



для вузов

Г.Н. Кукин
А.Н. Соловьев
А.И. Кобляков

ТЕКСТИЛЬНОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

К-82



Г.Н. Кукин
А.Н. Соловьев
А.И. Кобляков

ТЕКСТИЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

(ВОЛОКНА И НИТИ)

Под редакцией д-ра техн. наук Г. Н. Кукина

2-е издание, переработанное и дополненное

*Допущено Государственным комитетом
СССР по народному образованию в каче-
стве учебника для студентов высших учеб-
ных заведений, обучающихся по специаль-
ности «Прядение натуральных и химических
волокон»*



Москва
Легпромбытиздат
1989

Глава I. СТРОЕНИЕ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

1. СТРОЕНИЕ ВОЛОКОН И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ НИТЕЙ

Текстильные волокна (элементарные нити) имеют сложное физическое строение и большинство из них — высокомолекулярную массу.

Для текстильных волокон типична фибриллярная структура. Фибриллы — это объединения микрофибрилл ориентированных надмолекулярных соединений. Микрофибриллы представляют собой молекулярные комплексы, поперечное сечение их меньше 10 нм. Удерживаются они друг около друга межмолекулярными силами, а также вследствие перехода отдельных молекул из комплекса в комплекс. Переход молекул из одной микрофибриллы в другую зависит от их длины. Полагают, что длина микрофибрилл на порядок выше поперечника [1]. Микрофибриллы и фибриллы некоторых волокон показаны на рис. I.1.

Связи между фибриллами осуществляются в основном силами межмолекулярного взаимодействия, они значительно слабее микрофибриллярных. Между фибриллами имеется большое число продольных полостей, пор. Фибриллы располагаются в волокнах вдоль оси или под сравнительно небольшим углом. Лишь в некоторых волокнах расположение фибрилл имеет случайный, неправильный характер, однако и в этом случае их общая ориентация в направлении оси сохраняется. Фибриллы и микрофибриллы видны под микроскопом при увеличении 1500 раз и более.

Свойства волокон определяются не только надмолекулярной структурой, но и более низкими ее уровнями. Взаимосвязь структуры волокон на разных уровнях с их свойствами изучены еще недостаточно [1, 2]. Строение волокнообразующих полимеров, волокон и его взаимосвязь со свойствами рассмотрены в работе [3]. Дальнейшее накопление данных о взаимосвязи структуры и свойств позволит решить важнейшую проблему о рациональном использовании волокон и изменении их структуры с тем, чтобы добиться управления процессом получения волокон с необходимым комплексом свойств.



Рис. 1.1. Микрофибриллы и фибриллы волокон:
а — хлопковое; б — валяное; в — шерстяное

Характеристика строения некоторых основных волокнообразующих полимеров приведена в табл. 1.1.

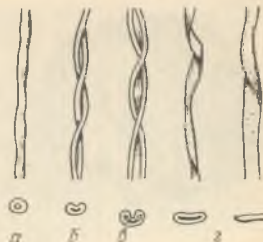
Химический состав волокон и некоторые другие характеристики строения волокон приведены в учебнике [1]. Поэтому в данном учебнике сведения о строении волокон сокращены, описываются только его особенности (морфологические и др.).

Хлопковые волокна (рис. 1.2). Хлопковое волокно полая, имеет канал в месте отрыва от семени. Другой, заостренный, конец канала не имеет. Морфология различных волокон даже с одной летучки, существенно отличается. Например, канал зрелых и перезрелых волокон узкий, а форма поперечного среза изменяется от бобовидной у зрелых волокон до эллипсовидной и почти круглой у перезрелых волокон и сплюсненной лентовидной у незрелых.

Волокно скручено вокруг своей продольной оси. Наибольшая извитость у зрелых волокон; у незрелых и перезрелых волокон она небольшая, малозаметная. Это связано с формой и взаимным расположением элементов надмолекулярной структуры волокна. Стенка волокна имеет слоистое строение. Наружный слой толщиной менее 1 мкм называется первичной стенкой. Она состоит из сетки, образуемой редко расположенными и перекрещивающимися под большим углом целлюлозными фибриллами, пространство между которыми заполнено спутниками целлюлозы. Содержание целлюлозы в первичной стенке составляет, по имеющимся данным, несколько больше половины ее массы.

Рис. 1.2. Хлопковые волокна:

а — перезрелое (очень зрелое); б — зрелое; в — малой зрелости; г — незрелое



Наружная поверхность первичной стенки состоит из восковопекстинового слоя.

В первичной стенке волокон некоторые исследователи различают два слоя, в которых фибриллы располагаются под разными углами. Вторичная основная стенка волокна достигает по толщине у зрелого волокна 6—8 мкм. Она состоит из пучков фибрилл, расположенных по винтовым линиям, поднимающимся под углом 20—45° к оси волокна. Направление винтовой линии меняется от Z до S.

Табл. 1.1. Характеристика строения волокнообразующих полимеров [3]

Волокнообразующий полимер	Молекулярная масса элементарного звена	Длина элементарного звена в направлении оси цепи, нм	Конфигурация цепи	Средняя степень полимеризации
Целлюлоза	162,15	0,515—0,516	Прямая	3 000—10 000 и более
Триацетат целлюлозы	288,25	0,52—0,525	»	250—400
Кератин шерсти	—	0,33—0,335 (β-форма)	α-спираль, β-спираль (пологая)	Сшитый нерастворимый полимер 2 500—3 000
Фиброн шелка	—	0,35	Пологая спираль	2 000
Полиэтилен	28,054	0,253—0,254	Вытянутая, трансизгаг	—
Полипропилен	42,081	0,183—0,185 (синдиотактическая) 0,222 (изотактическая)	Двойная спираль 4/1	2 000
Поливинилхлорид	62,499	0,255—0,266	Вытянутая	1 000—2 000
Поливинилпирролидон	96,944	0,234—0,235	»	1 000
Поливинилловый спирт	44,053	0,252—0,253	Вытянутая, трансизгаг	1 300—1 800
Полиакридонитрил	53,064	0,25—0,255	То же	1 200—1 600
Полиапроамид	113,16	0,83—0,86	»	160—220
Полимерный углерод	12,01	0,246 (в плоскости графитовых фрагментов)	Слоистоленточная	Очень высокая



Рис. 1.3. Поперечный срез хлопкового волокна

Различные волокна имеют различные углы наклона фибрилл. У тонких волокон углы наклона фибрилл малы. Наполнителем между пучками фибрилл являются спутники целлюлозы.

Пучки фибрилл располагаются концентрическими слоями (рис. 1.3), которые хорошо видны в поперечном срезе волокна. Их число достигает сорока, что соответствует дням отложения целлюлозы. Отмечается также наличие третичной, соприкасающейся с каналом части вторичной стенки. Эта часть отличается большой уплотненностью. Кроме того, в этом слое промежутки между целлюлозными фибриллами заполнены белковыми веществами и протоплазмой, состоящей из белковых веществ, простых углеводов, из которых синтезируется целлюлоза и др.

Целлюлоза хлопковых волокон имеет аморфно-кристаллическое строение. Степень ее кристалличности составляет 0,6—0,8, а плотность кристаллитов достигает 1,56—1,64 г/см³ (табл. 1.2).

Табл. 1.2. Кристалличность и плотность волокон [3]

Волокнообразующий полимер	Степень кристалличности волокон	Плотность, г/см ³		
		кристаллитов	аморфных областей	волокон
Целлюлоза природная	0,6—0,8	1,56—1,64	1,5	1,52—1,54
Триацетат целлюлозы	0,15—0,2	—	—	1,32
Полиэтилен высокой плотности	0,8—0,9	1—1,015	0,825—0,851	0,95—0,96
Полипропилен изотактический	0,7—0,85	0,93—0,94	0,85	0,91—0,92
Поливинилхлорид	Малая	1,44—1,52	1,39	1,39—1,4
Поливинилиденхлорид	До 0,75	1,94—1,96	1,6—1,66	1,86—1,875
Полиакрилонитрил	Малая	—	—	1,17—1,18
Поливиниловый спирт	0,65—0,75	1,35—1,36	1,27—1,29	1,3—1,32
Поликапроамид	0,5—0,7	1,21—1,23	1,1	1,14—1,15
Полиэтилентерефталат	0,6—0,65	1,46—1,47	1,33—1,34	1,38—1,385
Графит	—	2,27	—	1,6—2,1

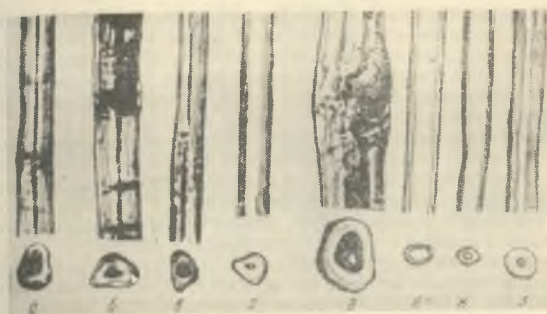


Рис. 1.4. Лубяные волокна:

а — льняное; б — пенька; в — джут; г — кенаф; д — рами; е — абака (манильская пенька); ж — сизаль; з — формум (новозеландский лен)

Лубяные волокна (рис. 1.4). Получаемые с лубяных растений технические волокна представляют собой комплексы склеенных пектиновыми веществами элементарных волокон. Отдельные элементарные волокна — растительные клетки трубчатого строения. Однако в отличие от хлопкового волокна у лубяного оба конца закрыты. Лубяные волокна имеют первичные, вторичные и третичные стенки.

