромофорные системы и величину сродства к

волокнистым материалам, индивидуальные волокнистые материалы приобретают различные окраски. На рис. 1...3 представлены спектры отражения окрашенных образцов (кривые: 1 – лен, 2 – вискоза, 3 – шерсть, 4 – полиамид; ось абсцисс – длина волны  $\lambda$ , нм, ось ординат – коэффициент отражения R, %; рис. 1 – активным глубоко-черным БФ-К, рис. 2 – активным черным TNT; рис. 3 – активным черным N 150%).

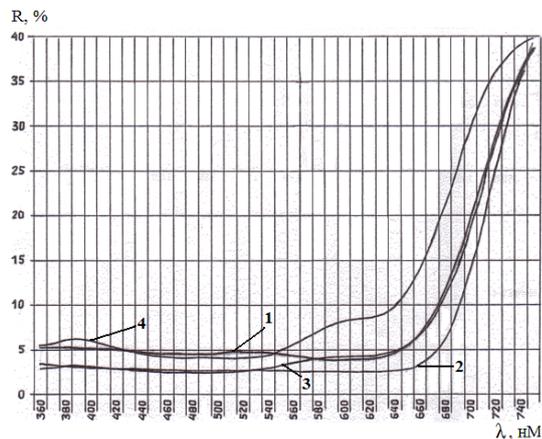


Рис. 1

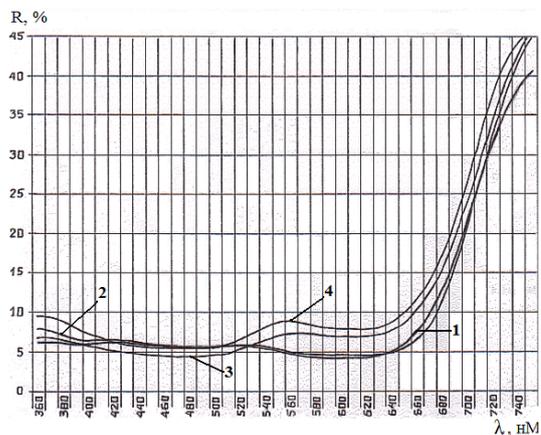


Рис. 2

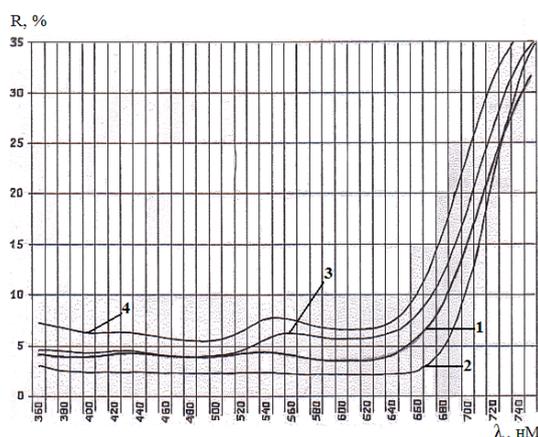


Рис. 3

Все марки красителей позволяют получить интенсивную окраску черного цвета на образцах из вискозного волокна (особенно в случае красителя активного глубоко-черного БФ-К). Лен окрашивается всеми красителями в интенсивный сине-черный цвет. Шерсть приобретает окраску меньшей интенсивности, чем в случае целлюлозосодержащих волокон, и имеет цвета: серо-зеленый (для красителей активного черного N 150% и активного черного TNT) и красно-коричневый (для красителя активного глубоко-черного БФ-К). Капрон окрашивается в оливковые цвета (для красителей активного черного N 150% и активного черного TNT) и желто-коричневый цвет (для красителя активного глубоко-черного БФ-К).

Несмотря на различную окрашиваемость отдельных волокон, при крашении их смеси в виде ткани в одной красильной ванне наблюдается получение для всех красителей интенсивных, однотонных ок-

расок. Об однотонности окраски судили по визуальному просмотру окрашенных образцов ткани в световой камере (фирмы Gretag Macbeth), имеющей различные источники света: стандартные источники А и D<sub>65</sub>, люминесцентное и ультрафиолетовое излучения. Наличие разноцветных волокон в ткани не выявлено. Проведено сравнение полученных окрасок смесовой ткани с окраской хлопчатобумажной ткани, окрашенной активным глубоко-черным БФ-К (образец из каталога фирмы Цемесс).

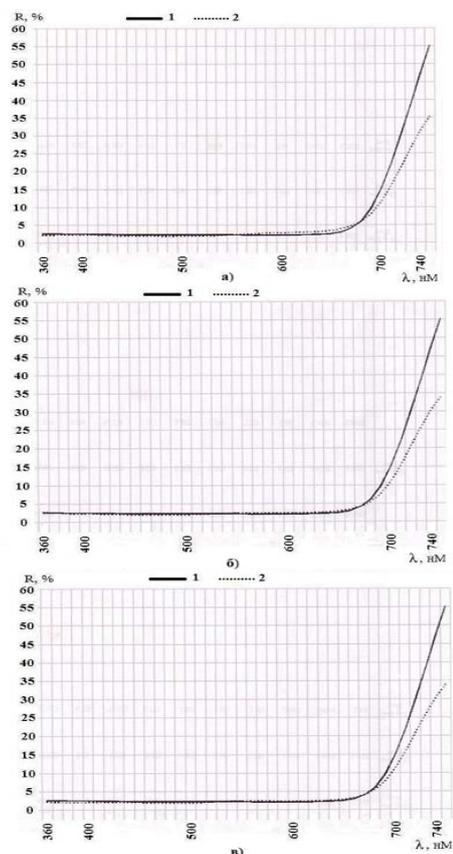


Рис. 4

На рис. 4 представлены спектры отражения образцов: хлопчатобумажной ткани, окрашенной активным глубоко-черным БФ-К– образец из каталога (— 1) и образцов смесовой ткани (•••••• 2) окрашенной: а) – активным глубоко-черным БФ-К, б) – активным черным TNT, в) – активным черным N 150%; ось абсцисс – длина волны  $\lambda$ , нм; ось ординат – коэффициент отражения R, %. Спектры отражения интенсивных окрасок, имеющих цвета, близкие к черному, не указывают на имеющиеся различия, выявляемые при зрительном восприятии. Координаты цвета и величина разнооттеночности подтвер-

ждают получение на смесовых тканях окрасок черного цвета. Окраска, полученная с помощью активного глубоко-черного БФ-К, имеет большое отличие и воспринимается как темно-коричневый цвет.

Сравнение колориметрических характеристик, представленных в табл. 2, позволяет сделать заключение, что красители активный черный N 150% и активный черный TNT окрашивают смесовую ткань в черный цвет, а активный глубоко-черный БФ-К – в черный цвет с ярко выраженным коричневым оттенком.

Т а б л и ц а 2

Марка красителя	Координаты цвета ( $D_{65}$ ) в CIE Lab			Разнооттеночность $\Delta E$
	L	a	b	
Активный глубоко-черный БФ-К (образец х/б ткани из каталога фирмы Цемесс)	16,19	0,75	-0,55	–
Активный глубоко-черный БФ-К	16,66	5,08	3,56	6
Активный черный TNT	16,58	2,09	2,97	3,8
Активный черный N 150%	16,59	1,5	2,81	3,5

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что красители активный черный N 150%, активный черный TNT и активный глубоко-черный БФ-К в выпускной форме содержат смесь красителей различных цветов. При определении колориметрических характеристик индивидуальных красителей использовались бумажные хроматограммы смесовых красителей.

2. Выявлена различная крашиваемость компонентов смеси волокон при раздельном крашении их; полученные окраски охарактеризованы спектрами отражения и колориметрическими показателями.

3. При крашении смеси волокон в виде ткани индивидуальные способности отдельных волокон к крашиванию не пре-

пятствуют получению интенсивных, одно-тонных окрасок черного цвета: для активного черного TNT и активного черного N 150% цвет близок к нейтральному черному, а для активного глубоко-черного БФ-К проявляется красноватый оттенок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бекетова В.Н., Тихомирова Н.А., Ковжин Л.А., Варфоломеева Л. Е. О возможности однотонного крашения текстильных материалов, содержащих льняное и шерстяное волокна // Мат. юбилейн. научн.-техн. межвуз. конф. – Санкт-Петербург, 2000. С. 21...22.

2. Аналитическая химия синтетических красителей / Под ред. К. Венкатарамана. – Л.: Химия, 1979.

Рекомендована кафедрой химической технологии и дизайна текстиля. Поступила 25.12.06.

УДК 677.014

**МНОГОСЛОЙНЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ СОРБЕНТЫ  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ МУЗЕЙНЫХ ЭКСПОНАТОВ ОТ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ***Н.Ф. БОГДАН, А.А. ЛЫСЕНКО**(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)*

Вещества, содержащиеся в воздушной среде музеев, хранилищ и архивов, в сочетании с температурой и светом со временем приводят к разрушению экспонатов. В задачи музейной климатологии входит создание микроклиматических условий, находясь в которых музейные объекты как можно реже подвергаются реставрации. Для решения этих задач предусмотрены специальные конструкции герметичных витрин, заполненных инертным газом, которые используют, в основном, для очень ценных экспонатов, так как оборудование дорогостоящее и сложное в эксплуатации. Чаще всего витрины для хранения снабжают емкостями, наполненными сорбентом, как правило, это силикагель, предназначенный для поддержания необходимого уровня влажности [1] или активированный уголь для адсорбции летучих органических соединений [2].

Гибкие волокнистые структуры, обладающие сорбционными свойствами, более всего пригодны для равномерного распределения сорбента в витринах для хранения музейных экспонатов. Эти средства защиты обычно относятся к классу многослойных волокнистых материалов [3], так как содержат скрепленные между собой сорбционный и покровный слои. Сорбционные слои могут быть выполнены в виде порошков и гранул или текстильных материалов – тканей, трикотажа, нетканых материалов. Покровными слоями являются

различные полотна из химически инертных волокон. Эти слои предназначены для удерживания и/или скрепления частиц сорбента, а также для упрочнения конструкции полотна, снижения пылевыделения (что не редкость для углеродных материалов) и препятствия соприкосновению сорбента с находящимися на хранении объектами.

Технологии получения многослойных полотен включают механические способы скрепления волокнистых структур: прошивание, провязывание, иглопрокалывание, а также скрепление слоев с помощью инертных клеящих веществ, термоплавких волокон или порошков [4].

Различное сочетание материалов, входящих в конструкцию многослойных полотен, позволяет получать материалы с различными эксплуатационными и сорбционными характеристиками. К преимуществам материалов этого класса можно отнести следующие: возможность получения многослойных материалов с высокой степенью наполнения (до 98%) [5]; технология изготовления позволяет создавать структуры, в которых хорошо закреплен сорбент в любом виде (порошок, гранулы, готовые текстильные полотна), но при этом покровные слои не создают особых препятствий для доступа сорбируемых веществ; благодаря прочной, но проницаемой для воздуха или жидкостей структуре такие материалы можно использовать в

качестве механических фильтров; для получения этих материалов подходят стандартные линии оборудования. Очевидным преимуществом является возможность создания широкого ассортимента текстильных полотен этого класса. Многослойные материалы дешевле и проще в изготовлении композиционных материалов, в которых для скрепления частиц сорбента используют связующее, степень наполнения композитов сорбционно-активной компонентой, как правило, не превышает 40...60%, при этом часть поверхности сорбента может быть дезактивирована.

Нами разработан многослойный сорбционный материал, предназначенный для использования в различных объемах с целью хранения музейных экспонатов. Материал представляет собой комбинированное полотно, состоящее из активированно-

го углеродного нетканого или трикотажного материала и покровных слоев. Выбор такой композиции объясняется тем, что активированные углеродные материалы, наряду с активированными углями, являются эффективными поглотителями различных летучих органических соединений, но предпочтительней благодаря гибкой текстильной форме и более высоким сорбционно-кинетическим характеристикам.

Способ изготовления многослойного сорбционного полотна заключался в термической фиксации покровных слоев на поверхности активированных углеродных материалов. В качестве покровных слоев использовали полипропиленовый и целлюлозные нетканые материалы. В табл. 1 представлены виды многослойных материалов, полученных в результате термоскрепления.

Таблица 1

Покровные слои	Активированное углеродное полотно	
	трикотажное	нетканое
Полипропиленовый нетканый материал с поверхностной плотностью 40 г/м <sup>2</sup>	ДТП 1 (дублированное трикотажное полотно)	ДНП 1 (дублированное нетканое полотно)
Бумажный нетканый материал с поверхностной плотностью 20 г/м <sup>2</sup>	ДТП 2 (дублированное трикотажное полотно)	ДНП 2 (дублированное нетканое полотно)

В табл. 2 представлены результаты измерения разрывной нагрузки, удлинения и толщины углеродных полотен до скрепле-

ния с покровными слоями и готовых многослойных материалов.

Таблица 2

Показатели	Испытываемые образцы					
	трикотаж			нетканый материал		
	исходный	ДТП 1	ДТП 2	исходный	ДНТ 1	ДНТ 2
Разрывное удлинение, %	20	100	82	40	115	85
Разрывная нагрузка (на полоску), Н	35	103	82	45	96,7	83
Толщина, мм	0,36	0,68	0,71	1,09	1,41	1,44

Из представленных результатов видно, что покровные слои увеличивают прочность готового многослойного материала в два раза. При этом толщина разработанного многослойного материала вполне допускает использование его даже в качестве поглотителей кислых газов для предохра-

нения книг, когда сорбент закладывается между страницами.

Адсорбционно-структурные характеристики активированных углеродных материалов в виде трикотажа АУВТ и в виде нетканого полотна АУВН представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики образца Материал	$E_0$ , кДж/моль	$x$ , нм	$S_{ми}$ , м <sup>2</sup> /г	$a_m$ , г/г	$V_{ми}$ , см <sup>3</sup> /г	$V_{мез}$ , см <sup>3</sup> /г	Адсорбция бензола, г/г	Адсорбция воды, г/г
АУВТ	27,8	0,33	803	0,164	0,27	0,07	0,30	0,41
АУВН	25,2	0,39	706	0,167	0,26	0,06	0,34	0,45

В табл. 3  $E_0$  – энергия абсорбции, кДж/моль;  $x$  – полуширина пор, нм;  $S_{ми}$  – удельная поверхность микропор, м<sup>2</sup>/г;  $a_m$  – константа представляющая количество адсорбированного вещества, достаточное для покрытия поверхности плотным мономолекулярным слоем, г/г;  $V_{ми}$ ,  $V_{мез}$  – объем микро- и мезопор, см<sup>3</sup>/г.

Исследования показали, что сорбционные характеристики исходных материалов АУВТ и АУВН различаются незначительно. В выбранных для экспериментов сорбентах превалируют микропоры.

Нами разработаны модифицированные волокнистые углеродные сорбенты, способные эффективно поглощать NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S. Эти газы наиболее часто встречаются в музейных помещениях и способны оказывать отрицательное влияние на экспонируемые объекты.

Исходные и модифицированные углеродные сорбенты испытывали в процессах адсорбции аммиака и сероводорода. Данные, характеризующие общий объем сорбционного пространства и поглощение аммиака, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Материал	Сорбируемые вещества	Исходные углеродные материалы: АУВТ и АУВН	Модифицированные углеродные материалы					
			АУВТм1 и АУВНм1		АУВТм2 и АУВНм2		АУВТм3 и АУВНм3	
			Доля закрепленной добавки, %					
			2,5	5	2,5	5	2,5	5
Адсорбция, г/г								
Трикотаж – АУВТ	бензола	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,28
	аммиака	0,15	0,16	0,15	0,26	0,38	0,32	0,41
Нетканый материал – АУВН	бензола	0,34	0,31	0,33	0,29	0,32	0,30	0,32
	аммиака	0,16	0,17	0,15	0,29	0,39	0,46	0,51

П р и м е ч а н и е. АУВТм1, АУВТм2, АУВТм3 – трикотажные активированные углеродные полотна, модифицированные различными добавками; АУВНм1, АУВНм2, АУВНм3 – нетканые активированные углеродные полотна, модифицированные различными добавками.

Результаты проведенных исследований показывают, что модификации активированных волокнистых материалов практически не влияют на поглощение бензола. Это может свидетельствовать о том, что введение от 2 до 5% модифицирующих агентов в структуру активированных волокон не изменяет их пористости. Экспериментально доказано, что использование модифицирующих агентов существенно увеличивает (для АУВТм3 и АУВНм3 более чем в 3 раза) поглощательную способность по отношению к аммиаку. Увеличе-

ние содержания модифицирующих агентов в пределах 2,5...5% приводит к увеличению адсорбции аммиака в среднем на 34 и 11% соответственно для модифицированных материалов АУВТм2, АУВНм2 и АУВТм3, АУВНм3.

О величине и скорости адсорбции сероводорода судили по результатам, представленным на рис. 1-а и б (кинетические кривые поглощения сероводорода неткаными (а) и трикотажными (б) углеродными материалами).

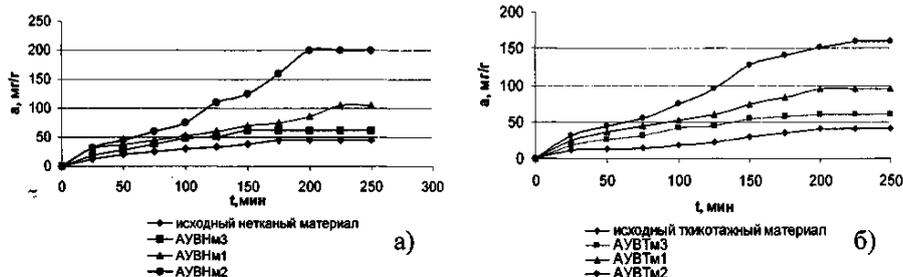


Рис. 1

Адсорбцию сероводорода вели при подаче пара воздушной со скоростью 0,5 л/мин·см<sup>2</sup>, концентрация сероводорода составляла 0,46 г/л. Наибольшая адсорбционная способность была зафиксирована для модифицированных сорбентов АУВНм2 и АУВТм2 и составила соответственно 200 и 160 мг/г, что более чем в 4 раза превышает поглотительную способность исходных материалов.

С использованием модифицированных углеродных сорбентов были изготовлены многослойные полотна с поверхностной плотностью 50...100 г/м<sup>2</sup>. Прогнозируемая стоимость таких материалов в 2...2,5 раза ниже существующих в настоящее время импортных аналогов.

## ВЫВОДЫ

Разработаны способы модификации активированных углеродных волокнистых материалов с целью придания им специфической поглотительной способности по отношению к аммиаку и сероводороду.

На основе сорбционно-активных трикотажных и нетканых полотен получены многослойные текстильные структуры, обладающие высокой сорбционной способ-

ностью (до 200 мг/г по отношению к сероводороду и до 500 мг/г – к аммиаку).

Материалы рекомендованы к использованию для предохранения от воздействия вредных веществ в музеях и библиотеках.

## ЛИТРАТУРА

1. Патент РФ № 2242278. Сорбционный материал для защиты объектов культурного наследия от воздействия окружающей среды в процессе хранения и экспонирования / В.И. Кобякова, Н.Ф. Богдан, А.В. Просвирницын и др. – 2004.
2. [www.cwaller.de](http://www.cwaller.de)
3. Лысенко А.А. Новое в технологиях получения углеродных волокон-сорбентах. Полимеры и полимерные материалы: синтез, строение, структура, свойства // Сб. научн. тр. под ред. проф. Л.С. Гальбрайха. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. С.55...60.
4. Барабанов Г.Л., Бершев Е.Н. Физико-механические способы производства нетканых материалов и валяльно-войлочных изделий: Учебник для вузов – М.: Легпромбытиздат, 1994.
5. Горчакова В.М., Биюшкина И.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №1. С.34...37.

Рекомендована кафедрой технологии химических волокон и композиционных материалов. Поступила 25.12.06.

## ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ СООСНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ПРОЦЕССЕ РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ

В.Д. ФРОЛОВ, Н.Г. ЖАРОВА, И.В. ФРОЛОВА

(Ивановская государственная текстильная академия)

В процессе регенерации текстильных отходов при обработке коаксиальными цилиндрическими поверхностями волновое уравнение с дисперсионным членом дает дисперсию плоских волн, одна из которых имеет вид:

$$u = \Psi(x)e^{-ikt}. \quad (1)$$

Решим задачу распространения начальных импульсов (в гиперболическом случае) или начальных возмущений (в параболическом случае) при вращении соосных цилиндров в процессе деформации текстильных отходов.

Обозначим через  $\theta(P; t; r)$  функцию, удовлетворяющую условиям:

если  $\alpha \neq 0$

$$\alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial \theta}{\partial t} - L(\theta) = 0,$$

$$\theta|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial t}|_{t=0} = \frac{1}{a} g(P; r);$$

если  $\alpha = 0, \beta \neq 0$

$$\beta \frac{\partial \theta}{\partial t} - L(\theta) = 0, \quad \Lambda[\theta] = 0,$$

$$\theta|_{t=0} = \frac{1}{\beta} g(P; r).$$

Рассмотрим следующий интеграл:

$$u = \int_{r=0}^t \theta(P; t-r; r) dr, \quad (2)$$

который является ключевым при решении задачи об отделении частей от основного фрагмента волокнистой структуры.

При помощи этого интеграла и формулы (1) найдем решение неоднородного трехмерного волнового уравнения:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \Delta u = f(x, y, z; t) \quad (3)$$

при начальных условиях,

$$u|_{t=0} = \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = 0,$$

$$u(x_0, y_0, z_0; t) = \frac{1}{4\pi a^2} \int_0^t \frac{dr}{t-r} \iint f(x, y, z; r) ds_{a(t-r)}.$$

Сделаем в этом интеграле замену пере-

менного  $a(t-r)$  на  $r$  и получим:

$$u(x_0, y_0, z_0; t) = \frac{1}{4\pi a^2} \int_0^{at} \frac{dr}{r} \iint_{(S_r)} f\left(x, y, z; t - \frac{r}{a}\right) ds_r = \frac{1}{4\pi a^2} \iiint_{(V_{at})} \frac{f\left(x, y, z; t - \frac{r}{a}\right)}{r} dv, \quad (4)$$

где  $V_{at}$  – объем цилиндра с радиусом  $at$  и центром  $(x_0, y_0, z_0)$ ;  $r$  – расстояние от переменной точки интегрирования  $(x, y, z)$  до

центра цилиндра. Выражение с запаздывающим потенциалом (с запаздыванием  $\frac{r}{a}$ )

означает, что влияние каждой точки  $(x, y, z)$  сказывается с запаздыванием при распространении со скоростью  $a$ .

При подстановке выражения (1) в (4) получается уравнение

$$a^2 \psi'' + (k^2 + c)\psi = 0,$$

решение которого определяет волны с дисперсией, вызванной наличием члена  $cu$ , то есть дисперсионного члена.

Не ограничивая общности рассмотрений, можно направить ось  $x$  перпендикулярно фазовым плоскостям, тогда  $v = x$  и  $u$  не будет зависеть от  $y$  и  $z$ .

Волновое уравнение примет вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - cu = 0. \quad (5)$$

Зная характеристики дифференциального уравнения, можно произвести качественный анализ описываемых явлений и дать общий метод решения, в основу которого положим уравнение (5) и ограничимся случаем, когда уравнение имеет вид:

$$\square u \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - cu = f(x, t), \quad (6)$$

где  $a, c$  – постоянные.

Пусть в плоскости  $x, t$  (рис. 1) задана кривая  $(C)$ , обладающая следующими свойствами:

1) она делит плоскость на две части: одна из них лежит выше, другая ниже  $(C)$ ;

2) какая бы ни была точка  $P(\xi, \tau)$ , лежащая в верхней (относительно  $(C)$ ) полуплоскости, каждая характеристика, проходящая через  $P$ , пересекает  $(C)$  в одной точке, лежащей ниже  $P$ .

Пусть на кривой  $(C)$  заданы две функции  $\varphi$  и  $\psi$ .

Найдем в верхней (относительно  $(C)$ ) полуплоскости функцию  $u(x, t)$ , которая:

а) удовлетворяла бы в этой полуплоскости уравнению (6);

б) удовлетворяла бы на  $(C)$  начальным условиям:

$$u = \varphi, \quad \frac{\partial u}{\partial n} = \psi, \quad (7)$$

где  $\frac{\partial}{\partial n}$  – дифференцирование по нормали к  $(C)$ , направленной в сторону верхней полуплоскости.

Первое из условий (7) дает возможность найти производную  $\frac{du}{ds}$  по касательной к  $(C)$ . Зная в точках  $(C)$  производные по двум направлениям (касательной и нормали), можно найти производную по любому направлению. Поэтому условия (7) задают вдоль  $(C)$  производные от  $u$  по любому направлению. Вместо второго условия (7) можно задать вдоль  $(C)$  производную по любому направлению, не касательному к  $(C)$ . Вместе с первым из условий (7) это определит также и производную по нормали.

Находим решение через  $u$ , а затем – значение функции  $u$  в любой точке верхней полуплоскости. Для этой цели возьмем в верхней полуплоскости произвольную точку  $P(\xi, \tau)$  и проведем через нее обе характеристики:

$$\begin{aligned} (l_1): t - \tau &= \frac{1}{a}(x - \xi), \\ (l_2): t - \tau &= -\frac{1}{a}(x, \xi) \end{aligned} \quad (8)$$

до их пересечения (в точках  $Q_1$  и  $Q_2$ ) с кривой  $(C)$  (рис. 1).

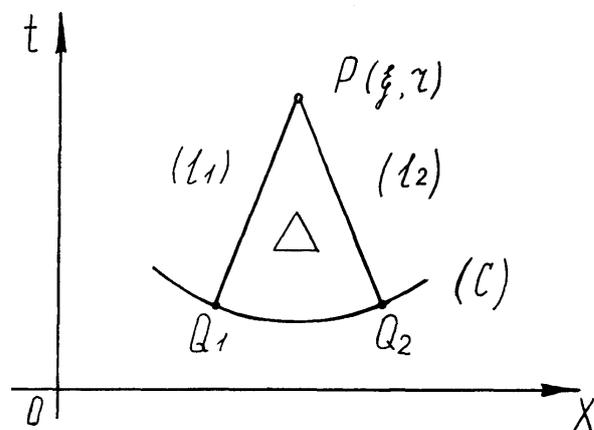


Рис. 1

Треугольник  $PQ_1Q_2$  обозначим  $\Delta$  и рассмотрим интеграл:

$$I = \iint_{(\Delta)} [v \square u - u \square v] ds, \quad (9)$$

где  $v$  – предположительно произвольная функция.

Выражение под знаком интеграла (9) преобразуется следующим образом:

$$v \square u - u \square v = \frac{\partial}{\partial t} \left[ v \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial v}{\partial t} \right] + a^2 \frac{\partial}{\partial x} \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} \right]. \quad (10)$$

Подставляем выражение (10) в (9) и по-

лучаем:

$$I = \iint_{(\Delta)} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left[ v \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial v}{\partial t} \right] + a^2 \frac{\partial}{\partial x} \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} \right] \right\} dx. \quad (11)$$

Интеграл (11) с помощью теоремы Остроградского заменяем интегралом по

границе  $(\Sigma)$  области  $(\Delta)$ :

$$\begin{aligned} I &= \int_{(\Sigma)} - \left[ v \frac{\partial u}{\partial t} - u \frac{\partial v}{\partial t} \right] dx + a^2 \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} \right] dt = \\ &= \int_{(\Sigma)} \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] \right\} = I_1 = I_2 + I_3, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_{Q_1}^P \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] \right\}, \\ I_2 &= \int_{Q_2}^P \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] \right\}, \\ I_3 &= \int_{Q_1}^{Q_2} \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] \right\}. \end{aligned}$$

При этом

Учитывая соотношения (12), запишем интегралы по характеристикам  $(\ell_1)$  и  $(\ell_2)$  в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} adt &= dx && \text{на } (\ell_1) \\ adt &= -dx && \text{на } (\ell_2) \end{aligned} \right\}.$$

$$I_1 = a \int_{Q_1}^P \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dt + \frac{\partial v}{\partial x} dx \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dt + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right] \right\} = a \int_{Q_1}^P u dv - v du, \quad (13)$$

$$I_2 = a \int_{Q_2}^P \left\{ -u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dt + \frac{\partial v}{\partial x} dx \right] + v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dt + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right] \right\} = a \int_{Q_2}^P -u dv + v du. \quad (14)$$

Дифференциальные вычисления в квадратных скобках под знаком этих интегралов по характеристикам оказались полными дифференциалами.

Вторые слагаемые обоих интегралов интегрируем по частям:

$$I_1 = a \left\{ -(uv)_P + (uv)_{Q_1} + 2 \int_{Q_1}^P u dv \right\}, \quad (15)$$

$$2a(vu)_P = a(vu)_{Q_1} + a(vu)_{Q_2} - \int_{Q_1}^{Q_2} \left\{ u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] - v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] \right\} + \\ + \iint_{(\Delta)} v \square u ds - \iint_{(\Delta)} u \square v ds - 2a \int_P^{Q_1} u dv - 2a \int_P^{Q_2} u dv. \quad (17)$$

В уравнениях (17) неизвестны последние три слагаемых, для определения значимости которых наложим ограничения на функцию  $v$ :

а)  $\square v = 0$ ,

б)  $v = 1$  на характеристиках, проходящих через точку  $P(\xi, \tau)$ .

Исходя из ограничений функция  $v$  должна зависеть от координат  $(\xi, \tau)$  точки

$$I_2 = a \left\{ (uv)_P - (uv)_{Q_2} - 2 \int_{Q_2}^P u dv \right\}. \quad (16)$$

Значения интегралов (15) и (16) по характеристикам подставляем в уравнение (12). Получим:

$P$  как от параметров. При этом функция  $v(x, t, \xi, \tau)$  при любых  $(\xi, \tau)$ , удовлетворяющих условиям а) и б), и является функцией Римана дифференциального оператора  $\square u$ . При наличии в уравнении (17)  $v$  как функции Римана данная формула вдоль характеристик  $v = 1, dv = 0$  примет вид:

$$u_P = \frac{u_{Q_1} + u_{Q_2}}{2} + \frac{1}{2a} \int_{Q_1}^{Q_2} \left\{ v \left[ \frac{\partial u}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial u}{\partial x} dt \right] - u \left[ \frac{\partial v}{\partial t} dx + a^2 \frac{\partial v}{\partial x} dt \right] \right\} + \frac{1}{2a} \iint_{\Delta} v f ds. \quad (18)$$

Из формулы (18) можно сделать выводы:

1) решение поставленной задачи: функция  $u_P$  соответствует задаче Коши, что подтверждается уравнением (18);

2) значение функции  $u$  в точке  $P$  зависит только от начальных условий по дуге  $Q_1 Q_2$  кривой  $(C)$  между характеристиками, проведенными через  $P$ , и от значений внешней силы  $f$  в точках треугольника  $(\Delta)$  (рис. 1);

3) начальное условие в некоторой точке  $Q$  кривой  $(C)$  или значение внешней силы в некоторой точке  $Q_1$  верхней полуплоскости влияют на решение только в точках, лежащих в верхнем углу между характеристиками, проведенными через данную точку  $Q$  или  $Q_1$  (рис. 2).

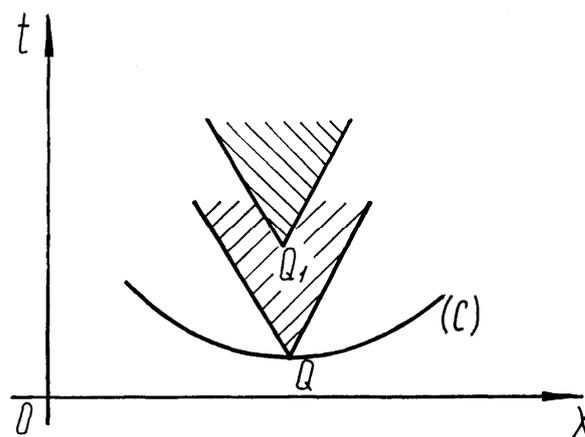


Рис. 2

Если кривой  $(C)$  является ось  $x$ , то есть начальные условия имеют вид:

$$U|_{t=0} = \varphi(x); \quad \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = \psi(x), \quad (19)$$

то в этом случае абсциссы точек  $Q_1$  и  $Q_2$  запишутся следующим образом:

$$x_1 = \xi - ar \quad \text{и} \quad x_2 = \xi + ar.$$

Тогда формула (18) примет вид:

$$u = u_1 + u_2 + u_3, \quad (20)$$

где

$$u_1(\xi, r) = \frac{\varphi(x_1) + \varphi(x_2)}{2} - \frac{1}{2a} \int_{\xi-ar}^{\xi+ar} \varphi(x) \frac{\partial v(x, 0)}{\partial t} dx, \quad (21)$$

$$u_2(\xi, r) = \frac{1}{2a} \int_{\xi-ar}^{\xi+ar} \psi(x) v(x, 0) dx, \quad (22)$$

$$u_3(\xi, r) = \frac{1}{2a} \iint_{(\Delta)} f(x, t) v(x, t) dx. \quad (23)$$

Функция  $u_1$  является решением задачи распространения начальной деформации  $\varphi(x)$ , функция  $u_2$  – решением задачи рас-

пространения начальной скорости, функция  $u_3$  – решением задачи отделения частей комплексов из волокон.

При определении значения ограничений, наложенных на кривую (С), на которой задаются начальные условия, будем искать  $v$  в виде функции от  $z$ :

$$v = \Phi(z), \quad (24)$$

$$\text{где } z = \sqrt{(t-r)^2 - \frac{(x-\xi)^2}{a^2}} \quad (25)$$

и равна нулю вдоль обеих характеристик, проходящих через точку  $P(\xi; r)$  и вещественна в треугольнике ( $\Delta$ ).

При условии  $v = 1$  уравнение (24) принимает вид:

$$\Phi(0) = 1. \quad (26)$$

При условии  $\square v = 0$  найдем производные функции  $v$  согласно (24) по  $t$  и  $x$ :

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \Phi'' \left( \frac{\partial z}{\partial t} \right)^2 + \Phi \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \Phi'' \frac{(t-r)^2}{z^2} - \Phi \frac{(x-\xi)^2}{a^2 z^3},$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \Phi'' \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \Phi' \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \Phi'' \frac{(x-\xi)^2}{a^4 z^2} - \Phi' \frac{(t-r)^2}{a^2 z^3}$$

и

$$v = \Phi \frac{(t-r)^2 - \frac{(x-\xi)^2}{a^2}}{z^2} + \Phi' \frac{(t-r)^2 - \frac{(x-\xi)^2}{a^2}}{z^3} - C\Phi = \Phi'' + \frac{1}{z} \Phi' - C\Phi. \quad (27)$$

Условие  $\square v = 0$ , которому должна удовлетворять функция Римана, приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению для функции  $\Phi$ :

$$\Phi'' + \frac{1}{z} \Phi' - C\Phi = 0. \quad (28)$$

Решением уравнения (28) цилиндрических функций нулевого порядка, удовле-

творяющим начальному условию, является:

$$\Phi(z) = J_0(z\sqrt{-c}) = I_0(z\sqrt{c}).$$

Таким образом, значение функции  $u$  в точке  $P$  зависит от начальных условий по дуге  $Q_1Q_2$  кривой (С) между характеристиками. Внешние силы в верхней полуплос-

кости влияют на протекание технологического процесса: распространение начальной деформации, начальную скорость и отделение частей комплексов из волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. – Гостехиздат, 1949. – Т. 2, гл. XIX, §1.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 25.12.06.

---

УДК 677.052

**ТРЕХМЕРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ТРИКОТАЖНОЙ ПЕТЛИ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ ПРЯЖИ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

*А.Ю. БАРАНОВ, Е.Н. ЯКУНИЧЕВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Современные программно-алгоритмические средства, такие как OBAQUS, ANSIS, 3DPTComposit позволяют рассчитывать и анализировать физические, механические и эксплуатационные свойства материалов.

Для проведения численных экспериментов необходимо максимально точно формализовать объект или его репрезентативный объем (РО). В структуре трикотажа это, в большинстве случаев, петля, имеющая сложную пространственную

форму с изменяющейся конфигурацией сечения пряжи или нити по всей длине.

В РО игольная и платинная дуги представляются как максимально сжатые элементы эллипсовидной формы, а петельные палочки – как элементы с переменным диаметром от максимального к среднему [1] (рис. 1 – репрезентативный объем петельной структуры с учетом деформации пряжи и 2 – вид игольной дуги в плоскостях YOX, YOZ и ZOХ).

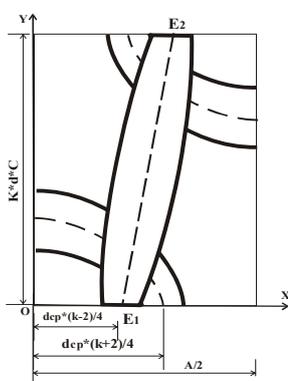


Рис. 1

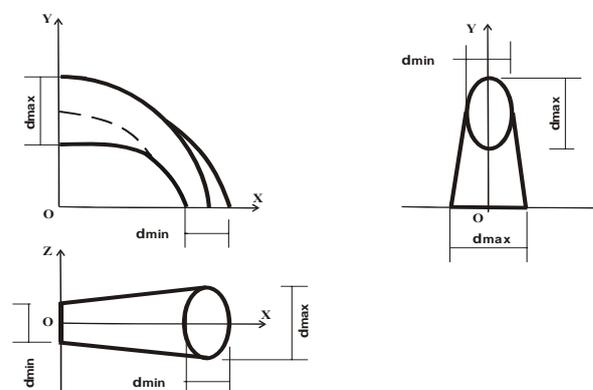


Рис. 2

Для получения трехмерной матрицы РО петельной структуры трикотажа, позволяющей описать каждую его точку в пространстве, рассекаем данный объект плоскостями, параллельными и перпендикулярными плоскости полотна. Количество этих плоскостей может быть выбрано в зависимости от необходимой точности расчетов.

Исходя из постулата о симметричности формы петли, при построении сечений можно рассмотреть только 1/2 часть игольной дуги, а остальные составляющие сечений получить преобразованием координат в пространстве.

Для расчета координат граничных точек контуров сечений игольной дуги в плоскостях, перпендикулярных плоскости

полотна, рассматриваем поворот эллипса-сечения вокруг своей оси на  $90^\circ$  в плоскости ZOХ (рис. 3 – поворот эллипса-

сечения; а) – вид в плоскости YOХ, б) – вид в плоскости ZOХ) и поворот вокруг оси OZ также на  $90^\circ$ .

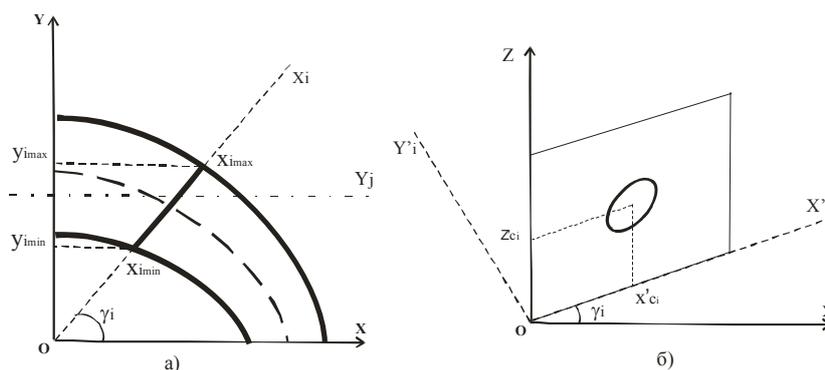


Рис. 3

Поворот на каждом  $i$ -м шаге происходит на  $\Delta\gamma = \Delta\varphi = 90^\circ/n$ , где  $n$  – задаваемое число шагов.

На каждом шаге поворота координаты центра эллипса в новой системе координат

остаются неизменными и всегда равны  $\left(\frac{k+2}{4}d_{cp}, 0\right)$ . Координаты проекции  $i$ -го эллипса на оси OХ и OУ:

$$\begin{aligned}x_{i_{max}} &= \frac{k+2}{4}d_{cp} \cos(\varphi_i) + b + i \frac{a-b}{n}, \\x_{i_{min}} &= \frac{k+2}{4}d_{cp} \cos(\varphi_i) - \left(b + i \frac{a-b}{n}\right), \\y_{i_{max}} &= \frac{k+2}{4}d_{cp} \sin(\varphi_i) \cos(\varphi_i) + \left(b + i \frac{a-b}{n}\right) \sin(\varphi_i), \\y_{i_{min}} &= \frac{k+2}{4}d_{cp} \sin(\varphi_i) \cos(\varphi_i) - \left(b + i \frac{a-b}{n}\right) \sin(\varphi_i),\end{aligned}$$

где  $a = \frac{d_{max}}{2}$ ,  $b = \frac{d_{min}}{2}$ .

Проводим ряд плоскостей  $Y_j$ , параллельных оси X. Координаты всех граничных точек контуров сечений игольной дуги в плоскостях, перпендикулярных плоскости полотна, находим из уравнения:

$$\frac{4(\sin(\gamma_i)Y_j - x_c)^2}{d_{min i}^2} + \frac{4(z_i - z_c)^2}{d_{max i}^2} = 1,$$

где  $x_c = \frac{k+2}{4}d_{cp}$ ;  $z_c=0$ .

Для построения горизонтальных сечений платинной дуги нужно к рассчитан-

ным значениям координат граничных точек контуров сечений игольной дуги применить формулы преобразования координат в пространстве при повороте и переносе начала координат. Начало координат переносится из точки  $O(0,0)$  в точку  $O'\left(\frac{kd_{cp}}{4}, kd_{cp}C\right)$ , угол поворота составляет  $180^\circ$ . Связь между старыми координатами точек для игольной дуги и новыми координатами точек для платинной дуги определяется по формулам:

$$x_{иг} = -x_{пл} + \frac{kd_{cp}}{2},$$

$$y_{иг} = -y_{шт} + kd_{cp} C.$$

В работе С. Де Жонга и Р. Постля [2] была рассмотрена схема нагружения нити распределенной нагрузкой, доказана возможность сведения контактных нагрузок, действующих в петле, к эквивалентным сосредоточенным силам, а также установлено, что значение этих сил (Р) при взаимодействии между элементами петельной структуры составляет от 2 до 4 сН.

Считаем, что значение сосредоточенной нагрузки в точках контакта игольной и платинной дуг равно 3 сН и она равномерно убывает до 0 к середине петельной палочки.

Для хлопчатобумажной, полушерстяной, шерстяной и ПАН пряжи в диапазоне

$$\frac{4 \sin^2(\arctg(kC))}{d_{\min i}^2} (x_i - x_{ci})^2 + \frac{4}{d_{\max i}^2} (z_i - z_{ci})^2 = 1,$$

где  $x_{ci} = \frac{1}{kC} y_i + \frac{k-2}{4} d_{cp}$ ;  $z_{ci}(y_i) = -2,12m_1 y_i^2 +$   
 $+ 2,12kd_{cp} C m_1 y_i + d_{cp}$

суммарных линейных плотностей от 31,2 до 161 текс изменение диаметра пряжи  $d$  от поперечно-сжимаемой нагрузки описывается экспоненциальной зависимостью, которая наиболее точно отражает физический смысл процесса сжатия пряжи:

$$d = a(b - e^{-cP}),$$

где  $a, b, c$  – рассчитываемые коэффициенты;  $P$  – значение приложенной нагрузки, сН.

Расчет координат граничных точек, формирующих линию сечения петельной палочки в плоскости, перпендикулярной плоскости полотна, производится по формуле:

$m$  – номер сечения;  $\arctg(kC)$  – угол наклона петельной палочки в плоскости полотна.

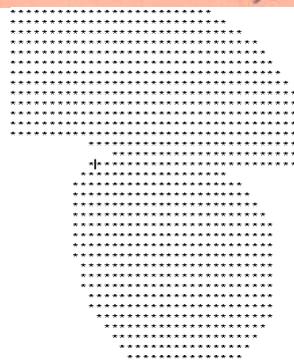
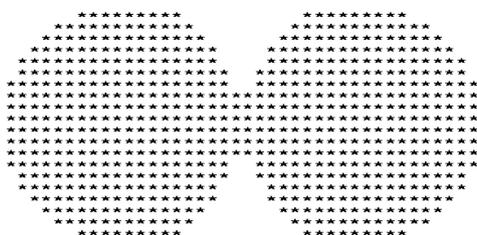
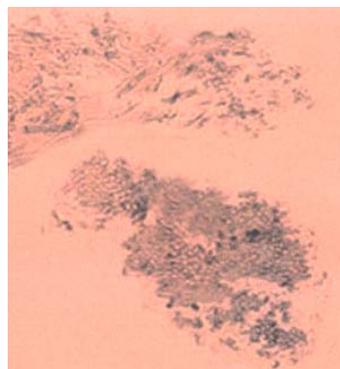
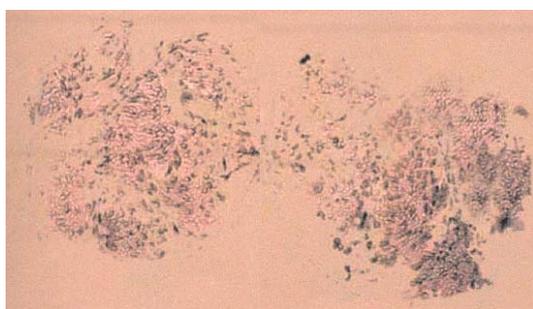


Рис. 4

На рис. 4 показаны примеры сечений, полученных путем микросрезов и сечений, рассчитанных по предлагаемой методике.

Таким образом, мы имеем набор сечений по всей длине репрезентативного объема нити или пряжи с любой величиной шага, который можно варьировать в зависимости от необходимой точности расчетов, или, иными словами, математическую матрицу, описывающую петлю как многофазный дисперсный объект.

1. Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. Технология трикотажного производства: Основы теории вязания. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

2. Postle R., De Jong S. An energy analysis of the mechanics of weft – knitted fabrics // Journal of the Textile Institute. – Vol.68. №10, 1977. P.307...329.

Рекомендована кафедрой трикотажного производства. Поступила 25.12.06.

УДК 677.017.427:539.3

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТЯЖИМОСТИ ТРИКОТАЖА ГЛАВНЫХ, ПРОИЗВОДНЫХ И РИСУНЧАТЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ НА ЭТАПЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

А.В. ТРУЕВЦЕВ, Ж.А. ЛЕБЕДЕВА

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Подготовка к производству нового артикула полотна трикотажа сопровождается составлением заправочной карты, в которой непременно должна быть указана группа растяжимости трикотажа. К первой группе относятся полотна с удлинением менее 40% при нагрузке 6 Н вдоль петельных рядов на образец, имеющий форму рукава шириной 50 мм и длиной 100 мм; ко второй группе – с удлинением от 40 до 100%; к третьей – с удлинением выше 100% [1]. В традиционной практике трикотажного производства этот параметр определяется экспериментально лишь после отвязывания опытной партии полотна. Совершенно очевидна нерациональность такого подхода: во многих случаях растяжимость оказывается ключевым свойством разрабатываемого трикотажа (например, спортивного). Поэтому если растяжимость не удовлетворяет требуемому значению, процесс разработки полотна начинается заново методом "проб и ошибок" с большой затратой времени и сырья.

Инженерное проектирование любого материала должно предусматривать расчет

его важнейших свойств на стадии подготовки производства. Если речь идет о растяжимости трикотажа, то для создания современной конкурентоспособной продукции недостаточно знать лишь группу растяжимости, а необходимо располагать сведениями о конкретном значении растяжимости для точного проектирования лекал при раскрое и пошиве изделия.

В работе [2] была предложена методика проектирования растяжимости кулирного трикотажа главных и производных переплетений. В то же время очевидно, что огромное количество полотен вырабатывается рисунчатыми переплетениями, поэтому было решено распространить методику и на них.

По мнению П. Гросберга [3], каждая механическая характеристика полотна может быть связана регрессионным уравнением с неким комплексным критерием, включающим свойства нити и параметры структуры трикотажа. Как было показано в [2], при эксплуатационных нагрузках основным механизмом растяжения трикотажа является смещение точек контакта ме-

жду нитями при перетягивании их из одной петли в другую. Поэтому комплексный критерий должен включать коэффициент трения нити о нить и ее жесткость при изгибе. Вместе с тем, растяжимость трикотажа повышается с ростом модуля петли [4]. Кроме того, чем больше у петли контактов со смежными элементами петельной структуры, тем меньше растяжимость трикотажа. В работе [2] число контактов названо валентностью. Так, петля в кулирной глади (рис. 1-а) соединена структурными связями с четырьмя соседними петлями (рис. 1-б).

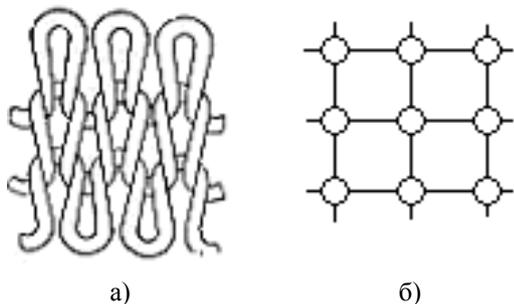


Рис. 1

В трикотаже производных переплетений всегда присутствует зажатие по горизонтали, которое выражается в соприкосновении игольных дуг соседних петель одного ряда. Этот контакт можно рассматривать как дополнительную структурную связь и производной глади присвоить валентность 6. Поэтому растяжимость полотен производных переплетений существенно ниже, чем главных.

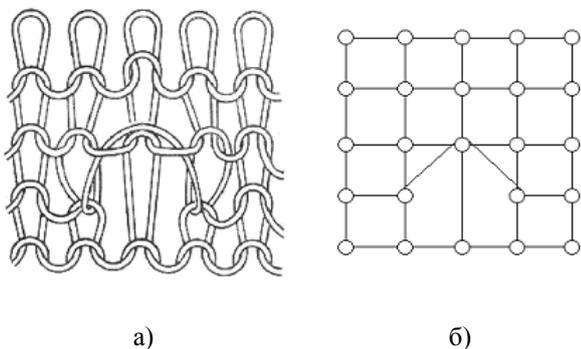


Рис. 2

При введении наброска валентность петли вырастет до 5 (рис. 2), двух наброс-

сков – до 6, и т. д. В жаккардовом трикотаже структура состоит из обычных петель, вытянутых петель и протяжек. Например, структура одинарного жаккардового переплетения с индексом петли  $i=2$  (рис. 3-а) может быть представлена структурной схемой, приведенной на рис. 3-б. Валентность жаккардовой петли составит 7. При увеличении индекса петли до  $i=3$  валентность жаккардовой петли возрастет до 8.

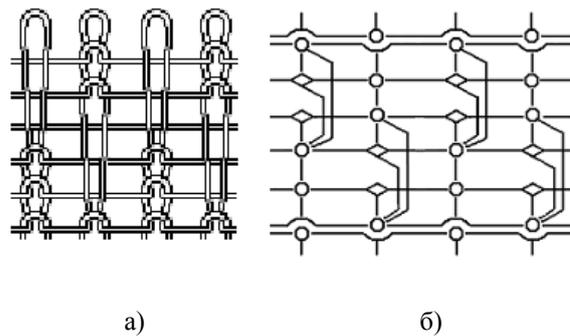


Рис. 3

В двойном (ластичном) трикотаже отсутствуют связи между петлями и ее соседями по петельному ряду (эта связь осуществляется через петли второй стороны полотна и не препятствует растяжению трикотажа по ширине), поэтому валентность в двойном переплетении обычно на две единицы меньше, чем в аналогичном одинарном. Этим объясняется повышенная растяжимость полотен на базе ластика.

Таким образом, критерий, названный "лабильностью" [2], включает все факторы, влияющие на подвижность петельной структуры трикотажа:

$$\Lambda = \frac{\sigma}{H\mu V_{III}}$$

где  $\Lambda$  – лабильность,  $\text{сН}^{-1}\cdot\text{мм}^{-2}$ ;  $\sigma$  – модуль петли;  $H$  – жесткость нити при изгибе,  $\text{сН}\cdot\text{мм}^2$ ;  $\mu$  – коэффициент трения нити о нить;  $V$  – валентность.

В настоящей работе были исследованы образцы трикотажа различных переплетений: кулирная гладь, производная гладь, ластик 1 + 1, одинарный жаккард ( $i = 2$ ), одинарный жаккард ( $i = 3$ ) из пряжи разно-

го волокнистого состава в широком диапазоне линейных плотностей, всего 54 образца. Растяжимость полотен по ширине ( $\varepsilon$ ) определялась по стандартной методике [1] на приборе ПР-2 при нагрузке 6 Н.

Попытка получения зависимости  $\varepsilon=f(\Lambda)$  не увенчалась успехом: коэффициент корреляции между расчетными и экспериментальными значениями  $\varepsilon$  составил всего лишь 0,4. Вследствие этого было решено воспользоваться "приведенной растяжимостью трикотажа", которая учитывает суммарную линейную плотность пряжи и количество петель в поперечном сечении испытуемого образца:

$$Z = \frac{\varepsilon}{P_B T_{\text{сум}}},$$

где  $Z$  – приведенная растяжимость, дм/текс;  $\varepsilon$  – растяжимость трикотажа, %;  $P_B$  – плотность по вертикали дм<sup>-1</sup>;  $T_{\text{сум}}$  – суммарная линейная плотность, текс.

Зависимость растяжимости от лабильности представлена на рис. 4.

Она описывается уравнением регрессии

$$Z=0,0037+0,0004 \Lambda.$$

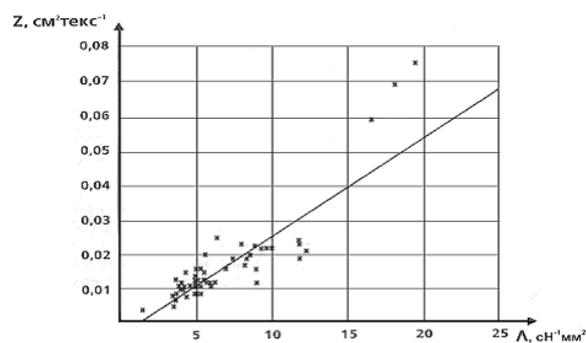


Рис. 4

Коэффициент корреляции между расчетными и экспериментальными значениями приведенной растяжимости составил 0,97.

Для проверки полученной зависимости были связаны тестовые полотна главного переплетения – кулирная гладь и рисунчатых – полуфанг, ластик 2+2 и одинарный жаккард, параметры которых сведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант тестовых полотен	Переплетение	Параметры пряжи		Параметры полотен					
		линейная плотность, текс	содержание волокон, %	валентность	плотность по горизонтали, пет/дм	плотность по вертикали, пет/дм	длина нити в петле, мм	модуль петли	поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
T1	Полуфанг	65×2	ПАН 50 Лен 50	2,5	34×2	48	8,38	23,2	356
T2	Ластик 2+2	31×2×1	Шерсть 30 Нитрон 70	3	55 × 2	85	6,70	26,9	388
T3	Кулирная гладь	71×2×2	Шерсть 30 ПАН 55 Вискоза 10 Шелк 5	4	27	40	14,70	27,6	451
T4	Одинарный жаккард	32×2	Шерсть 70 Вискоза 30	7	66	62	9,1	35,9	238

Таблица 2

Вариант полотна	Лабильность, сН <sup>-1</sup> ·мм <sup>-2</sup>	Приведенная растяжимость, дм/текс		Отклонение расчетного значения от фактического, %
		фактическая	расчетная	
T1	19,2	0,013	0,011	12
T2	21,9	0,013	0,012	8
T3	5,5	0,005	0,005	0
T4	17,7	0,010	0,011	8

Как видно из табл. 2, отклонение расчетных данных от экспериментальных невелико и полученным уравнением можно пользоваться на этапе технологической подготовки производства.

## ВЫВОДЫ

Проанализированы факторы, определяющие растяжимость трикотажа при эксплуатационных нагрузках. Предложен количественный параметр структуры рисунчатых переплетений – валентность, включаемый в комплексный критерий, применение которого позволяет проектировать растяжимость кулирного трикотажа раз-

личных переплетений на стадии технологической подготовки производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Торкунова З.А. Испытания трикотажа. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
  2. Труевцев А.В., Пафонова О.Б. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №1. С.68...72.
  3. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural mechanics of fibers, yarns and fabrics. – New York: Wiley Interscience, 1969. P.469.
  4. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа. – М.: Легкая индустрия, 1973.
- Рекомендована кафедрой трикотажного производства. Поступила 25.12.06.

УДК 677.025.1;677.017.826

## ПИЛЛИНГУЕМОСТЬ ТРИКОТАЖА И ЕЕ ОЦЕНКА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛОТНА\*

А.А.КОРОБКОВА, А.А.СИДОРОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Рассмотрим процесс пиллингуемости трикотажа на примере верхних трикотажных изделий. Для проведения эксперимента были отобраны полотна из полушерстяной и чистошерстяной пряжи, а также льносодержащей пряжи традиционных переплетений. Все полотна выработаны на плосковязальной машине типа ПВК 10 класса при неизменных условиях петлеобразования переплетениями: ластик 1+1, ластик 2+2, полуфанг.

Для сравнительной оценки пряжи использовались следующие характеристики: удельная разрывная нагрузка пряжи, удельная жесткость пряжи при изгибе и коэффициент трения нити о нить. Испытания по определению пиллингуемости трикотажных полотен проводились на прибо-

ре Пиллтестер FF-14 (Венгрия). В качестве абразивного материала использовалось то же полотно, что и для исследуемых образцов. Согласно рекомендациям фирмы-изготовителя выбраны следующие показатели режима испытаний: скорость рабочего стола по любому координатному направлению  $40 \pm 4$  циклов/мин, масса прижимного груза 100 г, время испытания одного образца 90 мин. Площадь образца составила  $1 \text{ дм}^2$ .

Технологические параметры пряжи и полотен, а также их пиллингуемость приведены в табл. 1. Под пиллингуемостью следует понимать количество пиллей, проходящихся на элементарную пробу после 90 мин испытаний.

Авторы выражают признательность проф. А.В.Труевцеву за содействие в постановке задачи исследования и консультации при написании статьи.

Таблица 1

Вид пряжи	Переплетение	Удельная жесткость $h$ , сН·мм <sup>2</sup> /текс	Удельная разрывная нагрузка пряжи $R_{уд}$ , сН/текс	Коэффициент трения $\mu$ нити о нить	Длина нити $l$ в петле мм	Количество петель на образце $P_{г.П.в.}$ , площадь 1 дм <sup>2</sup> , пет/дм <sup>2</sup>	Пиллинг
30% шерсть 70% лавсан	Ластик1+1	0,017	17,0	0,42	5,59	917	49
	Ластик2+2				5,42	1165	42
	Полуфанг				5,68	1150	49
30% шерсть 70% нитрон	Ластик1+1	0,018	12,0	0,41	5,79	869	26
	Ластик2+2				5,52	1067	17
	Полуфанг				5,54	1120	42
50% шерсть 50% нитрон	Ластик1+1	0,016	9,2	0,45	5,56	964	13
	Ластик2+2				5,30	1153	14
	Полуфанг				5,57	1240	24
100% шерсть	Ластик1+1	0,022	6,5	0,35	5,57	1021	23
	Ластик2+2				5,40	1198	6
	Полуфанг				5,44	1209	22
30% лен 70% вискоза	Ластик1+1	0,026	11,0	0,62	6,71	901	58
	Ластик2+2				6,02	792	84
	Полуфанг				6,41	714	52

Проанализировав результаты испытаний, можно сделать вывод, что пиллингуемость трикотажных полотен зависит от их структуры и качества используемой пряжи. Например, вложение лавсана в полушерстяную пряжу по сравнению с вложением нитрона существенно увеличивает показатели пиллингуемости трикотажа (количество пиллей) [1].

Хорошо просматривается влияние вида переплетения на пиллингуемость трикотажных полотен. Наименьшая пиллингуемость у полотен переплетения ластик 2+2 из шерстяной и полушерстяной пряжи. Наибольшая – у полотен переплетения полуфанг. Исключение составляют показатели пиллингуемости льновискозных полотен. Полотна из льносодержащей пряжи имеют высокую склонность к образованию пиллей, особенно в сравнении с другими видами полотен. Это можно объяснить природой грубого льняного волокна, кончики которого расщеплены, и большой неоднородностью получаемой пряжи [2].

Свойства пряжи оказывают основное влияние на степень пиллингуемости изделия. Но структура переплетения влияет на изгиб нити, то есть на характер контакта поверхностей. Добавим, что главным выходным параметром процесса вязания,

подлежащим контролю и управлению, является длина нити в петле [3]. Кроме того, можно предположить, что длина нити в петле влияет на количество свободных кончиков волокон, выходящих на поверхность трикотажа в пределах одной петли, и на их расположение в пространстве. Исследования показали зависимость пиллингуемости кулирного трикотажа от длины нити в петле [4].

Еще 40 лет назад П. Гросберг [5] утверждал, что каждая механическая характеристика полотна может быть связана эмпирическим уравнением с каким-то комплексным критерием, включающим свойства нити и параметры структуры трикотажа. Легко видеть, что пиллингуемость трикотажа связана с многими факторами. В связи с этим было решено разработать комплексный критерий, включающий в себя различные параметры пряжи и полотен. На основе такого комплексного критерия следует получить уравнение, либо построить номограмму, которые можно использовать при проектировании трикотажа с заданной пиллингуемостью, что и является конечной целью нашей работы.

Рассмотрено несколько вариантов комплексных критериев:

$$K_1 = h_{уд} \mu \sigma, \quad K_2 = h_{уд} \mu \ell,$$

$$K_3 = \frac{\mu P_{уд} \rho_s}{h_{уд}}, \quad K_4 = h_{уд} \mu P_{уд} \rho_s,$$

$$K_5 = h_{уд} \mu P_{уд} \ell,$$

где  $h_{уд}$  – удельная жесткость пряжи на изгиб;  $\mu$  – коэффициент трения нити о нить;  $\sigma$  – модуль петли  $\left( \sigma = \frac{31,6\ell}{\sqrt{T}} \right)$ ;  $\ell$  – длина нити в петле;  $\rho_s$  – поверхностная плотность полотна;  $P_{уд}$  – удельная разрывная нагрузка.

Наилучшим образом зависимость пиллингуемости от комплексного критерия описывает уравнение  $\Pi = 58,3K_5$ . Коэффициент корреляции между расчетными и

экспериментальными значениями для данной модели составляет 0,86.

Полученная зависимость справедлива для трикотажных полотен с машин десятого класса. Было интересно узнать, можно ли ее распространить на любые полотна. Для выявления зависимости пиллингуемости трикотажа от класса плосковязальной машины проведен эксперимент. Из полушерстяной пряжи (30% шерсть 70% нитрон, поставщик – ПТО "Полесье") на машинах 3, 5, 8 и 10 классов были выработаны полотна переплетением ластик 1+1. Число сложений пряжи в заправке определялось традиционными рекомендациями соотношения между классом машины и линейной плотностью пряжи. Технологические параметры полотен и их пиллингуемость сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Класс машины			
	3	5	8	10
Линейная плотность пряжи, текс	32×2×4	32×2×3	32×2×2	32×2
Пиллингуемость, пил/дм <sup>2</sup>	15	15	25	26
Количество петель в образце П <sub>Г</sub> П <sub>В</sub> , пет/дм <sup>2</sup>	840	1570	2700	4481
Приведенная пиллингуемость П/ П <sub>Г</sub> П <sub>В</sub> , пиллей/петлю	0,0179	0,0096	0,0093	0,0058

Несмотря на снижение длины нити в петле при повышении класса машины, изделия с машин более высокого класса имеют повышенную склонность к образованию пиллинга.

Попытка построить зависимость, связывающую пиллингуемость с введенным выше комплексным критерием, для полотен с машин разных классов окончилась неудачей: отклонение расчетных значений от экспериментальных слишком большое, корреляция между ними слабая. Решено ввести новую характеристику – приведенную пиллингуемость трикотажа, физический смысл которой – число пиллей, приходящихся на одну петлю образца.

Рассмотрим зависимость приведенной пиллингуемости от выбранного комплексного критерия. Уравнение имеет вид

$$\frac{\Pi}{\Pi_{Г} \Pi_{В}} = -0,01 + 0,08K,$$

где  $K = h_{уд} \mu P_{уд} \ell$ .

Коэффициент корреляции для данной модели составляет  $R = 0,89$ . Использование показателя приведенной пиллингуемости позволяет проектировать уровень ожидаемой пиллингуемости на трикотаже с машин различных классов и несколько улучшает статистические характеристики математической модели.

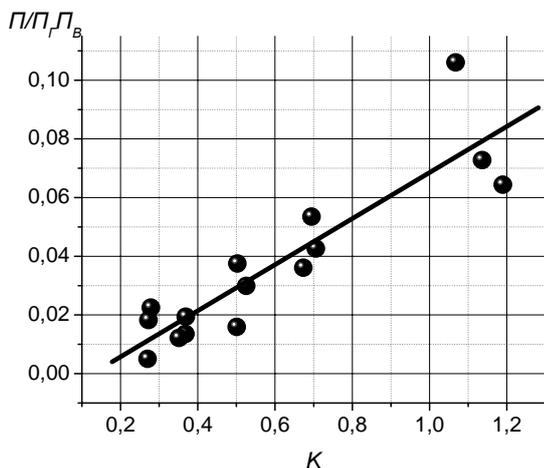


Рис. 1

На рис. 1 графически отображена зависимость приведенной пиллингуемости от комплексного критерия.

Используя полученную модель, можно на стадии проектирования трикотажного полотна оценить степень его устойчивости к образованию пиллей. Варьируя технологические параметры полотна, можно спроектировать, а затем выработать трикотаж с меньшей пиллингуемостью из данного вида пряжи. Или, наоборот, подобрать вариант пряжи с наибольшей устойчивостью к пиллеобразованию для конкретной структуры полотна.

## ВЫВОДЫ

Выявлено влияние вложения нитрона и лавсана в полушерстяную пряжу на пиллингуемость трикотажа. Введено понятие приведенной пиллингуемости трикотажа, позволяющей проектировать устойчивость трикотажа к образованию пиллей для полотен, вырабатываемых на машинах разных классов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Труевцев А.В., Беляева А.А., Проскурина И.В. Влияние состава пряжи на качество трикотажных изделий // Директор. – 2003, № 4. С.34...35.
2. Ukponmwan J.O., Mukhopadhyay A., Chatterjee K. N. Pilling. – Manchester: The Textile Institute, 1998. P.61.
3. Цитович И.Г. Технологическое обеспечение качества и эффективности процессов вязания поперечновязаного трикотажа. – М.: Легпромбытиздат, 1992.
4. Труевцев А.В., Сидоров А.А. Влияние режима вязания на пиллингуемость трикотажа // В мире оборудования. – 2003, № 11. С.28...29.
5. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural mechanics of fibers, yarns and fabrics. – New York: Wiley Interscience, 1969. P.469.

Рекомендована кафедрой трикотажного производства. Поступила 25.12.06.

УДК 687.174: 658. 512.2

**МЕТОД РЕШЕНИЯ РАЗНОУРОВНЕВЫХ ЗАДАЧ  
ФОРМИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОДЕЖДЫ***Е.А. СУРЖЕНКО, И.А. ГАДЖИБЕКОВА, Л.Е. СЫРКОВСКАЯ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Разработка рациональной структуры ассортимента производственной одежды (ПО) для заданной совокупности производств своей целевой установкой имеет создание ассортиментных групп и рядов изделий ПО, адекватно соответствующих дифференцированной структуре потребительских и профессионально-производственных ситуаций [1], [2].

Сложившаяся в настоящее время жесткая конкурентная ситуация на российском рынке предприятий-поставщиков ПО, постоянно изменяющиеся требования предприятий-потребителей ПО и, наконец, восстановленный в последние годы в полном объеме государственный контроль в области охраны труда работающих на производстве делают актуальными целый ряд новых задач при формировании ассортиментных групп одежды рассматриваемого назначения. Особое место среди этих задач занимает необходимость формирования ассортиментных групп ПО, которые, обеспечивая твердые позиции на рынке предприятия-изготовителя, должны гарантированно обеспечивать защиту работающих промышленных предприятий от воздействия опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ).

Действительно, пытаясь обеспечить конкурентоспособность выпускаемых изделий, предприятия-производители часто идут по пути превалирования эстетических или экономических факторов над функциональными. При этом объем выпускаемых ассортиментных групп ПО либо неоправданно расширяется, требуя больших материальных затрат на получение и под-

держание сертификатов соответствия на каждую модель ассортиментной группы, либо сужается, отсекая многих потенциальных заказчиков. В свою очередь, потребители ПО, основной задачей которых является соблюдение принципа соответствия цены и качества приобретаемых изделий, оказываются перед проблемой формирования ассортимента ПО своего предприятия из постоянно меняющегося товарного ассортимента производителей ПО при весьма нечетком представлении о качестве приобретаемых изделий. Еще более сложной является задача контроля государственными инспекциями труда за выполнением "Правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты". Такое положение объясняется тем, что, несмотря на наличие утвержденных Министерством труда и социального развития РФ "Типовых отраслевых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам" (ТОН) для всех отраслей экономики, четкое структурирование нормируемых показателей отсутствует. В этих условиях возможной является лишь организация формального контроля по наличию сертификатов соответствия, не гарантирующих соответствие изделий требованиям ТОН. Комплексное решение этих разноуровневых задач требует разработки метода, позволяющего соблюсти интересы всех участников процесса формирования и функционирования ассортимента ПО, с использованием возможностей новых информа-

ционных технологий.

Основой разрабатываемого метода является описание процесса формирования и функционирования ассортимента ПО в рамках устойчивой структуры (производитель – государственный контроль – потребитель), выраженное в логических моделях.

Инфологическая модель процесса принятия решений многоуровневых ассортиментных задач, разработанная на основании логической группировки данных о предметной области функционирования ассортимента ПО, представлена на рис.1 в виде ER-диаграммы.

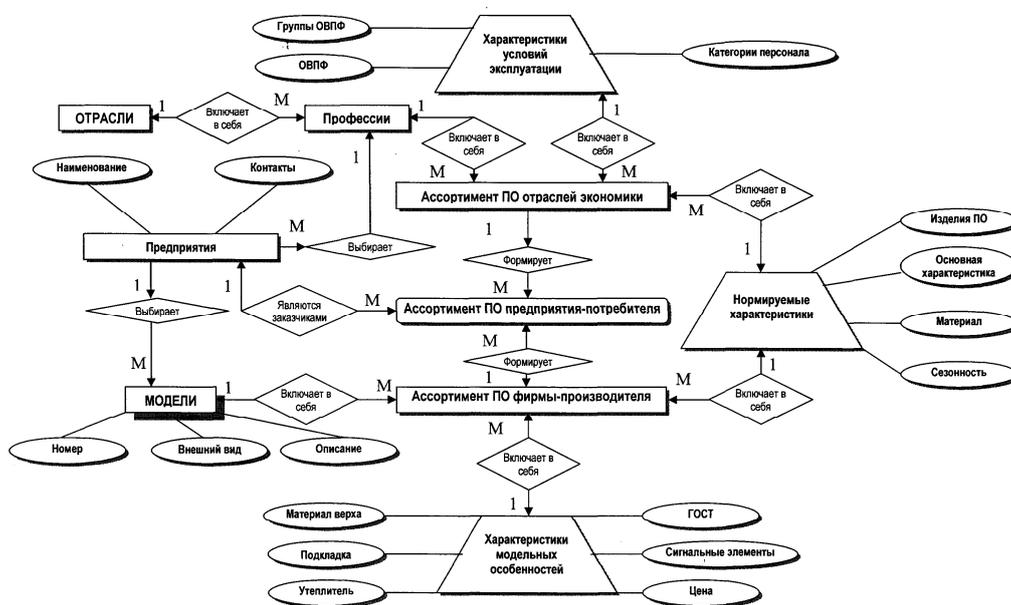


Рис. 1

Основным конструктивным элементом данной диаграммы являются сущности (объекты процесса формирования ассортимента ПО, информация о которых в виде их свойств-атрибутов подлежит хранению и дальнейшему использованию) и связи между ними.

Для разработанной инфологической модели стержневыми (основными) сущностями (изображены прямоугольниками) являются "Отрасли", "Профессии", "Предприятия", "Модели", "Отраслевой ассортимент ПО", "Ассортимент ПО фирмы-производителя" и формируемая на их основе стержневая зависимая сущность "Ассортимент ПО предприятия" (изображена прямоугольником со скругленными углами). Характеристическими (уточняющими) сущностями (изображены трапециями) являются "Нормируемые характеристики", "Характеристики условий эксплуатации" и "Характеристики модельных особенностей". Атрибуты (свойства) сущностей

обозначены на диаграмме овалами.

Наименования связей сущностей заключены в ромбы, а тип связей помечен на концах стрелок обозначениями '1' и 'М'. Основной тип связей – "один ко многим".

Для оперативного формирования отраслевых и производственных ассортиментных групп ПО в информационной системе, функционирующей в среде Microsoft Access, проведена нормализация данных и разработаны логическая модель связей между данными (даталогическая) и оптимизационно-временная (физическая) модель.