Поперечное сечение льняного волокна — неправильный многоугольник с узким каналом. Канал грубых волокон близок к овальной форме, он шире и слегка сплюснут. Особенностью морфологии льняных волокон является наличие сдвигов продольных штрихов поперек волокна, представляющих собой следы изломов или изгибов волокон в период роста, при механической обработке. Канал имеет постоянную ширину. Первичная стенка льняных волокон состоит из фибрилл, расположенных по винтовой линии направления S с наклоном 8—12° к продольной оси. Фибриллы во вторичной стенке расположены по винтовой линии направления Z. Угол их подъема в наружных слоях такой же, как и в первичной стенке, но постепенно уменьшается, достигая иногда 0°, при этом направление спиралей меняется на противоположное. Пектиновые вещества между фибриллами располагаются неравномерно, их содержание увеличивается в направлении к каналу.

Элементарное волокно пеньки, получаемой из конопли, имеет тупые или раздвоенные концы, канал волокон сплюснут и значительно шире, чем у льна. Сдвиги на волокнах пеньки выражены более резко, чем на льняном волокне, и волокно в этом

месте имеет изгиб. Пучки фибрилл в первичной и вторичной стенках располагаются по винтовой линии направления Z, но угол наклона фибрилл уменьшается с 20—35° в наружном слое до 2—3° во внутреннем. Наибольшее количество пектиновых веществ содержится в первичной стенке и наружных слоях вторичной.

Элементарные волокна джута, кенафа имеют закругленный конец, толстые стенки, неправильную форму поперечного сечения: с отдельными гранями и каналом, который то сужается до нитевидного, то резко расширяется.

Технические волокна джута, кенафа — это жестко склеенные комплексы волокон с высоким содержанием лигнина.

Волокна рами в стеблях растений формируются как отдельные элементарные волокна без образования пучков технического волокна. На волокнах рами заметны резкие сдвиги, продольные трещины. Фибриллы целлюлозы в первичной и вторичной стенках рами располагаются по наклонной линии направления S. Угол наклона в первичной стенке доходит до 12°, во вторичной — изменяется с 10—9° в наружных до 0° во внутренних слоях.

Листовые волокна (абака, сизаль и формиум) — комплексные, в них короткие элементарные волокна жестко склеены в пучки. Строение элементарных волокон подобно грубостебельным лубяным волокнам. Форма сечения овальная, канал широкий, особенно у абаки — манильской пеньки.

Химическое строение лубяных волокон разных видов близко к химическому строению хлопкового волокна. Они состоят из α-целлюлозы, содержание которой колеблется от 80,5 % у льна до 71,5 % у джута и 70,4 % у абаки. В волокнах высокое содержание лигнина (более 5 %), имеются также жиры, воски, зольные вещества. Лубяные волокна обладают самой высокой степенью полимеризации целлюлозы (для льна она достигает 30 000 и более).

Шерстяные волокна. Шерстяными являются волокна волосяного покрова овец, коз, верблюдов и других животных. Основным волокном является овечья шерсть (ее доля составляет почти 98 %). В овечьей шерсти встречаются пух, переходный волос, ость, грубая ость или мертвый волос (рис. 1.5).

Волокна пуха состоят из наружного слоя — чешуйчатого и внутреннего — коркового (кортекс). Сечение пуха круглое. У переходного волоса есть еще третий слой — сердцевинный (медулла), прерывающийся по длине волокна. В ости и мертвом волосе этот слой располагается по всей длине волокна.

В мертвом волосе или грубой ости сердцевинный слой занимает большую часть площади поперечного сечения. Рыхлый сердцевинный слой заполнен пластинчатыми клетками, расположенными перпендикулярно к веретенообразным клеткам кор-

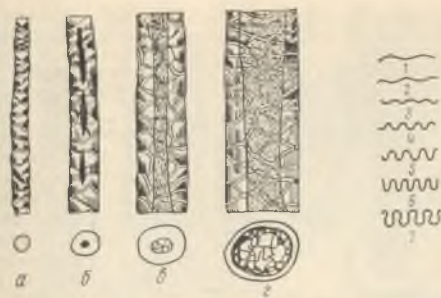


Рис. 1.5. Волокна овечьей шерсти:

а — пух; б — переходный волос; в — ость; г — мертвый волос

Рис. 1.6. Форма извитков шерстяных волокон:

1 — гладкая; 2 — растянутая; 3 — плоская; 4 — нормальная; 5 — сжатая; 6 — высокая; 7 — петлистая

кового слоя. Между клетками имеются промежутки, заполненные воздухом (вакуоли), жировыми веществами, пигментом. Поперечное сечение ости и мертвого волоса неправильной овальной формы.

Шерстяные волокна имеют волнообразную извитость, характеризующуюся числом извитков на единицу длины (1 см) и формой извитости. Тонкая шерсть имеет 4—12 и более извитков на 1 см длины, грубая шерсть извита мало. По форме или характеру извитости различают шерсть слабой, нормальной извитости и сильно извитую. При слабой извитости волокна имеют гладкую, растянутую и плоскую форму извитков (рис. 1.6). При нормальной извитости волокон извитки имеют форму полуокружности. Волокна сильно извитой шерсти имеют сжатую, высокую и петлистую форму извитков.

Чешуйки ости и мертвого волоса напоминают черепицу. Их на окружности волокна несколько. Толщина чешуек около 1 мкм, длина различна — от 4 до 25 мкм в зависимости от вида шерсти (на 1 мм длины волокон от 40 до 250 чешуек). Установлено, что чешуйки имеют три слоя — эпикутикула, экзокутикула и эндокутикула. Эпикутикула тонка (5—25 нм), устойчива к хлору, концентрированным кислотам и другим реактивам. В нее входят хитин, воски и др. Экзокутикула состоит из белковых соединений и эндокутикула — основной слой чешуйки — из модифицированных белковых веществ, обладает высокой хемостойкостью.

Корковый слой волокон состоит из веретенообразных клеток — надмолекулярных образований из фибрилл белка



Рис. 1.7. Строение волокон шерсти:
а — веретенообразные клетки; б — фибриллы кератина

Фибриллы (рис. 1.7, б) состоят из микрофибрилл кератина, который относится к протенинам. Макромолекулы протенинов состоят из остатков α -аминокислот. Макромолекулы кератина шерсти разветвленные, так как радикалы ряда аминокислот представляют небольшие боковые цепи. Возможно содержание в цепи макромолекул циклических группировок [1].

Макромолекулы в волокнах в обычном состоянии сильно изогнуты и скручены (α -спираль), однако протяженность макромолекул значительно (в сотни и даже тысячи раз) превышает ее поперечные размеры, у которых они менее 1 нм.

Молекулы кератина из-за наличия в них остатков аминокислот, содержащих различные радикалы, взаимодействуют между собой благодаря различным силам: межмолекулярным (силам Ван-дер-Ваальса), водородным, солевым (ионным) и даже валентным химическим связям. Подробно об этом сказано в учебнике [1].

Шерсть других животных (рис. 1.8 и 1.9). Козья шерсть состоит из пуха и грубой ости. В верблюжьей шерсти также встречаются пух и ость. В шерсти кроликов встречаются тонкие пуховые волокна, но более грубые, типа переходных и остевых.

кератина, промежутки между которыми заполнены нуклеопротеном, пигментом. Веретенообразные клетки (рис. 1.7, а) — крупные надмолекулярные образования с заостренными концами, их длина до 90 мкм, размер поперечного сечения до 4—6 мкм. В кератине коркового слоя могут встречаться паракортес и ортокортес. Паракортес по сравнению с ортокортесом содержит больше цистина, он тверже, более стоек к воздействию щелочи. В тонком пуховом волокне паракортес располагается с наружной стороны, а ортокортес — с внутренней. Однако козий пух однодольный и состоит только из ортокортеса, человеческий волос — только из паракортеса.