На основе логических моделей процесса функционирования ассортимента ПО разработана база данных (БД) для хранения информации об ассортименте производственной одежды, который формируется в соответствии с установленными ТОН, требованиями эксплуатации, предложениями предприятий-производителей и предпочтениями потребителей. Основны-

ми принципами построения базы данных явились следующие:

- структура разработанной базы данных соответствует логическим моделям функционирования ассортимента ПО;

- основными структурными единицами хранения информации разрабатываемой БД являются таблицы, а изображения моделей ПО (эскизы и фотографии) и описания этих моделей, поясняющие подробности конструкторско-технологических решений (большие фрагменты текста), хранятся только в формах, также являющихся структурными единицами хранения информации;

- удобство ввода данных обеспечивается формами ввода, при этом максимальное количество полей форм являются "полями со списком" и имеют структурные и размерные ограничения (кодированная информация в таблицах и открытая – в формах);

- целостность уникальной информации, хранящейся в таблицах и формах, обеспечивается первичными ключами, являющимися символьными выражениями логики построения каждой таблицы, при этом данная информация доступна и понятна как разработчикам, так и пользователям;

- структурные таблицы с атрибутами стержневых и характеристических сущностей, которые в ряде случаев должны рассматриваться как единое целое, связаны между собой первичными ключами и имеют возможность преобразовываться в информационные блоки.

Основываясь на вышеперечисленных принципах, разработаны структурные таблицы для хранения данных об ассортименте ПО, наименование и содержание которых соответствует стержневому и характеристическим сущностям, а также соответствующие им формы ввода данных. Для удобства ввода данных и обеспечения быстрой работы информационной системы к большинству полей форм подключены разработанные в виде вспомогательных двумерных таблиц БД информационные справочники, которые позволяют вводить в форму данные методом выбора открытой информации, а хранить их – в структурных

таблицах в кодированной форме.

Для реализации событий, предусмотренных логическими моделями и структурой БД, разработана программа для ЭВМ, основными действиями, предусмотренными к реализации в которой являются следующие.

1. Для поддержания базы данных в актуальном состоянии:

- формирование структуры ассортимента отрасли в признаковом пространстве объективных функциональных характеристик изделий ПО;

- ввод характеристик условий эксплуатации нормируемого ассортимента ПО отрасли.

2. Для работы с предприятием-потребителем ПО:

- ввод и корректировка реквизитов предприятий-потребителей;

- ввод данных о профессиях работников предприятия и количестве работающих в каждой профессии;

- выбор моделей одежды фирмы-разработчика, соответствующих требованиям по совокупности объективных характеристик ПО (вид изделия; сезонность; нормируемые характеристики; материал; половозрастное назначение; характеристика защитной функции одежды по группе и виду ОВПФ; характерные и экстремальные трудовые движения; категория персонала: рабочие, служащие, руководители среднего звена, руководители высшего звена). Количество характеристик может варьироваться в соответствии со структурой заказа.

Реализация перечисленных функций осуществляется в созданной MainForm информационной системе, реализующей событийное программирование – выполнение заложенной в процедурах последовательности действий, в том числе открытие других форм и отчетов.

Разработанные база данных и программа для ЭВМ [3], [4] представляют собой компоненты единой информационной системы, обеспечивающей мобильное решение разноуровневых задач формирования ассортимента производственной одежды в конкретных производственных ситуациях.

Апробация работы данной информаци-

онной системы осуществлялась в процессе формирования ассортиментной группы ПО для работающих предприятия-потребителя ОАО "Южная генерирующая компания - ТГК-8", филиал "Дагестанская генерация" (г. Махачкала) на базе модельного ассортимента ООО "Научно-производственная фирма "Коруна" (Санкт-Петербург).

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны логические модели формирования ассортимента производственной одежды для промышленных предприятий в соответствии с объективными функционально-эргономическими и эстетическими требованиями к одежде рассматриваемого назначения и дифференцированной структурой профессионально-производственных ситуаций.

2. Сформирована база данных и разработано программное обеспечение подсистемы "Отраслевой ассортимент", обеспечивающей эффективность принятия решений по формированию заказов на изготов-

ление адресных коллекций производственной одежды на основе модельного ассортимента фирмы-изготовителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сурженко Е.Я. Методологические аспекты проблемы формирования рациональной структуры ассортимента производственной одежды // Тр. СПб инженерной академии (отд. текст. и легкой промышленности). – СПб, РИА, 2001. С.89...97.

2. Сурженко Е.Я. Дизайн-программирование ассортимента производственной одежды / Дизайн. Материалы. Технология. – 2006, №1. С.3...6.

3. Свидетельство № 2005611643 РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ "Отраслевой ассортимент" / Е. Я. Сурженко, И. А. Гаджибекова, Л. Е. Сырковская. Зарегистр. в реестре программ РОСАПО 01.07.05.

4. Свидетельство № 2006620178 РФ об официальной регистрации базы данных "Отраслевой ассортимент" / Е. Я. Сурженко, И. А. Гаджибекова, Л. Е. Сырковская. Зарегистр. в реестре баз данных РОСАПО 20.06.06.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 25.12.06.

УДК 687.17.03

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДОДЕЖНОГО ПРОСТРАНСТВА\*

*М.В. РОДИЧЕВА, А.В. АБРАМОВ*

(Орловский государственный технический университет)

Основной проблемой использования современных видов защитной одежды, выполненных из воздухо-влагонепроницаемых материалов, является эвакуация пододежной влаги. Для таких видов одежды характерно интенсивное насыщение продуктами жизнедеятельности внутренних слоев одежды, а также их вторичное намочение за счет влаги, конденсируемой на внутренней поверхности ткани.

Для удаления продуктов метаболизма и пота, выделяющихся с поверхности тела человека, необходимо обеспечивать регулирующую вентиляцию воздуха под одеждой. Проблема может быть решена за счет организованного забора воздуха из окружающей среды с помощью конструктивных элементов и способов обеспечения максимальной интенсивности воздухообмена с окружающей средой.

\* Научный консультант – проф., докт. техн. наук Е.Я. Сурженко (СПГУТД).

Интенсификация воздухообмена в пододежном пространстве возможна за счет уменьшения гидравлического сопротивления воздушной прослойки. Прослойки, полученные путем увеличения припусков на свободное облегание, легко деформируются, создавая дополнительное гидравлическое сопротивление. Стабилизация воздушной прослойки в пространстве и времени способствует его уменьшению и достигается за счет введения в конструкцию одежды жестких каркасных элементов. Для беспрепятственного забора воздуха в прослойку и вывода его из пододежного пространства необходимо предусматривать в конструкции одежды ряд воздухозаборных элементов, в качестве которых могут использоваться устройства в виде усеченного конуса, оказывающие наименьшее гидравлическое сопротивление воздуху при входе в пододежное пространство [1]. Таким образом, проектируемая система организации и регулирования естественной вентиляции пододежного пространства содержит стабилизированные воздушные прослойки и воздухозаборные элементы, определенным образом ориентированные относительно друг друга.

Целью проводимых исследований являлся выбор таких геометрических параметров вентиляционных элементов и воздушной прослойки, которые обеспечивали бы максимальную интенсификацию процессов конвективного теплообмена в пододежном пространстве. Оценка эффективности работы системы организации и регулирования вентиляции пододежного пространства проводилась на образцах, выполненных в виде тканевых оболочек. При этом оболочки выполнялись из воздухо-непроницаемого материала, исключающего проникновение воздуха из окружающей среды через материал. Вентиляционные элементы представляли собой прямоугольные отверстия и конические воздухозаборные устройства, количество которых в течение эксперимента изменялось согласно схеме на рис. 1 – схемы расположения вентиляционных элементов в пакетах одежды: а) прямоугольные вентиляционные отверстия на высотах I, II, III, IV; б) коническое воздухозаборное устройство – клапан № 2 (на высоте II); в) конические воздухозаборные устройства клапаны №2 и №4 (на высоте II и IV); г) конические воздухозаборные устройства – клапаны №2, № 3, №4 (на высоте II, III, IV).

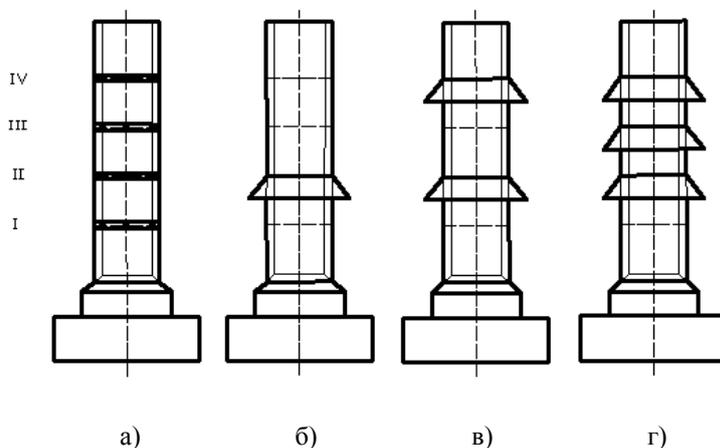


Рис. 1

В качестве физической модели тела человека использовался биотехнический эмулятор процессов теплообмена (БЭТ), описанный в работе [2].

Теоретическая база исследований основана на составлении уравнения теплового

баланса воздушной прослойки в следующем виде:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{конв}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общее количество тепла, под-

веденное в рабочий объем эмулятора, которое рассчитывается по соотношению

$$Q_{\text{общ}} = \frac{U^2 t}{Tr}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение нагревательного элемента БЭТ, с;  $t$  – время подачи энергии на нагревательный элемент, с;  $T$  – общее время цикла, с;  $r$  – сопротивление нагревательного элемента, Ом.

$Q_{\text{изл}}$  – тепло, отданное с рабочей поверхности эмулятора посредством излучения, рассчитываемое по соотношению

$$Q_{\text{изл}} = \sigma \varepsilon F \left( \left[ \frac{T_{\text{тр}}}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_{\text{мат}}}{100} \right]^4 \right), \quad (3)$$

где  $\sigma = 0,9$  – приведенная степень черноты воздушной прослойки;  $F$  – площадь рабочей поверхности эмулятора,  $\text{м}^2$ ;  $\varepsilon = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)}$ ;  $T_{\text{тр}}$  – температура рабочей поверхности эмулятора, К;  $T_{\text{мат}}$  – температура поверхности исследуемого пакета, К.

$Q_{\text{конв}}$  – тепло, отданное с рабочей поверхности эмулятора посредством конвекции, рассчитывается по соотношению

$$Q_{\text{конв}} = Sv\rho c \Delta t, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь измерительного кольца,  $\text{м}^2$ ;  $v$  – скорость движения воздуха, измеренная в кольце, м/с;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – теплоемкость воздуха, ;  $\Delta t = T_{\text{вых}} - T_{\text{окр}}$  – разность температур в измерительном кольце и окружающей среде,  $^{\circ}\text{C}$ .

Принцип определения интенсивности конвективного теплообмена состоит в измерении скорости и температуры воздуха в переходном кольце, а также температуры воздуха вдали от рабочей поверхности БЭТ. В условиях естественной конвекции воздух, участвующий в теплообмене, на-

греваясь от рабочей поверхности, поднимается вверх, проходя через переходное кольцо, в котором установлен первичный преобразователь скорости и температуры воздушного потока.

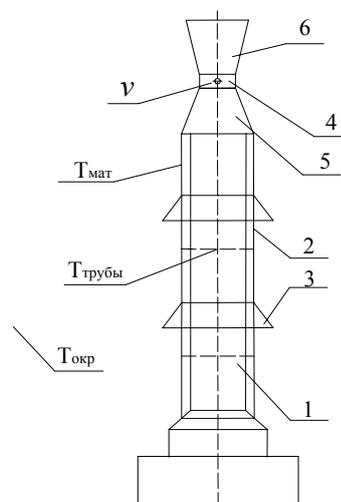


Рис. 2

Основными измеряемыми величинами являются: скорость ( $v$ ) и температура ( $T_{\text{вых}}$ ) воздуха в прослойке, контролируемая в измерительном кольце 4 (рис. 2 – схема экспериментальных исследований элементов системы организации и регулирования естественной вентиляции подожного пространства: 1 – рабочая поверхность эмулятора; 2 – исследуемый образец; 3 – воздухозаборные элементы; 4 – переходное кольцо измерительного узла; 5 – конфузор измерительного узла; 6 – диффузор измерительного узла); температуры окружающей среды ( $T_{\text{окр}}$ ), рабочей поверхности эмулятора ( $T_{\text{тр}}$ ), поверхности исследуемого пакета ( $T_{\text{мат}}$ ).

Температура и скорость воздуха в измерительном кольце контролировалась с помощью датчиков термоанемометра-термометра по четырехточечной схеме, представленной на рис. 3 – схема измерений скорости и температуры воздуха в воздушной прослойке: а) схема измерительного датчика (1 – датчик скорости, 2 – датчик температуры); б) схема измерения (I – исследуемый пакет, II – верхний торец БЭТ, III – точки замеров).

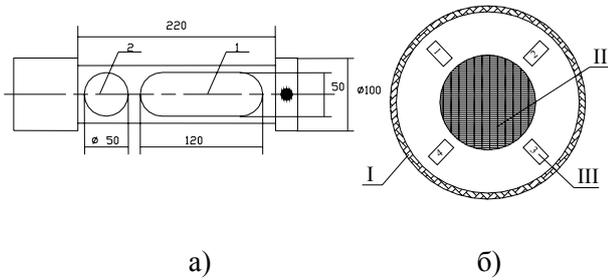


Рис. 3

Измерения температур окружающей среды, рабочей поверхности эмулятора и поверхности исследуемого пакета проводились бесконтактным методом с помощью оптического пирометра фирмы MIKRON. Напряжение на нагревательном элементе, время работы нагревательного элемента и продолжительность цикла измерялись с помощью автоматизированной системы, описанной в работе [3].

Исследуемыми факторами, влияющими на интенсивность теплоотдачи с рабочей поверхности тепловой модели человека в условиях естественной конвекции, являлись следующие геометрические параметры элементов системы организации и регулирования естественной вентиляции поддежного пространства: длина образу-

ющей ( $l_{обр}$ ) и угол конусности ( $\alpha_{кон}$ ) воздухозаборного элемента, обуславливающие величину площади проходного сечения ( $S_{сеч}$ ); гидравлический диаметр прослойки ( $D_r$ ); количество и расположение воздухозаборных элементов по длине исследуемого образца (рис. 1 и 4).

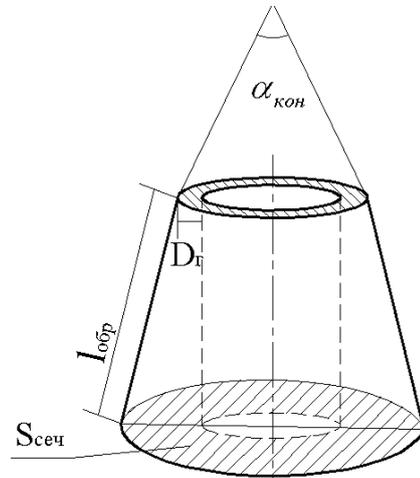


Рис. 4

Площадь проходного сечения найдена из следующих соотношений:

$$S_{сеч} = \pi \sin \left( \frac{180^\circ - \alpha_{кон}}{360} \right) \left( (D_r + l_0)^2 - D_r^2 \right), \quad (5)$$

где  $l_0$  – высота вершины канала, м, рассчитываемая по соотношению:

$$l_0 = \left( \sin \frac{\alpha\pi}{360} \right) \left( l_{обр} \cos \frac{\alpha\pi}{360} + y - a \right), \quad (6)$$

где  $y$  – текущее значение длины, м;  $a=1$  – коэффициент формы.

Результаты исследования угла конусности и длины образующей через величину проходного сечения представлены на рис. 5 – величина теплоотдачи с рабочей поверхности эмулятора ( $Q_{общ}$ ) для различного значения угла конусности воздухозаборного элемента (1 – 30°; 2 – 45°; 3 – 60°).

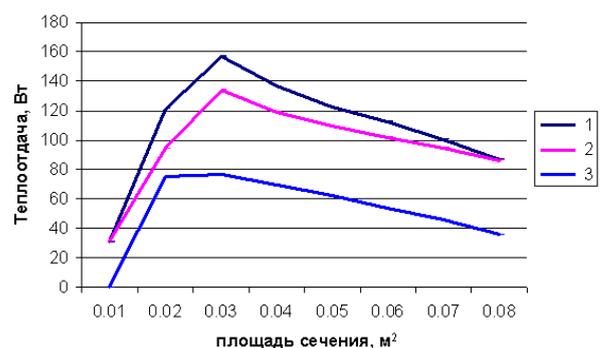


Рис. 5

Как следует из полученных результатов, геометрическими параметрами воздухозаборных элементов, обеспечивающими максимальную эффективность вентиляции, являются угол конусности  $\alpha_{кон}=30^\circ$  и дли-

на образующей  $\ell_{обр} = 0,12$  м.

Результаты исследования влияния толщины воздушной прослойки и количества воздухозаборных элементов на уровень вентилируемости, определяемой через гидравлический диаметр ( $D_r$ ), иллюстрируется рис. 6 – динамика изменения суммарной мощности, расходуемой на теплообмен (1 – закрытая прослойка; 2 – вентиляционные отверстия; 3 – один вентиляционный элемент (в.э.); 4 – два в.э.; 5 – три в.э.; 6 – четыре в.э.).

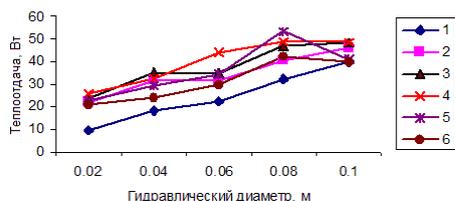


Рис. 6

Как видно из приведенных результатов, увеличение гидравлического диаметра прослойки приводит к повышению уровня вентилируемости, что связано с уменьшением влияния сил вязкости пристеночных слоев на течение воздуха. Увеличение теплоотдачи наблюдается до значения гидравлического диаметра  $D_r=0,08$  м. Дальнейшее увеличение гидравлического диаметра ведет к снижению теплоотдачи. Наиболее эффективным является использование двух воздухозаборных элементов, расположенных на расстоянии 50 см друг от друга. При этом наибольшее увеличение теплоотдачи достигается за счет роста конвективной составляющей, в то время как величина лучистой составляющей растет незначительно (рис. 7 – сравнение лучистой и конвективной составляющих суммарной мощности при различных вариантах системы организации и регулирования вентиляции пододежного пространства).

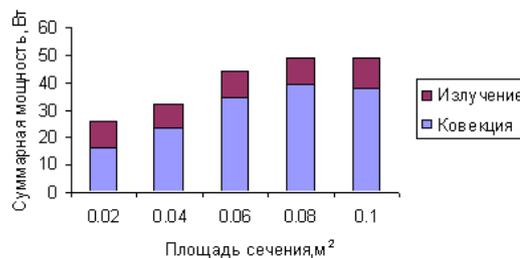


Рис. 7

## ВЫВОДЫ

1. Разработана система организации и регулирования естественной вентиляции пододежного пространства, состоящая из воздушной прослойки с гидравлическим диаметром  $D_r=0,08$  м и двух воздухозаборных элементов в виде усеченного конуса с углом конусности  $\alpha_{кон}=30^\circ$  и длиной образующей  $\ell_{обр}=0,12$  м.

2. Предложенная система позволяет получать увеличение значения скоростей движения воздуха в пододежном пространстве в 2...2,5 раза по сравнению с существующими аналогами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уваров А.В., Родичева М.В. Разработка спецодежды для пчеловода // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. – 2004, №2(25). С.10...11.
2. Уваров А.В. Новый прибор для определения параметров теплообмена в системе "Человек-одежда-окружающая среда" // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. – 2004, №1(24). С.25...27.
3. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов: Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 25.12.06.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛЯ ОППОЗИТИВНОСТИ: АВАНГАРДНЫЙ КОСТЮМ И ШВЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В РОССИИ

А.И. ЗАГУЛИЙ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Швейная промышленность в России на рубеже третьего тысячелетия переживает серьезный кризис, однако кризисные явления определяют необходимость поиска путей выхода, заставляют задуматься о возможных перспективах и механизмах достижения коммерческого успеха. Понимание этих механизмов с учетом социокультурной ситуации в современной России непосредственным образом связано с таким феноменом, как авангардный костюм.

Авангардный костюм всегда является предметом элитарной культуры, а швейная промышленность априорно ориентирована на массового потребителя. Тем не менее, оппозиция может быть преодолена и замещена на синтез, сотрудничество, взаимодействие, понимание и прочее. Поиск “общих точек” между авангардным костюмом и швейной промышленностью и составляет основную задачу настоящего исследования.

В лучших традициях постмодернизма современный авангардный костюм все меньше похож на повседневную одежду – это, преимущественно, концептуальные одежды. К таким одеждам относятся, в частности, костюм–Другое Тело (платье “Поп-арт” от И. Сен-Лорана из зимней коллекции 1966–67 гг.); одежды, изображающие обнаженное тело, как в акции российских художников-концептуалистов Риммы и Валерия Герловиных “Зеркальная игра. Костюмы”, 1977 г.; женские одежды, изображающие мужское тело от В. Вествуд, Cavalera и т.п. Сегодня в качестве авангардных инноваций признается “костюм, изображающий тело” и “тело, изображающее костюм” – искусство разрисовывания лица и тела. При всей кажущейся несовместимости концептуализма и швейного производства уместно напомнить, что такие концерны, как “Кристиан Диор”,

“Шанель”, “Живанши” помимо изготовления одежды процветают благодаря выпуску парфюмерии, высококачественных косметических товаров, аксессуаров, белья. Возможно, выпуск товаров для бодипейтинга удачно дополнил бы номенклатурный перечень изделий швейной промышленности в России.

Произведения современных российских художников-концептуалистов (И. Кабакова, Н. Алексеева и др.) часто “... ориентированы на неперенное взаимодействие с глубоко интимным, сугубо частным кругом психологических, эмоциональных ассоциаций и воспоминаний” (Е.А. Бобринская). Для творчества американских концептуалистов, в частности, К. Олденбурга (работа “Мягкий туалет”) также характерно стремление к созданию очень эмоциональных “произведений”. В этом ряду концептуальные работы-костюмы М. Лобаскиной из туалетной бумаги, выполненные в рамках проекта “Оргазмус. Дамские туалеты из туалетной бумаги, или энциклопедия русской жизни” служат продолжением концептуальных поисков А. Бартенева, А. Ляшенко, К. Леонович. Коллекция “От зимы до ночи, или Берлин-Москва” М. Лобаскиной, выполненная из различных видов бумаги, включает зимний зипун с оторочкой и подкладкой-утеплителем из газеты, платья из туалетной бумаги, аксессуары. Язык этих одежд лежит вне плоскости собственно “костюма”, он, скорее, относится к философским проблемам, намеренно противопоставляя “высоким” духовным поискам “низкую” человеческую природу с ее сугубо натуралистическими проявлениями<sup>1</sup>. При всей

<sup>1</sup> Еще один вариант нетрадиционных одежд этой группы представляет весенняя коллекция костюмов–“экскрементов” 2002 г. А. Nuuberns: фекализованный фетиш, прет-а-порте.

парадоксальной “неносибельности” подобных одежд они являются мощным рекламным средством, привлекая внимание общественности. В принципе, такими эпатажными средствами можно рекламировать любую, в том числе, швейную продукцию.

Практически не используемым российской швейной промышленностью резервом является изготовление одежд с нанесением рекламных надписей. Общеизвестно, что рекламное дело приносит значительную коммерческую выгоду; современные технологические средства печати (метод шелкотрафаретной печати, печать тампонная, офсетная или термотрансферная, тиснение, в том числе рельефное, ламинация и др.) позволяют создавать отдельные костюмы и коллекции одежды с рекламными фрагментами. Комбинируя текстовые листовки с иллюстративным материалом, можно создавать интересные орнаментальные решения, привлекать заинтересованных в рекламе инвесторов, получать прибыль. Опыт презентации зимней коллекции 2003 г. Petro Zillia, зимней коллекции 2004 г. Zapping, радикальный авангардизм рекламных акций Pierre Garroudi, использовавшего для надписей ягодицы моделей в весенней коллекции 2001 г., и другие подобные примеры иллюстрируют положительный опыт сотрудничества изготовителей одежды и рекламных агентств. Важно отметить, что прием Pierre Garroudi в некотором смысле заимствован у авангарда, который активно эксплуатирует эстетические “резервы” граффити – неприличные “сортирные” тексты с особой эротической тематикой [1].

Основной причиной удаленности авангардных коллекций костюмов и изделий швейного производства является противостояние индустриальных технологий и ручного труда. В этом отношении перспективным, на наш взгляд, было бы объединение швейного производства, ориентированного на выпуск массовых изделий, с кооперативными фирмами или частными лицами, занимающимися выпуском аксессуаров ручной работы. В качестве примера можно привести опыт сотрудничества

швейного объединения “Дом Татьяны Буровой” (г. Хабаровск) с мастерами нанайских сел, выполняющими на деталях одежды (карманы, рукава и др.) аппликации из рыбьей кожи и меха с ручной вышивкой (коллекция “Сунгари”, 2000 г.). Технологически простейшие, коммерчески выгодные формы для производства массовой одежды могут совмещаться с ручным трудом в аксессуарах или отдельных элементах костюма, показывая возможность преодоления оппозиций между ручным трудом и производством (из опыта торговой марки “Браччиалини”).

И, наконец, коллекции изделий швейной промышленности, выполненные в классическом стиле, могут быть представлены с помощью авангардных приемов, которые допустимо использовать в рекламных целях. В конце XX – начале XXI вв. Высокая мода активно экспериментирует в области инвайронмента: показы коллекций проводятся на автостоянке, станции метро, в ночлежке Армии спасения (М. Марджиела), в бассейне (Т. Морсе), библиотеке (Obus), больнице (AF Vandervorst), цирке (А. Шаров), тюрьме (А. Мак-Куин) или на кладбище (А. Савадов). Замена традиционного подиума иной средой (или имитационное моделирование этой среды) отражает влияние так называемых модусов пространства, которые практически не изучены в условиях России. За рубежом исследований в области применения новейших технологических приемов организации показов коллекций – инсталляций, перфомансов, запахов, тактильных раздражителей, имитаторов дыма, катастроф, стереоэффектов, лазерных и игровых эффектов, издание звуков, испускание лучей, струй цветной жидкости и проч., также немного (С. Welcox [2] и др.).

Перенесение показов в среду бедных кварталов, грязных помоек, кладбища и т.п. определяет катастрофическую дисгармоничность современной моды. Подобное рассогласование костюма и среды представления определяется эстетикой абсурда, влияние которой задает “абстрактные” модусы пространства, “внутри” которого ис-

пользуются разнообразными абстрактными приемами.

## ВЫВОДЫ

Мировой опыт показывает, что коммерческий успех торговых фирм, занимающихся производством одежды, непосредственным образом связан с такими феноменами, как авангардный костюм, авангардные способы презентации коллекций. В силу этих причин оппозиции авангардный костюм – швейная промышленность; ручной труд – индустриальные технологии; тиражированное – уникальное; массовая и элитарная культура “от кутюр” целесообразно замещать на специфически-

гибридные технологии, костюмы, способы представления коллекций и их рекламирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шумов К.Э. “Эротические” студенческие граффити / К.Э.Шумов // Секс и эротика в русской традиционной культуре: Сб. статей. Сост. А.Л.Топорков; Худож. Д.Шимелис. – М.: Ладомир, 1996. – С. 454...483.

2. *Welcox C. Modern Fashion in detail / Claire Welcox.* – London, 1991.

Рекомендована кафедрой художественного проектирования. Поступила 25.12.06.

УДК 687.053

**АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЗУБЧАТОЙ РЕЙКИ МЕХАНИЗМОВ  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ШВЕЙНЫХ МАШИН\****А.В. МАРКОВЕЦ, А.Р. ФАЙЗУЛОВ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

В швейных машинах различного типа и назначения для периодического дискретного перемещения стачиваемых материалов на заданную длину стежка применяются механизмы транспортирования [1], содержащие зубчатую рейку и прижимную лапку. Движение зубчатой рейки вместе со стачиваемыми материалами представляет собой кинематическое внешнее воздействие [2], передаваемое на прижимную лапку. Взаимодействие зубчатой рейки с прижимной лапкой через стачиваемые ткани в процессе их транспортирования во многом определяет качество выполняемого швейной машиной шва и, следовательно, качество готовых швейных изделий. Настоящая статья посвящена анализу траекторий движения зубчатой рейки с целью дальнейшего исследования динамики прижимной лапки механизмов транспортирования материалов швейных машин.

При исследовании динамики прижимной лапки для моделирования движения зубчатой рейки необходимо [2] получить зависимости  $X_Q(t)$ ,  $Y_Q(t)$  координат ее среднего зуба  $Q$ . Зависимости  $X_Q(t)$ ,  $Y_Q(t)$  могут быть получены, например, в результате кинематического анализа [1] исследуемого механизма транспортирования. В

настоящее время существует множество разнообразных по конструкции механизмов транспортирования материалов представляющих собой, как правило, сложные многосвязные рычажные механизмы, для которых получение  $X_Q(t)$ ,  $Y_Q(t)$  в явном виде практически невозможно. Использование алгоритмического и программного обеспечения кинематического анализа механизмов транспортирования материалов для определения  $X_Q(t)$ ,  $Y_Q(t)$  в процессе численного решения математической модели прижимной лапки [2] оказывается не совсем удобным и значительно увеличивает время счета. Кроме того, для анализа влияния параметров траектории движения зубчатой рейки на динамику прижимной лапки необходимо изменять параметры кинематической схемы механизма транспортирования, то есть проектировать механизм заново. Для исследования динамики прижимной лапки попытаемся подобрать такие аналитические зависимости  $X_Q(t)$  и  $Y_Q(t)$ , которые, независимо от конструктивных особенностей механизма транспортирования, описывают движение среднего зуба  $Q$  зубчатой рейки

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства г. Санкт-Петербурга (грант PD06-2.0-28) и в рамках аналитической ведомственной научной программы «Развитие научного потенциала высшей школы».

при заданных значениях наиболее важных и общих для всех механизмов транспортирования параметров: шага транспортирования  $T$ , максимальной величины подъема зубчатой рейки над игольной пластиной  $p_1$ , угла рабочего хода  $\varphi_p$ , координаты  $X_{ig}$  линии хода иглы, уровня игольной пластины  $H$ .

Результаты кинематического исследования различных механизмов транспортирования материалов [1] показывают, что движение зубчатой рейки, как правило, осуществляется по траектории, близкой к эллипсной.

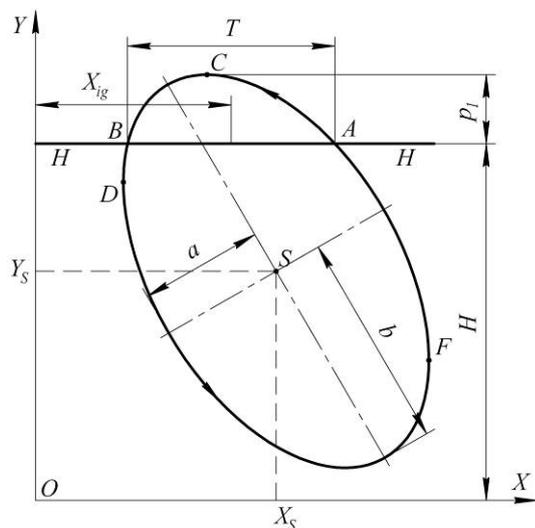


Рис. 1

Изобразим эллипс в наиболее общем виде (рис. 1) и выделим на нем характерные точки: А, В – соответственно точки начала и окончания периода движения зубчатой рейки над игольной пластиной Н-Н; С – точка максимального подъема зубчатой рейки, D, F – соответственно левая и правая точки максимального перемещения зубчатой рейки вдоль оси ОХ относительно центра S эллипса. По расположению точек D и F относительно игольной пластины можно выделить несколько вариантов эллипсной траектории (рис. 2). Траектория 1 характеризуется совпадением точек А и F<sub>1</sub> (индекс в обозначениях С<sub>і</sub>, D<sub>і</sub>, F<sub>і</sub>,  $i = \overline{1,3}$  соответствует номеру траектории), резким захватыванием материалов на участке АС<sub>1</sub> и пологим опусканием зубча-

той рейки на участке С<sub>1</sub>В. Траектория 2 характеризуется совпадением точек В и D<sub>2</sub>, медленным подъемом зубчатой рейки на участке АС<sub>2</sub> и резким опусканием на участке С<sub>2</sub>В. Траектория 3 характеризуется тем, что точки D<sub>3</sub> и F<sub>3</sub> расположены ниже игольной пластины, при этом крутизна участков подъема АС<sub>3</sub> и опускания С<sub>3</sub>В зубчатой рейки одинакова. С точки зрения захвата стачиваемых материалов зубчатой рейкой траектория 1 является лучшей.

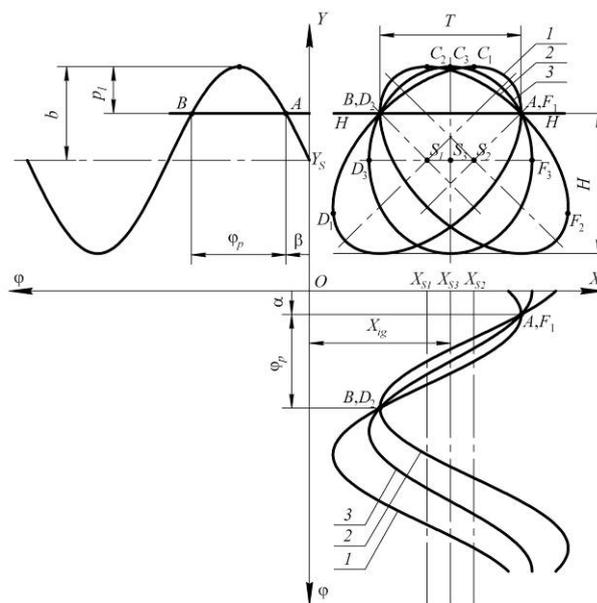


Рис. 2

Зависимости  $X_Q(t)$  и  $Y_Q(t)$  для представленных на рис. 2 эллипсных траекторий можно записать в виде:

$$X_Q = X_s + a \cos(\varphi + \alpha), \quad (1)$$

$$Y_Q = Y_s + b \sin(\varphi + \beta),$$

где (рис. 1)  $X_s, Y_s$  – координаты центра S эллипса;  $a, b$  – длины полуосей;  $\alpha, \beta$  – фазовые углы;  $\varphi = \omega t$  – обобщенная координата (угол поворота главного вала машины);  $\omega$  – угловая частота вращения главного вала;  $t$  – время.

Как видно из рис. 2, зависимость  $Y(\varphi)$  для всех трех эллипсных траекторий одинакова и не зависит от поворота эллипса относительно игольной пластины. Вели-

чины  $Y_s$ ,  $b$  и  $\beta$  могут быть определены из выражений

$$\beta = 0,5(\pi - \varphi_p), \quad b = p_1 / (1 - \sin(\beta)),$$

$$Y_s = H + p_1 - b. \quad (2)$$

$$\alpha = 0, \quad a = T / (1 - \cos \alpha), \quad X_s = X_{ig} + 0,5T - a \quad (\text{для траектории 1});$$

$$\alpha = \pi - \varphi_p, \quad a = T / (1 + \cos \alpha), \quad X_s = X_{ig} - 0,5T + a \quad (\text{для траектории 2}); \quad (3)$$

$$\alpha = \beta, \quad a = 0,5T / (\cos(\alpha)), \quad X_s = X_{ig} \quad (\text{для траектории 3}).$$

Для улучшения качества транспортирования материалов в [3] предлагаются механизмы с прямолинейным, параллельным игольной пластине, участком движения зубчатой рейки в процессе перемещения материалов на заданную длину стежка. В указанных механизмах прямолинейный участок движения зубчатой рейки осуществляется за счет выстоя выходного звена шестизвенной кинематической цепи привода ее вертикальных перемещений. Так как траектория движения зубчатой рейки рассматриваемых механизмов не является эллипсной, то использование для моделирования динамики прижимной лапки зависимостей (1) невозможно.

Для исследования траектории движения зубчатой рейки предлагаемых механизмов транспортирования с помощью разработанного алгоритмического и программного обеспечения [1] производился их кинематический анализ с последующей аппроксимацией полученных зависимостей  $X_Q^*(\varphi)$ ,  $Y_Q^*(\varphi)$  рядом Фурье с ограниченным числом гармоник. В результате исследований было выявлено, что для указанных механизмов зависимость  $X_Q^*(\varphi)$  аналогична зависимости  $X_Q(\varphi)$ , полученной для эллипсной траектории (см. (1)), то есть  $X_Q^*(\varphi) = X_Q(\varphi)$ , а зависимость  $Y_Q^*(\varphi)$  может быть представлена в виде

$$Y_Q^* = y_0 + \sum_{i=1}^n b_i \sin(i\varphi), \quad (4)$$

Параметры  $X_s$ ,  $a$  и  $\alpha$  (рис 2) зависят от поворота эллипсной траектории и при условии, что линия хода иглы обычно делит шаг  $T$  пополам, могут быть определены из выражений:

где  $\varphi = \omega t + \beta_0$  – угол поворота главного вала;  $\beta_0$  – фазовый угол, соответствующий моменту выхода зубчатой рейки над игольной пластиной. Входящие в (4) величины  $y_0$ ,  $b_i$ ,  $i = 1, n$  необходимо определить с учетом заданных значений параметров траектории движения зубчатой рейки  $p_1$ ,  $\varphi_p$  и  $H$ , а также,  $\varphi_p$  – угла выстоя выходного звена кинематической цепи вертикальных перемещений зубчатой рейки.

Обозначим (рис. 3 – общий вид зависимости  $Y_Q^*(\varphi)$  для траектории с прямолинейным участком):  $\varphi_1$ ,  $\varphi_5$  – углы, соответствующие моментам начала и окончания транспортирования материалов;  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\varphi_4$  – углы, соответствующие положениям зубчатой рейки в моментом начала, середины и окончания ее движения по прямолинейному участку;  $\varphi_6$  – угол, соответствующий максимальной величине опускания зубчатой рейки под игольную пластину. Примем, что, как и для эллипсной траектории (2),  $\beta_0 = \beta$ . Тогда:  $\varphi_1 = \beta_0$ ,  $\varphi_2 = \beta_0 + 0,5\varphi_p - 0,5\varphi_b$ ,  $\varphi_3 = \alpha_0 + 0,5\varphi_p$ ,  $\varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_b$ ,  $\varphi_5 = \beta_0 + \varphi_p$ ,  $\varphi_6 = \varphi_3 + \pi$ .

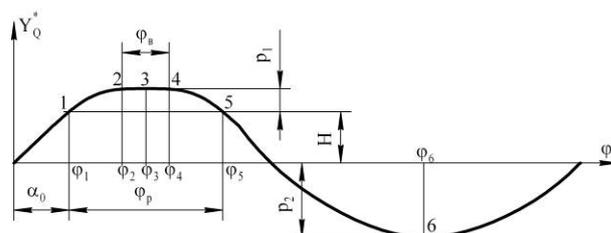


Рис. 3

Для получения прямолинейного участка движения зубчатой рейки на интервале  $\varphi \in [\varphi_2; \varphi_4]$  величина  $\Delta$  отклонения зависимости  $Y_Q^*(\varphi)$  от  $H + p_1$  (см. рис. 3) должна быть минимальна, то есть

$$\Delta = \int_{\varphi_2}^{\varphi_4} (Y_Q^*(\varphi) - (H + p_1))^2 d\varphi \rightarrow \min. \quad (5)$$

Исходя из заданного по циклограмме угла рабочего хода механизма транспортирования необходимо выполнение условий:

$$Y_Q^*(\varphi_1) = H, \quad Y_Q^*(\varphi_5) = H. \quad (6)$$

Как показал кинематический анализ предлагаемых механизмов транспортирования, на середине прямолинейного участка движения зубчатой рейки имеют место следующие равенства

$$Y_Q^{*'}(\varphi_3) = 0, \quad Y_Q^{*''}(\varphi_3) = 0. \quad (7)$$

При движении зубчатой рейки под игольной пластиной необходимо, чтобы зубчатая рейка не опускалась ниже заданной максимальной величины, то есть (см. рис. 3) необходимо, чтобы

$$Y_Q^*(\varphi_6) \leq H - p_2. \quad (8)$$

Таким образом, для определения входящих в (4) величин  $y_0, b_i, i = \overline{1, n}$  необходимо найти минимум (5) при наличии ограничений (6)...(8). Для решения указанной задачи был разработан алгоритм и в системе инженерных и научных расчетов MATLAB [4] написана программа.

На рис. 4 в качестве примера приведены графики зависимостей  $Y_Q^*(\varphi), Y_Q^{*'}(\varphi)$  и  $Y_Q^{*''}(\varphi)$ , построенные по результатам расчета при:  $H=0$  мм,  $p_1=1$  мм,  $\varphi_p=120^\circ$ ,  $\varphi_B=30^\circ$ ,  $p_1=3$  мм,  $n=5$ . Анализ графиков показал, что на рабочем ходу механизма транспортирования при  $\varphi \leq \varphi_p$ , то есть при  $Y_Q^*(\varphi) \geq H$ , зависимости  $Y_Q^*(\varphi), Y_Q^{*'}(\varphi)$

и  $Y_Q^{*''}(\varphi)$  близки к реальным, полученным при кинематическом анализе механизмов, а на холостом ходу при  $\varphi > \varphi_p$  (что соответствует  $Y_Q^*(\varphi) < H$ ) зависимости  $Y_Q^*(\varphi), Y_Q^{*'}(\varphi)$  и  $Y_Q^{*''}(\varphi)$  отличаются от реальных зависимостей.

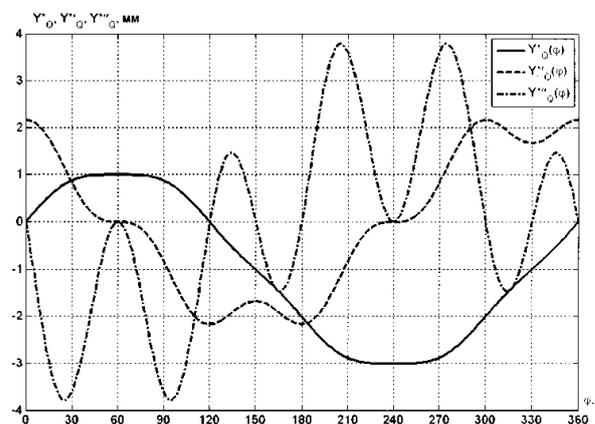


Рис. 4

При исследовании динамики прижимной лапки [2] в качестве кинематического внешнего воздействия рассматриваются участки зависимостей  $Y_Q^*(\varphi), Y_Q^{*'}(\varphi)$  и  $Y_Q^{*''}(\varphi)$ , для которых  $Y_Q^*(\varphi) \geq H$ . Так как при  $Y_Q^*(\varphi) \geq H$  зависимости  $Y_Q^*(\varphi), Y_Q^{*'}(\varphi)$  и  $Y_Q^{*''}(\varphi)$  практически близки к реальным, то предлагаемая зависимость в виде (4) вполне может быть использована для получения кинематического внешнего воздействия на прижимную лапку. Следует отметить, что при определении коэффициентов  $y_0, b_i, i = \overline{1, n}$  наилучшие результаты достигаются при  $n=5, p_2 \approx 3 p_1, \varphi_B=30^\circ, H=0$  мм, а величина  $\varphi_B$  не оказывает существенного влияния на длину выстоя получаемой в процессе счета зависимости  $Y_Q^*(\varphi)$ .

## ВЫВОДЫ

Предложенные аналитические зависимости описания траекторий движения зубчатой рейки удобны для анализа динамики

прижимной лапки, проектирования механизмов транспортирования ткани, оптимизации параметров (размеров звеньев) кинематических схем указанных механизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марковец А.В. Кинематический анализ механизмов транспортирования материалов швейных машин. – СПб.: СПГУТД, 2006.
2. Марковец А.В. Математическое моделирование динамики прижимной лапки механизмов транспортирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2006, №1. С.97...102.

3. Пат. 2281352 Российская федерация, МПК D 05 В 27/02. Механизм транспортирования ткани швейной машины (2 варианта) / Мазин Л. С., Марковец А. В., Файзулов А. Р., Кикин А. Б. ; заявитель и правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна. № 2004137597. – Заявл. 22.12.2004. Оpubл. 10.08.2006. Бюл. № 22.

4. Дьяконов В.П. MATLAB: Учебный курс. – СПб: Питер, 2001.

Рекомендована кафедрой машиноведения. Поступила 25.12.06.

УДК 677.4.053

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИЕМНО-НАМОТОЧНОГО МЕХАНИЗМА

Л.С. МАЗИН, АШУР САЛЕХ РАЕД

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Рассмотрим приемно-намоточный механизм (рис. 1) с подвесом рычажного типа, на котором в отличие от традиционных схем установлены нитераскладчик и фрикционный цилиндр.

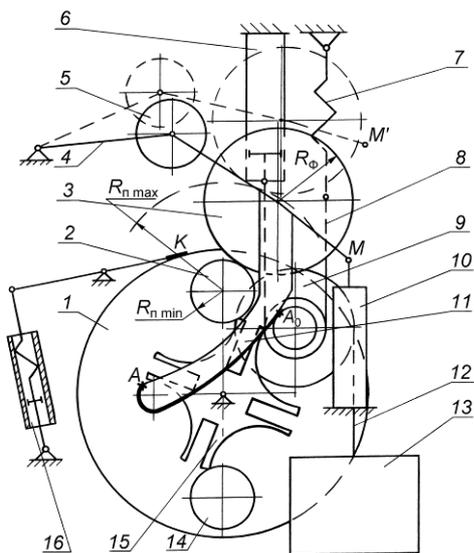


Рис. 1

На корпусе машины установлен ротор 1, в котором закреплены бобинодержатели с патроном и паковкой 2 и с пустым патроном 14. Бобинодержатель представляет собой две массивные конусные втулки,

между которыми установлена бобина. Фрикционный цилиндр с электроприводом 3 крепится на рычажном подвесе 4, на котором установлен и нитераскладчик с собственным электроприводом 5. Усилие контактного взаимодействия паковки с фрикционным цилиндром частично обеспечивается амортизатором 6 и пружиной 7, связанными между собой тросом через ротор 9. В основном усилие контактного взаимодействия обеспечивается уравновешивающим грузом 13, который на тросах (участок AA<sub>0</sub> и 12) через ротор 9 крепится к кулачку 11. Последний жестко соединен с подвесом 4. Амортизатор 10 предназначен для плавного подхода фрикционного цилиндра 3 к пустому патрону 2 (точка M' подвеса перемещается и занимает положение M). При полностью намотанной паковке ( $R_n = R_{n\max}$ ) включается подача воздуха в амортизатор 6. Последний поднимает подвес с фрикционным цилиндром над паковкой. Одновременно (с небольшим запаздыванием) воздух подается в цилиндр 16. Стопор K выходит из паза ротора 1. Ротор 1, выполненный как одно целое с мальтийским крестом 15, с его помощью от привода с роликом (на рис. 1 не показан) поворачивается на угол 180°. Бо-

бинодержатель с патроном 14 занимает место бобинодержателя с патроном и паковкой 2. Стопор К опускается и входит в паз ротора 1. Полость цилиндра 6 соединяется с атмосферой. Подвес опускается вниз (точка  $M'$  занимает положение  $M$ ) до контакта фрикционного цилиндра с бобиной, и процесс наматывания паковки возобновляется. Данный механизм реализован СКТБ МХВ (г. Санкт-Петербург) в приемно-намоточной машине НВ-1000-КЖ9 для приемки полиамидной жгутовой нити коврового ассортимента.

Для исследования динамики приемно-намоточного механизма (рис. 1) необходимо получить его динамическую и математическую модели. Будем считать, что подвес с нитераскладчиком и фрикционным цилиндром представляют собой абсолютно твердое тело. Фрикционный цилиндр и нитераскладчик с их приводами динамически сбалансированы. Ротор 9 и уравнивающий груз 13 также абсолютно твердые тела. Абсолютно твердым телом будем считать и бобинодержатель с патроном и паковкой. Трос, соединяющий кулачок 11 с ротором 9 (участок  $AA_0$ ), трос 12 и поверхность паковки 2 – податливые тела, которые могут быть в динамической модели заменены их упруго-диссипативными характеристиками. Трос, соединяющий амортизатор 6 и пружину 7, будем считать абсолютно твердым телом, так как его податливость значительно ниже, чем у элементов 6 и 7.

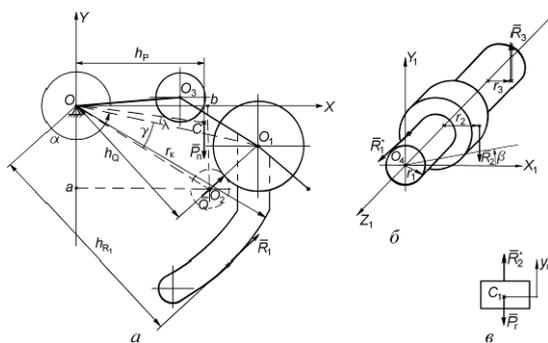


Рис. 2

Воспользовавшись методом расчленения [2], динамическую модель исследуемого приемно-намоточного механизма

удобно представить в виде трех частей (рис. 2): динамической модели подвеса (рис. 2-а), динамической модели ротора (рис. 2-б), динамической модели уравнивающего груза 13 (рис. 2-в). В качестве обобщенных координат выберем: угол поворота  $\alpha$  рычажного подвеса  $OO_1$  (рис. 2-а), угол поворота  $\beta$  ротора (рис. 2-б), перемещение  $y_r$  уравнивающего груза (см. рис. 2-в).  $OXY$  и  $O_4X_1Y_1Z_1$  – неподвижные системы координат. Реакции  $\bar{R}_1$  ( $\bar{R}_1^*$ ,  $|\bar{R}_1| = |\bar{R}_1^*|$ ),  $\bar{R}_2$  ( $\bar{R}_2^*$ ,  $|\bar{R}_2| = |\bar{R}_2^*|$ ) соответствуют отброшенным связям (участок троса  $AA_0$  и трос 12 соответственно на рис. 1);  $P_n$  – сила тяжести подвеса;  $Q$  – сила контактного взаимодействия паковки с фрикционным цилиндром (считаем, что она действует вдоль линии  $O_1O_2$ , соединяющей оси вращения фрикционного цилиндра и паковки);  $R_3$  – реакция, соответствующая воздействию на ротор элементов 6 и 7 (рис. 1);  $P_r$  – сила тяжести уравнивающего груза;  $h_p, h_q, h_{r_1}$  – соответственно плечи сил  $P_n, Q, R_1$ ;  $r_1, r_2, r_3$  – соответственно радиусы ротора, на которых действуют силы  $R_1^*, R_2^*, R_3^*$ ;  $a, b$  – координаты точки  $O_2$  соответственно по осям  $OY$  и  $OX$ ;  $\gamma$  – угол между  $OO_1$  и  $OO_2$ ;  $\lambda$  – угол между  $OC$  и  $OO_1$ , где  $C$  – центр тяжести подвеса;  $C_1$  – центр тяжести уравнивающего груза;  $r_k$  – радиус кулачка подвеса (рис. 2-а) относительно точки  $O$ .

Воспользовавшись методом кинетостатики [2], нетрудно получить математическую модель исследуемой системы, соответствующую динамическим моделям (рис. 2). Опустив промежуточные выкладки, запишем:

$$\begin{aligned} I_n \ddot{\alpha} &= -P_n h_p + Q h_q + R_1 h_{r_1}, \\ I_p \ddot{\beta} &= R_1 r_1 - R_2 r_2 + R_3 r_3, \\ m_r \ddot{y}_r &= -P_r + R_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнений (1) соответствует установочному положению (паковка касается фрикционного цилиндра,  $Q=0$ ) рассматриваемой системы;  $I_n$  – приведенный к точке  $O$  момент инерции подвеса (рис. 2-а);  $I_p$  – момент инерции ротора

(рис. 2-б);  $\alpha = \alpha_0 + \varphi$ , где  $\alpha_0$  – значение угла  $\alpha$  в установочном положении ( $\alpha_0 = \text{const}$ ),  $\varphi$  – отклонение угла  $\alpha$  от установочного положения.

Запишем аналитические выражения сил, входящих в (1), согласно [1]:

$$Q \approx \begin{cases} Q^* & \text{при } \Delta > 0 \text{ и } Q^* > 0, \\ 0 & \text{при } \Delta \leq 0 \text{ либо } Q^* \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$Q^* \approx c_n \Delta + b_n \dot{\Delta} + \frac{b_n R_n \omega_n \sqrt{\Delta}}{\sqrt{2R_{np}}}, \quad R_{np} = \frac{R_n R_\phi}{R_n + R_\phi},$$

$$R_n = R_{n0} + \lambda \sin(\omega_n t + \varepsilon_1) + \delta \sin(2\omega_n t + \varepsilon_2),$$

$$R_\phi = R_{\phi 0} + \lambda_1 \sin(\omega_\phi t + \varepsilon_3), \quad \omega_n R_{n0} = \omega_\phi R_{\phi 0} = V_n = \text{const},$$

$$\Delta = (R_n + R_\phi) - (p + q\varphi), \quad p = (R_n + R_\phi)|_{t=0},$$

где  $\omega_n, \omega_\phi$  – соответственно частоты вращения паковки и фрикционного цилиндра;  $c_n, b_n$  – соответственно жесткость и коэффициент демпфирования паковки, приведенные к линии действия силы  $Q$  – линии  $O_1O_2$ ;  $\Delta$  – деформация паковки вдоль линии  $O_1O_2$  ( $\Delta < 0$  соответствует отрыву паковки от фрикционного цилиндра);  $R_{n0}, R_{\phi 0}, \lambda, \delta, \lambda_1$  – соответственно коэффициенты разложения радиусов паковки  $R_n$  и фрикционного цилиндра  $R_\phi$  в ряды Фурье ( $\lambda, \lambda_1$  характеризуют соответственно биение паковки и фрикционного цилиндра,  $\delta$  характеризует эллиптичность или овальность паковки);  $\varepsilon_i, i = \overline{1, 3}$  – начальные фазы;  $q$  – коэффициент разложения расстояния  $O_1O_2$  в ряд Тейлора при отклонении  $\alpha$  от  $\alpha_0$  на величину  $\varphi$ .

где  $c_i, b_i$  – соответственно жесткости и коэффициенты демпфирования отброшенных участков троса;

$$R_3 \approx c_3 \Delta_3 + b_3 \dot{\Delta}_3, \quad \Delta_3 = r_3 \beta, \quad (4)$$

$c_3, b_3$  – соответственно жесткость и коэффициент демпфирования элементов 6 и 7 (см. рис. 1);  $h_{R_1} = r_k$ ;  $h_p = \ell \cos(\alpha_0 + \varphi + \lambda)$ ;  $\ell$  – расстояние  $OC$  (см. рис. 2).

$$h_Q = \left| C \left( \sqrt{A^2 + B^2} \right)^{-1} \right|, \quad A = L \sin \alpha - a,$$

$$B = b - L \cos \alpha,$$

$$C = a(L \cos \alpha - b) - b(L \sin \alpha - a),$$

$L$  – расстояние  $OO_1$  (см. рис. 2).

В случаях, когда  $\Delta \leq 0$ , либо  $\Delta_i \leq 0, i = \overline{1, 2}$ , к математической модели (1)...(4) следует добавить уравнения  $Q^* = 0$ , либо  $R_{i0} = 0, i = \overline{1, 2}$ , которые следует решать совместно с (1)...(4) до тех пор, пока не будут выполняться неравенства  $\Delta > 0$ , либо  $\Delta_i > 0, i = \overline{1, 2}$ .

Полученная математическая модель приемно-намоточного механизма (рис. 1) представляет собой систему нелинейных обыкновенных дифференциальных урав-

Так как  $R_1$  и  $R_2$  соответствуют участкам тросов:

$$R_i \approx \begin{cases} R_{i0} & \text{при } \Delta_i > 0 \text{ и } R_{i0} > 0, \\ 0 & \text{при } \Delta_i \leq 0 \text{ или } R_{i0} \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$R_{i0} \approx c_i \Delta_i + b_i \dot{\Delta}_i, \quad \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, 2},$$

$$\Delta_1 = -r_1 \beta - r_k \varphi, \quad \Delta_2 = r_2 \beta - y_r,$$

нений 6-го порядка; в случае отрыва паковки от фрикционного цилиндра ( $\Delta \leq 0$ ,  $Q^* = 0$ ) – 7-го порядка; в случае одновременного провисания канатов ( $\Delta_i \leq 0$ ,  $i = \overline{1, 2}$ ;  $R_{i0} = 0$ ,  $i = \overline{1, 2}$ ) – 9-го порядка. Решать подобную модель можно лишь с использованием современных ЭВМ. При этом можно воспользоваться решателем типа ode45() системы автоматизации математических расчетов MATLAB. Так как уравнения  $R_{i0} = 0$  при  $\Delta_i \leq 0$ ,  $i = \overline{1, 2}$ , представляют собой линейные (3) обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка, они могут быть решены заранее аналитически. При этом менять порядок системы нелинейных дифференциальных уравнений (1)...(4) до 9 не требуется. Достаточно добавить к (1)...(4) лишь полученные аналитические решения,

соответствующие  $R_{i0} = 0$  в промежутки времени, когда  $\Delta_i \leq 0$ ,  $i = \overline{1, 2}$ .

## ВЫВОДЫ

Получена математическая модель приемно-намоточного механизма (рис. 1), предназначенная для исследования его динамики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матюшев И.И., Климов В.А., Мазин и др. Высокоскоростные приемно-намоточные механизмы для химических нитей. – М.: Легпромбытиздат, 1991.
2. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: в 2-х т. – Т. 2. Динамика. – М.: Наука, 1983.

Рекомендована кафедрой машиноведения. Поступила 25.12.06.

УДК 621.01:534.01

## К АНАЛИЗУ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*И.И. ВУЛЬФСОН*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Современные технологические машины являются сложными системами, в которых можно выделить три функциональные части: двигатель, механическую систему (рабочую машину) и, в общем случае, – систему управления движением. Механические колебания привода исполнительных органов в основном формируются в рабочей машине, поэтому при определении уровня виброактивности для установившихся режимов нередко задаются постоянной средней угловой скоростью на "входе" привода машины. При этом исходят из допущения о малой динамической связанности функциональных частей машины. В цикловых технологических машинах, к которым относятся многие машины текстильной, легкой, полиграфической и ряда

других отраслей промышленности, управление движением обычно реализуется в самой механической системе без использования специальных средств программного управления, что связано с повышенными требованиями к точности позиционирования рабочих органов. Таким образом, в подобных случаях можно ограничиться анализом взаимовлияния электромеханического привода и рабочей машины.

Анализ машинного агрегата с учетом динамической характеристики электродвигателя освещен в ряде монографий, в частности в [1...3]. В данной статье изложен лаконичный инженерный способ исследования данной проблемы, основанный на методе комплексных амплитуд при ис-

пользовании возможностей современной вычислительной техники.

Описание электромагнитных колебательных процессов в двигателях связано с решением достаточно сложных систем нелинейных дифференциальных уравнений. Однако применительно к установившимся режимам в инженерной практике хорошо себя зарекомендовали приближенные линеаризованные уравнения, которые для двигателя постоянного тока и асинхронных двигателей имеют вид [1]:

$$\Omega_d = \Omega_{d0} [1 - v_d (M_d + \tau \dot{M}_d)], \quad (1)$$

где  $M_d$  – момент двигателя;  $v_d$  – коэффициент крутизны статической характеристики;  $\tau$  – электромагнитная постоянная времени;  $\Omega_{d0}$  – угловая скорость идеально-го холостого хода (то есть при  $M^L=0$ ).

Для асинхронных двигателей

$$\begin{aligned} \tau &= (2\pi f_c s_k)^{-1}; \\ s_k &= (1 - \Omega_d^h / \Omega_{d0}) (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}); \\ v_d &= s_k / (2M_d^h \xi), \end{aligned}$$

где  $s_k$  – критическое скольжение;  $f_c=50$  Гц – частота сети;  $\xi$  – отношение максимального момента к номинальному  $M_d^h$ . (Исходные данные заимствуются из каталога электродвигателей).

Характеристика электродвигателя (1) соответствует реологической модели Максвелла, в которой ротор соединен со статором посредством "упругого элемента" с коэффициентом жесткости  $c_d = (v_d \Omega_{d0} \tau)^{-1}$  и последовательно включенного демпфера с моментом сопротивления  $b_d \Omega_d$  при  $b_d = (v_d \Omega_{d0})^{-1}$  [3].

На рис. 1 приведена достаточно общая динамическая модель для машинного агрегата со сдвоенным двухсторонним приводом ДМ-1, состоящая из подсистем двигателей 1, 3 и подсистемы рабочей машины 2, главный вал которой связан с двигателями посредством привода с передаточным числом  $u$ . Подобная модель отвечает, например, тафтинговой трикотажной ма-

шине. В случае одностороннего привода (приводы основязальных, вязально-прошивных машин, ткацких станков и др.) подсистема 3 исключается из модели.

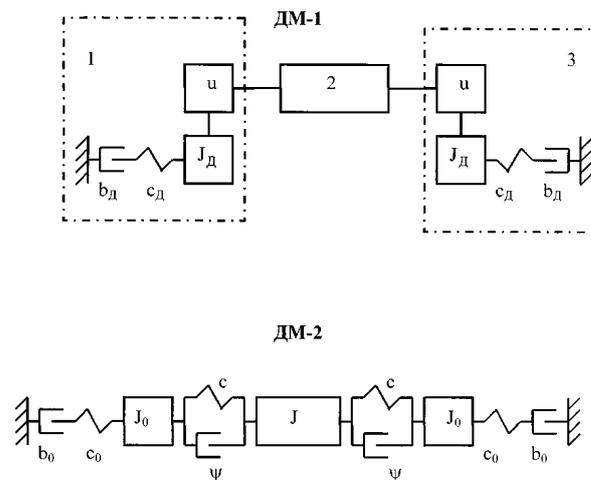


Рис. 1

Строго говоря, все три подсистемы образуют единую систему, расчет которой даже при учете возможности современной вычислительной техники может вызвать определенные трудности. Это связано не только с большой размерностью системы, но и с большим отличием частотных спектров подсистем 1, 3 и подсистемы 2. При этом матрица коэффициентов системы дифференциальных уравнений оказывается почти вырожденной, что нередко приводит к неустойчивости решений. Хотя известны специальные способы решения подобных так называемых "жестких" систем, в инженерной практике их стремятся исключить из рассмотрения, что достигается декомпозицией, то есть расчленением исходной системы на ряд подсистем, которые на рабочем диапазоне частот возбуждения слабо связаны между собой [3], [4]. Заметим, что "жесткие" системы уравнений нередко возникают при гипертрофированной универсальности исходной модели и, как правило, свидетельствует о ее неудачном выборе.

На первом этапе анализа следует произвести оценку низшей собственной частоты рабочей машины  $p_1$  (или определение динамической жесткости), считая входные сечения главного вала заземленными. При

сложной структуре колебательной системы, например, при кольцевой структуре привода исполнительных органов, характерной для многих трикотажных машин, нередко целесообразно использовать непрерывную идеализацию, при которой реализуется прием агрегирования системы [3...5].

Второй этап базируется на анализе модифицированной модели ДМ-2 (рис.1), полученной при приведении параметров двигателей к главному валу. Можно показать, что при этом  $c_0 = c_d u^2$ ,  $b_0 = b_d u^2$ ,  $J_0 = J_d u^2$ , а в уравнении (1) следует произвести замену  $\Omega_d = \Omega u^{-1}$ ,  $\Omega_{d0} = \Omega_0 u^{-1}$ ,  $v_d = v u$ ,  $M_d = M_0 u^{-1}$ , где  $\Omega$ ,  $\Omega_0$ ,  $M_0$  – соответствующие угловые скорости и дви-

жущий момент на главном валу. Далее представим момент инерции рабочей машины как  $J = \bar{J} + \Delta J(\varphi)$ , где  $\varphi = \bar{\omega} t$ ,  $\bar{\omega} = \Omega_d^h u^{-1}$  – номинальная угловая скорость главного вала;  $\bar{J}$  – среднее значение приведенного момента инерции. Для одностороннего привода приведенный коэффициент жесткости в первом приближении равен  $c = \bar{J} p_1^2$ , а для двухстороннего –  $c = 0,5 \bar{J} p_1^2$ . Момент, действующий на приводные двигатели, выразим как  $M = M_c + 0,5 \bar{\omega}^2 \Delta J'(\varphi)$ , где  $M_c$  – момент сопротивления,  $(\quad)' = d/d\varphi$ . При этом переменная составляющая этого момента  $\Delta M$  описывается следующим рядом Фурье:

$$\Delta M = \sum_{j=1}^{\infty} [\mu_{j1} \sin(j\bar{\omega}t + \alpha_{1j}) + \mu_{j2} \sin(j\bar{\omega}t + \alpha_{2j})], \quad (2)$$

где  $\mu_{j1}$ ,  $\mu_{j2}$  – амплитудные значения гармоники  $j$ -го момента сопротивления и динамической составляющей.

В машинах текстильной и легкой промышленности обычно доминирует динамическая составляющая вынуждающего момента, связанная с переменностью приведенного момента инерции при  $j=2$ . Тогда основная частота возбуждения равна  $\omega = 2\bar{\omega}$  и  $\mu_{22} = 0,125\omega^2 \Delta J'_2$ , где  $\Delta J'_2$  – амплитудное значение для гармоники  $j=2$ .

Не сужая общности, для иллюстрации методики расчета ниже принято  $\mu_{j1} = 0$ ,  $\mu_{j2} = \mu_{22} = 0,04\omega^2 \zeta J_0$ , где  $\zeta = \bar{J} / \bar{J}_0$ . Представим гармонические колебания с частотой  $\omega$  в комплексной форме  $q = a \exp[i(\omega t + \alpha)] = \tilde{a} \exp(i\omega t)$ , где  $\tilde{a} \exp(i\alpha)$  – комплексная амплитуда, модуль которой  $|\tilde{a}| = a$  равен амплитуде, а аргумент  $\alpha$  – фазе колебаний. Аналогичным образом, представляя момент в комплексной форме  $\Delta \tilde{M}$ , запишем для одностороннего привода следующее матричное равенство:

$$\begin{pmatrix} \tilde{a} \\ \Delta \tilde{M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta \tilde{M}_0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь  $\gamma_{ks}$  – элементы матрицы перехода  $\Gamma$ , которая равна произведению в обратном порядке матриц перехода подсистем:

$$\Gamma = \Gamma_J \Gamma_{c\psi} \Gamma_{J_0} \Gamma_{c_0} \Gamma_{b_0}, \quad (4)$$

$$\text{где } \Gamma_J = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\omega^2 J & 1 \end{pmatrix}; \quad \Gamma_{J_0} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\omega^2 J_0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\Gamma_{c_0} = \begin{pmatrix} 1 & c_0^{-1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \Gamma_{c\psi} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{c}^{-1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\Gamma_{b_0} = \begin{pmatrix} 1 & (b_0 \omega i)^{-1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \tilde{c} - \text{ комплексный коэф-}$$

фициент жесткости реологической модели Кельвина–Фойхта, который при конструкционном демпфировании согласно гипотезе Е.С. Сорокина определяется зависимостью  $\tilde{c} = c(1 + 2\delta i)$  при  $\delta = \psi / (2\pi)$  ( $\psi$  – приведенный коэффициент рассеяния).

Собственные частоты соответствуют  $\min |\gamma_{22}|$ . Заметим, что здесь и ниже при применении матричных зависимостей не

требуется производить каких-либо аналитических выкладок, поскольку можно воспользоваться любым современным пакетом программ, например, пакетом Mathcad.

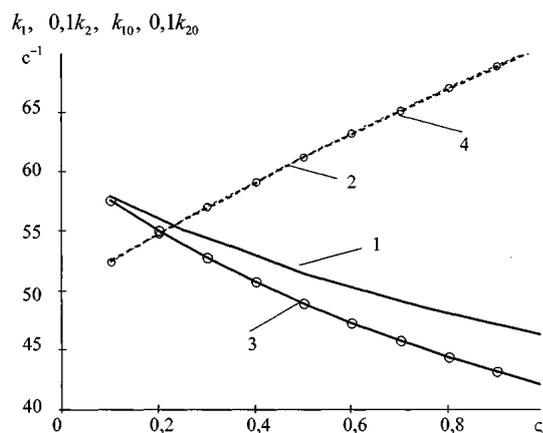


Рис. 2

На рис. 2 приведены графики собственных частот  $k_1(\zeta)$  (кривая 1),  $0,1k_2(\zeta)$  (кривая 2), полученные при следующих исходных данных:  $J_0 = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $\tau = 0,043 \text{ с}$ ,  $\nu = \nu_d / u = 0,001 \text{ (Н}\cdot\text{м)}^{-1}$ ,  $p_1 = 500 \text{ с}^{-1}$ . Кривая 3 отвечает низшей собственной частоте, определенной по формуле

$$k_{10} = \sqrt{(\nu\tau J_0)^{-2/3} (1 + \zeta)^{-1} - 0,25\tau^{-2}}$$

без учета упругодиссипативных свойств рабочей машины, а кривая 4 получена согласно зависимости  $k_{20} = p_1 \sqrt{1 + \zeta}$  без учета влияния электромагнитных характеристик двигателя на собственную частоту машинного агрегата. Как следует из сопоставления графиков, учет колебательной системы рабочей машины оказывает некоторое влияние на низшую частоту лишь при больших значениях  $\zeta$ . В то же время параметры двигателя  $\nu_d, \tau$  при достаточно большой разнице парциальных частот подсистем практически не влияют на частотный спектр рабочей машины.

Далее определим амплитудно-частотную характеристику на "входе" главного вала рабочей машины. На основании (3) имеем

$$\Delta\tilde{M}_0 = \gamma_{22}^{-1} \tilde{u}_{22}; \quad \tilde{a} = \gamma_{12} \Delta\tilde{M}_0. \quad (5)$$

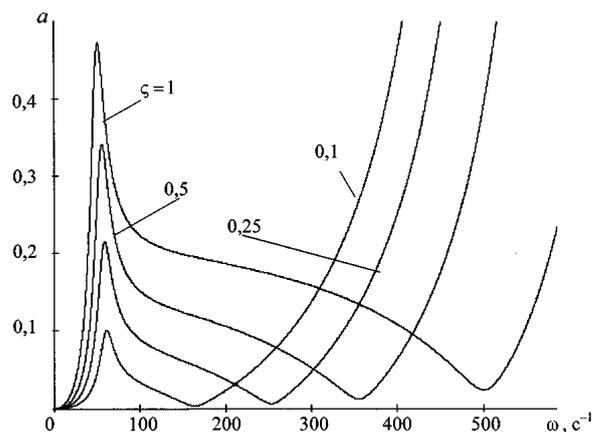


Рис. 3

На рис. 3 приведено полученное на основании (5) семейство амплитудно-частотных характеристик  $a(\omega, \zeta) = |\tilde{a}(\omega, \zeta)|$ . Коэффициент неравномерности вращения вала электродвигателя  $\Delta\Omega_{\max} / \bar{\omega}$  определяется как  $\chi = |\tilde{\chi}|$  при

$$\tilde{\chi} = \nu \Delta\tilde{M}_0 (1 + i\tau). \quad (6)$$

Графики  $\chi(\omega, \zeta)$  приведены на рис. 4.

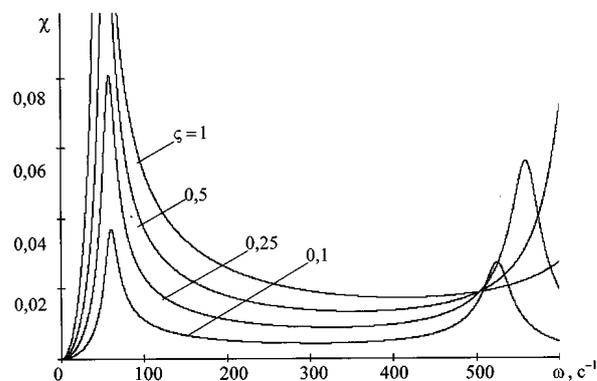


Рис. 4

При сдвоенном приводе матрица перехода имеет вид

$$\mathbf{G} = \mathbf{\Gamma}_{b0} \mathbf{\Gamma}_{c0} \mathbf{\Gamma},$$

а собственные частоты определяются как  $\min |g_{12}|$ , где  $|g_{12}|$  – модуль элемента первой строки и второго столбца матрицы перехода  $\mathbf{G}$ .

Для определения амплитудно-частотной характеристики машины на рассматриваемой гармонике возбуждения удобно воспользоваться модификацией метода начальных параметров, названной "численным экспериментом" [3]. Представим амплитуду на правом конце как линейную комбинацию  $A_n = S_1 \Delta \tilde{M}_0 + S_2 \tilde{\mu}_{22}$ , где  $S_1, S_2$  – неизвестные комплексные числа. Произведем два расчета – при  $\Delta \tilde{M}_0 = 1, \tilde{\mu}_{22} = 0$  и при  $\Delta \tilde{M}_0 = 0, \tilde{\mu}_{22} = 1$ . Тогда  $A_n^{(1)} = S_1, A_n^{(2)} = S_2$  (верхний индекс – номер счета).