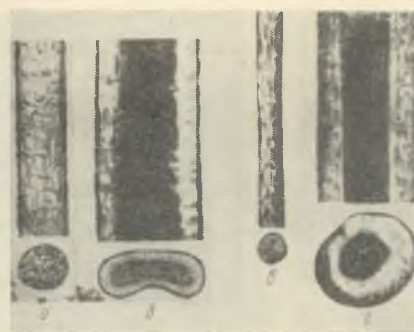


Рис. 1.8. Волокна козьей и верблюжьей шерсти:
а — козий пух; б — козья ость; в — верблюжий пух; г — верблюжья ость



Рис. 1.9. Продольный вид волокон оленьей (а), конской (б) коровьей (в) шерсти

Оленья, конская и коровья шерсть состоит в основном из грубых остевых волокон.

Шелковые волокна. Первичным шелковым волокном является коконная нить (рис. 1.10), выделяемая гусеницей бабочки-шелкопряда при завивке кокона. Коконная нить — это две шелковины из белка фиброина, склеенные низкомолекулярным белком серицина. Шелковины неравномерны по поперечному сечению. Фибриллы фиброина располагаются вдоль оси шелковины, их длина до 250 нм, ширина до 100 нм. Микрофибриллы состоят из белка фиброина, их поперечное сечение порядка 10 нм. Конфигурация цепи фиброина шелка — пологая спираль (см. табл. 1.1).



Рис. I.10. Коконная нить



Рис. I.11. Асбест:
а — кусковой; б — пучки волокон

Асбест (рис. I.11). Волокна асбеста — кристаллы природных водосодержащих магниевых силикатов (солей кремниевых кислот). Игольчатые тончайшие кристаллиты асбеста, объединенные в более крупные агрегаты силами межмолекулярного взаимодействия, имеют вытянутую форму и обладают свойствами волокон. Элементарные волокна асбеста объединены в комплексы (технические волокна).

Химические волокна (рис. I.12). Химические волокна весьма разнообразны по своему химическому составу и строению (см. табл. I.1).

Из природных полимеров наибольшее распространение получили вискозные, ацетатные, триацетатные волокна и нити.

Вискозные волокна — группа одинаковых по химическому составу (из гидратцеллюлозы) волокон и нитей, но существенно отличающихся по строению и свойствам. В обычных вискозных волокнах степень полимеризации целлюлозы (до 200) значительно меньше, чем в хлопковых волокнах. Отличие также состоит в пространственном расположении элементарного звена целлюлозы. В гидратцеллюлозе глюкозные остатки повернуты друг к другу на 90° , а не на 180° , как это имеет место в целлюлозе хлопка, что оказывает существенное влияние на свой-

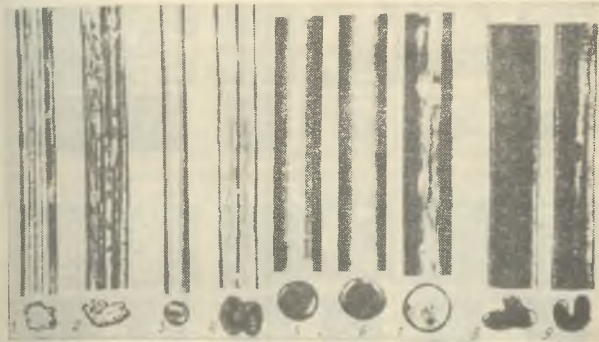


Рис. I.12. Химические волокна:

1 — вискозное; 2 — вискозное матированное; 3 — медио-аммиачное; 4 — ацетатное; 5 — капроновое; 6 — анидное; 7 — лавсановое; 8 — хлоринное; 9 — нитроновое

ства волокон. Например, гидратцеллюлозные волокна сильнее поглощают разные вещества и глубже окрашиваются. Структура вискозных волокон аморфно-кристаллическая. Обычные вискозные волокна отличаются также неоднородностью, заключающейся в разной степени ориентации фибрилл и микрофибрилл. Микрофибриллы в наружном слое ориентированы в продольном направлении, тогда как во внутреннем слое степень ориентации их очень низкая.

При получении (формовании) волокон происходит их неодновременное затвердевание по толщине. В начале затвердевает наружный слой, под действием атмосферного давления стенки стягиваются внутрь, отчего поперечное сечение становится извилистым. Эти извилины (полосы) заметны на продольном виде волокон. Могут быть получены полые волокна или С-образного строения; первые формируются при продувке воздуха через раствор, вторые — при применении специальных фильер.

Кроме того, вискозные волокна матируют двуокисью титана (TiO_2), вследствие чего частицы порошка, оказавшиеся на поверхности волокон, рассеивают лучи света и блеск уменьшается.

Вискозные высокомолекулярные (ВВМ) и особенно полинозные волокна отличаются высокой степенью ориентации и однородностью структуры, повышенной степенью кристалличности. Благодаря высокой ориентации, однородности структуры изменяется и морфология волокон. Поперечное сечение этих волокон в

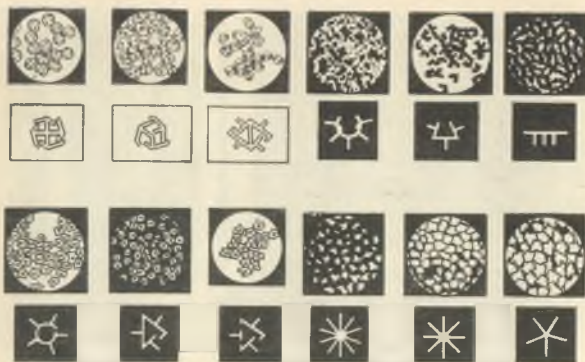


Рис. 1.13. Поперечное сечение профилированных волокон и виды фильер для их получения

отличие от поперечного сечения обычных вискозных нитей не имеет изгибов, оно овальное, близкое к кругу.

Медно-аммиачные волокна имеют более однородное строение по сравнению с вискозными волокнами. Поперечное сечение волокон представляет собой овал, приближающийся к кругу.

Ацетатные волокна по химическому составу представляют собой ацетилцеллюлозу. Они разделяются на диацетатные (их обычно называют ацетатными) и триацетатные по числу замещенных гидроксильных групп в целлюлозе уксусным ангидридом. Характеристика структуры триацетатных волокон приведена в табл. I.1. Структура волокон аморфно-кристаллическая, с небольшой степенью кристалличности (см. табл. I.2).

Синтетические волокна получили широкое распространение, и их баланс в общем производстве текстильных волокон все более увеличивается. Особенности химического строения синтетических волокон и элементарных нитей, их получения описаны в учебнике [1].

Из синтетических волокон большую группу представляют полиамидные волокна (капрон, перлон, дедерон, нейлон и др.). Структура волокон из поликапроамидов аморфно-кристаллическая, степень кристалличности может достигать 70 %. Кристаллиты включают несколько звеньев, ориентированных вдоль волокон. Форма сечений волокон может быть разной, обычно сечение круглое, но может быть и другой формы (рис. I.13).

К этой группе относятся и волокна из полиэнантоамида — энант, нейлон 6.6, отличающиеся от поликапроамидных

волокон химическим строением элементарного звена $-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-(\text{CH}_2)_6-\text{CONH}-(\text{CH}_2)_6-\text{CO}-$. Конфигурация молекулярной цепи волокон этого вида, как и у капроамидных, вытянутая, зигзаг с несколько большей длиной элементарного звена.

Полиэфирные волокна (терилон, лавсан и др.) получают из полиэтилентерефталата. Волокна имеют аморфно-кристаллическую структуру. Конфигурация цепи близка к прямой. Особенностью химического строения волокон является соединение элементарных звеньев цепи сложноэфирной группой $-\text{C}-$. По



морфологии волокна близки к полиамидным.

К полиакрилонитрильным волокнам относятся нитрон и многие другие разновидности, имеющие собственное наименование в разных странах, например акрилан, орлон (США), прелан (ГДР) и т. д. По внешнему виду поперечное сечение имеет овальную форму. Элементарное звено макромолекул волокон нитрона имеет следующий химический состав $-\text{CH}_2-\text{CH}-$.



Структура полиакрилонитрильных волокон аморфно-кристаллическая. Доля кристаллической фазы малая. Конфигурация макромолекул волокон вытянутая, трансзигзаг.

Полипропиленовые и полиэтиленовые волокна относятся к полиолефиновым волокнам. Элементарное звено макромолекул полипропиленовых волокон имеет вид $-\text{CH}-\text{CH}_2-$.