При этом комплексная амплитуда  $\tilde{a}$  на элементе J (см. рис. 1, ДМ-2) описывается зависимостью  $\tilde{a} = -\tilde{\gamma}_{12} A_n^{(2)} (A_n^{(1)})^{-1} \tilde{\mu}_{22}$ . Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики определяются как соответственно модуль и аргумент этого комплексного числа. Коэффициент неравномерности хода машины в этом случае находим с помощью зависимостей (5), (6) при учете  $\Delta \tilde{M}_0$  для данной модели.

Аналогичным образом находим амплитуду колебаний для всех "сильных" гармоник возбуждения, после чего определяем скорректированное значение угловой скорости на "входе" рабочей машины:

$$\omega = \bar{\omega} + \sum_{j=1}^{j_{\max}} j \bar{\omega} a_j(\omega_j) \cos[j \bar{\omega} t + \alpha_j - \gamma_j(\omega_j)],$$

где  $a_j(\omega_j), \gamma_j(\omega_j)$  – амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.

1. Предложена методика для оценки переменной составляющей угловой скорости главного вала машины при учете динамической характеристики электродвигателя. Методика базируется на аппарате матриц перехода и комплексной форме описания амплитуд колебаний.

2. Установлена степень динамической связанности подсистем двигателей и рабочей машины, что позволяет осуществить декомпозицию системы и корректный выбор динамической модели машинного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вейц В.Л.* Динамика машинных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1969.
2. *Коловский М.З.* Динамика машин. – Л.: Машиностроение, 1989.
3. *Вульфсон И.И.* Колебания машин с механизмами циклового действия. – Л.: Машиностроение, 1990.
4. *Вульфсон И.И.* Агрегирование и декомпозиция разветвленных колебательных систем цикловых механизмов // *Машиноведение.* – 1980, №6. С.20...27.
5. *Вульфсон И.И.* Колебания в машинах. Изд. 2-е, доп. – СПб.: СПГУТД, 2006.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики. Поступила 25.12.06.

## К РАСЧЕТУ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПЕРЕДАЧ С НЕЛИНЕЙНЫМИ СВЯЗЯМИ

В.К. ПОЛЯКОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В текстильном машиностроении зубчатые дифференциальные и планетарные передачи используются во многих конструкциях технологических механизмов [1]

$$\begin{aligned} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_H) i_{12} &= (\dot{\varphi}_{2-3} - \dot{\varphi}_H), \\ (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_H) i &= (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_H), \quad i = i_{12} i_{34}. \end{aligned} \quad (1)$$

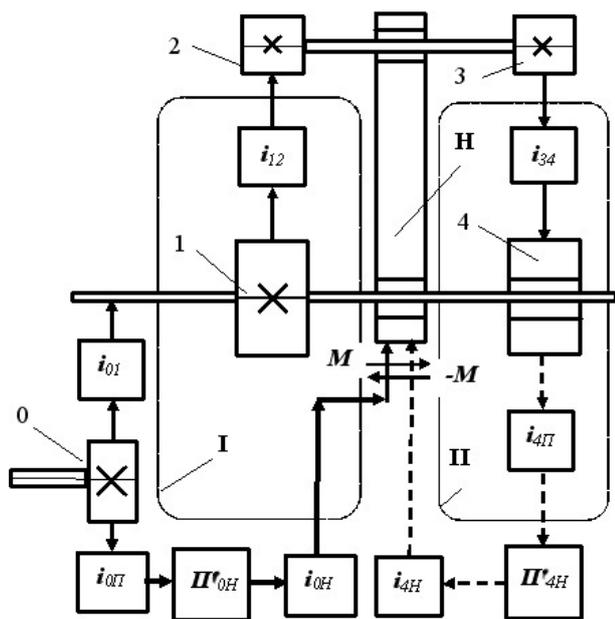


Рис. 1

Отдельно взятая дифференциальная передача имеет две степени свободы и обычно содержит соосно установленные водило  $H$ , центральное колесо 1, сателлиты 2, 3 и центральное колесо 4 (рис.1 – варианты замыкания дифференциальной передачи: I – замкнутый контур первого варианта ( $i_z = \dot{\varphi}_H / \dot{\varphi}_0$ ), II – замкнутый контур второго варианта ( $i_z = \dot{\varphi}_H / \dot{\varphi}_4$ )). Передаточные отношения  $i_{12}$  и  $i_{34}$  определяются в движении относительно водила и в зависимости от вида передач могут иметь как положительные, так и отрицательные значения.

При любом выборе ведущих и ведомых звеньев дифференциальной передачи их кинематические параметры связаны между собой следующими соотношениями:

В текстильных машинах обычно используются замкнутые дифференциальные передачи, характеризующиеся наличием между двумя какими-либо элементами передачи дополнительной замыкающей кинематической связи [2]. Ниже рассматриваются нелинейные замыкающие кинематические связи, представляющие основной интерес при анализе механических характеристик рассматриваемых дифференциальных передач [3].

Из всех возможных комбинаций кинематического замыкания звеньев дифференциальных передач достаточно рассмотреть два варианта (рис.1):

1 – два звена дифференциальной передачи I и H получают заданное движение от общего распределительного вала 0, кинематическое замыкание при этом осуществляется по контуру I (по этой схеме выполняются отдельные механизмы гребенчатых машин.);

2 – звено дифференциальной передачи 1 получает заданное движение от распределительного вала 0, а два других звена H и 4 связываются между собой посредством заданной кинематической зависимости, замыкающим является контур II.

Рассмотрим последовательность кинематического анализа каждой из рассматриваемых схем замыкания.

В первом варианте заданы кинематические связи:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_1 &= i_{0I} \dot{\varphi}_0, \\ \dot{\varphi}_H &= i_{0II} \Pi'_{0H} (i_{0II} \dot{\varphi}_0) i_{0H} \dot{\varphi}_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставляя равенства (2) в (1), найдем угловую скорость колеса 4:

$$\dot{\varphi}_4 = \dot{\varphi}_0 [i_{01}i + i_{0П} \Pi'_{0Н} (i_{0П} \varphi_0) i_{0Н} (1-i)]. \quad (3)$$

Отсюда непосредственным интегрированием могут быть найдены угловые перемещения ведомых звеньев.

Сохраняя основные особенности рассматриваемой передачи, ограничимся далее нелинейными связями в виде гармонических функций:

$$\begin{aligned} \Pi_{0Н} (i_{0П} \varphi_0) &= A_{0Н} [1 - \cos (i_{0П} \varphi_0)], \\ \Pi'_{0Н} (i_{0П} \varphi_0) &= A_{0Н} \sin (i_{0П} \varphi_0). \end{aligned} \quad (4)$$

Из равенств (3) и (4) найдем условие (5), определяющее границу смены режимов движения ведомого колеса 4:

$$A_{кр} = |i_{01}i [i_{0П}i_{0Н} (1-i)]^{-1}|. \quad (5)$$

В случае  $A_{0Н} < A_{кр}$  будем иметь одностороннее вращательное движение с переменной угловой скоростью. В случае  $A_{0Н} > A_{кр}$  обеспечивается вращательное движение с неодинаковыми углами поворота в противоположных направлениях. Если же  $A_{0Н} = A_{кр}$ , то колесо 4 будет вращаться в одну сторону с мгновенными остановками.

Для второго варианта замыкания условия связи, наложенные на угловые скорости водила Н и колеса 4, имеют вид:

$$\begin{aligned} \varphi_Н &= i_{4Н} \Pi_{4Н} (i_{4П} \varphi_4) = i_{4Н} A_{4Н} [1 - \cos (i_{4П} \varphi_4)], \\ \Pi'_{4Н} (i_{4П} \varphi_4) &= A_{4Н} \sin (i_{4П} \varphi_4), \\ \dot{\varphi}_1 &= \dot{\varphi}_0 i_{01}, \\ \dot{\varphi}_Н &= i_{4П} \Pi'_{4Н} (i_{4П} \varphi_4) i_{4Н} \dot{\varphi}_4, \\ \dot{\varphi}_4 &= \dot{\varphi}_0 i_{01} i + i_{4П} \Pi'_{4Н} (i_{4П} \varphi_4) i_{4Н} \dot{\varphi}_4 (1-i). \end{aligned} \quad (6)$$

Запишем дифференциальное уравнение (6) в виде:

$$\dot{\varphi}_4 = \dot{\varphi}_0 i_{01} i [1 - i_{4П} i_{4Н} (1-i) \Pi'_{4Н} (i_{4П} \varphi_4)]^{-1}. \quad (7)$$

Численно решая нелинейное дифференциальное уравнение (7), определяем функции времени  $\varphi_4$  и  $\dot{\varphi}_4$ .

Особенность второго варианта замыкания состоит в том, что при равенстве нулю знаменателя в формуле (7) угловая скорость колеса 4, а вместе с ней и угловые скорости сателлитов 2, 3 принимают бесконечные значения. Очевидно, что в этих случаях дифференциальная передача теряет работоспособность и при проектировании передачи следует исходить из выполнения неравенств (8):

$$A_{4Н} < A_{кр} = |i_{4П} i_{4Н} (1-i)|^{-1}. \quad (8)$$

Из равенства (7) и условия (8) следует, что колесо 4 вращается в одном направлении с переменной скоростью, причем с увеличением амплитуды  $A_{4Н}$  наблюдается появление зон резкого, почти мгновенного, возрастания угловой скорости. При этом водило Н будет совершать колебательное движение, коэффициент изменения средней скорости которого также возрастает при увеличении амплитуды  $A_{4Н}$ .

Для проведения силового анализа замкнутых дифференциальных передач воспользуемся методом сечений, разъединив в каком-нибудь месте замыкающую кинематическую связь и заменив ее действие посредством приложения моментов М и -М (рис.1). При этом дифференциальная передача превращается в передачу, не содержащую замкнутых контуров, для которой в рамках статики справедливы следующие основные равенства:

$$M_1 + M_Н + M_4 = 0, \quad (9)$$

$$M_1 \dot{\varphi}_1 + M_Н \dot{\varphi}_Н + M_4 \dot{\varphi}_4 = 0. \quad (10)$$

В этих равенствах  $M_1, M_Н, M_4$  – внешние моменты, приложенные к колесу 1, водилу Н и колесу 4 [2].

Считая, что к ведущему валу 0 приложен движущий момент  $M_0$ , для варианта замыкания I найдем:

$$M_1 = (M_0 \dot{\varphi}_0 - M \dot{\varphi}_Н) \dot{\varphi}_1^{-1},$$

$$\begin{aligned} M_H &= M_H^c + M, \\ M_4 &= M_4^c. \end{aligned} \quad (11)$$

Моменты сопротивления, приложенные к водилу и колесу 4, учитывались в следующей форме:

$$\begin{aligned} M_H^c &= -m_H \text{sign}(\dot{\phi}_H), \\ M_4^c &= -m_4 \text{sign}(\dot{\phi}_4). \end{aligned}$$

$$M = -[M_0 \dot{\phi}_0 + \dot{\phi}_1 (M_H^c + M_4^c)] (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_H)^{-1} = -[M_H^c + M_4^c (1-i)]. \quad (13)$$

Для варианта замыкания II (рис.1) равенства (9), (10) сохраняются, а равенства (11) принимают вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_0 \dot{\phi}_0 \dot{\phi}_1^{-1}, \\ M_H &= M_H^c + M, \\ M_4 &= M_4^c - M \dot{\phi}_H \dot{\phi}_4^{-1}. \end{aligned} \quad (14)$$

При этом сохраняется формула (12) для определения значений  $M_0$ , а величина замыкающего момента, действующего на водило, в данном случае находится из равенства:

$$M = -\dot{\phi}_4 (\dot{\phi}_1 i)^{-1} [M_H^c + M_4^c (1-i)]. \quad (15)$$

После определения по формулам (13) или (15) величин замыкающих моментов найдем моменты, действующие в остальных звеньях дифференциальной передачи, для чего следует использовать равенства (11) или (14).

Моменты, приложенные к сателлитам 2 и 3, определяются из следующих равенств:

$$\begin{aligned} M_2 &= M_1 i_{12}^{-1}, \\ M_3 &= M_4 i_{34}. \end{aligned}$$

При анализе распределения усилий в звеньях замкнутых дифференциальных передач и оценки рациональности их конструкций в качестве критерия целесообразно принять абсолютные значения отношений величин замкнутых мощностей к мощности на ведущем валу передачи (для кратко-

Подставляя равенства (11) в равенство (10), получим:

$$M_0 = -(M_H^c \dot{\phi}_H + M_4^c \dot{\phi}_4) \dot{\phi}_0^{-1}. \quad (12)$$

Затем, подставив равенства (12) и (13) в равенство (10), найдем величину замыкающего момента  $M$ , действующего на водило:

сти этот коэффициент будем называть коэффициентом замыкания):

$$kN = \left| \frac{M \dot{\phi}_H}{M_0 \dot{\phi}_0} \right|.$$

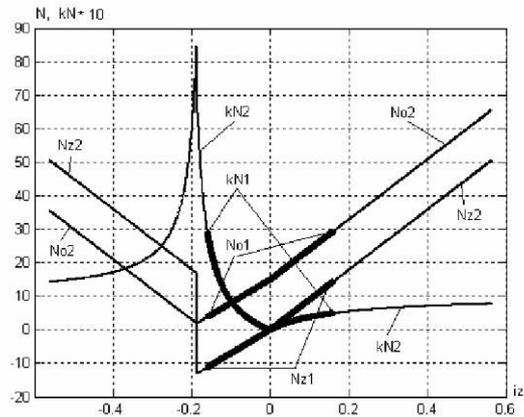


Рис. 2

Результаты определения мощностей для варианта замыкания I приведены на рис. 2 – 1.  $A_{0H} = 0,85 \cdot A_{кр}$ : No1 – мощность на ведущем валу, Nz1 – замкнутая мощность, kN – коэффициент замыкания; 2.  $A_{0H} = 3,0 \cdot A_{кр}$ : No2 – мощность на ведущем валу, Nz2 – замкнутая мощность, kN2 – коэффициент замыкания). Расчеты производились при следующих значениях параметров дифференциальной передачи:

$$\begin{aligned} i_{12} &= 3; \quad i_{34} = -1; \quad i_{01} = -0,25; \quad i_{0\Pi} = -2,5; \quad i_{0H} = -1,5; \\ i_{4\Pi} &= -2,5; \quad i_{4H} = 1,5; \quad m_H = -1; \quad m_4 = -2. \end{aligned}$$

Представленные на рис.2 графики показывают, что мощности  $N_0$  и  $N_z$ , а вместе с ними и коэффициент замыкания  $kN$  изменяются в течение цикла работы передачи, причем значения их зависят от величин амплитуд  $A_{0H}$ , которыми, как установлено выше, определяется характер движения колеса 4. Важно отметить, что максимальные величины  $kN$  ( $kN1_{max} = 3$ ,  $kN2_{max}=8$ ) достигаются в зоне малых значений мощностей  $N_0$ . При этом наличие замкнутых мощностей будет ухудшать условия работы дифференциальной передачи, но не будет приводить к потере ее работоспособности даже при больших значениях амплитуд  $A_{0H}$ .

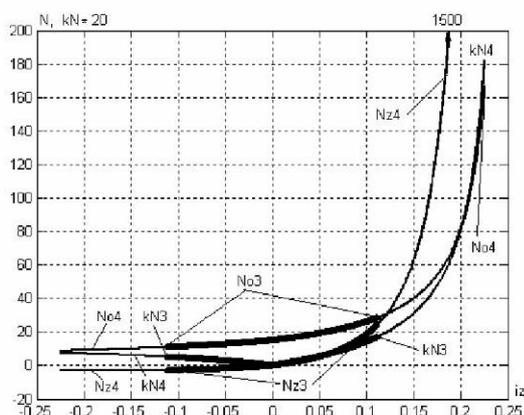


Рис. 3

При замыкании по варианту II наблюдается обратная картина (рис.3 – 3.  $A_{4H} = 0,45A_{кр}$ :  $No3$  – мощность на ведущем валу (ватты),  $Nz3$  – замкнутая мощность,  $kN3$  – коэффициент замыкания, 4.  $A_{4H} = 0,90A_{кр}$ :  $No4$  – мощность на ведущем валу,  $Nz4$  – замкнутая мощность,  $kN4$  – коэффициент замыкания). Максимальные значения коэффициента замыкания  $kN$  достигаются в зоне максимальных величин мощностей  $N_0$  (здесь:  $kN3_{max} = 0,8$ ;  $kN4_{max} = 9$ ,  $Nz4_{max}=1500$  ватт). Темпы

роста величин  $kN$  в данном варианте замыкания весьма существенны. Расчеты показали, что эти значения составляют 4, 9 и 18 соответственно при амплитудах  $A_{4H} = 0,80A_{кр}$ ,  $A_{4H} = 0,90A_{кр}$  и  $A_{4H} = 0,95A_{кр}$ . Эти данные свидетельствуют о невозможности практического использования варианта замыкания II при амплитудах  $A_{4H} > (0,60 \div 0,70)A_{кр}$ .

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика и вычислительные программы позволяют рассчитывать кинематические и силовые характеристики замкнутых дифференциальных передач, что представляет практический интерес для работников текстильной промышленности.

2. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на изучение влияния сил трения в зубчатых зацеплениях на величины замкнутых мощностей и значения коэффициентов полезного действия в замкнутых дифференциальных передачах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.И., Крылов В.В., Николаев В.Б. и др. Расчет и конструирование машин прядильного производства: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты текстильной промышленности» / Под общ. ред. А.И. Макарова. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981.
2. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – М.: Машиностроение, 1966.
3. Вульфсон И.И. Исследование дифференциально-циклового механизма с нелинейной позиционной обратной связью // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1998, № 3. С.84...90.

Рекомендована кафедрой машиноведения. Поступила 25.12.06.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГИБКОЙ УПРУГОЙ НИТИ ФРИКЦИОННОЙ ПАРой

А.А. КРАСНОВ

(Ивановский государственный архитектурно-строительный университет)

При решении задач динамики механизмов с гибкими упругими звеньями, которые содержат фрикционные пары и к которым относятся многие текстильные машины [1], [2], обычно полагают продольную деформацию гибких звеньев – нитей или тканей – малыми, и потому изменения длины нити в зоне деформации приравниваются к длине дуг валов фрикционных пар, с которыми соприкасалось звено в жале этих валов. Рассмотрим этот вопрос более внимательно.

Пусть имеется фрикционная пара, валы которой радиусом  $R$  равны и имеют неподвижные оси вращения и которая взаимодействует без проскальзывания с гибкой упругой нитью с коэффициентом жесткости  $k$ , один конец которой закреплен на неподвижной опоре, и расстояние между точкой крепления нити и жалом валов фрикционной пары  $L$  является постоянным (рис. 1).

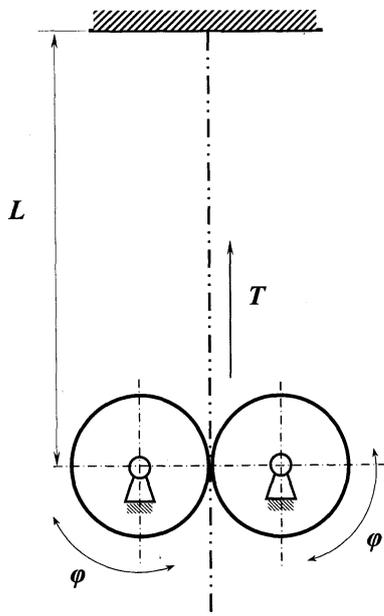


Рис. 1

Исследуем вопрос о деформации и натяжении нити в зоне деформации – зоне между точкой его крепления и точкой в

жале валов фрикционной пары.

Допустим, что в начальный момент нить не деформирована  $T_0=0$ . Тогда, поворачивая фрикционную пару на угол  $d\varphi$  и записывая для нити зависимости ее натяжения в интегральной и дифференциальной форме с учетом изменения начальной длины нити в зоне деформации, получаем выражение для длины нити, выведенной из зоны деформации в виде:

$$\ell_0 = L(1 - e^{-\frac{R}{L}\varphi}), \quad (1)$$

где  $\ell_0$  – длина отрезка нити, выведенного за пределы зоны деформации;  $\varphi$  – угол поворота валов фрикционной пары;  $L$  – длина зоны деформации нити.

Анализ формулы (1) показывает, что длина выведенного отрезка нити не зависит от ее модуля упругости.

Используя (1) и интегральный закон Гука, получаем выражение для деформации и натяжения нити в зоне деформации:

$$T = k(e^{\frac{R}{L}\varphi} - 1). \quad (2)$$

Рассматривая движение валов фрикционной пары в обратном направлении, получаем выражение для текущей начальной длины нити в зоне деформации:

$$\ell_{0T} = Le^{-\frac{R}{L}\varphi_k} + R(\varphi_k - \varphi), \quad (3)$$

где  $\varphi_k$  – конечное значение угла поворота валов фрикционной пары при выводе нити из зоны деформации;  $\ell_{0T}$  – текущее значение начальной длины нити в зоне деформации.

Используя теперь (3) и интегральный закон Гука, получим выражение для натяжения нити в зоне деформации:

$$T = k \frac{L(1 - e^{-\frac{R}{L}\varphi_k}) - R(\varphi_k - \varphi)}{Le^{-\frac{R}{L}\varphi_k} + R(\varphi_k - \varphi)}. \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что при текущем угле поворота  $\varphi$  валов фрикционной пары, равном  $\varphi_k$ , натяжение нити остается равным начальному натяжению. Кроме того, дальнейший анализ формул (2) и (4) показывает, что при равенстве углов поворота валов фрикционной пары в прямом и обратном направлениях равенства натяжения и деформации нити не наблюдается (рис.2).

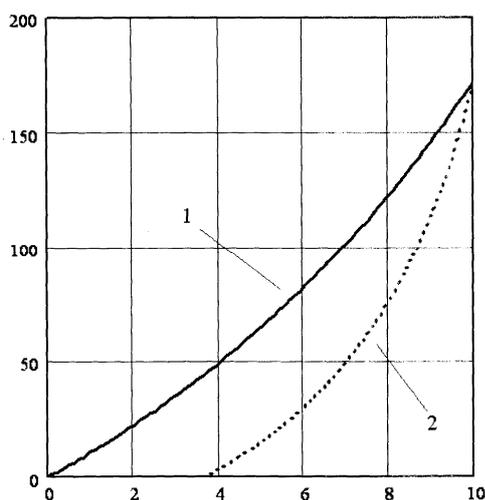


Рис. 2

На рис. 2 где кривая 1 изображает график изменения натяжения  $T$  нити в зоне деформации от угла поворота  $\varphi$  валов фрикционной пары при выводе нити из зоны деформации, кривая 2 изображает график изменения натяжения  $T$  от угла поворота  $\varphi$  нити в зоне деформации при обратном движении валов фрикционной пары. Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод о том, что в системе фрикционная пара – гибкая упругая нить наблюдается явление гистерезиса натяжения гибкой нити, обусловленное неравными скоростями вывoda и ввода нити в зону

деформации по отношению к недеформированной нити.

Рассмотрим теперь решение этой задачи в том случае, когда начальное натяжение нити  $T_0$  отлично от нуля.

Записывая для этого случая закон Гука в интегральной и дифференциальной формах и производя преобразования, аналогичные предыдущим, получаем выражения для натяжения гибкой упругой нити при выводе ее из зоны деформации:

$$T = T_0 e^{\frac{R}{L}\varphi} + k(e^{\frac{R}{L}\varphi} - 1). \quad (5)$$

И при обратном ее движении в зону деформации

$$T = \frac{T_0 L + kL(1 - e^{-\frac{R}{L}\varphi_k}) - R(\varphi_k - \varphi)}{Le^{-\frac{R}{L}\varphi_k} + R(\varphi_k - \varphi)}. \quad (6)$$

Следует отметить, что длина нити, выводимой за пределы зоны деформации, и в этом случае описывается формулой (1).

Анализ графиков показывает, что и в этом случае в системе наблюдается явление гистерезиса натяжения гибкой упругой нити, которое значительно усложняет процесс описания динамики систем с нитями, содержащих фрикционные пары.

Заметим, что формулы (1), (2) и (5) могут быть получены также и из известного выражения [3]:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = (V_2 - V_1 \frac{\varepsilon + k}{\varepsilon_0 + k}) \frac{(\varepsilon + k)}{L} \quad (7)$$

путем его интегрирования при  $V_1 = 0$  и учитывая, что  $V_2 = R \frac{\varphi}{t}$ . При этом отметим, что выражение (7) получено с учетом других исходных соображений.

## В Ы В О Д Ы

1. Получены конечные выражения для расчета длины участка нити, выводимой из зоны деформации при взаимодействии ее с валами фрикционной пары.

## ЛИТЕРАТУРА

3. Получены конечные выражения для расчета длины участка нити, расположенной в зоне ее деформации при взаимодействии ее с валами фрикционной пары.

4. Получены конечные выражения для натяжения гибкой нити в зоне ее деформации в механизме с фрикционной парой.

5. Показано, что в системе гибкая упругая нить – фрикционная пара наблюдается явление гистерезиса деформации и натяжения нити, и дано физическое объяснение причины появления гистерезиса натяжения нити.

1. Глазунов В.Ф., Бурков А.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –1985, № 6. С.67...71.

2. Гинзбург А.Н. и др. Динамика основных процессов прядения, Ч.П. –М.: Легкая индустрия, 1972.

3. Бейлин И. Ш. Вейц В.Л., Меркин В.М. Динамика и оптимальная пассивная стабилизация натяжения в лентопротяжных механизмах / Под ред. К.М. Рагульскаса. – Л.: Политехника, 1991.

Рекомендована кафедрой строительной механики. Поступила 25.12.06.

---

УДК 621.01

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ***В.Ю. ИВАНОВ, Е.Г. МАЕЖОВ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна )**

В настоящее время в системах автоматического управления и контроля технологического оборудования применяются датчики, большинство из которых имеют аналоговые выходы (например, термопара или термометр сопротивления). Применение датчиков с аналоговым выходом ограничивает длину соединительных линий, уменьшает помехозащищенность и увеличивает погрешность. Для сопряжения подобных датчиков с микроконтроллером необходимо использовать преобразователи выходного сигнала в унифицированный аналоговый и затем в цифровой.

Наиболее перспективным направлением является использование датчиков с унифицированным цифровым выходным сигналом, передаваемым по последовательному каналу (например, однопроводный интерфейс 1-Wire). Это позволяет значительно упростить сопряжение их с микроконтроллером.

Количество выпускаемых промышленностью датчиков с последовательным выходом невелико. К тому же большинство таких датчиков имеет диапазоны измеряемых параметров, не удовлетворяющие техническим требованиям объекта управления. Номенклатура датчиков может быть расширена за счет использования универсальных преобразователей аналогового сигнала в стандартный цифровой.

При реализации системы автоматического управления основными критериями являются: функциональные возможности системы; количество контролируемых па-

раметров; стоимость; быстродействие; надежность; габаритные размеры.

К функциональным возможностям относится контроль различных технологических параметров, установка датчиков в любой точке технологического оборудования на большом удалении от микроконтроллера (в пределах цеха или всего предприятия). Возможность оперативно просматривать полученную информацию с целью определения ее достоверности (наличие обрыва в линиях связи датчиков и т.д.). Способность накапливать информацию о контролируемых параметрах в энергонезависимой памяти и передавать на более высокий уровень для дальнейшей обработки и анализа.

Система контроля может использоваться автономно или встраиваться в технологическое оборудование, что предъявляет жесткие требования к надежности и габаритам. Повышение надежности обеспечивается реализацией системы на основе законченных функциональных модулей.

Для реализации подобной системы, обеспечивающей предъявленные требования, целесообразно использование микропроцессорных средств на базе однокристальных микроконтроллеров (например, АТМega32).

Однокристальные микроконтроллеры представляют собой программно управляемые функционально законченные устройства, содержащие на кристалле все необходимые узлы для построения систем контроля и управления. Основными уст-

ройствами, входящими в типовой одно-кристалльный микроконтроллер являются следующие устройства: арифметико-логическое устройство (АЛУ); устройство управления; регистры общего назначения; генератор тактовых импульсов; память программ; память данных; порты ввода-вывода; устройство для задания и измерения временных сигналов (таймеры), аналого-цифровой преобразователь, широтно-импульсный модулятор и т.д.

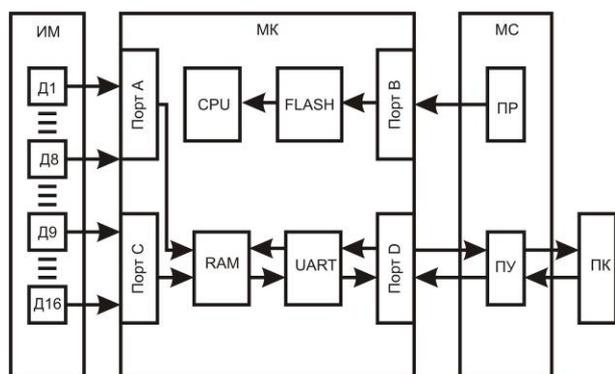


Рис. 1

Структурная схема системы контроля (рис. 1) включает измерительный модуль (ИМ), микроконтроллер (МК), модуль связи (МС) и персональный компьютер (ПК). Измерительный модуль (ИМ) состоит из датчиков Д1–Д16. Микроконтроллер семейства AVR фирмы ATMEL имеет в составе центральный процессор (CPU), перепрограммируемую память программ (FLASH), регистры общего назначения (РОН), память данных (SRAM), универсальный асинхронный приемопередатчик (UART), таймер и порты ввода-вывода. Модуль связи (МС) состоит из программатора (ПП), преобразователя уровней логических сигналов (ПУ) из стандарта TTL в стандарт RS-485.

Система контроля реализуется в виде двух уровней: локального и центрального. Локальный уровень включает измерительный модуль и микроконтроллер. В качестве верхнего уровня выступает персональный компьютер. Модуль связи предназначен для преобразования уровня электрических сигналов и организации передачи информации на большие расстояния.

#### Технические характеристики системы:

Разрядность, бит	8;
Количество цифровых каналов	16;
Интерфейс с датчикам	1-Wire;
Интерфейс верхнего уровня	RS-485;
Частота опроса датчиков (16 каналов)	100 Гц;
Габаритные размеры локального модуля	100x80x40мм;
Ориентировочная стоимость локального модуля	1000 руб.

В случае, если по условиям эксплуатации технологического объекта невозможно выбрать готовый датчик с однопроводным интерфейсом 1-Wire, можно применить стандартный датчик со схемой сопряжения с 1-Wire интерфейсом.

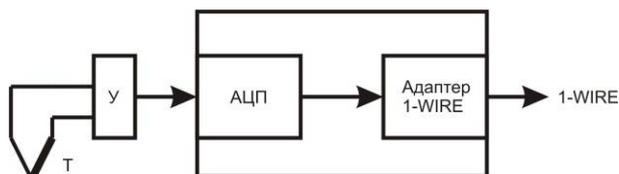


Рис. 2

На рис. 2 представлена схема для сопряжения термопары с интерфейсом 1-Wire. Сигнал с термопары (Т) поступает на вход специализированного усилителя сигнала термопары (У) AD594/595 (Analog Devices) с компенсацией холодного спая. Напряжение с выхода усилителя поступает на аналого-цифровой преобразователь DS2450 (Dallas Semiconductor), имеющий выход в стандарте 1-Wire. Данный подход применим и к системам, находящимся в эксплуатации и требующим модернизации.



Рис. 3

Схема алгоритма микропроцессорной системы контроля представлена на рис. 3. Приведем краткое описание алгоритма. После включения системы осуществляется инициализация (начальная установка) параметров системы: настройка портов ввода-вывода, указателя стека, таймера и UART. Определяется количество датчиков, частота дискретизации (частота опроса датчиков) и производится ввод данных. На локальном уровне выполняется предварительная обработка данных и сохранение их в оперативном запоминающем устройстве

SRAM. Модуль передает информацию на верхний уровень (персональный компьютер). Данная процедура поочередно выполняется для всех датчиков.

На верхнем уровне микропроцессорной системы осуществляется накопление полученной информации, окончательная обработка, архивирование и отображение результатов на экране персонального компьютера.

Предлагаемая микропроцессорная система является универсальной системой контроля технологических параметров, которая может быть адаптирована к использованию на различных промышленных производствах.

Авторами был создан макет системы контроля температуры на базе однокристалльного микроконтроллера ATmega32-16PI. В качестве датчиков применены датчики температуры DS18B20, имеющие интерфейс 1-Wire. Макет микропроцессорной системы прошел успешные испытания в лабораторных условиях и система может быть рекомендована к использованию в промышленности.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 25.12.06.

УДК 677.057.4: 681.3

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛЮСОВКЕ КРАСИЛЬНОЙ МАШИНЫ

*Д.А.ШУРЫГИН*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Способы непрерывного крашения тканей – как наиболее производительные – получили широкое распространение, особенно в хлопчатобумажной, льняной и шелковой промышленности [1]. Наиболее распространенными машинами непрерывных процессов крашения тканей являются плюсовки, предназначенные для пропитывания ткани красильными растворами и равномерного отжима по ширине полотна.

Показатели качества крашения (цветовой тон, ровнота и прочность окраски) зависят от целого ряда факторов. Одним из важнейших факторов является температура красильного раствора, точность поддержания которой существенно влияет на качество крашения [2]. Заданная температура раствора в зависимости от применяемых красителей может лежать в диапазоне 50...90°C (например, при крашении кубо-

золями, прямыми и азокрасителями), а требуемая точность ее поддержания может составлять 2°C.

Для стабилизации температуры с заданной точностью применяются автоматические регуляторы, реализующие один из известных непрерывных законов регулирования, чаще всего пропорционально-интегральный (или ПИ-закон), позволяющий добиваться не только отсутствия статической ошибки, но и, как правило, удовлетворительного качества переходных процессов. Нагрев раствора осуществляется глухим паром, подаваемым в змеевик плюсовки.

Кроме регулирования температуры непрерывно осуществляется и регулирование уровня раствора в плюсовке путем долива красильного раствора, компенсирующего его унос окрашиваемой тканью. По данному параметру процесса реализуется двухпозиционное регулирование, суть которого состоит в том, что при достижении уровнем раствора нижнего допустимого значения открывается клапан долива раствора из бака хранения, а при достижении верхнего допустимого значения клапан закрывается. Поскольку доливаемый раствор имеет комнатную температуру, его периодическая подача в плюсовку является существенным возмущением для системы регулирования температуры плюсовочного раствора и значительно осложняет ее работу в части обеспечения требуемой точности регулирования.

Для исследования динамики совместного регулирования температуры и уровня плюсовочного раствора было осуществлено численное моделирование процессов на базе математической модели плюсовки ПД-1 с ванной объемом 40 л при крашении тканей с поверхностной плотностью от 70 до 800 г/м<sup>2</sup> со скоростью от 40 до 160 м/мин. Математическая модель базировалась на исходном уравнении объекта регулирования температуры в виде:

$$C_0 \frac{dT}{dt} = Q_1 - Q_2 - f, \quad (1)$$

где  $C_0$  – теплоемкость объекта, Дж/К;  $T$  –

температура раствора, °С;  $t$  – время, с;  $Q_1$  – подача тепла, Вт;  $Q_2$  – потребление тепла, Вт;  $f$  – возмущение от долива красильного раствора, Вт.

Подача тепла определяется интенсивностью подачи пара в змеевик плюсовки. Потребление тепла определяется теплоотдачей в окружающую среду и уносом нагретого красильного раствора тканью. Таким образом:

$$Q_2 = \alpha F(T - T_0) + c_1 G m (T - T_0), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $F$  – площадь поверхности теплоотдачи, м<sup>2</sup>;  $T_0$  – температура окружающей среды, °С;  $c_1$  – удельная теплоемкость раствора, Дж/кг·К;  $G$  – массовый расход ткани, кг/с;  $m$  – разность абсолютной влажности ткани на входе и выходе плюсовки.

Уравнение регулятора температуры, реализующего ПИ - закон регулирования, имеет вид:

$$Q_1 = k_1 (T_1 - T) + k_2 \int (T_1 - T) dt, \quad (3)$$

где  $T_1$  – заданная температура,  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты настройки пропорциональной и интегральной составляющих соответственно.

Кроме того, учтена инерционность датчика температуры (терморезистора ТМ 9201) и запаздывание в объекте регулирования, вызванное распределенностью его параметров.

Для рассматриваемой плюсовки определены следующие параметры математической модели:  $C_0 = 340000$  Дж/К;  $\alpha = 40$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $F = 1,4$  м<sup>2</sup>;  $c_1 = 4200$  Дж/кг·К;  $G = 0,224$  кг/с (при скорости ткани 160 м/мин и плотности 70 г/м<sup>2</sup>);  $m = 1$ . Инерционность датчика температуры 40 с, запаздывание в объекте 10 с.

При отсутствии возмущений, вызванных доливом красильного раствора, определены параметры настройки регулятора:  $k_1 = 400$  Вт/К,  $k_2 = 2$  Вт/с·К. При этом статическая ошибка отсутствует, а максимальная динамическая ошибка при изменении задания на 10°C не превышает 2°C. Время переходного процесса составляет 300 с.

Оценка возмущения выполнена при условии, что ширина "коридора" регулирования уровня раствора составляет 1 см. Для обеспечения симметричности автоколебаний уровня принято условие: интенсивность долива раствора вдвое превышает интенсивность его уноса тканью. При принятых параметрах  $G$  и  $m$  интенсивность уноса раствора составляет 0,224 л/с, значит долив следует осуществлять с интенсивностью около 0,45 л/с. При площади "зеркала" раствора 0,52 м<sup>2</sup> объем каждого долива составляет 5,2 л, следовательно, время долива 12 с. Такое же время составляет интервал между доливками. Во время долива тепловое возмущение, наносимое объекту при температуре красильного раствора в плюсовке 70°C, составляет 47 кВт, (максимальная мощность нагрева 200 кВт принята с учетом возможного диапазона возмущений). Моделирование показало, что при этом колебания температуры раствора, вызванные возмущением, лежат в пределах 7°C. Зависимость температуры от времени при ПИ-законе регулирования приведена на рис.1.

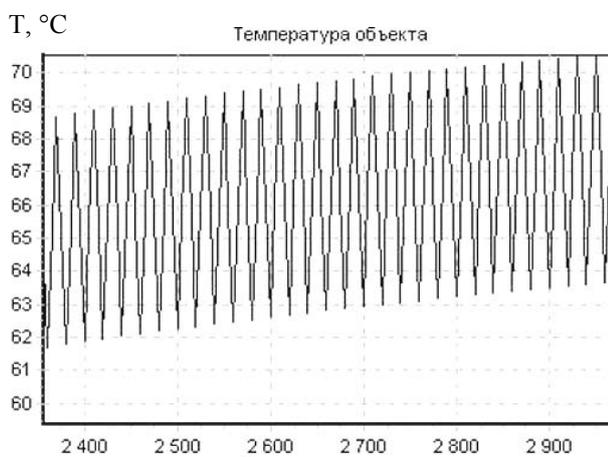


Рис. 1

Радикальным способом повышения точности регулирования температуры красильного раствора в рассматриваемом случае является введение в закон регулирования воздействия по возмущению. При этом уравнение регулятора приобретает вид:

$$Q_1 = k_1 (T_1 - T) + k_2 \int (T_1 - T) dt + k_3 f, \quad (4)$$

где  $k_3$  – параметр настройки воздействия по возмущению,  $f$  – ожидаемое возмущение от долива красильного раствора. Параметр  $k_3$  принимает значение 1 при открытом клапане долива раствора и 0 – при закрытом клапане. Величина  $f$  оценивается так:

$$f = 2 c_1 V x p m (T_1 - T_0), \quad (5)$$

где  $V$  – линейная скорость ткани; м/с;  $x$  – ширина ткани, м;  $p$  – плотность ткани, кг/м<sup>2</sup>.

Реализация такого варианта закона регулирования не представляет труда, особенно при использовании микропроцессорных регуляторов, широко применяемых на практике в настоящее время. В этом случае максимальные колебания температуры, вызванные действием периодических возмущений от долива красильного раствора, составили 0,7°C даже в условиях, когда ожидаемое возмущение определено с погрешностью 10%. Зависимость температуры от времени при наличии воздействия по возмущению показана на рис.2.

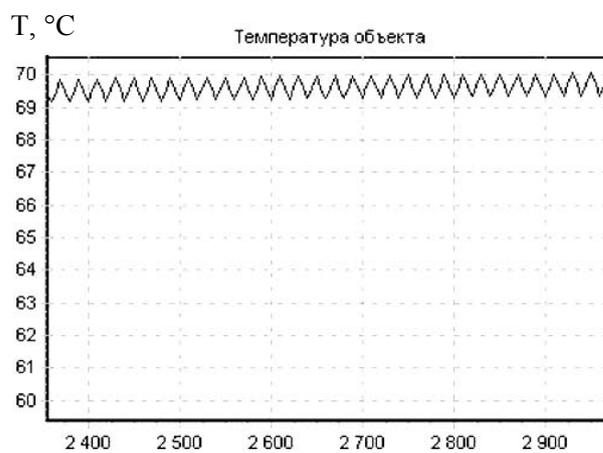


Рис. 2

Программное обеспечение, разработанное в среде C++Builder, позволяет эффективно исследовать процессы совместного регулирования температуры и уровня красильного раствора и в плюсовках другого типа, определять настройки регуляторов, обеспечивающих требуемое качество процессов. Пульт управления программой показан на рис.3.

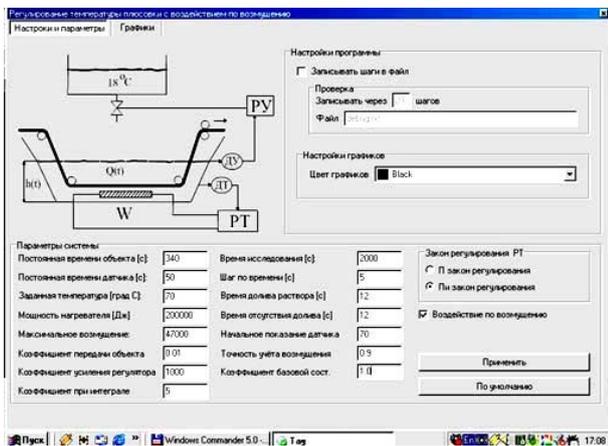


Рис. 3

## ВЫВОДЫ

1. Двухпозиционное регулирование уровня красильного раствора в плюсовке, осуществляемое совместно с непрерывным регулированием его температуры, создает тепловые возмущения, существенно снижающие точность стабилизации температуры.

2. Предложенное введение воздействия по возмущению в закон регулирования температуры позволило для исследуемой плюсовки уменьшить диапазон колебаний температуры в 10 раз, конкретно с 7 до 0,7°C. Результаты получены с помощью численного моделирования процесса, выполненного с помощью программы, разработанной в среде C++Builder и пригодной для исследования описанных процессов в плюсовках другого типа и при других параметрах крашения тканей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бельцов В.М. Оборудование текстильных отделочных предприятий: Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб., СПГУТД. 2001.
2. Отделка хлопчатобумажных тканей. В 20-х ч. Ч.1. Технология и ассортимент хлопчатобумажных тканей: Справочник / Под ред. Б.Н. Мельникова. – М.: Легпромбытиздат, 1991.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 25.12.06.

УДК 628.16

## СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ И СБРОСА В СТОКИ ХЛОРИДОВ В ПРОЦЕССАХ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

*С.А. КЛЮЕВ, П.П. ВЛАСОВ, В.П. ПАНОВ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В современной технологии умягчения воды, широко используемой на предприятиях текстильной промышленности, применяют Na-катионитовые фильтры, позволяющие практически полностью удалить из воды соли жесткости, то есть исключить возможность их влияния на качество продукции [1]. Эксплуатация таких фильтров требует использования 8...12%-ных растворов хлорида натрия в качестве регенерирующего агента. Как показывает практика, отработанные регенерационные растворы (ОРР) содержат 75...95 г/л хлорида натрия, которые сбрасываются в природные водоемы либо в сточные воды. Рекуперация и повторное использование таких растворов позволит снизить нагрузку на окружающую природную среду, экономить сырьевые и энергетические ресурсы

предприятия, а также уменьшить плату за сброс хлоридов.

Предлагают регенерировать отработанные регенерационные растворы известково-содовым способом [2], [3]. При такой обработке растворов не достигается полноты осаждения кальция и магния (остаточная жесткость на уровне 3...5 мг-экв/л), в том числе из-за высокого pH растворов после введения реагентов, что требует для повторного использования растворов NaCl нейтрализации их соляной кислотой [4].

Проведенные лабораторные исследования и опытно-промышленная проверка технологии регенерации ОРР показали возможность регенерации подобных растворов только содой. Технологическая схема опытно-промышленной установки представлена на рис.1.



Рис. 1

Наиболее концентрированная часть отработанного солевого раствора ( $\approx 10 \text{ м}^3$ ) с Na-катионитового фильтра 1 или 2 подавалась в емкость №3, где с помощью сжатого воздуха происходило перемешивание и усреднение. После заполнения емкости №3 проводился анализ суммарного содержания ионов кальция и магния для дальнейшего расчета эквивалентного количества раствора 7...9 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , необходимого для осаждения ионов, определяющих жесткость.

Часть усредненного и проанализированного ОРР хлорида натрия ( $V = 4 \text{ м}^3$ ) из емкости №3 перекачивалась в емкость №4 для проведения реакции осаждения при

подаче содового раствора в количествах 20...40 л/мин. Перемешивание обеспечивалось сжатым воздухом. По мере подачи эквивалентного или избыточного количества соды (50, 100, 150, 200% от стехиометрии на исходное количество ионов жесткости), необходимого для более полного осаждения карбоната кальция и гидроксокарбоната магния, проводился отбор проб и последующий анализ системы на содержание кальция, магния и хлорид-иона, а также определялась скорость отстаивания твердой фазы. Подача соды прекращалась при достижении ее концентрации 10...11 г/л. (табл. 1 – стадия введения реагента-осадителя в ОРР хлорида натрия).

Т а б л и ц а 1

Введение содового раствора, % от стехиометрического количества $\Sigma (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	$\text{Ж}_{\text{общ}}$ , мг-экв/л	$\text{Mg}^{2+}$ , мг-экв/л	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ , г/л	$\text{NaCl}$ , г/л	Примечание
Стадия введения реагента-осадителя в ОРР хлорида натрия					
Исходный ОРР хлорида натрия ( $V = 4 \text{ м}^3$ )	402	112	-	75	-
50	313	112	0,1	73	-
100	107	75	2,1	36	$V_{\text{осветл}} \approx 1 \text{ мм/с}$
150	80	51	5,3	61	$V_{\text{осветл}} \approx 1 \text{ мм/с}$
200	30	15	1,9	44	-

Оставшаяся часть ОРР хлорида натрия из емкости № 3 перекачивалась в емкость № 4, где проходил и процесс осаждения при снижении избыточной щелочности

(табл. 2 – стадия смешения рекуперированного раствора с исходным ОРР хлорида натрия).

Т а б л и ц а 2

Введение исходного ОРР на снижение щелочности, % от стехиометрического количества соды	$\text{Ж}_{\text{общ}}$ , мг-экв/л	$\text{Mg}^{2+}$ , мг-экв/л	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ , г/л	$\text{NaCl}$ , г/л	Примечание
Стадия смешения рекуперированного раствора с исходным ОРР хлорида натрия					
25	40	20	5,3	55	-
39	56	26	2,8	58	$V_{\text{осветл}} \approx 1 \text{ мм/с}$
47	66	35	2,9	61	$V_{\text{осветл}} \approx 1 \text{ мм/с}$
65	86	54	2,4	70	-
75	115	86	1,6	70	-

Наилучшие результаты по величинам показателей: щелочности, общей жесткости и концентрации хлорида натрия обеспечиваются при смешении двух частей ОРР – исходного и обработанного небольшим избытком соды, при котором данные показатели приобретают значения  $\text{Щ} = 2,8...2,9 \text{ г/л}$ ,  $\text{Ж}_{\text{общ}} = 56...66 \text{ мг-экв/л}$ ,  $C_{\text{NaCl}} = 58...61 \text{ г/л}$ .

Так как часть регенерационных растворов  $\text{NaCl}$  теряется со слабыми растворами, промывными водами, то по технологии водоподготовки на производстве для обеспечения необходимого количества регенерационного раствора вводится часть свежего раствора  $\text{NaCl}$ , вследствие чего приготовленный для регенерации Na-катионитовых фильтров раствор, обрабо-

танный предложенным методом, будет разбавляться. Жесткость снизится до 28...30 мг-экв/л. Следует отметить, что промышленные испытания проведены для условия умягчения исходной воды, в которой более четверти общей жесткости приходилось на ионы  $Mg^{2+}$ , что существенно усложняет процесс, из-за худшего осаждения гидрокарбоната магния, для осаждения которого требуются более высокие значения рН. Для вод, в которых относительное содержание магния меньше, эффективность процесса выше и можно обеспечить, при осаждении солей жестко-

сти, существенно меньшие значения остаточной жесткости.

В работе изучено влияние наличия примесей  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в регенерационном растворе NaCl на рабочую обменную емкость (РОЕ) Na- катионитового фильтра (табл. 3). Согласно экспериментальным данным наличие ионов кальция и магния с суммарной концентрацией до 64 мг-экв/л в регенерационных растворах NaCl практически не оказывает влияния на величину РОЕ – при использовании в качестве катионитов марок КУ-2-8, Lewatit, сульфурголь.

Т а б л и ц а 3

№ п/п	Суммарная концентрация $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$ в регенерационном растворе, мг-экв/л	РОЕ катионита, мг-экв/л	Потери РОЕ, %
1	0	1621	0
2	4	1618	0
3	8	1605	1
4	32	1589	2
5	64	1572	3
6	100	1443	11
7	200	1183	27

Полученные данные свидетельствуют о возможности регенерации Na-катионитовых фильтров растворами хлорида натрия, содержащими ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в технологии водоподготовки текстильных предприятий.

Таким образом, результаты проведенных исследований и практическая проверка метода в промышленных условиях свидетельствуют о возможности сокращения до 50...70% затрат хлорида натрия в процессах водоподготовки, сокращения сброса хлоридов со сточными водами при использовании для осаждения только соды. Образующийся осадок карбонатов может быть использован для нейтрализации кислых стоков или количественного наполнения композиционных материалов.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена технология рекуперации солевых растворов цехов водоподготовки с использованием для осаждения кальция и магния только соды, обеспечивающая высокую скорость осаждения твердой фазы, позволяющая сократить затраты NaCl до 50...70% и значительно уменьшить сброс

хлоридов в сточные воды.

2. Экспериментально доказана возможность регенерирования Na-катионитовых фильтров практически без потери обменной емкости солевыми растворами, содержащими до 64 мг-экв/л солей жесткости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Г.В. Водоснабжение предприятий текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1964.
2. А.с. 859311 СССР, МКИ А1, С02 F5/00. Способ обработки сточных вод натрий-катионитовых фильтров / Резников Ю.Н., Рогуленко И.Г., Гурковский И.М. и др. (СССР). – Оpubл. 1981
3. Патент РФ № 2205070, С 1, С02 F1/42. Способ обработки отработанных регенерационных растворов соли натрий-катионитовых фильтров /Амосова Е.Г., Долгополов П.И., Потапова Н.В. – Оpubл. 27.05.2003.
4. Ключев С.А., Панов В.П., Власов П.П. Экология и безопасность жизнедеятельности // Сб. мат. IV Междунар. научн.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2004. С.57.

Рекомендована кафедрой инженерной химии и промышленной экологии. Поступила 25.12.06.

## КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТРИКОТАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

*Р.Ф.ВИТКОВСКАЯ, А.Ю СМИРНОВ, М.В. ОРЛОВА, С.В. ПЕТРОВ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В результате несовершенства систем очистки сбросов и выбросов предприятий текстильной, кожевенной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности техногенные потоки от их источников оказывают значительную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Снижение эмиссии газовых и жидких сред этих предприятий остается актуальной задачей. Часто наиболее токсичные ингредиенты потоков являются химически активными веществами восстановительного характера. Это органические и неорганические сульфиды, сульфиты, некоторые красители, СПАВ, азотистые основания, другие органические и неорганические соединения. Многие из этих соединений могут быть обезврежены методом низкотемпературного жидкофазного каталитического окисления кислородом воздуха.

Перспективной основой для создания катализаторов, отвечающих необходимым требованиям, являются волокнистые материалы [1]. Волокна легки, прочны, позволяют создавать самые разнообразные тканые, трикотажные и нетканые формы. Как основа для катализатора целесообразны, в частности, объемные трикотажные сетки с регулярной структурой [2]. Подобные материалы легко создаются на типовом текстильном оборудовании, удобны в монтаже и эксплуатации, способствуют интенсификации гидродинамических режимов, тепло- и массообменных процессов в аппаратах.

Одним из вариантов может быть трикотажный материал, состоящий из инертных прочных полипропиленовых мононитей, в качестве каркаса, модифицированных полиакрилонитрильных (ПАН) комплексных нитей. Модификация, с целью придания полотну каталитических свойств, заключалась [3] в обработке волокнистого мате-

риала водными растворами: солей гидразина и гидроксилamina при повышенной температуре и соли металла переменной валентности. Взаимодействие нитрильных групп ПАН с гидразином и гидроксилaminом приводит к образованию азот- и кислородсодержащих групп кислого и основного характера, способных присоединять ионы переходных металлов и прочно удерживать их за счет солевых связей и комплексообразования. При этом материал приобретает каталитические свойства в различных жидкофазных окислительно-восстановительных реакциях [4...7]. Кроме того, присоединение гидразина к нитрильным группам приводит к образованию межмолекулярных сшивок, способствующих повышению стойкости материала к воздействию различных агрессивных сред и высоких температур. Для исследования скорости каталитического окисления на волокнистом катализаторе в качестве тестовых в работе были выбраны следующие реакции:

– окисление аминокислоты цистеина в цистин кислородом воздуха в 0,03М растворе, содержащем кроме этого 1 моль/л карбоната натрия для создания буферной щелочной (рН=10,5) среды;

– разложение пероксида водорода в 0,1М водном растворе (рН = 7);

– обесцвечивание антрахинонового красителя кислотный синий 45 в водном растворе с концентрацией 10 мг/л (рН = 3), соответствующей концентрации сточных вод красильно-отделочных предприятий, с окислителем пероксидом водорода.

Окислительные процессы изучались в проточном барботажном реакторе при соотношении каталитического материала к объему жидкости 1:10 при прочих равных условиях.

При изучении влияния состава модифицирующего раствора, температуры и времени модификации замечено, что в зависимости от условий реакции можно получать образцы различной степени сшивки, что сказывается на механических свойствах ПАН волокон, уменьшении длины ПАН нити при модификации, прочности связи полимер – металл и каталитической активности. При этом происходит усадка волокна, тем большая, чем более жесткие условия модификации. Одним из параметров, который может характеризовать степень межмолекулярной сшивки, является степень уменьшения длины ПАН нити при гидразингидратной обработке ( $\alpha = \ell_{исх} / \ell_{кон}$ , где  $\ell_{исх}$ ,  $\ell_{кон}$  – длина ПАН нити до обработки и после), поэтому он использован в качестве характеристики степени сшитости полимера. Прочность связи полимер – металл оценивалась путем выдерживания образца в 0,1 н растворе  $H_2SO_4$  в течение суток при  $30^\circ C$ . Количество металла (К), оставшегося на волокне в долях от исходного количества, использовалось как характеристика прочности закрепления металла на волокне.

Были изготовлены пять образцов материала с разной степенью межмолекулярной сшитости, содержащие в качестве каталитически активного компонента ионы трехвалентного железа в количестве 0,9 ммоль  $Fe^{3+}$ /грамм волокна.

Зависимость скоростей каталитических реакций (W) окисления цистеина, разложения пероксида, окисления красителя и прочности закрепления металла на волокне от степени уменьшения ( $\alpha$ ) показана на рис. 1 (зависимость свойств волокнистого катализатора от степени уменьшения длины волокна при модификации, где 1 – количество металла на волокне; 2 – скорость разложения пероксида; 3 – скорость окисления цистеина; 4 – скорость окисления красителя).

Полученные данные свидетельствуют, что, вероятно, с ростом количества азотсодержащих групп на волокне (и соответственно с ростом степени сшитости и линейной усадки) каталитическая активность образцов возрастает.

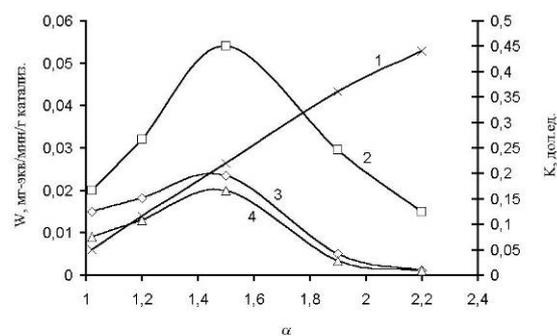


Рис. 1

Далее по мере возрастания межмолекулярных сшивок затрудняется проникновение субстрата в поры катализатора и, как следствие, каталитическая активность падает. Прочность закрепления ионов металла при этом возрастает за счет блокирования его в порах материала, но такие ионы металла мало доступны для реагентов, поэтому каталитическая активность образцов, модифицированных в более жестких условиях, уменьшается.

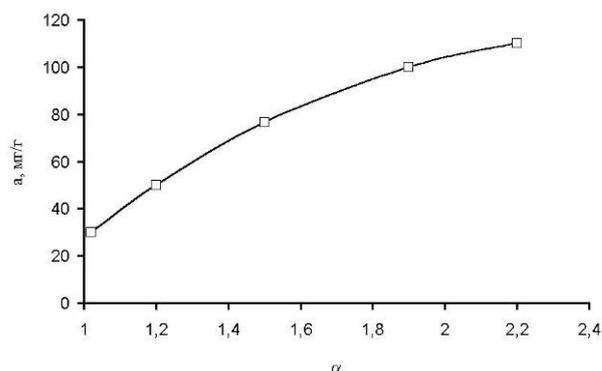


Рис. 2

Известно, что начальной стадией процесса катализа является сорбция субстрата на волокне. Поэтому представляет интерес величина сорбционной емкости красителя на волокнистом катализаторе. На рис. 2 (сорбционная емкость образцов катализатора по красителю кислотный синий 45) показана предельная сорбционная емкость (а), полученных образцов по красителю кислотный синий 45.

Из рисунка видно, что увеличение межмолекулярных сшивок ведет к росту сорбционной емкости ПАН волокна.

Таким образом, найдены условия, позволяющие на основе полиакрилонитрильных нитей получать эффективные каталитические системы для очистки сточных вод и газовых примесей от многих токсичных компонентов.

## ВЫВОДЫ

1. Исследован объемный трикотажный волокнистый материал, содержащий в своем составе полиакрилонитрильные комплексные нити с ионами  $Fe^{3+}$ , обладающие каталитической активностью.

2. Установлено влияние межмолекулярных сшивок ПАН волокна азотсодержащими основаниями гидразином и гидроксиламином на каталитическую активность, стабильность и механическую прочность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Витковская Р.Ф. и др. // Химические волокна. – № 3, 2003. С.26...29.
2. Kiwi-Minsker L. //Chimia – № 56 (4), 2002. P.159...163.
3. Пат. 2346569 UK, INT CL7 B 01 Y 35/06. Способ получения волокнистого катализатора / R.G. Linford (UK), R.H. Dahm (UK), K.D. Huddersman (UK), Р.Ф. Витковская (РФ) и др. – № 9930781.1 – заявл. 30.12.1998; опубл. 30.12.99.– Выдан патент 2002. – 3 р.
4. Копылова В. Д. Ионитные комплексы в катализе. – М.: Химия, 1987.
5. Полянский Н.Г. Иониты и катализ. – М.: Знание, 1976.
6. Полянский Н.Г. Катализ ионитами. – М.: Химия, 1973.
7. Помогайло А.Д. Полимерные иммобилизованные металлокомплексные катализаторы. – М.: Наука, 1988.

Рекомендована кафедрой инженерной химии и промышленной экологии. Поступила 25.12.06.

УДК 539.434:677.494

**МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***А.В. ДЕМИДОВ, А.Г. МАКАРОВ, А.Г. НОВОСЕЛОВА, А.М. СТАЛЕВИЧ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Разработка и совершенствование методов расчетного прогнозирования напряженно-деформированных состояний текстильных материалов в области действия неразрушающих механических воздействий обусловлено расширяющимся их применением в технических изделиях, а также неразрывно связано с задачами по сравнительному анализу свойств материалов, с исследованиями взаимосвязи свойств со структурой, с целенаправленным технологическим регулированием свойств, с прогнозированием кратковременных и длительных механических воздействий.

На изучаемые деформационные свойства текстильных материалов оказывают влияние температурные воздействия, а также уровни и длительности механических воздействий. Для сравнительного анализа и прогнозирования указанных свойств необходима разработка математической модели на основе физически обоснованного аналитического описания этих влияний. В этом направлении в ряде технологических вузов России ведутся работы по применению уравнений наследственной механики твердых деформируемых тел к различным полимерным материалам, включая текстильные материалы, в том числе синтетические нити, ткани, пряжу, ленты, жгуты и др. Различия в предлагаемых решениях этих задач объясняются их сложностью. Наибольшего внимания заслуживают те варианты решений, когда имеется физическая обоснованность выбранных уравнений в сочетании с минимумом количества используемых парамет-

ров. Следует заметить, что изучение механических свойств указанных материалов, проявляющихся в условиях эксплуатации, гораздо сложнее, чем измерение только лишь разрывных характеристик, которые далеки от объективной оценки свойств материала. Задача значительно усложняется, когда у текстильных материалов помимо вязкоупругих свойств проявляются также и пластические свойства, то есть появляется необратимый компонент деформации, которому также следует уделить особое внимание. Особую ценность имеет решение такой задачи для текстильных материалов, когда помимо сопоставления механических свойств материалов приходится также делать расчеты на условия эксплуатации изделий. Без измерений таких простых процессов как ползучесть, релаксация и восстановление такую задачу решить невозможно. Именно поэтому у материаловедческих лабораторий имеются определенные преимущества по отношению к теоретическим разработкам.

В настоящее время широкое разнообразие текстильных материалов и большой объем накопленных экспериментов доказывают необходимость как разработки новых методов исследования их деформационных свойств, так и создания на этой основе практических методик. Появление новых текстильных материалов с различными вязкоупругими свойствами обосновывает поиск новых математических моделей указанных свойств и применение для исследований компьютерных методов обработки экспериментальной информации. Создание

новых методов исследования механических свойств текстильных материалов способствует наиболее достоверному прогнозированию деформационных процессов.

Для исследования деформационных

свойств текстильных материалов, наряду с традиционными моделями [1], предлагаются математические модели релаксации (изменение во времени напряжения  $\sigma$ , зависящего от деформации  $\varepsilon$ ):

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0 \varepsilon - \frac{E_0 - E_\infty}{2} \varepsilon \left( \ell + \text{th} \pi \left( \frac{A_s}{2} \ln \left( \frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \right) \quad (1)$$

и ползучести (изменение во времени де-

формации  $\varepsilon$ , зависящей от напряжения  $\sigma$ )

$$\varepsilon(\sigma, t) = \frac{\sigma}{E_0} + \frac{E_0 - E_\infty}{2E_0E_\infty} \sigma \left( \ell + \text{th} \pi \left( \frac{A_s}{2} \ln \left( \frac{t}{\tau(\sigma)} \right) \right) \right), \quad (2)$$

где  $t$  – время;  $E_0$  – модуль упругости;  $E_\infty$  – модуль вязкоупругости;  $\tau(\varepsilon)$  – время релаксации (как функция деформации);  $\tau(\sigma)$  – время запаздывания (как функция напряжения).

Несомненным достоинством моделей (1) и (2) является то, что они содержат минимальное число параметров, имеющих определенный физический смысл [2]:

–  $E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon}$  – модуль упругости,

характеризующий квазимгновенное значение релаксирующего модуля

$E(\varepsilon, t) = \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon}$ , то есть его значение в начале процесса релаксации;

–  $E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sigma(\varepsilon, t)}{\varepsilon}$  – модуль вязкоуп-

ругости, характеризующий квазиравновесное значение релаксирующего модуля, то есть его значение в конце процесса релаксации;

– структурные параметры  $A_\varepsilon$  и  $A_\sigma$ , характеризующие скорость (интенсивность)

процессов релаксации и ползучести;

– время релаксации  $\tau(\varepsilon)$ , характеризующее время прохождения половины процесса релаксации при заданном значении деформации  $\varepsilon$ ;

– время запаздывания  $\tau(\sigma)$ , характеризующее время прохождения половины процесса ползучести при заданном значении напряжения  $\sigma$ .

Другим достоинством предлагаемых моделей релаксации (1) и ползучести (2)

является то, что производные  $\frac{\partial \sigma(\varepsilon, t)}{\partial \ln(t/\tau(\varepsilon))}$

и  $\frac{\partial \sigma(\sigma, t)}{\partial \ln(t/\tau(\sigma))}$  рекуррентным образом вы-

ражаются через параметры модели [3], что оптимальным образом сказывается как на упрощении дальнейших аналитических преобразований, так и на повышении точности определения вязкоупругих параметров-характеристик и, как следствие, на повышении достоверности прогнозирования деформационных процессов:

$$\frac{\partial \sigma(\varepsilon, t)}{\partial \ln(t/\tau(\varepsilon))} = -(E_0 - E_\infty) \varepsilon A_\varepsilon \varphi(\varepsilon, t) (1 - \varphi(\varepsilon, t)), \quad (3)$$

$$\frac{\partial \sigma(\sigma, t)}{\partial \ln(t/\tau(\sigma))} = \frac{E_0 - E_\infty}{E_0 E_\infty} \sigma A_\sigma \varphi(\sigma, t) (1 - \varphi(\sigma, t)), \quad (4)$$

$$\text{где } \varphi(\varepsilon, t) = \frac{1}{2} \left( \ell + \text{th} \left( \frac{A_\varepsilon}{2} \ln \left( \frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \right) \quad (5)$$

– функция релаксации;

$$\varphi(\sigma, t) = \frac{1}{2} \left( \ell + \text{th} \left( \frac{A_\sigma}{2} \ln \left( \frac{t}{\tau(\sigma)} \right) \right) \right) \quad (6)$$

– функция запаздывания, что упрощает аналитические преобразования.

Математические модели релаксации и ползучести (1), (2) с нормированной функцией в виде гиперболического тангенса (5), (6), кроме вышесказанного, имеют преимущество перед другими известными математическими моделями при прогнозировании быстротекущих деформационных процессов. Данное обстоятельство вытекает из достаточно быстрой сходимости функций (5) и (6) к своим асимптотическим значениям по сравнению с другими известными математическими моделями и подтверждено сравнением расчетного прогнозирования с экспериментальными данными [4].

Следует заметить, что выбор аналогов нормированных функций (5), (6) для моделей механических свойств полимерных материалов осложняется тем, что нельзя априорно отдать предпочтение какой-то из них. Основным критерием для отбора служит эксперимент. Наличие нескольких нормированных функций для моделирования позволяет сделать оптимальный выбор

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E_0} \sigma(t) + \frac{E_0 - E_\infty}{E_0 E_\infty} \frac{A_\sigma}{4} \int_0^t \sigma(t-\theta) \left( 1 - \text{th}^2 \left( \frac{A_\sigma}{2} \ln \frac{\theta}{\tau(\sigma)} \right) \right) \frac{1}{\theta} d\theta. \quad (10)$$

Аналогично учет коэффициента обратимости при прогнозировании процесса релаксации проводится по формуле

$$\sigma_{\text{прог}} = \eta \sigma(t) + (1 - \eta) E_0 \varepsilon(t), \quad (11)$$

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) - (E_0 - E_\infty) \frac{A_\varepsilon}{4} \int_0^t \varepsilon(t-\theta) \left( 1 - \text{th}^2 \left( \frac{A_\varepsilon}{2} \ln \frac{\theta}{\tau(\varepsilon)} \right) \right) \frac{1}{\theta} d\theta. \quad (12)$$

и тем самым повысить надежность прогнозирования.

При прогнозировании деформационных процессов на основе известных интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра [5] следует учитывать пластическую компоненту деформации  $\varepsilon_{\text{пл}}$  в виде введения в определяющие уравнения вязкоупругости коэффициента обратимости деформации  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\varepsilon_{\text{полн}} - \varepsilon_{\text{ост}}}{\varepsilon_{\text{полн}}}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \varepsilon_{\text{полн}} (1 - \eta), \quad (8)$$

где  $\varepsilon_{\text{полн}}$  – значение полной деформации, то есть перед снятием нагрузки;  $\varepsilon_{\text{ост}}$  – значение остаточной деформации, то есть после снятия нагрузки.

Коэффициент обратимости деформации  $\eta$  определяется экспериментально по деформационно-восстановительному процессу на основе соотношения (8), которое получается из (7).

Учет коэффициента обратимости деформации при прогнозировании процесса ползучести приводит к расчетной формуле для деформации:

$$\varepsilon_{\text{прог}} = (1 - \eta) \varepsilon_{\text{полн}} + \eta \varepsilon(t), \quad (9)$$

где  $\varepsilon_{\text{прог}}$  – прогнозируемое значение деформации;  $\varepsilon(t)$  – значение деформации, вычисленное по формуле

где  $\sigma_{\text{прог}}$  – прогнозируемое значение напряжения;  $\sigma(t)$  – значение напряжения, вычисленное по формуле

В качестве сложного режима нагружения рассматривались деформационные процессы, происходящие после квазимгновенного изменения нагрузки.

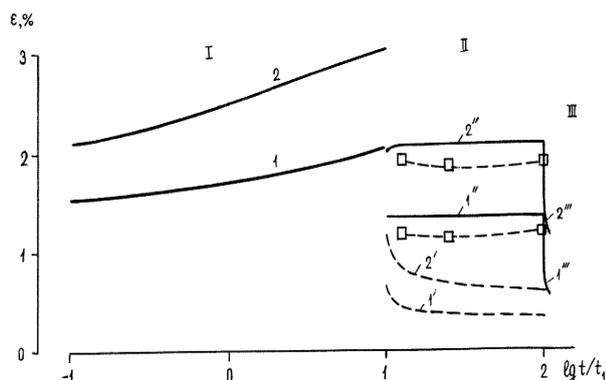


Рис. 1

На рис.1 (деформационно-восстановительный процесс (1; 2) крученой полиэфирной нити с полным разгрузением (1'; 2') и со ступенчатым разгрузением: (1''; 2'') – снятие половинной нагрузки; (1'''; 2''') – полное снятие нагрузки,  $T=40^{\circ}\text{C}$ . Напряжение: 121 МПа (1), 146 МПа (2); 0 МПа (1'; 2'); 60,5 МПа (1''), 73 МПа (2''); 0 МПа (1'''; 2'''). □ – расчет точек линий 1'', 2''') приведены два варианта такого изменения: деформационно-восстановительный процесс с полным разгрузением и деформационно-восстановительный процесс с частичным разгрузением. Расчет указанных процессов проводится по формулам (9), (10).

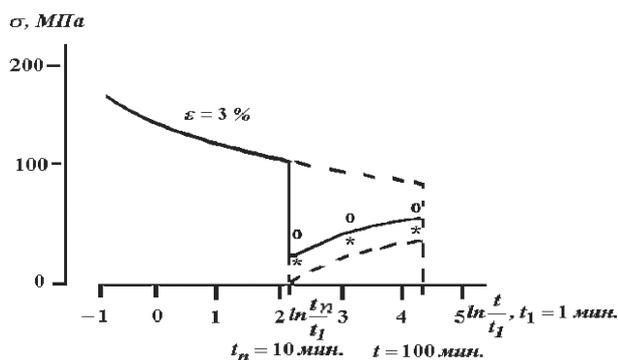


Рис. 2

Аналогично рассматривался сложный режим обратной релаксации, расчет которого проводится по формулам (11), (12). На рис.2 (процесс обратной релаксации

крученой полиэфирной нити с полным разгрузением (---) и со снятием половинной нагрузки (—),  $T=40^{\circ}\text{C}$ . \* – расчет процесса с полным разгрузением; o – расчет процесса с половинной разгрузкой) приведен пример такого процесса с полной и с половинной разгрузкой.

Точность прогнозирования, как простых (при  $\sigma=\text{const}$  или  $\varepsilon=\text{const}$ ), так и сложных (при  $\sigma\neq\text{const}$  или  $\varepsilon\neq\text{const}$ ) деформационных процессов, зависит не только от надежности определения вязкоупругих характеристик и от выбора соответствующей математической модели релаксации или ползучести, но и от способа вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов, входящих в формулы (10) и (12), обладающих сингулярной особенностью [6]. Предлагается несколько вариантов вычисления указанных несобственных интегралов, отличающихся друг от друга способами разбиения временной шкалы с учетом специфики прогнозируемого процесса и приводящих к оптимизации вычислительного процесса. Например, учитывается, что при прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса, а при прогнозировании длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, целесообразно разбиение временной шкалы по убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий.

В рамках предложенной математической модели релаксации (11), (12) предлагаются методики выделения энергетических компонент – упругой и вязкоупруго-пластической составляющих механической работы деформирования.