Форма поперечного сечения волокон овальная, фибриллы ориентированы вдоль оси.

Структура макромолекул стереорегулярная. Степень полимеризации волокон может меняться в широких пределах (1900—5900). Структура надмолекулярных образований — аморфно-кристаллическая. При этом кристаллическая фракция достигает 85—95 %.

Морфология полиэтиленовых волокон существенно не отличается от морфологии полипропиленовых волокон. Надмолекулярная структура их также фибриллярная. Макромолекулы с элементарными звеньями $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ образуют аморфно-кристаллическую структуру с преобладанием кристаллической.

Полиуретановые волокна состоят из макромолекул, элементарные звенья которых содержат уретановую группу $-\text{NH}-\text{C}-\text{O}-$. Строение волокон аморфное, температура стек-



лования низкая. Гибкие сегменты макромолекул при обычной

температуре находятся в высокоэластическом состоянии. Благодаря такому строению волокна обладают очень большой растяжимостью (до 500—700 %) при нормальной температуре.

Волокна галогенсодержащих полимеров — это волокна из поливинилхлорида, поливинилидена, фторлона и др. Поливинилхлоридные волокна (хлорин, перхлорвинил) — волокна аморфные, с малой степенью кристалличности. Конфигурация макромолекул вытянута. Элементарное звено макромолекул — $\text{CH}_2\text{—CHCl}$. Морфологическая особенность волокон — неравномерно стяннутая поверхность.

Волокна из поливинилиденхлорида имеют аморфно-кристаллическое строение с высокой степенью кристалличности. Химическое строение волокон также отличается: в элементарном звене увеличивается содержание хлора ($\text{—CH}_2\text{—CCl}_2\text{—}$), повышается плотность волокон.

В волокнах из фторсодержащих полимеров по сравнению с винилиденхлоридом водород и хлор замещаются фтором. Элементарные звенья волокон тефлон — $\text{CF}_2\text{—}$, волокон фторлон — $\text{CH}_2\text{—CHF—}$. Особенность структуры этих волокон — значительная энергия связи атомов углерода и фтора, ее полярность, определяющая высокую стойкость к действию агрессивных сред.

Углеродные волокна — жаропрочные волокна, конфигурация цепи макромолекул слоистоленточная, степень полимеризации очень высокая.

2. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Сведения о структуре волокон, об особенностях ее изменений в результате воздействий технологических процессов, условий эксплуатации становятся все более необходимыми при повышении качества текстильных материалов, совершенствовании технологических процессов, определении условий рационального использования волокон. Бурное развитие и совершенствование методов экспериментальной физики создали фундаментальную базу для изучения структуры текстильных материалов.

Далее рассматриваются лишь некоторые, наиболее распространенные, методы структурного анализа — оптическая световая и электронная микроскопия, спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, диэлектрометрия и термический анализ.

СВЕТОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

Световая микроскопия — один из самых распространенных методов изучения структуры текстильных волокон, нитей и изделий. Разрешающая способность оптического микроскопа, в котором используется свет видимой области спектра, может достигать 1—0,2 мкм.

Разрешающую способность объектива δ_o и микроскопа δ_m определяют по приближенным формулам:

$$\delta_o = \lambda / A; \quad (I. 1)$$

$$\delta_m = \lambda / (A + A_k), \quad (I. 2)$$

где λ — длина волны света, мкм; A — апертура, числовая характеристика разрешающей силы, объектива (способность изображать мельчайшие детали объекта); A_k — апертура осветительной части — конденсора микроскопа ($A_k \leq A$).

$$A = n \sin \alpha, \quad (I. 3)$$

где n — показатель преломления среды, находящейся между препаратом и первой фронтальной линзой объектива (для воздуха 1; для воды 1,33; для глицерина 1,47; для кедрового масла 1,51); α — угол отклонения крайнего луча, попадающего в объектив от точки, находящейся на оптической оси.

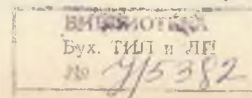
Разрешающая способность и апертура могут быть увеличены при иммерсии, т. е. замене воздушной среды жидкостью с большим коэффициентом преломления.

Микрообъективы разделяются по спектральным характеристикам (для видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра света), длине тубуса, среде между объективом и препаратом (сухие и иммерсионные), характеру наблюдения и типу препаратов (для препаратов с покровным стеклом и без стекла и др.).

Окуляры выбирают в зависимости от объектива, так как общее увеличение микроскопа равно произведению углового увеличения окуляра и объектива. Для фиксирования особенностей структуры и удобства в работе используют микрофотоустановки, рисовальные аппараты, бинокулярные тубусы. Кроме биологических микроскопов, широко применяемых при изучении морфологии текстильных волокон и нитей, используются люминесцентные, ультрафиолетовые и инфракрасные, стереомикроскопы, микроскопы сравнения, измерительные микроскопы.

Люминесцентный микроскоп оснащен набором сменных светотрасс, с помощью которых можно выделить в излучении осветителя часть спектра, возбуждающую люминесценцию исследуемого объектива. При работе на этом микроскопе необходимо подбирать светотрассы, пропускающие от объекта только свет люминесценции.

Ультрафиолетовые, инфракрасные микроскопы позволяют проводить исследования в невидимых для глаза областях спектра. Линзы таких микроскопов изготовлены из материалов, прозрачных для ультрафиолетовых (кварц, флюорит) или инфракрасных (кремний, германий, флюорит, фтористый литий) лучей. Преобразователи превращают невидимое изображение в видимое.



Стереомикроскопы обеспечивают объемное восприятие микрообъекта, а микроскопы сравнения позволяют сравнивать одновременно два объекта.

Все большее распространение получают методы поляризационной, интерференционной микроскопии. При поляризационной микроскопии микроскоп дополняют специальным поляризационным приспособлением, включающим два поляроида: нижний неподвижный и верхний — анализатор, свободно вращающийся в оправе [4]. Поляризация света позволяет изучить такие свойства анизотропных структур волокон, как силу двойного лучепреломления, дихроизм и др. Свет от осветителя проходит через поляризатор и поляризуется в одной плоскости. Однако при прохождении через препарат (волокна) поляризация изменяется и возникшие изменения изучаются с помощью анализатора и различных компенсаторов оптических систем.

Чаще всего методом поляризационной микроскопии изучают силу двойного лучепреломления, которая характерна для волокон определенного вида.

Сила двойного лучепреломления равна разнице лучепреломления вдоль оси волокон n_1 и лучепреломления в направлении поперечного сечения n_2 .

$$n_1 - n_2 = \Delta/d, \quad (I.4)$$

где Δ — разность хода между обыкновенными и необыкновенными лучами, мкм, возникшими в волокне при прохождении через него света; d — толщина волокна, мкм.

ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

Разрешающая способность электронных микроскопов позволяет изучать тонкую структуру волокон на уровне атома [5].

Теоретические основы электронной микроскопии были заложены еще в 20-е годы нашего столетия Луи-де-Бройлем. Им было показано, что пучку заряженных частиц, движущихся в ускоряющем поле, соответствует волновой процесс с длиной волны, нм,

$$\lambda = h/(mv), \quad (I.5)$$

где h — постоянная Планка; m — масса электрона (покоящегося); v — скорость движения электрона.

При воздействии поля с потенциалом u , В, пучок электронов ускоряется, тогда энергия электронов

$$eu = mv^2/2, \quad (I.6)$$

где e — заряд электрона.

Из уравнения (I.6) имеем $v = \sqrt{2eu/m}$. Тогда, используя формулу (I.5), находим

$$\lambda = h/\sqrt{2meu}. \quad (I.7)$$

Рис. I.14. Оптическая схема электронного микроскопа

Подставив постоянные h , m , e в формулу (I.7), получим

$$\lambda = \text{const}/\sqrt{u}. \quad (I.8)$$

Уравнение (I.8) описывает волновой процесс в ускоренном пучке электронов.

Оптическая схема наиболее распространенного электронного микроскопа просвечивающего типа показана на рис. I.14. Источником электронов в пучке 1 является нагретая вольфрамовая нить, отрицательный потенциал которой поддерживается высоким (50, 100 кВ). Конденсорная магнитная или электростатическая линза 2 фокусирует пучок электронов 3 на изучаемом объекте 4.

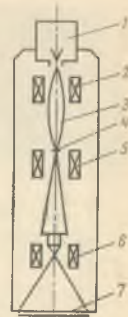
Системами магнитного объектива 5, проектора 6 изображение проецируется на экран 7, представляющий собой металлическую пластину, покрытую специальным составом, светящимся при попадании на него электронов. На экране может быть установлена фотопластинка.

Электроны, проходя через исследуемый образец, сильно его нагревают, поэтому для исключения искажения структуры требуется тщательная подготовка препарата. Она заключается в приготовлении тонких пленок (до 30 нм) для подложки исследуемого препарата. Для изучения поверхности волокон приготавливают реплики-отпечатки.

При использовании растрового электронного микроскопа не требуется приготовления реплик, ультратонких срезов. Растровые электронные микроскопы получили широкое развитие в 60-х гг. и в настоящее время применяются во всех областях науки и техники. Блок-схема растрового микроскопа BS-300 фирмы «Тесла» (ЧССР) показана на рис. I.15.

От электронной пушки 15 электронный луч 14 в виде зонда диаметром около 10 нм просматривает пробу 1. Двухкаскадными катушками 13 осуществляется юстировка электронного пучка. Диаметр пучка уменьшается двухкаскадными конденсаторами 11 и 12, которые получают питание от стабилизированного источника тока 10.

Пучок электронов, пройдя через диафрагму и запирающий вентиль 9, попадает под действие системы восьмиполосного стигматора 8, двухкаскадных сканирующих катушек 7, связанных с системой управления перемещения (развертки 16) луча для создания раstra с генератором 17. Развертка 16 и



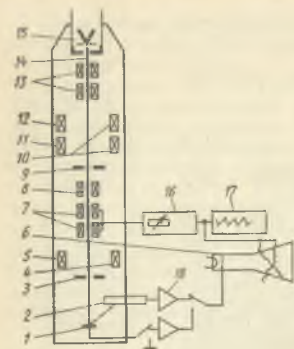


Рис. 1.15. Схема сканирующего микроскопа BS-300

Катушки объектива 5 фокусируют электронный луч 14, стабилизированный стабилизатором 4 через апертуру диафрагмы 3 на объект 1. При попадании луча на объект в результате взаимодействия электронов с веществом объекта возникают вторичные электроны исследуемого вещества, но часть электронов луча 14 отражается от объекта, часть поглощается, часть проходит через объект.

Отраженные электроны с глубины объекта (до 100 нм), энергия которых близка к энергии первичных электронов, также дают информацию о строении объекта, создавая контраст изображения.

Плотность вторичных, отраженных, поглощенных, пропущенных электронов зависит от строения вещества объекта, от его рельефа, что и фиксируется детектором 2. Детектором является сцинтиллятор с большим сроком службы для вторичных и отраженных электронов. Отраженные электроны попадают в фотоумножитель, где сигнал усиливается усилителем 18, преобразующим электронный сигнал в электрический. Информация усиливается и передается на электронно-лучевые трубки, покрытые люминофором с длительным послесвечением.

Для предотвращения образования и накопления зарядов на поверхности изучаемого объекта его покрывают тонкой пленкой металла (золото с палладием, серебро и др.).

Достоинство растрового электронного микроскопа заключается в возможности изменять угол наклона объекта по отношению к электронному лучу, перемещать его в плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях и изменять его

генератор 17 включены в схему кинескопа 6. Электронный пучок перемещается по поверхности объекта по строкам. Результирующее изображение (растр) состоит из конечного числа строк. Скорость растрования на электронном микроскопе BS-300 может изменяться от 1 до 500 м/с на строку, а число строк может составлять 100, 200, 400, 800, 1600. Режим растрования в зависимости от цели исследования объекта может быть различным: вдоль всей поверхности, с вырезом изображения, однократное растрование изображения для фотосъемки.

Рис. 1.16. Разрушение чешуек шерсти при истирании



положение по высоте. Вместе с тем следует иметь в виду, что разрешающая способность растровых микроскопов по сравнению с разрешающей способностью просвечивающих электронных микроскопов на порядок меньше.

На рис. 1.16 показано разрушение чешуек шерсти при рассмотрении их на электронном растровом микроскопе [5].

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Рентгеноструктурный анализ основан на использовании явления дифракции рентгеновских лучей в веществе. Рентгеновское излучение — электромагнитное ионизирующее излучение. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda < 0,2$ нм условно называют жесткими, при $\lambda > 0,2$ нм — мягкими. В рентгеноструктурном анализе используются лучи с длиной волны 0,05—0,25 нм.

При попадании пучка лучей на кристалл, линейные размеры которого имеют тот же порядок величины, что и длина волны, возможна дифракция.

Рассматривая кристаллы как дифракционные решетки, М. Лауэ определил следующие соотношения:

$$a(\cos \alpha - \cos \alpha_0) = h\lambda; \quad (I.9)$$

$$b(\cos \beta - \cos \beta_0) = k\lambda; \quad (I.10)$$

$$c(\cos \gamma - \cos \gamma_0) = l\lambda, \quad (I.11)$$

где a, b, c — параметры элементарной ячейки кристалла; $\alpha, \beta, \gamma, \alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ — углы соответственно падающего и дифракционного лучей; h, k, l — целые числа (миллеровские индексы — индексы узловой плоскости) [2].

Для рентгеноструктурного анализа основополагающим было условие Вульфа и Брэгга, согласно которому максимумы возникают при отражении рентгеновских лучей от системы кристаллографических плоскостей, когда лучи, отраженные разными плоскостями этой системы, имеют разность хода, равную числу длин:

$$2d \sin \theta = m\lambda, \quad (I.12)$$

где d — межплоскостное расстояние (рис. 1.17); θ — угол скольжения (угол между падающим лучом и отражающей плоскостью); m — порядок отражения, т. е. положительное число; λ — длина волны рентгеновского излучения.

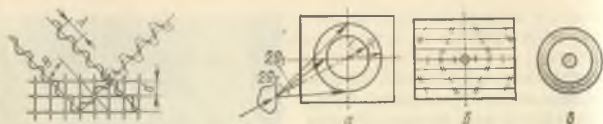


Рис. I.17. Схема дифрактирования рентгеновских лучей

Рис. I.18. Схема формирования рентгенограмм волокон (а), рентгенограммы ориентированного (б), неориентированного изотропного (в) полимерных веществ

Для изучения строения текстильных материалов широко используется метод Дебая — Шерера. Узкий параллельный пучок монохроматических рентгеновских лучей, падая на поликристаллический образец, образует коаксиальные (имеющие одну общую ось) дифракционные конусы (рис. I.18, а).

Углы раstra согласно условию Вульфа и Брэгга равны учетверенному углу дифрактирования, число конусов зависит от наличия кристаллитов разного межплоскостного расстояния. При этом чем ближе к оси конусов (к направлению первичного пучка рентгеновских лучей), тем больше межплоскостное расстояние.

Необходимо отметить, что для большинства волокон рентгенограммы (рис. I.19) имеют вид не колец, а рефлексов, свидетельствующих об ориентации кристаллитов. При наличии кристаллитов разного размера (межплоскостных расстояний) на рентгенограмме будет несколько рефлексов (рис. I.18, б). И чем шире рефлекс, тем больше степень разориентации кристаллита. Наличие диффузного кольца (рис. I.18, в) связано с рассеянием от аморфных областей.

Рассмотренное относится к рентгенографии текстильных волокон, которая осуществляется на рентгеновских установках УРС-60.

На рентгеновских дифрактометрах Дрон-2, Дрон-1, Дрон-0,5 измеряется интенсивность дифрагированного образца волокон при пропускании через них рентгеновских лучей. На дифрактометрах обеспечивается высокая точность измерения направления излучения и фиксации углов дифрактирования (до десятых долей минуты).

Детектором излучения на рентгеновских дифрактометрах являются сцинтилляционные, ионизационные и другие счетчики, а обработка их результатов и запись изменений интенсивности с изменением угла излучения рентгеновских лучей осуществляются электронным измерительно-регистрирующим устройством.