Выделение вышеуказанных энергетических компонент важно, например, при оценке эксплуатационных свойств материала. Чем большее значение имеет упру-

гая компонента по сравнению с вязкоупруго-пластической, тем материал более износостойкий. И, наоборот, материалы с преобладанием вязкоупругопластической энергетической компоненты целесообразно использовать, например, при конструировании ударозащитных конструкций, где важна способность материала гасить вредные ударные воздействия, а сохранение

формы материала не столь важно.

Разработаны методики оптимального выбора математической модели из предложенных вариантов. Оптимизация такого выбора основана на применении интегральных критериев релаксации и ползучести, полученных из уравнений нелинейно-наследственной вязкоупругости (10), (12):

$$\left| E_0 D(\sigma, t) + \int_0^t D(\sigma, t - \theta) \frac{\partial E(\varepsilon, \theta)}{\partial \theta} d\theta - 1 \right| \rightarrow \min, \quad (13)$$

$$\left| D_0 E(\varepsilon, t) + \int_0^t E(\varepsilon, t - \theta) \frac{\partial D(\sigma, \theta)}{\partial \theta} d\theta - 1 \right| \rightarrow \min. \quad (14)$$

Чем удачнее выбор интегральных ядер, тем меньше отклонение функций:

$$\chi \left( \ln \frac{t}{\tau(\sigma)} \right) = E_0 D(\sigma, t) + \int_0^t D(\sigma, t - \theta) \frac{\partial E(\varepsilon, \theta)}{\partial \theta} d\theta, \quad (15)$$

$$\chi \left( \ln \frac{t}{\tau(\varepsilon)} \right) = D_0 E(\varepsilon, t) + \int_0^t E(\varepsilon, t - \theta) \frac{\partial D(\sigma, \theta)}{\partial \theta} d\theta, \quad (16)$$

от "единицы":

Критерии оптимальности выбора математической модели вязкоупругости (13), (14) можно использовать для численного нахождения оптимального ядра релаксации по заданному ядру запаздывания и наоборот, нахождению оптимального ядра запаздывания по заданному ядру релаксации [6].

Данная задача для случая нелинейной вязкоупругости в аналитическом виде не решена. Сложность решения указанной задачи при нелинейности вязкоупругих свойств полимерных материалов объясняется необходимостью учета активирующего влияния приложенной деформации и нагрузки на времена релаксации и запаздывания. Указанное влияние зависит от многих факторов – компонентного состава, внутренней структуры полимерных материалов, температуры и т.д. Учет активирующего влияния деформации и нагрузки на ускорение процессов релаксации и ползучести возможен только при компьютерной обработке экспериментальных данных.

Условия (13), (14) позволяют также контролировать степень точности определения вязкоупругих параметров-характеристик и степень надежности прогнозирования деформационных процессов. Рассмотренные критерии могут также использоваться для подтверждения достоверности определения среднестатистических времен релаксации и запаздывания, которые не подлежат непосредственному определению из эксперимента, а определяются только как параметры модели.

Времена релаксации и запаздывания характеризуют времена перехода релаксирующих или запаздывающих частиц из одного устойчивого состояния в другое. Характер таких переходов может быть различным и обусловлен, как строением полимера, так и величиной приложенной деформации или нагрузки. В одних случаях он объясняется конформационными переходами внутри макромолекулы полимера, когда меняется ее форма. В других случаях – происходят сдвиги макромолекул друг относительно друга и т.д.

Для построения обоснованной математической модели механических свойств текстильных материалов полезно иметь представление о спектрах релаксации  $\bar{N}$  и запаздывания  $\bar{Q}$ , то есть о распределениях релаксирующих или запаздывающих частиц по собственным временам релаксации или запаздывания [6]. Форма спектров релаксации и запаздывания для случая мате-

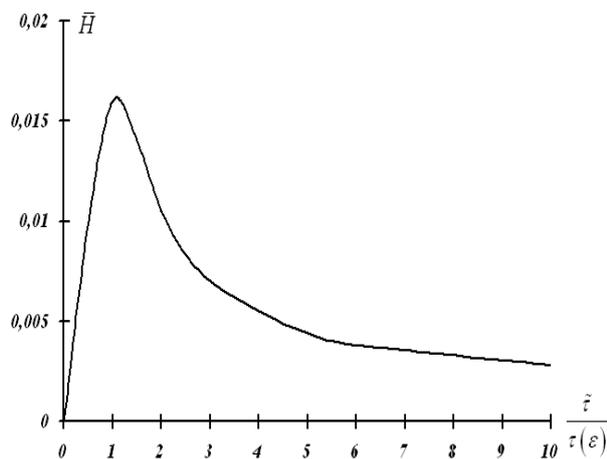


Рис. 3

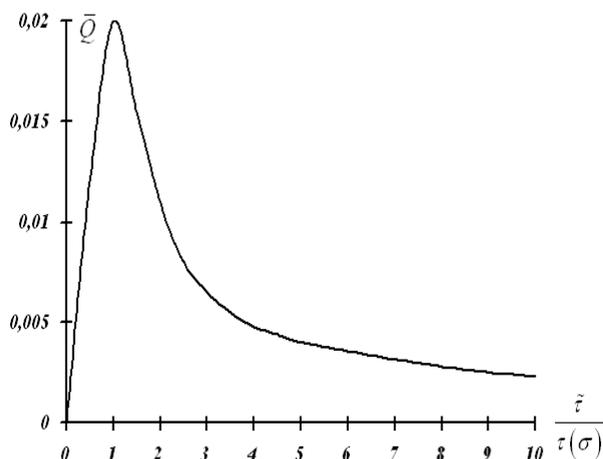


Рис. 4

Следует заметить, что в первом приближении спектры времен релаксации  $\bar{N}_1$  и времен запаздывания  $\bar{Q}_1$  представляют собой производные по логарифмическо-временной шкале от нормированных функций релаксации (5) и запаздывания (6) соответственно, то есть с учетом формул (3), (4), получаем

$$\bar{N}_1 = A_\varepsilon \varphi_{\varepsilon t} (1 - \varphi_{\varepsilon t}) \Big|_{t=\tilde{\tau}}, \quad (17)$$

$$\bar{Q}_1 = A_\sigma \varphi_{\sigma t} (1 - \varphi_{\sigma t}) \Big|_{t=\tilde{\tau}}. \quad (18)$$

Имея представление о форме спектров релаксации и запаздывания, можно интегрированием получить соответствующую нормированную функцию – основу математической модели вязкоупругих свойств.

Для последующих приближений спектров релаксации  $\bar{N}_k$  и запаздывания  $\bar{Q}_k$  была получена рекуррентная формула, а в ходе исследования было показано, что приближения спектров достаточно быстро сходятся к своим предельным значениям

математической модели (1), (2) определяется соответственно структурными коэффициентами  $A_\varepsilon$  и  $A_\sigma$ . Например, спектры релаксации и запаздывания крученной полиэфирной нити показаны на рис.3 – форма спектра времен релаксации крученной полиэфирной нити,  $T=40^\circ\text{C}$  и рис. 4 – форма спектра времен запаздывания крученной полиэфирной нити,  $T=40^\circ\text{C}$ .

$\bar{N}$  и  $\bar{Q}$  соответственно, что характеризует устойчивость выбранной математической модели вязкоупругости на основе гиперболического тангенса.

Показано, что формы спектров времен релаксации и времен запаздывания характеризуются параметрами интенсивности  $A_\varepsilon$  – для процесса релаксации и  $A_\sigma$  – для процесса ползучести.

Разработанные методики носят универсальный характер, они применимы не только для исследования деформационных свойств текстильных материалов, но и более широкого класса полимеров, например, материалов, применяемых в легкой промышленности и в других отраслях техники.

## ВЫВОДЫ

1. Предлагается критерий оптимального выбора нормированной функции – основы математической модели вязкоупругих свойств полимерных материалов в зоне неразрушающих механических воздей-

ствий, позволяющей наиболее достоверно описывать деформационные процессы.

2. Разработаны методики определения вязкоупругих характеристик и расчетного прогнозирования кратковременных и длительных деформационных процессов полимерных материалов на основе математической модели с нормированной функцией гиперболический тангенс, оптимально учитывающие характер нелинейности процесса.

3. Предлагаются методики расчета упругой и вязкоупругопластической энергетической компоненты механической работы деформирования.

4. Разработаны методики учета необратимого псевдопластического компонента деформации, повышающие надежность прогнозирования сложных режимов деформирования полимерных материалов.

5. В рамках построенной математической модели деформационных свойств полимерных материалов на основе гиперболического тангенса разработаны методики определения спектров времен релаксации и запаздывания.

6. Разработанные методики определения вязкоупругих параметров-характеристик и прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов позволяют решать задачи технологической направленности по отбору материалов, обладающих оптимальными характеристиками с точки зрения эксплуатационных свойств.

7. Применение разработанных методик прогнозирования нелинейно-наследственной вязкоупругости к большой группе полимерных материалов позволяет сделать вывод об универсальности построенной теории и разработанных методик, а также рекомендовать их использование в материаловедческих исследованиях для изучения вязкоупругих свойств широкого круга перспективных полимерных материалов технического назначения в различных отраслях народного хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Сталевич А.М.* Деформирование ориентированных полимеров. – С.-Пб.: Изд-во СПГУТД, 2002.
2. *Демидов А.В.* Оптимизация методов спектрального моделирования деформационных процессов полимеров. – С.-Пб.: Изд-во СПГУТД, 2006.
3. *Макаров А.Г.* Прогнозирование деформационных процессов в текстильных материалах. – С.-Пб.: Изд-во СПГУТД, 2002.
4. *Макаров А.Г.* Математические методы анализа физико-механических свойств материалов легкой промышленности. – С.-Пб.: Изд-во СПГУТД, 2002.
5. *Демидов А.В.* Математическое моделирование механических свойств полимеров//Изв. Междунар. акад. наук высшей школы. – 2006, № 3 (37). С.200...205.
6. *Демидов А.В., Макаров А.Г.* Методы математического моделирования механических свойств полимеров. – С.-Пб.: Изд-во СПГУТД, 2007.

Рекомендована кафедрой математики. Поступила 25.12.06.

УДК 658.52.011.56:677.074

#### **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИБОРОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕКОСА УТКА**

*В.Е. ЗАЙЦЕВ, В.Я. ЭНТИН, В.А. КЛИМОВ*

**(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

В производстве тканых материалов существует необходимость автоматического обнаружения перекоса уточных нитей. Наиболее перспективными первичными преобразователями информации являются

матричные фотоприборы с зарядовой связью (ФПЗС). В [1] описан координатный алгоритм обработки информации, поступающей с матричного ФПЗС датчика. На тканях с некоторыми типами сложных пе-

реплетений лучшими результатами обладают алгоритмы, построенные на спектральной обработке исходной информации.

Как отмечалось в [1], полезная составляющая сигнала  $E_j(i)$  (сигнал от строки  $j$  матрицы ФПЗС), несущая информацию о координатах расположения уточных нитей, по форме близка к гармоническому колебательному процессу с периодом  $T_H$  (период расположения нитей). Максимумы положительных полуволн сигнала  $E_j(i)$  соответствуют координатам уточных нитей ткани.

Очевидно, что среднее смещение уточных нитей вдоль направления осей  $x_j$  на величине межстрочного расстояния  $T_{ду}$  определяет приращение начальных фаз полезных составляющих сигнала  $E_j(i)$  на смежных осях  $x_j$  и  $x_{j+1}$  (оси  $x_j$  выбираются совпадающими со строками матрицы).

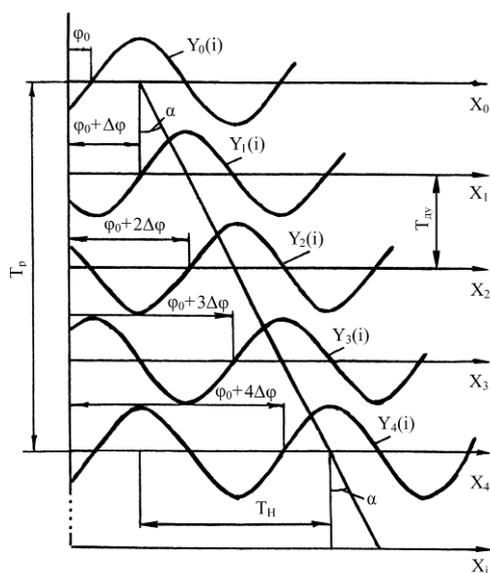


Рис. 1

Представим (рис.1 – функция  $Y_j(i)$  для ткани с перекосом уточных нитей) полезные составляющие сигнала  $E_j(i)$  для каждой из осей  $x_j$  в виде синусоидальных функций  $Y_j(i)$ :

$$Y_j(i) = A_j \sin(2\pi f_H i + \varphi(j)), \quad i=0 \div K-1, j=0 \div N-1, \quad (1)$$

где  $j$  – номер строки матрицы;  $i$  – номер элемента на строке матрицы;  $N$  – число

столбцов в матрице;  $K$  – число строк в матрице.

В выражении (1) функция  $\varphi(j)$  определяет значение начальной фазы составляющей  $Y_j(i)$  на оси  $x_j$ . Для ткани с перекосом утка (рис. 1) данный порок будет определять приращение  $\Delta\varphi$  функции  $\varphi(j)$ .

Если в пределах анализируемого изображения угол перекоса уточных нитей имеет постоянное значение, то на основании рис.1 можем записать, что:

$$\begin{aligned} \varphi(0) &= \varphi_0, \\ \varphi(j+1) &= \varphi(j) + \Delta\varphi, j = 0 \div N-1, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  – начальная фаза на оси  $x_0$ ;  $\varphi(j)$  – начальная фаза на оси  $x_j$ ;  $\Delta\varphi$  – приращение начальной фазы, вызванное перекосом уточных нитей.

Период для синусоидальной функции (1) равен  $2\pi$ . Следовательно, при накоплении начальной фазы в соответствии с выражениями (2) кривая  $Y_j(i)$  через некоторое количество осей  $x_j$  будет повторяться. В общем случае период повторения будет равен:

$$\Delta\varphi M_p = 2\pi, \quad (3)$$

где  $M_p$  – число осей  $x_j$ , через которое функция  $Y_j(i)$  повторяется.

Поскольку значения начальной фазы в выражении (1) исчисляются в пределах  $-\pi \div \pi$ , то для ткани с перекосом утка функция  $\varphi(j)$  также будет периодической:  $\varphi(j+M_p) = \varphi(j)$ . Соответственно и значения функции  $\varphi(j)$  будут находиться в пределах  $-\pi \leq \varphi(j) \leq \pi$ . В связи с этим в выражениях (2) предполагается, что  $\varphi(j) = \varphi_0 + j\Delta\varphi - 2\pi$ , если  $\varphi_0 + j\Delta\varphi > \pi$ , и соответственно  $\varphi(j) = \varphi_0 + j\Delta\varphi + 2\pi$ , если  $\varphi_0 + j\Delta\varphi < -\pi$ .

Очевидно, что период  $M_p$  повторения функции  $\varphi(j)$  непосредственно связан с величиной перекоса уточных нитей. Знак перекоса утка определяет знак приращения начальной фазы  $\Delta\varphi$ . Следовательно, определив эти две величины, можно определить величину и знак перекоса уточных нитей. Построение функции  $\varphi(j)$  осуществляется следующим образом. Для каждой оси с помощью дискретного преобразова-

ния Фурье вычисляется спектр функции  $E_j(i)$ . На вычисленном спектре находится частотная составляющая соответствующая уточным нитям. Величина начальной фазы найденной частотной составляющей принимается за соответствующее значение функции  $\varphi(j)$ . На рис.2 представлена функция  $\varphi(j)$  для реального образца ткани с перекосом.

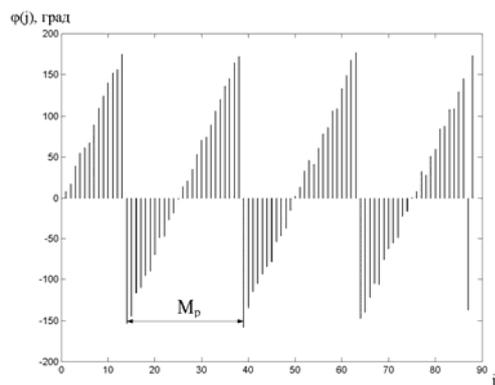


Рис. 2

Определим величину перекоса утка. Из рассмотрения рис.1 можно найти, что:

$$\operatorname{tg}\alpha = T_{\text{дх}} / (T_p \gamma), \quad (4)$$

где  $T_p = M_p T_{\text{ду}}$  — расстояние, через которое функция  $Y_j(i)$  повторяется;  $T_{\text{ду}}$  — межстрочное расстояние;  $\alpha$  — угол перекоса уточных нитей;  $\gamma$  — коэффициент масштаба,  $\gamma = T_{\text{дх}} / T_{\text{н}}$ ;  $T_{\text{дх}}$  — период дискретизации по оси  $x_j$ .

Значение  $M_p$  может быть определено путем анализа полученной функции  $\varphi(j)$ . Для реальных образцов ткани функция  $\varphi(j)$  имеет случайные выбросы, что затрудняет определение  $M_p$ . В связи с этим перед оп-

ределением  $M_p$  функция обрабатывается фильтром низких частот с высокой крутизной среза.

Определим знака перекоса утка. Как следует из выражений (1), задача определения знака перекоса утка сводится к определению знака приращения начальной фазы  $\Delta\varphi$  на основе вычисленной функции  $\varphi(j)$ . Определение знака осуществляется путем вычисления величины  $b$ , знак которой совпадает со знаком перекоса утка:

$$b = c - a, \quad (5)$$

где  $c$  — количество отсчетов функции  $\varphi(j)$ , для которых  $\varphi(j+1) - \varphi(j) \geq 0$ ;  $a$  — количество отсчетов функции  $\varphi(j)$ , для которых  $\varphi(j+1) - \varphi(j) < 0$ .

## ВЫВОДЫ

Разработанный спектральный алгоритм анализа изображения полученного с матричного ФПЗС позволяет измерять величину и знак перекоса уточных нитей, в том числе на тканях со сложными типами переплетений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Энтин В.Я., Зайцев В.Е., Климов В.А. Алгоритмы обработки информации для систем определения перекоса утка на базе матричных фотоприборов с зарядовой связью //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2004, № 6. С.109...112.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 25.12.06.

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛОТНЯНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ

*П.Г.ШЛЯХТЕНКО, В.П.НЕФЕДОВ*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна,  
Научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации)

В [1], [2] проведен расчет интенсивности  $I(x, y)$  в дифракционной френель-фраунгоферовой картине на экране, отстоящем на расстоянии  $L$  от теневой проекции тканого полотна, при равномерном нормальном

освещении в проходящем монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda$  в предположении справедливости приближения интеграла Френеля-Кирхгофа [3], по формуле

$$I = \text{const} \left| \iint_S \sqrt{E} \exp[-ik(p\xi + q\eta)] d\xi d\eta \right|^2, \quad (1)$$

где  $E$  – интенсивность падающего света ( $E = \text{const}$ );  $k = 2\pi/\lambda$ ;  $p = x/L$ ;  $q = y/L$ ; декартовы оси координат  $\xi, \eta$  ориентированы вдоль нитей утка и основы, расположены в плоскости объекта и параллельны соответственно координатам  $x, y$  в плоскости экрана, причем ноль координат находится в центре дифракционной картины, а интег-

рирование проводилось по всей площади отверстий  $S$  в освещенной области объекта.

Получена формула, которая в случае аппроксимации простого полотняного переплетения системой отверстий в непрозрачной основе, имеет вид

$$I = I_0 \left[ \frac{\sin\left(\frac{\pi Ax}{\lambda L}\right) \sin\left(\frac{\pi By}{\lambda L}\right) \sin\left(\frac{\pi T_1 N_1 x}{\lambda L}\right) \sin\left(\frac{\pi T_2 N_2 y}{\lambda L}\right)}{\left(\frac{\pi Ax}{\lambda L}\right) \left(\frac{\pi By}{\lambda L}\right) \sin\left(\frac{\pi T_1 x}{\lambda L}\right) \sin\left(\frac{\pi T_2 y}{\lambda L}\right)} \right]^2, \quad (2)$$

где  $I_0$  – интенсивность света, создаваемая в центре картины одним периодическим звеном (прямоугольным отверстием площадью  $AB$ );  $N_1$  – число освещенных раппортов (периодов) ткани вдоль основных нитей (направление  $x$ );  $N_2$  – то же вдоль уточных (направление  $y$ );  $T_1$  – период повторения уточных нитей;  $T_2$  – период повторения основных нитей.

Анализ формулы (2), сделанный в [1], показывает, что положения основных дифракционных максимумов в этом случае достаточно точно определяются выражениями:

$$x_k = \frac{\lambda L}{T_1} k, \quad y_m = \frac{\lambda L}{T_2} m, \quad (3)$$

где  $k$  и  $m$  – целые числа ( $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ).

Из (3) легко получить формулы:

$$T_1 = \frac{\lambda L}{\Delta x}, \quad T_2 = \frac{\lambda L}{\Delta y}, \quad (4)$$

где  $\Delta x$  – расстояние между соседними основными дифракционными максимумами вдоль оси  $x$ ;  $\Delta y$  – то же вдоль оси  $y$ , а также формулы (5), связывающие интенсивности в центральном ( $I_{00}$ ) и соседних с ним основных максимумов ( $I_{10}$  и  $I_{01}$ ) с геометрическими параметрами ткани:

$$\sqrt{\frac{I_{10}}{I_{00}}} = \frac{\sin(\frac{\pi A}{T_1})}{(\frac{\pi A}{T_1})}; \quad \sqrt{\frac{I_{01}}{I_{00}}} = \frac{\sin(\frac{\pi B}{T_2})}{(\frac{\pi B}{T_2})}. \quad (5)$$

Очевидно, что из формул (4), (5) по измеренным значениям  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $I_{00}$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{01}$  могут быть рассчитаны предполагаемые значения таких геометрических параметров ткани, как поверхностная плотность ткани, плотности по утку и основе, диаметр нитей утка и основы.

Проведенные в [1] предварительные эксперименты на различных образцах ткани при нормальном их освещении светом He-Ne лазера качественно подтвердили эти зависимости.

Целями настоящей работы являются:

1. В приближении справедливости интеграла Френеля-Кирхгофа в случае, когда интенсивность  $E(\xi, \eta) \neq \text{const}$ , исследование влияния распределения интенсивности света в лазерном пучке, описываемого функцией Гаусса [4], на параметры дифракционной картины.

2. Поиск ответа на вопрос, насколько правомочно в этом случае пользоваться формулами (3)...(5), полученными в [1] для другого случая освещения объекта исследования.

К сожалению, прямой учет реального распределения света в пучке при решении интеграла (1) не дает в нашем случае аналитического ответа. Поэтому для решения поставленной задачи была составлена компьютерная программа по возможности максимально точного расчета этого интеграла для одного и того же объекта в режиме равномерного распределения интенсивности и в режиме, когда интенсивность в световом пучке менялась по нормальному закону, соответствующему основной моде лазера:

$$E = \text{const} \exp\left(-\frac{\xi^2 + \eta^2}{\sigma^2}\right). \quad (6)$$

В качестве объекта исследования использованы черно-белые компьютерные модели полотняного переплетения, кото-

рые строились по специальной программе по задаваемым параметрам переплетения ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $A$ ,  $B$ ), вводимым в память компьютера.

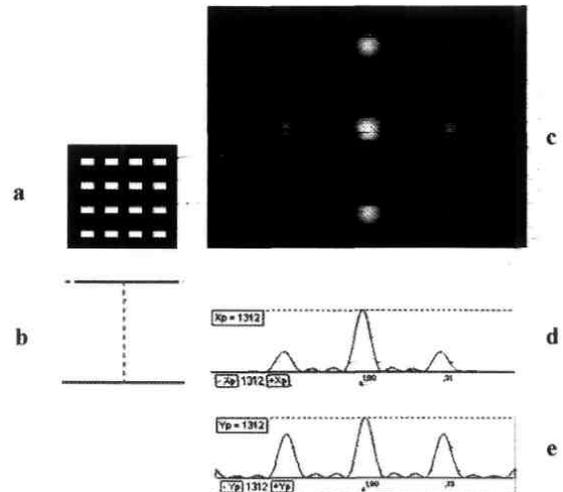


Рис. 1

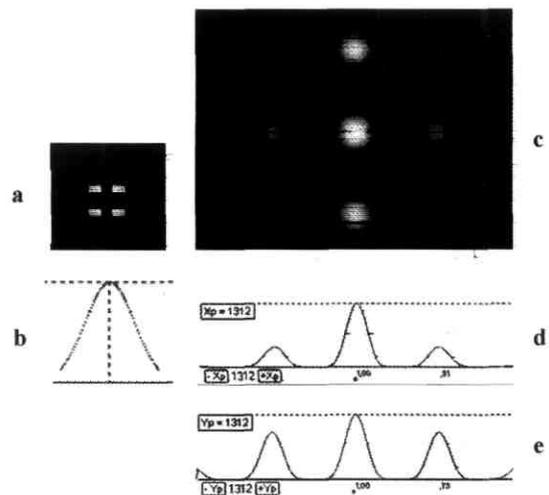


Рис. 2

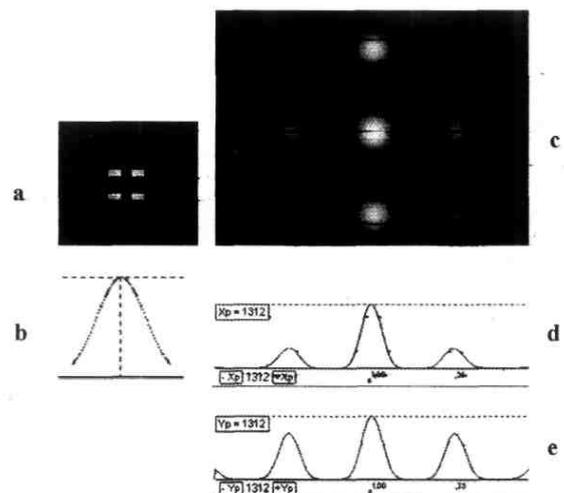


Рис. 3

На рис. 1...3 (рис. 1 – расчет дифракции от квадратного участка модели полотна при равномерном его освещении, рис. 2 – расчет дифракции от квадратного участка модели полотна при нормальном распределении интенсивности освещения относительно его центра, рис. 3 – расчет дифракции от круглого участка модели полотна при нормальном распределении интенсивности освещения относительно его центра) представлены результаты расчетов по этой программе для одной и той же модели тканого переплетения с параметрами  $T_1=T_2=T$ ;  $A/T=0,5625$ ;  $B/T=0,3125$ , причем данные рис. 1 относятся к освещению объекта квадратным в сечении монохроматическим пучком света одинаковой интенсивности ( $E=const$ ); данные рис. 2 получены для светового пучка того же сечения, интенсивность которого определяется формулой (6) относительно центра квадрата; данные рис. 3 получены для круглого сечения пучка и той же зависимости интенсивности относительно центра круга ( $\sigma = const$ ).

На всех рисунках а – световое пятно на выходе объекта исследования; б – график зависимости интенсивности света, падающего на объект; с – вид картины на удаленном экране, определяемой для каждого случая расчетной формулой (1); д – график нормированной на центральный максимум зависимости  $I(x,0)$ ; е – график нормированной на центральный максимум зависимости  $I(0,y)$ . Во всех представленных случаях величина  $L = const$ .

Сравнение данных рис. 1...3, а также данных многочисленных экспериментов, проведенных для других параметров полотняного переплетения, позволяет выделить следующие закономерности, имеющие общий характер для всех исследованных моделей.

1. Если величина рассчитываемого светового пятна перекрывает более четырех периодов исследуемой структуры ( $T_1, T_2$ ), картина на рис. 1-с и ход зависимостей на рис. 1-д,е практически точно описываются формулам (2)...(5), что свидетельствует о правильном алгоритме расчета интеграла (1). При этом отношения интенсивностей

$I_{10}/I_{00}$  и  $I_{01}/I_{00}$  в рамках погрешности вычислений совпадают со значениями, определяемыми для тех же параметров модели переплетения формулами (6).

2. В картине на рис. 2, 3-с и зависимостях, представленных на рис. 2, 3-д, е при тех же размерах светового пятна, практически отсутствуют дополнительные максимумы, лежащие между основными максимумами, хорошо заметные на рис. 1-с, если радиус рассчитываемого светового пятна на модели  $R$  больше величины  $\sigma$ .

Этот вывод объясняет реальные дифракционные картины Фраунгофера, наблюдаемые при освещении образцов полотна [1], [2], [5], нитей и резьбовых винтов [6], светом He-Ne лазера, в которых дополнительные максимумы никогда не фиксировались. Эти максимумы в формуле (2) определяются двумя последними отношениями и очевидно связаны с ограничением светового пучка. Такое ограничение при освещении реального объекта гауссовым пучком света лазера отсутствует, что и объясняет отсутствие дополнительных максимумов в соответствующих дифракционных картинах.

3. Сравнение данных, приведенных на рис. 2, 3-с, д, е, показывает, что они практически не различаются, что также естественно, если в области рассчитываемого светового пятна, где его геометрия в этих случаях отлична, его интенсивность достаточно мала, а следовательно мал интерференционный вклад этих областей.

4. Сравнение данных рис. 2,3-д, е и рис. 1-д, е показывает, что отношения интенсивностей максимумов  $I_{10}/I_{00}$  и  $I_{01}/I_{00}$  на рис. 2, 3 практически совпадают с аналогичными отношениями для основных максимумов на рис. 1.

5. Уменьшение величины  $\sigma^2$  в (6) приводит к уширению максимумов, что очевидно связано с уменьшающимся вкладом в интерференцию периодов освещенной структуры, находящихся на периферии светового пятна. В этом случае увеличение числа освещенных периодов в объекте должно приводить к сужению дифракционных максимумов, что всегда на-

блюдалось для любых моделей переплетения.

6. Ошибка расчета основных параметров структуры моделей полотна для случая

гауссова светового пучка по формулам (4)...(5), включая ошибку программы при расчете интеграла (1) и выполнении оговоренных выше условий, не превышала 2%.

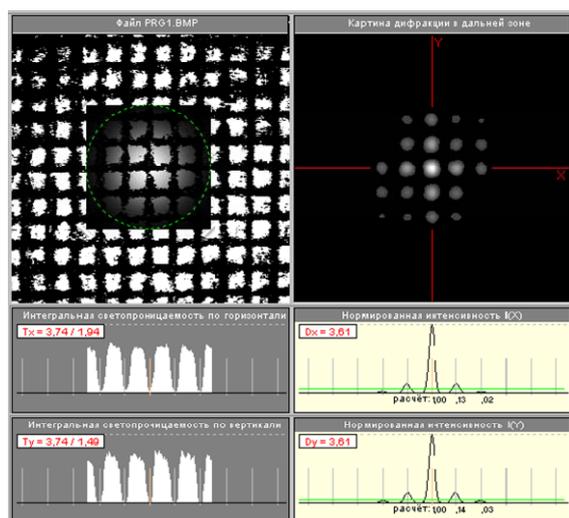


Рис. 4

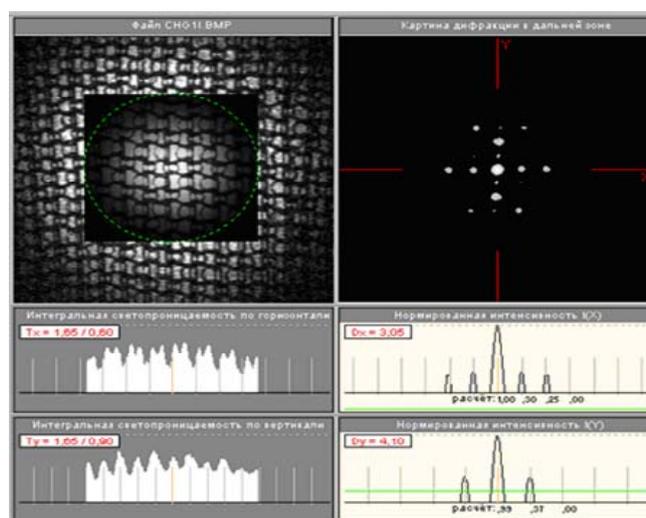


Рис. 5

На рис. 4...5 показана рабочая панель программы после анализа микроизображений реального полотна (рис. 4) и чулочного трикотажа (рис. 5), полученных с компьютерного микроскопа методом «напросвет», при учете нормального распределения интенсивности света в световом пучке. Расчет проводится внутри круга, ограниченного пунктирной линией.

Из данных этих рисунков можно сделать вывод о том, что максимумы в рассчитываемых дифракционных картинах после включения усиления яркости становятся хорошо наблюдаемыми и полностью соответствует экспериментальным дифракционным картинкам, приведенным для исследованных образцов в [1], [7].

В описываемой программе расчет значений периодов и плотности переплетения по утку и основе для полотна (периода петель или плотности петель в петельном ряду и расстояния между петельными рядами или плотности петлевых рядов для трикотажного полотна) рассчитываются после появления в соответствующих окнах функциональных зависимостей  $I(x,0)$ ,  $I(0,y)$ . При этом требуется после необходимого их усиления совместить с помощью компьютерной "мыши" вертикальные

риски с положениями дифракционных максимумов на этих зависимостях. После этого расчет всех геометрических параметров структуры исследуемого переплетения осуществляется автоматически. На рис. 4 и 5 их значения приведены в относительных единицах.

Однако программа предусматривает введение нормирующего коэффициента, учитывающего коэффициент увеличения микроизображения исследуемого материала, как и вывод рассчитанных значений в отчете о измерениях.

Из данных рис. 4 и 5 также видно, что измерять параметры рассчитанной дифракционной картины несоизмеримо легче, чем по самим изображениям. Особенно, если это достаточно сложное переплетение (рис. 5). Рассчитанная дифракционная картина в этом случае намного проще, а расстояния между соседними горизонтальными и вертикальными рядами максимумов измеряются точно. Именно эти расстояния несут информацию о средних значениях параметров геометрической структуры исследуемого переплетения, которые рассчитываются программой по формулам (4) и (5).

## ВЫВОДЫ

Отмеченные выше закономерности доказывают возможность практического использования формул (3)...(5) для расчетов параметров реальных полотняных переплетений в дифракционных экспериментах с лазерными пучками.

Составлена программа, позволяющая строить простую дифракционную картину по введенному в нее микроизображению исследуемого переплетения с учетом нормального распределения интенсивности освещения и автоматически рассчитывать по параметрам этой картины значения основных параметров переплетения.

Использование программы значительно облегчит процесс измерения основных геометрических структурных параметров текстильных материалов, проводимых с помощью стандартного компьютерного микроскопа.

1. Шляхтенко П.Г., Мещерякова Г.П., Успенских С.М., Куриленко О.Ю. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 4. С.45...49.

2. Шляхтенко П.Г. Дифракционный метод контроля изгиба нитей в текстильных полотнах // Оптический журнал. – 2000, №12, т. 67. С.21...26.

3. Борн М, Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. С.345...380.

4. Бутиков Е.И. Оптика. – С-Петербург: Невский диалект, 2003. С. 283.

5. Шляхтенко П.Г., Мариева Н.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 3. С.3...7.

6. Шляхтенко П.Г. Дифракционный метод контроля геометрических параметров спиральной нити // Оптика и спектроскопия. – 2000, № 1, т. 88. С.116...121.

7. Шляхтенко П.Г. Особенности дифракционного контроля геометрических параметров чулочного трикотажа // Оптический журнал. – 2004, №11, т.71. С.89...93.

Рекомендована кафедрой физики СПГУТД. Поступила 25.12.06.

УДК 687.021.531.36

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИБКОЙ ЛЕНТЫ  
С ПОВЕРХНОСТЬЮ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА***Е.В. ПОЛЯКОВА***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Задачи о взаимодействии полосы ткани или другой гибкой ленты с поверхностью вращающегося цилиндра возникают при проектировании оборудования многих разнородных производств. Эти задачи, например, играют существенную роль при расчетах механизмов вытягивания полимерных пленок, производимых в химической промышленности, в вопросах манипулирования мягкими трубчатыми оболочками при упаковке пищевой продукции, при использовании тканей для производства композитных изделий.

До настоящего времени при изучении движения лент, взаимодействующих с вращающимися цилиндрами, не уделяется достаточного внимания тому, что, как правило, имеются существенные различия в напряженно-деформированных состояниях частиц ленты, находящихся на различных расстояниях от ее кромок. Одной из основных неустраняемых причин этих различий является то, что на кромках ленты, в отличие от ее параллельных кромок внутренних сечений, отсутствуют нормальные напряжения. Это ведет к тому, что напряжения, нормальные к поперечным сечениям ленты, то есть растягивающие ленту напряжения, не распределены по этим сечениям равномерно. В результате продольные волокна ленты, находящиеся на различных расстояниях от ее кромок, оказываются растянутыми в различной степени, и эти различия обуславливают сложный характер распределения продольных и поперечных деформаций ленты.