При изучении размеров, формы и взаимного расположения более крупных структурных частиц применяют метод малоуглового рассеивания рентгеновских лучей. Малоугловой дифракцией

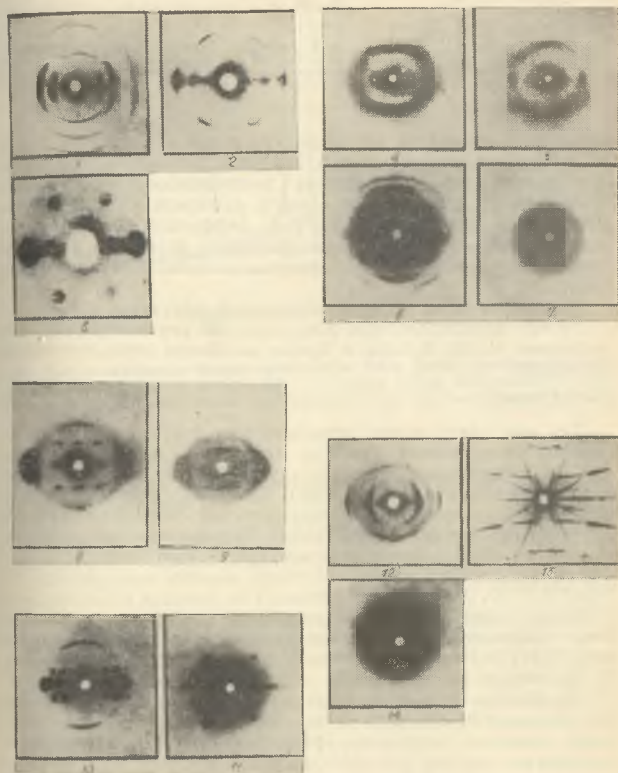


Рис. I.19. Рентгенограммы волокон:

1 — хлопковое; 2 — рами; 3 — гидратцеллюлозное; 4 — шерстяное (α-кератин); 5 — то же (β-кератин); 6 — шелковое (фибронин); 7 — казенное; 8 — капроновое; 9 — амидное; 10 — полиэтилентерефталатное; 11 — поливинилхлоридное; 12 — полиакрильное; 13 — асбестовое; 14 — стеклянное

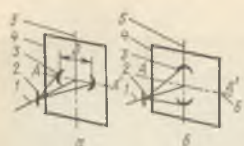


Рис. 1.20. Схема получения рентгенограммы:

а — по экватору; б — по меридиану (1 — первичный рентгеновский луч; 2 — элементарная проба; 3 — дифрагированные лучи, образующие рефлексы; 4 — фотопленка; 5 — меридиан; 6 — экватор)

называют рассеивание рентгеновских лучей в диапазоне углов от нескольких минут до двух градусов. Изучение дифракции при малых углах рассеивания рентгеновских лучей дает возможность получить необходимую информацию о частицах. Малоугловая дифракция может быть диффузной, концентрируемой на рентгенограммах ориентированных полимеров на экваторе, и дискретной, когда рефлексы располагаются на меридиане.

Ниже приведены расчеты показателей структуры.

Расчет межплоскостного расстояния по рентгенограмме. Из уравнения (I.12) Вульфа и Брэгга находится межплоскостное расстояние

$$d = \lambda / (2 \sin \theta). \quad (I.13)$$

Так как длина волны рентгеновского излучения λ в зависимости от установки известна (например, на УРС-60 $\lambda = 0,154$ нм), то для определения угла θ измеряют расстояние между рефлексами D (рис. 1.20). Согласно схеме l — базовое расстояние (например, на рентгеновской установке УРС-60 $l = 39,6$ мм), тогда $\tan 2\theta = 0,5D/l$. Подставляя эти значения в формулу (I.13), определяют межплоскостное расстояние

$$d = \lambda / [2 \sin (0,5 \arctg 0,5D/l)].$$

Расчет межплоскостного расстояния по дифрактограмме. Угол дифрактирования θ определяют по дифрактограмме (рис. 1.21) с учетом масштабного фактора. Затем по формуле (I.13) находят расстояние d .

Определение угла разориентации кристаллитов относительно оси волокна. Разориентацию кристаллитов структуры определяют, используя экваториальный рефлекс. Фотометрируя рентгенограмму, находят угол разориентации φ_0 :

$$\varphi_0 = \Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)/2, \quad (I.14)$$

где φ_1 и φ_2 — углы на половине высоты в максимуме фотометрированного рефлекса (рис. 1.22).

Расчет размера кристаллита. По Селякову — Шереру размеры кристаллита (в пределах 5—100 нм) могут быть рассчитаны по формуле

$$L_{hkl} = K_{\phi} \lambda / (\beta \cos \theta), \quad (I.15)$$

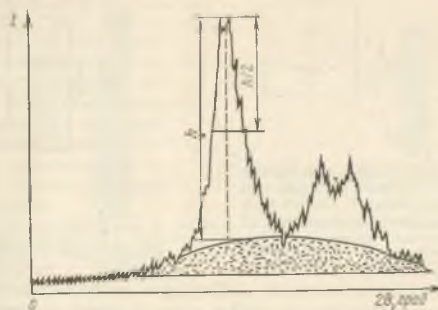


Рис. 1.21. Дифрактограмма волокон

где K_{ϕ} — коэффициент формы кристаллита (если форма кристаллита неизвестна, K_{ϕ} принимают равным 0,9); λ — длина волны рентгеновского излучения; β — расширение линии рентгенограммы на половине высоты дифрактограммы.

$$\beta = \sqrt{B^2 - b^2}, \quad (I.16)$$

где B — расширение линии на исследуемом образце; b — расширение линии от эталонного образца.

Отметим, что каждая линия дает размер кристаллитов в определенном кристаллографическом направлении.

Определение степени кристалличности. Расчет степени кристалличности волокон по Германсу и Вайдингера осуществляется в такой последовательности. На дифрактограмме $I = f(2\theta)$ отделяется фон рассеяния рентгеновских лучей на воздухе. Для уточнения фона снимается дифрактограмма эталонного образца. Проводится контур аморфного фона. Он аппроксимируется плавной линией, проходящей через локальные минимумы дифрактограммы. Оставшаяся часть дифрактограммы является кристаллической зоной исследуемых волокон.

$$\text{Степень кристалличности, \%} \\ K = S_k \cdot 100 / S_0, \quad (I.17)$$

где S_k — площадь кристаллической части дифрактограммы; S_0 — площадь всей дифрактограммы, за исключением фоновой зоны.

Расчет большого периода по рентгенограммам, полученным

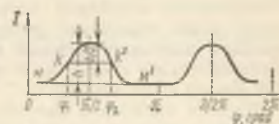


Рис. 1.22. Схема для определения угла разориентации по кривой интенсивности фотометрирования рентгенограммы

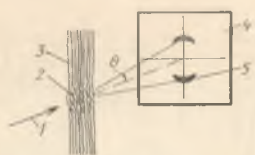


Рис. 1.23. Схема для определения большого периода по рентгенограмме, полученной при малоугловом рассеянии:
1 — первичный рентгеновский луч; 2 — аморфная зона; 3 — кристаллит; 4 — рентгенограмма; 5 — малоугловой рефлекс

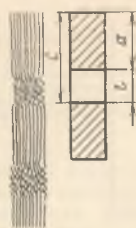


Рис. 1.24. Модель беспериодной структуры волокон

при малоугловом рассеянии. При исследовании надмолекулярных образований с использованием малоуглового рентгеновского рассеяния (рис. 1.23) допускается фибриллярная модель с чередованием вдоль фибрилл кристаллитов и аморфных участков (рис. 1.24). Длина кристаллита a включает также переходную зону. Большой период $C = a + l$, где l — длина аморфного участка.

Для расчета используется формула (1.13), но для малого значения угла дифракции ($\theta = 1...1,5^\circ$) $\theta \approx \sin \theta$. Тогда

$$C = \lambda / (2\theta). \quad (1.18)$$

МЕТОДЫ СПЕКТРОСКОПИИ

Спектральные методы структурного анализа основаны на изучении энергетических уровней структуры, их состояния и переходов вследствие внешних воздействий.

В зависимости от уровней структуры текстильных волокон и внешнего воздействия выделяются методы инфракрасной, ультрафиолетовой и релаксационной спектроскопии [6].

Инфракрасная спектроскопия волокон. В основе этого метода заложена возможность получения и изучения колебательного спектра, отражающего энергетическое состояние вещества в результате колебания атомных ядер и вращения атомных групп около положения равновесия. При поглощении инфракрасного излучения каждый атом вещества волокон приходит в колебательное состояние и оказывает влияние на колебательный спектр этого вещества.

Частота колебаний каждого атома определяется его массой и взаимосвязью с другими атомами (в основном валентной связью).

Многие химические связи групп атомов имеют свои характеристические частоты, которые могут меняться с изменением

среды, окружающей данную связь или группу атомов внутри молекулы. Поэтому точное определение частот колебаний позволяет получить сведения о структуре молекул, их взаимодействии с соседними молекулами, а также о структуре агрегатов молекул.

Полосы поглощения в инфракрасном спектре характеризуются положением, интенсивностью и шириной. Положение полосы определяется длиной волны λ , мкм, в максимуме, чаще — частотой ν (рис. 1.25), величиной, обратной длине волны λ , м^{-1} или см^{-1} .