Трудности в исследовании этих деформаций и напряжений особенно возрастают, если среди сил взаимодействия ленты с поверхностью цилиндра имеются силы сухого трения.

В настоящей работе даются общие уравнения для определения напряженно-деформированных состояний лент в соответствии с произвольными условиями их взаимодействия с цилиндрами. Однако многообразие этих условий и сложный характер указанных уравнений затрудняют разработку общих методов изучения и расчета конкретных примеров. Поэтому ограничимся одним только примером, а именно рассмотрим применение общих уравнений к исследованию работы типичных, устанавливаемых на ткацких станках механизмов отвода ткани.

Всегда нежелательная неоднородность создаваемых тканей особенно заметна при сравнении текстильных структур их кромок и удаленных от кромок частей. Можно отметить, что при производстве тканей "дряблые, зубцевидные, неравномерные, волнистые" [1] и обладающие другими недостатками кромки тканей, обусловили появление многих теоретических и конструктивных разработок [2]...[5], которые, однако, не дали вполне удовлетворительных результатов.

Ниже будем предполагать, что толщиной и изгибной жесткостью ткани, а также ее инертностью можно пренебречь. Уравнения квазистатического равновесия ткани запишем в виде [6], [7]:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left( \bar{\sigma}_1 \left| \frac{\partial \bar{r}}{\partial \eta} \right| \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \bar{\sigma}_2 \left| \frac{\partial \bar{r}}{\partial \xi} \right| \right) + \bar{q} \sqrt{EG - F^2} = 0. \quad (1)$$

Здесь  $\bar{r}$  – радиус-вектор произвольной частицы ткани;  $\xi$  и  $\eta$  – лагранжевы координаты этой частицы;

$$\bar{\sigma}_1 = \bar{e}_1 \sigma_{11} + \bar{e}_2 \sigma_{12}, \quad \bar{\sigma}_2 = \bar{e}_1 \sigma_{21} + \bar{e}_2 \sigma_{22}, \quad (2)$$

$\bar{e}_1$  и  $\bar{e}_2$  – определяемые равенствами

$$\bar{e}_1 = \frac{\partial \bar{r}}{\partial \xi} / \left| \frac{\partial \bar{r}}{\partial \xi} \right|, \quad \bar{e}_2 = \frac{\partial \bar{r}}{\partial \eta} / \left| \frac{\partial \bar{r}}{\partial \eta} \right| \quad (3)$$

орты, касательные к координатным линиям  $\eta = \text{const}$  и  $\xi = \text{const}$  соответственно;  $\bar{\sigma}_1$  и  $\bar{\sigma}_2$  – напряжения в сечениях ткани, проходящих по вышеуказанным координатным линиям;  $\bar{q}$  – внешняя распределенная нагрузка, действующая на ткань;  $E$ ,  $G$  и  $F$  – коэффициенты первой квадратичной формы поверхности, образуемой тканью.

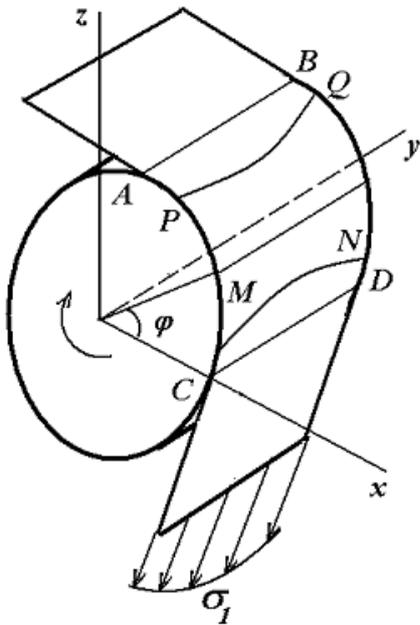


Рис. 1

Схема взаимодействия вальяна с отводимым полотном показана на рис.1. Контакт идущей с грудницы ткани с вальяном

начинается на отрезке АВ и заканчивается на отрезке CD. Шероховатость поверхности вальяна и значительная величина угла его охвата тканью надежно обеспечивают его транспортирующую способность. Однако всегда существуют полосы поверхности вальяна, на которых скольжение не может быть исключено полностью при любом увеличении шероховатости этой поверхности. Указанное скольжение обусловлено различиями напряжений в части PQMN ткани, лежащей на поверхности вальяна без скольжения, и в частях, образующих приходящую и уходящую ветви ткани. В приходящей ветви ткани напряжения периодически меняются при приближении уточных нитей и при зевобразовании. Напряжения ткани в уходящей ветви обычно меньше, чем ее напряжения на поверхности вальяна, и медленно изменяются по мере увеличения диаметра навиваемого рулона. Хотя ширина указанных полосок скольжения АВPQ и CDMN незначительна, именно происходящие в этих полосках деформации ткани в значительной мере определяют характер возможных недостатков самой ткани и образуемых рулонов.

Полное исследование движения ткани требует построения решений общих уравнений для приходящей и уходящей ветвей, а также в областях АВPQ, CDMN и PQMN, которые должны быть согласованы на границах указанных ветвей и областей. Для демонстрации предлагаемого метода исследования достаточно рассмотреть движение ткани в полоске CDMN при произвольных граничных условиях.

Представим радиус-вектор произвольной частицы ткани в виде

$$\bar{r} = R \cos \varphi(\xi, \eta) \bar{i} + y(\xi, \eta) \bar{j} + R \sin \varphi(\xi, \eta) \bar{k}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус вальяна;  $\varphi$  – угловая координата частицы ткани, отсчитываемая от плоскости  $xy$ .

Далее будем считать, что координатные линии  $\eta = \text{const}$  и  $\xi = \text{const}$  идут соответственно поперек и вдоль ткани; причем величины  $\eta$  и  $\xi$  совпадают с дуговыми координатами, вычисляемыми вдоль указанных линий, при недеформированном состоянии ткани.

Из (4) получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \xi} &= -R \sin \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \bar{j} + R \cos \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \bar{k}, \\ \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \eta} &= -R \sin \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \bar{i} + \frac{\partial y}{\partial \eta} \bar{j} + R \cos \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \bar{k}. \end{aligned} \quad (5)$$

Справедливы равенства

$$\varphi = \frac{\xi}{R} + \frac{\lambda(\xi, \eta)}{R}, \quad y = \eta + \delta(\xi, \eta), \quad (6)$$

где  $\lambda(\xi, \eta)$  и  $\delta(\xi, \eta)$  – продольные и поперечные смещения частиц ткани, обусловленные ее деформацией. Для определения этих смещений к уравнениям (1)...(6) нужно добавить определяющие (конститутивные) уравнения ткани.

Ограничимся сравнительно простым случаем, когда ткань имеет сравнительно малую плотность по основе и по утку, и можно пренебречь силами, препятствующими относительным сдвигам нитей основы, то есть можно положить  $\sigma_{12} = \sigma_{21} = 0$ . Будем также считать, что

$$\sigma_{11} = E_1 \frac{\partial \lambda(\xi, \eta)}{\partial \xi}, \quad \sigma_{22} = E_2 \frac{\partial \lambda(\xi, \eta)}{\partial \eta}. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \lambda(\xi, \eta) &= C_1(\eta) e^{\frac{f \xi}{R}} + C_2(\eta), \quad \sigma_{11} = E_1 C_1(\eta) \frac{f}{R} e^{\frac{f \xi}{R}}, \\ F_y &= E_2 \left( C_1'(\eta) e^{\frac{f \xi}{R}} + C_2'(\eta) \right), \end{aligned} \quad (12)$$

где  $C_1(\eta)$  и  $C_2(\eta)$  – функции, подлежащие определению из условий сопряжения состояния ткани в области CDMN с ее состояниями в смежных областях.

Пренебрегая в (6) малыми величинами, можем записать

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \xi} &= R \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \bar{\tau}, \quad \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \eta} = R \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \bar{\tau}, \\ \bar{\tau} &= -\sin \varphi \bar{i} + \cos \varphi \bar{k}. \end{aligned} \quad (8)$$

Продолжая пренебрегать малыми порядками выше первого, получим

$$\left| \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \xi} \right| = 1, \quad \left| \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial \eta} \right| = 1, \quad \bar{e}_1 = \bar{\tau}, \quad \bar{e}_2 = \bar{j}. \quad (9)$$

Пользуясь (8) и (9), перепишем (1) в виде

$$\frac{\partial}{\partial \xi} (\bar{\tau} \sigma_{11}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (\bar{j} \sigma_{22}) - \bar{n} N - \bar{\tau} F_{\text{тр}} - \bar{j} F_y = 0, \quad (10)$$

где  $\bar{n} = R^{-1} \partial \bar{\tau} / \partial \xi$  – орт внутренней нормали к поверхности вальяна;  $N$  и  $F_y$  – соответственно нормальная и параллельная оси  $y$  реакции этой поверхности;  $F_{\text{тр}} = fN$  – сила трения, препятствующая продольному скольжению волокон.

Из (10) получим

$$\frac{\sigma_{11}}{R} = N, \quad \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \xi} = F_{\text{тр}}, \quad \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial \eta} = F_y. \quad (11)$$

Учитывая равенства (7), из (11) будем иметь

Допустим, что линия MN имеет уравнение  $\xi = s(\eta)$ . На этой линии смещения равны нулю, то есть выполняется равенство

$$0 = C_1(\eta)e^{\frac{f}{R}s(\eta)} + C_2(\eta). \quad (13)$$

Напряжения в области PQMN и в ушедшей ветви ткани обозначим через  $\sigma_{11}^{BX}(\xi, \eta)$  и  $\sigma_{11}^{BYX}(\xi, \eta)$  соответственно. Условия согласования напряжений на линиях MN и CD принимают вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{BX}(s(\eta), \eta) &= E_1 C_1(\eta) \frac{f}{R} e^{\frac{f}{R}s(\eta)}, \\ \sigma_{11}^{BYX}(0, \eta) &= E_1 C_1(\eta) \frac{f}{R}. \end{aligned} \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14) легко решаются относительно  $C_1(\eta)$ ,  $C_2(\eta)$  и  $s(\eta)$ . Аналогичным образом может быть исследовано напряженно-деформированное состояние в других областях, от зоны прибивания утка до товарного валика.

## ВЫВОДЫ

1. Получены общие уравнения для определения напряженно-деформированного состояния ленты, скользящей по поверхности вращающегося цилиндра.

2. Проведен анализ движения ткани в области ее ухода с поверхности вальяна товарного механизма ткацкого станка. Рассчитаны возникающие в этой области напряжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. – М.: Гизлегпром, 1958.
2. Бородин В.А., Оников Э.А., Колобанов Н.И., Ангарова Е.Р. Кромкообразующие механизмы ткацких станков. – М.: ЦНИИТЭИЛегпром, 1972.
3. Кузовкин К.С., Данилов В.В., Курочкин В.Н., Мороков М.И., Битунов Е.И., Акимов Т.С. Опыт работы на ткацких станках СТБ. – М.: Легкая индустрия, 1968.
4. Монастырский Д.Ш. Механика процессов сборки резинотканевых конвейерных лент. – Л.: ЛГУ, 1989.
5. Никитин М.Н. Автоматический ткацкий станок АТ-175Ш. – М.: Легкая индустрия, 1968.
6. Полякова Е.В., Чайкин В.А. Прикладные задачи механики мягких оболочек и тканей. – СПб.: СПГУТД, 2006.
7. Чайкин В.А., Полякова Е.В. Основы механики мягких оболочек и тканей. – СПб.: СПГУТД, 2004.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики. Поступила 25.12.06.

УДК 687.021.531.36

## ПЛОСКОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТКАНИ В ОКРЕСТНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВЫРЕЗА

П.А. ДЯТЛОВА, В.А. ЧАЙКИН

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Условия возникновения и распространения разрывов тканей представляют значительный интерес в задачах механизации и автоматизации процессов их пошива и переработки. Обычно начальные механические повреждения (разрывы) тканей концентрируются в областях, размеры которых настолько малы, что исследование процессов дальнейшего распространения этих разрывов под действием растягиваю-

щих усилий может быть проведено в плоской постановке.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние прямоугольного плоского участка оболочки, имеющего прямоугольное отверстие. Пусть участок имеет две оси симметрии  $Ox$  и  $Oy$ , а к его границам приложены растягивающие усилия  $\vec{T}$  и  $\vec{P}$ , направленные параллельно указанным осям. Предположим, что оболочка

имеет сетчатую структуру, причем ячейки сетки являются бесконечно малыми прямоугольниками, стороны которых в недеформированном состоянии параллельны осям симметрии. Для получения простых асимптотических оценок распределения напряжений в окрестности отверстия будем считать, что в рассматриваемом диапазоне внешних нагрузок удлинения нитей пренебрежимо малы.

Введем на ткани лагранжевы координаты  $\xi$ ,  $\eta$ , приписывая каждой ее частице в качестве значений ее лагранжевых координат  $\xi$ ,  $\eta$  значения ее декартовых координат  $x$ ,  $y$ , соответствующие недеформированному состоянию участка оболочки. При последующих деформациях частицы оболочки сохраняют неизменными свои лагранжевы координаты, а их декартовы координаты могут быть представлены в виде

$$x = \xi + u(\xi, \eta), \quad y = \eta + v(\xi, \eta), \quad (1)$$

где  $u(\xi, \eta)$  и  $v(\xi, \eta)$  – смещения частицы, имеющей лагранжевы координаты  $\xi$ ,  $\eta$ , в

$$u(\xi, \eta) = U_1(\xi) + U_2(\eta), \quad v(\xi, \eta) = V_1(\xi) + V_2(\eta), \quad (4)$$

где  $U_1(\xi)$ ,  $U_2(\eta)$ ,  $V_1(\xi)$ ,  $V_2(\eta)$  – искомые функции своих аргументов.

$$2U_1'(\xi) + U_1'^2(\xi) + V_1'^2(\xi) = 0, \quad U_2'^2(\eta) + 2V_2'(\eta) + V_2'^2(\eta) = 0. \quad (5)$$

При отсутствии распределенных по поверхности оболочки внешних сил вектор-

направлениях осей  $Ox$  и  $Oy$  соответственно.

Относительные удлинения нитей  $\eta = \text{const}$  и нитей  $\xi = \text{const}$  определяются выражениями

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \sqrt{\left(1 + \frac{\partial u(\xi, \eta)}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial v(\xi, \eta)}{\partial \xi}\right)^2} - 1, \\ \varepsilon_2 &= \sqrt{\left(\frac{\partial u(\xi, \eta)}{\partial \eta}\right)^2 + \left(1 + \frac{\partial v(\xi, \eta)}{\partial \eta}\right)^2} - 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Считая эти удлинения согласно принятому допущению о малой растяжимости нитей равными нулю, будем иметь:

$$\begin{aligned} 2\frac{\partial u(\xi, \eta)}{\partial \xi} + \left(\frac{\partial u(\xi, \eta)}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial v(\xi, \eta)}{\partial \xi}\right)^2 &= 0, \\ 2\frac{\partial v(\xi, \eta)}{\partial \eta} + \left(\frac{\partial u(\xi, \eta)}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial v(\xi, \eta)}{\partial \eta}\right)^2 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В силу нерастяжимости нитей ячейки оболочки при деформировании сохраняют форму параллелограммов. Поэтому

Условия (3) с учетом (4) приводят к уравнениям

ное уравнение ее равновесия [1], [2] имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left( \sigma_1(\xi, \eta) \left| \frac{\partial r(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right| \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \sigma_2(\xi, \eta) \left| \frac{\partial r(\xi, \eta)}{\partial \xi} \right| \right) = 0. \quad (6)$$

Здесь

$$\sigma_1(\xi, \eta) = \frac{\partial r(\xi, \eta)}{\partial \xi} \sigma_{11}, \quad \sigma_2(\xi, \eta) = \frac{\partial r(\xi, \eta)}{\partial \eta} \sigma_{22}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{22}$  – соответственно плотности натяжения нитей  $\eta = \text{const}$  и нитей  $\xi = \text{const}$ ,  $\mathbf{r}(\xi, \eta) = x(\xi, \eta)\mathbf{i} + y(\xi, \eta)\mathbf{j}$  – радиус-вектор частицы оболочки.

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}(\xi, \eta)(1 + U_1'(\xi))) + \frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}(\xi, \eta)U_2'(\eta)) = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}(\xi, \eta)V_1'(\xi)) + \frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}(\xi, \eta)(1 + V_2'(\eta))) = 0. \quad (9)$$

Предположим, что рассматриваемый участок ткани ограничен нитями  $\xi = \bar{\Gamma}L$  и нитями  $\eta = \bar{\Gamma}H$ , а прямоугольное отверстие заключено между нитями  $\xi = \bar{\Gamma}l$  и  $\eta = \bar{\Gamma}h$ . Ограничимся рассмотрением четверти этого участка, расположенной в первом квадранте плоскости  $Oxy$ , и введем в рассмотрение следующие зоны (см.рис.). Первая зона ограничена нитями  $\xi = 0$ ,  $\xi = l$ ,  $\eta = h$ ,  $\eta = H$ ; вторая зона – нитями  $\xi = l$ ,  $\xi = L$ ,  $\eta = h$ ,  $\eta = H$ ; третья зона – нитями  $\xi = l$ ,  $\xi = L$ ,  $\eta = 0$ ,  $\eta = h$ .

Легко видеть, что для первой зоны имеют место равенства

$$u(\xi, \eta) = U_1(\xi), \quad v(\xi, \eta) = V_1(\xi). \quad (10)$$

Аналогично для третьей зоны справедливости равенства

$$u(\xi, \eta) = U_2(\eta), \quad v(\xi, \eta) = V_2(\eta). \quad (11)$$

Вторая зона покрыта недеформированными ячейками, поэтому

$$u(\xi, \eta) = C_1, \quad v(\xi, \eta) = C_2, \quad (12)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – некоторые постоянные, подлежащие определению.

$$\sigma_{11}^1(\xi, \eta) = \frac{s(\eta)}{1 + U_1'(\xi)}, \quad \sigma_{22}^1(\xi, \eta) = -S(\eta) \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{V_1'(\xi)}{1 + U_1'(\xi)} \right) + f(\xi), \quad S'(\eta) = s(\eta), \quad (18)$$

$$\sigma_{22}^3(\xi, \eta) = \frac{q(\xi)}{1 + V_2'(\eta)}, \quad \sigma_{11}^3(\xi, \eta) = -Q(\xi) \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{U_2'(\xi)}{1 + V_2'(\eta)} \right) + g(\eta), \quad Q(\xi) = q(\xi), \quad (19)$$

$$\sigma_{11}^2(\xi, \eta) = G(\eta), \quad \sigma_{22}^2(\xi, \eta) = F(\xi), \quad (20)$$

С учетом нерастяжимости нитей векторное уравнение равновесия (6) можно заменить эквивалентной ему системой двух скалярных уравнений:

Выпишем уравнения равновесия для указанных зон. Для первой зоны будем иметь

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}^1(\xi, \eta)(1 + U_1'(\xi))) = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}^1(\xi, \eta)V_1'(\xi)) + \frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}^1(\xi, \eta)) = 0. \quad (14)$$

Уравнения равновесия третьей зоны примут вид

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}^3(\xi, \eta)) + \frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}^3(\xi, \eta)U_2'(\eta)) = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}^3(\xi, \eta)(1 + V_2'(\eta))) = 0. \quad (16)$$

Для второй зоны получим

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\sigma_{11}^2(\xi, \eta)) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \eta}(\sigma_{22}^2(\xi, \eta)) = 0. \quad (17)$$

В уравнениях (13)...(18) верхний индекс  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$  в обозначениях  $\sigma_{11}^i$  и  $\sigma_{22}^i$  использован для идентификации напряжений в соответствующей зоне участка ткани.

Уравнения (13)...(17) легко интегрируются:

где  $f(\xi)$ ,  $s(\eta)$ ,  $q(\xi)$ ,  $g(\eta)$ ,  $F(\xi)$  и  $G(\eta)$  – искомые функции.

В соответствии с постановкой задачи должны выполняться следующие граничные условия:

$$\sigma_{22}^1(\xi, h) = -S(h) \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{V_1'(\xi)}{1 + U_1'(\xi)} \right) + f(\xi) \equiv 0, \quad (21)$$

$$\sigma_{22}^1(\xi, H) = -S(H) \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{V_1'(\xi)}{1 + U_1'(\xi)} \right) + f(\xi) \equiv P, \quad (22)$$

$$\sigma_{11}^3(\ell, \eta) = -Q(\ell) \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{U_2'(\eta)}{1 + V_2'(\eta)} \right) + g(\eta) \equiv 0, \quad (23)$$

$$\sigma_{11}^3(L, \eta) = -Q(L) \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{U_2'(\eta)}{1 + V_2'(\eta)} \right) + g(\eta) \equiv T, \quad (24)$$

$$\sigma_{11}^2(L, \eta) = G(\eta) \equiv T, \quad \sigma_{22}^2(\xi, H) = F(\xi) \equiv P. \quad (25)$$

Кроме того, на границе первой и второй зон, а также на границе второй и третьей зон должны быть выполнены ус-

ловия сопряжения нормальных напряжений:

$$\left. \frac{s(\eta)}{1 + U_1'(\ell)} \frac{\partial x(\xi, \eta)}{\partial \xi} \right|_{\xi=\ell} = s(\eta) \equiv \sigma_{11}^2(\ell, \eta) = T, \quad (26)$$

$$\left. \frac{q(\xi)}{1 + V_2'(h)} \frac{\partial y(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right|_{\eta=h} = q(\xi) \equiv \sigma_{22}^2(\xi, h) = P. \quad (27)$$

Учитывая (26) и (27), из (18) и (19) получим

$$\sigma_{11}^1(\xi, \eta) = \frac{T}{1 + U_1'(\xi)}, \quad \sigma_{22}^1(\xi, \eta) = -T\eta \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{V_1'(\xi)}{1 + U_1'(\xi)} \right) + f(\xi), \quad (28)$$

$$\sigma_{22}^3(\xi, \eta) = \frac{P}{1 + V_2'(\eta)}, \quad \sigma_{11}^3(\xi, \eta) = -P\xi \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{U_2'(\eta)}{1 + V_2'(\eta)} \right) + g(\eta). \quad (29)$$

Граничные условия (21)... (24) дают

$$f(\xi) = \frac{hP}{H-h}, \quad g(\eta) = \frac{\ell T}{L-\ell}, \quad (30)$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{V_1'(\xi)}{1 + U_1'(\xi)} \right) = -\frac{P}{T(H-h)}, \quad \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{U_2'(\eta)}{1 + V_2'(\eta)} \right) = -\frac{T}{P(L-\ell)}. \quad (31)$$

Следовательно, равенства (28) и (29) примут вид

$$\sigma_{11}^1(\xi, \eta) = \frac{T}{1 + U_1'(\xi)}, \quad \sigma_{22}^1(\xi, \eta) = \frac{P}{H-h}(\eta-h), \quad (32)$$

$$\sigma_{22}^3(\xi, \eta) = \frac{P}{1 + V_2'(\eta)}, \quad \sigma_{11}^3(\xi, \eta) = \frac{T}{L-1}(\xi-1). \quad (33)$$

Для определения функций  $U_1(\xi)$ ,  $V_2(\eta)$  и постоянных  $C_1$ ,  $C_2$  запишем уравнения, выражающие геометрические условия сопряжения первой и второй зон, второй и третьей зон, а также условия отсутствия горизонтальных переме-

щений частиц первой зоны, имеющих лагранжеву координату  $\xi = 0$ , и отсутствия вертикальных перемещений частиц третьей зоны, имеющих лагранжеву координату  $\eta = 0$ . Указанные условия имеют вид:

$$U_1(\ell) = C_1, \quad V_2(\ell) = C_2, \quad U_2(h) = C_1, \quad V_2(h) = C_2, \quad U_1(0) = 0, \quad V_2(0) = 0. \quad (34)$$

После сравнительно простых вычислений будем иметь

$$U_1(\xi) = -\xi + \frac{T(H-h)}{P} \ln \left( \frac{P}{T(H-h)} \xi + \sqrt{1 + \left( \frac{P}{T(H-h)} \xi \right)^2} \right), \quad C_1 = U_1(\ell), \quad (35)$$

$$V_2(\eta) = -\eta + \frac{P(L-\ell)}{T} \ln \left( \frac{T}{P(L-\ell)} \eta + \sqrt{1 + \left( \frac{T}{P(L-\ell)} \eta \right)^2} \right), \quad C_2 = V_2(h), \quad (36)$$

$$\sigma_{11}^1(\xi, \eta) = T \sqrt{1 + \left( \frac{P}{T(H-h)} \xi \right)^2}, \quad \sigma_{22}^3(\xi, \eta) = P \sqrt{1 + \left( \frac{T}{P(L-\ell)} \eta \right)^2}. \quad (37)$$

Перемещения частиц оболочки  $V_1(\xi)$ ,  $U_2(\eta)$  находятся на основе (5).

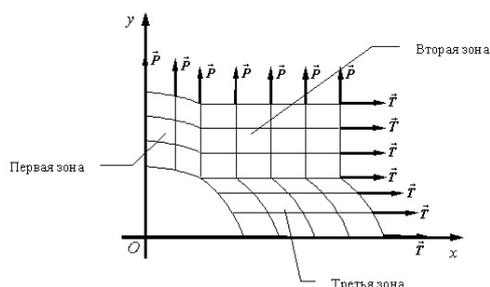


Рис. 1

Численный анализ задачи позволил построить картину перемещений ткани (рис. 1) и изучить зоны концентрации на-

пряжений. Оказалось, что наиболее напряженными являются нити, проходящие по сторонам отверстия, причем максимальные напряжения возникают в его вершинах.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика исследования напряженно-деформированного состояния участка ткани в окрестности прямоугольного отверстия под действием растягивающих усилий.

2. Полученные результаты позволяют определить направления и условия распространения отверстия вследствие разрыва ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова Е.В., Чайкин В.А. Прикладные задачи механики мягких оболочек и тканей. – СПб.: СПГУТД, 2006.

2. Чайкин В.А., Полякова Е.В. Основы механики мягких оболочек и тканей. – СПб.: СПГУТД, 2004.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики. Поступила 25.12.06.

---

УДК 534.01:621.1

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ  
ДЛЯ АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ ПРИВОДОВ МАШИН  
С ЦИКЛОВЫМИ МЕХАНИЗМАМИ***М.В. ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ***(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Колебательные процессы, возникающие в современных быстроходных машинах, являются существенным лимитирующим фактором, влияющим на производительность, качество продукции, долговечность и надежность оборудования, условия работы человека-оператора. Цикловые механизмы, как составная часть колебательной системы, одновременно являются источником возбуждения и объектом виброзащиты, что требует при анализе создания специальных алгоритмов и компьютерных программ.

В данной статье приводится краткое описание целевого назначения компьютерных программ, созданных в последние годы на кафедре теоретической и прикладной механики Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна для анализа сложных колебательных систем машинных агрегатов. Большинство описываемых ниже программ связано с проблемой снижения виброактивности цикловых машин текстильной и легкой промышленности, в которых программные движения рабочих органов реализуются посредством рычажных, кулачковых и других цикловых механизмов. Для колебательных систем приводов данного класса свойственны переменность параметров и наличие существенных нелинейностей.

Программы делятся на две группы. К первой группе отнесены программы, базирующиеся на аналитических методах. Здесь в основном использованы динамические модели машинного агрегата и его элементов, рассмотренные в монографии [1], анализ

которых опирается на методах условного осциллятора, предложенный И.И. Вульфсоном [1], [2]. Ко второй группе отнесены программы, в которых наряду с аналитическим подходом использованы приемы компьютерного моделирования, базирующиеся на численных методах.

Программы разработаны под операционную систему Windows на языке программирования Visual C++. Программы интерактивны. Варьирование исходных параметров производится без остановки программ с помощью кнопок и мыши непосредственно с экрана монитора. В целях облегчения изложения ниже использованы для дискретных элементов динамических моделей следующие условные обозначения:  $J$ ,  $m$  – инерционные элементы;  $\Pi$  – геометрическое преобразование координат, осуществляемое цикловым механизмом;  $s$  – зазор.

1. Программа для расчета колебаний цикловых механизмов общего вида.

(9.08.01 №2001611011. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для динамического анализа ряда динамических моделей цикловых механизмов. При математическом моделировании используются уравнения Лагранжа 2-го рода с избыточными координатами. В программе использован матричный способ, позволяющий автоматизировать процедуру составления систем дифференциальных уравнений [3].

2. Программа для расчета привода стола иглопробивной машины.

(27.01.2000 №2000610065. Авторы: Пре-

ображенская М.В., Вульфсон И.И., Габитова М.М.)

Программа предназначена для исследования частот и форм свободных колебаний и вынужденных колебаний привода стола иглопробивной машины. Динамическая модель исследуемого привода стола иглопробивной машины представляет собой крутильно-изгибную систему с семью степенями свободы. В модели учитываются зазоры в кинематических парах. На экран монитора по желанию пользователя выводятся графики исследуемых параметров: частот, форм колебаний, графики вынужденных колебаний для различных обобщенных координат [4].

3. Программа для расчета колебаний привода машин при комплексном представлении упругодиссипативных характеристик.

(27.01.04 №2004610297. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для анализа цепных колебательных систем, образованных механизмами циклового действия и их приводами, при математическом моделировании которых использовался модифицированный метод начальных параметров и комплексная форма описания частотно-независимых диссипативных сил.

4. Программа для расчета вынужденных колебаний регулярной системы с фазовым сдвигом кинематического возмущения (27.01.04 №2004610298. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И., Дятлова П.А.).

Программа предназначена для расчета амплитудно-частотной характеристики разветвленного привода регулярной структуры при наличии фазовых сдвигов между идентичными цикловыми механизмами, связанными общим распределительным валом. Наряду с динамической моделью с дискретными параметрами использована континуальная модель [5].

5. Программа для расчета колебаний цикловых механизмов кольцевой структуры.

(9.08.01 №2001611010. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для исследования собственных частот, форм колебаний и вынужденных колебаний привода исполнительного звена, связанного с главным ва-

лом посредством заданного числа цикловых механизмов. Каждый механизм представлен соединением дискретных элементов  $J - П - с - m - \dots$ . (Данная модель, в частности, соответствует приводу рабочих органов основывальных, вязально-прошивных и ряда других машин) [1].

6. Программа для расчета колебаний привода кольцевой структуры, состоящего из нескольких подсистем, соединенных цикловыми механизмами. (Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для частотного и модального анализа системы, состоящей из главного вала и произвольного количества подсистем с распределенными параметрами, связанных между собой цикловыми механизмами с дискретными параметрами [1].

7. Программа для расчета колебаний цикловых механизмов блочно-кольцевой структуры с поступательно движущимся ведомым звеном.

(Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для исследования частот и форм свободных колебаний и построения амплитудно-частотной характеристики на базе динамических моделей, состоящих из произвольного числа блоков. Каждый блок состоит из поступательно движущейся массы, приводимой от главного вала двумя цикловыми механизмами, представленными в виде подсистемы  $П - с - m$ .

8. Программа для расчета колебаний, возбуждаемых при перекладке в зазорах вращательных кинематических пар плоских рычажных механизмов.

(28.04.06 №2006611470. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для моделирования механических колебаний, возбуждаемых при перекладке в зазорах шарниров плоских рычажных механизмов при учете изменения величины и направления реакций. Предусмотрена возможность определения амплитудного уровня возбуждаемых колебаний, пульсации собственных частот и критериальной оценки условий динамической устойчивости, лимитирующих возникновение виброударных режимов [6].

9. Программа для расчета колебаний, возбуждаемых при перекладке в зазорах шаровых кинематических пар пространственных рычажных механизмов. (28.04.06 №2006611471. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для комплексного моделирования механических колебаний, возбуждаемых из зазоров в шаровых кинематических парах пространственных рычажных механизмов. (Подробнее см. программу 8) [7].

10. Программа для расчета колебаний привода многомодульной структуры, включающего блоки цикловых механизмов с зазорами.

(17.10.06 №2006613608. Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для исследования вынужденных колебаний динамических моделей, состоящих из произвольного числа блоков с учетом зазоров в кинематических парах. Каждый блок состоит из поступательно движущейся массы, приводимой к главному валу двумя механизмами, представленными в виде соединения элементов  $P - c - s - m$ .

11. Синтез закона движения толкателя и кулачкового механизма с учетом упругости толкателя. (28.07.98 №980452. Автор: Преображенская М.В.).

Программа предназначена для анализа и синтеза закона движения толкателя кулачкового механизма с последующей демонстрацией влияния различных параметров на искажения заданных кинематических характеристик. Программа позволяет с помощью мыши управлять законом движения толкателя и добиваться в интерактивном режиме минимизации уровня колебаний, возбуждаемых при работе кулачкового механизма [1].

12. Программа для расчета колебаний привода с учетом динамической характеристики двигателя и зазоров в кинематических парах. (Авторы: Преображенская М.В., Вульфсон И.И.).

Программа предназначена для исследования вынужденных колебаний привода с учетом динамической характеристики двигателя и зазоров в кинематических парах [1].

13. Демонстрационная программа. Автор: Преображенская М.В.).

Программа предназначена для демонстрации различных видов колебательных процессов при изложении в вузах соответствующих разделов динамики машин (свободные и вынужденные колебания системы с одной и с двумя степенями свободы, переход через резонанс, динамический гаситель колебаний, параметрические колебания, автоколебания, виброизоляция привода и др.)

## ВЫВОДЫ

Применительно к задачам динамики машин текстильной и легкой промышленности дано описание целевого назначения 13 компьютерных программ расчета колебаний в приводах с цикловыми механизмами. Программы позволяют в интерактивном режиме варьировать исходными параметрами колебательной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вульфсон И. И. Колебания машин с механизмами циклового действия. – Л.: Машиностроение, 1990.
2. Вульфсон И. И. О колебаниях систем с параметрами, зависящими от времени // Прикладная математика и механика. – 1969, №2, т.33. С. 331...337.
3. Вульфсон И. И., Преображенская М. В. Об одном алгоритме построения математических моделей с цикловых механических систем // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. №1. С. 8...14.
4. Вульфсон И. И., Габитова М. М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, №5. С.65...68.
5. Вульфсон И. И. Колебания квазирегулярных систем, образованных идентичными цикловыми механизмами с фазовыми сдвигами кинематического возмущения // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. №3. С.17...24.
6. Вульфсон И.И., Преображенская М.В. Параметрические импульсы при безударной перекладке в зазорах рычажных механизмов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1995, №5. С.24...31.
7. Вульфсон И.И., Преображенская М.В. Математическая модель и частотные характеристики пространственного рычажного механизма с учетом зазоров в шарнирах // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1997, №2. С.8...15.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики. Поступила 25.12.06.

**ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА А.М. СТАЛЕВИЧА**

Трудовой и творческий путь Аркадия Михайловича Сталевича начался в 1961 году с поступления в аспирантуру при кафедре сопротивления материалов Ленинградского текстильного института (ныне Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна) и после более чем 40-летней, непрерывной работы на этой кафедре завершился в должности профессора, заведующего лабораторией механики ориентированных полимеров и в звании заслуженного деятеля науки и техники.

Аркадий Михайлович был признанным авторитетом в области математического моделирования вязкоупругих свойств текстильных материалов. Под его руководством успешно развивалась теория линейной и нелинейной вязкоупругости; решались сложные вопросы анализа восстановительных деформационных процессов, высокоскоростных воздействий, динамической релаксации. Теоретические разработки доводились до важных практических результатов по прогнозированию механического поведения полимеров и композитов различного технического назначения.

Будучи крупным специалистом по механике полимерных материалов, Аркадий Михайлович очень внимательно относился



к исследованиям физики деформирования и разрушения полимеров и активно использовал в своих работах молекулярно - кинетические данные, что определяло плодотворную оригинальность его расчетно-теоретических разработок.

Аркадий Михайлович оставил после себя большое научное наследие: более 300 публикаций, 2 монографии, 15 авторских свидетельств и патентов;

28 защитившихся под его руководством кандидатов наук. Четыре его ученика стали докторами наук. По его собственным теоретическим и аппаратным разработкам составлены и изданы конспекты лекций, курсы лабораторных практикумов, созданы компьютерные программы для новых дисциплин по текстильному материаловедению.

Аркадия Михайловича отличали внимательность к студентам и аспирантам и заботливость о них, доброжелательность и чуткость к коллегам, жизнелюбие, спортивность.

Память о большом ученом, обаятельном человеке – Аркадии Михайловиче Сталевиче сохранится в его трудах, в работах его учеников, у всех, кто его знал.

**Ректорат, преподаватели и сотрудники СПГУТД.**

**Редколлегия и редакция журнала "Известия вузов. Технология текстильной промышленности".**