Интенсивность полосы характеризуется концентрацией химических групп, поглощающих свет с длиной волны λ , а также молекулярной структурой вещества. Различают интенсивность в максимуме поглощения и интегральную интенсивность, представляющую собой площадь под кривой поглощения. Эта характеристика связана с молекулярными процессами.

Полосы поглощения качественно делят на сильные, средние и слабые в зависимости от высоты в максимуме поглощения или величины площади под контуром полосы. При количественном анализе для оценки интенсивности полос поглощения используется закон Бугера — Ламберта — Бера:

$$I_\nu = I_{0\nu} e^{-K_\nu c d}, \quad (1.19)$$

где $I_{0\nu}$ и I_ν — интенсивность соответственно падающего и прошедшего веществом излучения частоты ν ; K_ν — коэффициент поглощения света частоты ν ; c — единица концентрации вещества; d — единица толщины слоя.

При невозможности определения концентрации интенсивность определяется по формуле Бугера — Ламберта

$$I_\nu = I_{0\nu} e^{-K_\nu d}. \quad (1.20)$$

С учетом светорассеяния интенсивность полосы поглощения рассчитывается по формуле

$$I_\nu = I_{0\nu} e^{-(K_\nu - K_{\nu p}) d}, \quad (1.21)$$

где $K_{\nu p}$ — коэффициент рассеяния.

Ширина полосы связана с формой контура полосы поглощения. Она измеряется полученной на уровне половины высоты в ее максимуме на шкале оптической плотности (см. рис. 1.25).

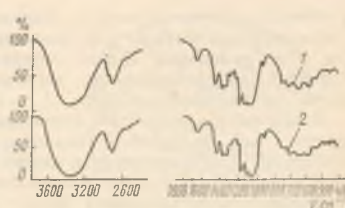


Рис. 1.25. Спектрограмма волокон:
1 — хлопковое; 2 — рами

Метод микрокалориметрии. Данный метод является одним из чувствительных методов изучения структуры текстильных волокон и ее изменений. Метод основан на измерении тепловых эффектов, сопровождающих нагревание или охлаждение веществ, составляющих волокна.

Большинство изменений, происходящих в веществах при нагревании или охлаждении, связано с поглощением тепла (соответственно экзотермические и эндотермические процессы). При этом плавление и дезориентация связаны с эндотермическими процессами, кристаллизация же — с экзотермическими процессами.

Процессы же стеклования происходят без изменения энтальпии, но с резким изменением удельной теплоемкости. Все эти изменения, зафиксированные на термограммах, позволяют судить об особенностях структуры и свойств текстильных волокон.

3. СТРОЕНИЕ НИТЕЙ

Строение (структура) нитей в значительной мере определяет их свойства и возможности использования. Обычно структура определяется размерами, формой элементов, из которых состоят текстильные нити, взаимным расположением элементов и их свойствами. Необходимо иметь в виду, что элементы в структуре нитей имеют много уровней (от мельчайших элементарных частиц до волокон и нитей). Однако при анализе структуры нитей, ее проектировании учитывается лишь первый уровень — волокна для пряжи, элементарные нити для комплексных нитей, пряжа или комплексная нить для крученых нитей и т. д. Молекулярный уровень учитывается косвенно через свойства волокон, элементарных нитей и т. д.

Характеристики структуры включают характеристики элементов, их взаимного расположения и связей. Из характеристик элемента наиболее важными являются показатели размеров, формы, его состояния и свойств.

Применительно к пряже такими показателями являются длина и толщина волокон, неравномерность по этим показателям, их извитость, прочность, деформируемость и другие свойства, для комплексных нитей — толщина (тощина) элементарных нитей, неравномерность по этим показателям, показатели механических и других свойств.

Характеристики взаимного расположения элементов в нити весьма разнообразны, полной систематизации их еще нет. Отметим характеристики, получившие широкое распространение, — направление крутки, число волокон (нитей), распределение волокон в отдельных сечениях, полнота сечения, заполненность сечения, ворсистость.

Полнота сечения как числовая характеристика формы поперечного сечения нити может определяться несколькими методами. По Герцогу, полнота сечения K_s вычисляется по отношению площади фактического сечения нити S_Φ к площади круга S_0 , образованного описанной вокруг этого сечения окружностью [7]. Для нитей, сечение которых существенно отклоняется от круга, Г. Н. Кукиным [7] предложена иная характеристика — заполненность сечения K_z , %, определяемая методом минимального эллипса,

$$K_z = S_\Phi \cdot 100 / S_0, \quad (I. 22)$$

где S_Φ — фактическая площадь поперечного сечения; S_0 — расчетная площадь сечения по контуру.

На зарисованном контуре поперечного сечения нити проводится максимальная хорда, принимаемая за большую ось эллипса (рис. I. 26). Посередине ее восстанавливается перпендикуляр, на котором откладывается малая ось b , размер которой выбирается таким, чтобы весь контур был описан эллипсом.

Тогда фактическая площадь сечения S_Φ может быть определена расчетным путем, если волокна в нити одинакового сечения, или измерением и суммированием площади всех отдельных волокон в сечении. Расчетная площадь сечения нити по контуру

$$S_0 = \pi ab. \quad (I. 23)$$

В качестве характеристик применяется также коэффициент сплюснутости, который определяется отношением

$$K_c = b/a. \quad (I. 24)$$

Характеристики связи элементов структуры еще не разработаны. В настоящее время определяется лишь косвенный показатель связи элементов друг с другом — показатель интенсивности скрученности.

Пряжа состоит из волокон, распределенных более или менее равномерно по ее длине. Число волокон, хотя и колеблется по сечению, но вокруг среднего числа, которое зависит от толщины пряжи и волокон, ее составляющих. В результате скручивания волокна обвивают друг друга. Поперечное сечение пряжи неправильной овальной формы, приближающейся к кругу. Характерной особенностью пряжи является наличие кончиков волокон на ее поверхности (пушистость).

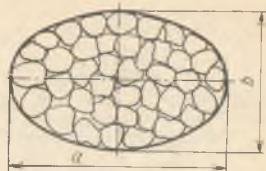


Рис. I. 26. Схема поперечного сечения пряжи

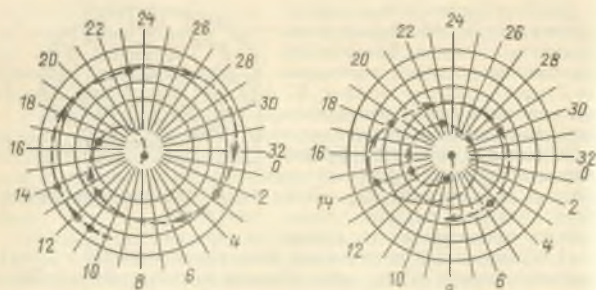


Рис. 1.27. Схемы положения волокон (по В. К. Пейсахову) в поперечном срезе хлопчатобумажной пряжи (цифры — это порядковые номера радиусов хлопчатобумажной пряжи)

Большую роль играет расположение волокон в пряже. Так, в гребенной пряже волокна распрямлены, что обеспечивает ей при небольшой толщине прочность и гладкость. Наоборот, в аппаратной пряже волокна перепутаны и слабо распрямлены, что является причиной ее неравномерности, большой толщины, пушистости и пониженной прочности.

В работах [8, 9] показаны методы определения действительного расположения волокон в пряже путем введения в хлопчатобумажную кардную пряжу небольшого числа (3—7 %) волокон, окрашенных в три цвета.

На ручном микротоме через 0,2 мм делали поперечные срезы пряжи, позволившие определить изменение положения отдельных волокон относительно контуров и оси пряжи. На рис. 1.27 показаны схемы положения волокна в 32 последовательных срезах пряжи 18,5 текс.

На рис. 1.28 показаны схемы расположения волокон в продольном направлении. Волокна в пряже располагаются в основном по винтовым линиям переменного шага и радиуса.

Широкое распространение получил метод изучения структуры пряжи (метод В. Мортон), при котором фиксируется положение волокон в пряже по ее длине [10]. Согласно этому методу в пряжу закладываются предварительно окрашенные волокна. Препарат пряжи погружается в ванночку с жидкостью, имеющей коэффициент преломления, близкий к коэффициенту преломления неокрашенных волокон (раствор метилсалицилата). Положение в пряже окрашенных контрастных волокон фотографируется или зарисовывается под микроскопом.

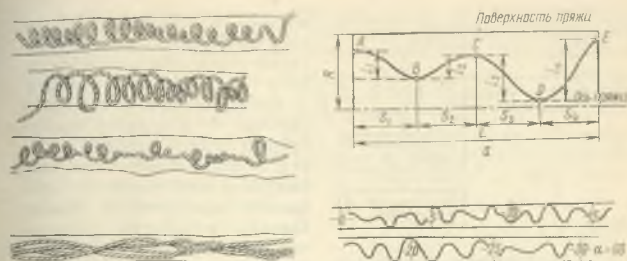


Рис. 1.28. Схемы расположения волокон в хлопчатобумажной пряже по длине (по Н. М. Белицину)

Рис. 1.29. Схемы расположения волокон относительно геометрической оси хлопчатобумажной пряжи (а), волокон пряжи при разной крутке (б)

В качестве характеристики расположения отдельных волокон по радиусу пряжи и по ее длине В. Мортон предложил коэффициент миграции [10]. Схема расположения волокон относительно геометрической оси пряжи показана на рис. 1.29, а, где $S_1, S_2, \dots$ — проекции соответствующих участков волокна ($AB, BC, \dots$) на ось пряжи, а $i_1, i_2, \dots$ — разности между расстояниями от точек $A, B, \dots$ до оси пряжи.

Коэффициент миграции

$$C = \frac{i_1 S_1}{RL} + \frac{i_2 S_2}{RL} + \frac{i_3 S_3}{RL} + \dots + \frac{i_n S_n}{RL} = \frac{\sum i_i S_i}{RL} \quad (1.25)$$

где R — радиус пряжи; L — длина отрезка пряжи, на котором изучается положение волокна.

Схема расположения волокон хлопчатобумажной пряжи при разной крутке показана на рис. 1.29, б.

Необходимо также изучать взаимное расположение волокон в пряже по поперечным сечениям, распределение разнородных волокон и волокон разной толщины, заполнение пряжи, формы ее сечения. Для этой цели используют автоматизированные оптические анализаторы, которые существенно сокращают время для определения характеристик структуры пряжи. Блок-схема установки с оптическим анализатором МОР-АМ/03 фирмы «Рейхарт» (Австрия) приведена на рис. 1.30. Проекционный

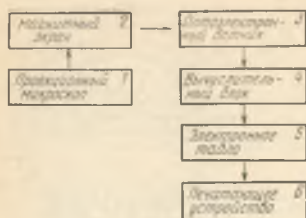


Рис. 1.30. Блок-схема установки с использованием оптического анализатора МОР-АМ/03 фирмы «Рейхарт» (Австрия)

На рис. 1.31 показано возможное взаимное расположение нитей (структура) для крученых нитей [7]. Такую же структуру имеют комплексные крученые нити.

При трубчатой структуре нити располагаются как витки многоходового винта. Для стержневой структуры характерно наличие осевых одной или нескольких нитей, располагающихся в распрямленном виде вдоль оси, тогда как другие нити обвивают их. При штопорной структуре одна или несколько нитей на всей длине или очень длинных участках являются осевыми, а остальные их обвивают.

Г. Н. Кукиным [7] были установлены условия, при которых возможно получение нитей перечисленных структур. Для трубчатой структуры — это малое число элементов (до 5), а площадь поперечных сечений и натяжение каждой нити одинаковы.

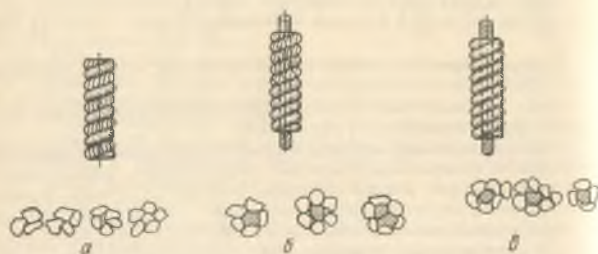


Рис. 1.31. Структура крученых нитей:

а — трубчатая; б — стержневая; в — штопорная

микроскоп Визопан 1 позволяет проецировать с большим увеличением поперечный срез нити на магнитный экран 2. С помощью онтоэлектронного датчика 3 обводится контур сечения пряжи, волокон на экран 2. Возникающие при этом импульсы направляются через каналы измерения в запоминающее устройство вычислительного блока 4. Накопленные статистические данные измерения могут быть считаны с электронного табло 5 или же выданы на ленте печатающим устройством 6.

При большем числе элементарных нитей, их неравномерном натяжении и неодинаковых сечениях появляется стержневая структура. Штопорную структуру имеют нити, при кручении которых отдельные составляющие более натянуты. Аналогичный эффект может иметь место, если скручиваются сильно утоненные нити. При этом получаются нити с дефектами.

Отметим, что крученая нить при большом числе элементарных нитей имеет форму, близкую к цилиндрической, а составляющие ее нити располагаются кольцевыми слоями. Число нитей в слое

$$n_m = Km, \quad (1.26)$$

где K — коэффициент (период роста числа элементарных нитей в слое); m — порядковый номер слоя.

При одинаковом диаметре скручиваемых элементарных нитей коэффициент $K = 6$, тогда

$$n_m = 6m. \quad (1.27)$$

Число элементарных нитей в комплексных нитях приведено в табл. 1.3 [11].

Особое место по строению занимают крученые армированные нити, в которых каркасные сердцевинные нити обвиваются текстильными или металлическими нитями. В качестве каркасных используют достаточно прочные нити из натуральных волокон, химические нити. В качестве обвивочных нитей применяют тонкую проволоку, в том числе из цветных металлов, узкие полоски фольги и др. Кроме того, в качестве обвивочных нитей могут использоваться отходы текстильного производства. Из армированных нитей изготавливают самые разные изделия (например, технического назначения, декоративные и др.).

Разнообразна структура текстурированных и фасонных нитей [11, 12, 13]. К текстурированным нитям относят чаще всего синтетические нити, подвергавшиеся специальным воздействиям (кручению, прессованию, гофрированию, раздуванию и др.), в результате которых их структура, как и свойства, приобретает существенные изменения (рис. 1.32).

Табл. 1.3. Число элементарных нитей в комплексной нити

Нить	Число элементарных нитей в комплексной нити линейной плотности, текс							
	3,3	5	6,7	8,4	11	13,3	16,6	22,2
Ацетатная	—	—	14, 16	16	26	26	25, 30	33, 38
Триацетатная	—	—	15	15, 19	22, 25	26	35	32, 38, 40
Синтетическая	6,8	12	12	—	—	—	—	—

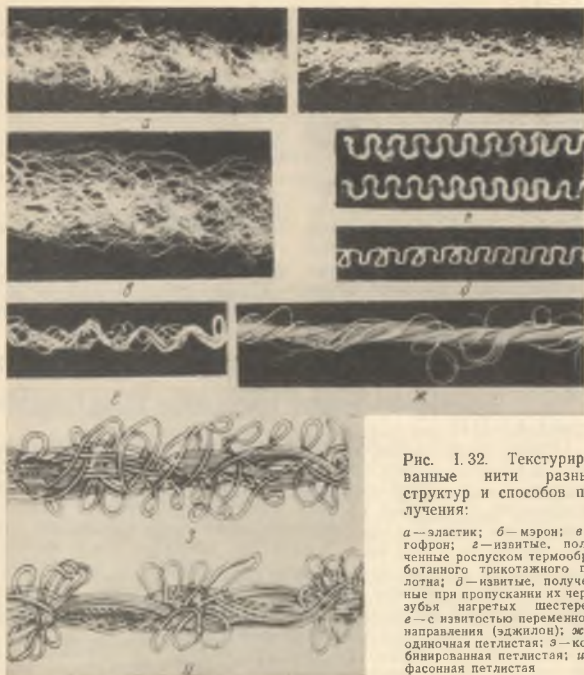


Рис. 1.32. Текстурированные нити разных структур и способов получения:

а — эластик; *б* — мэрон; *в* — гофрон; *г* — извитые, полученные роспуском термообработанного трикотажного полотна; *д* — извитые, полученные при пропускании их через зубья нагретых шестерен; *е* — с извитостью переменного направления (эджилон); *ж* — одиночная петлистая; *з* — комбинированная петлистая; *и* — фасонная петлистая

Нить эластик имеет высокие показатели объемности, спиральной извитости элементарных нитей и растяжимости. Нити мэрон, мэлан также высокообъемные, со спиральной извитостью элементарных нитей, но значительно большей их ориентацией. Эти нити имеют меньшую растяжимость, чем эластик. Нити гофрон, банлон и другие с повышенной объемностью плоскоизвиты, обладают малой растяжимостью, высокой пористостью и пониженной теплопроводностью. Эффект извитости текстурированных нитей, полученных путем предварительной протяжки гладких синтетических нитей по острой кромке горячего ножа, меньше, чем у текстурированных нитей, полученных другими способами, но элементарные нити сильно перепутаны. Текстурированные нити, получаемые при воздействии тур-

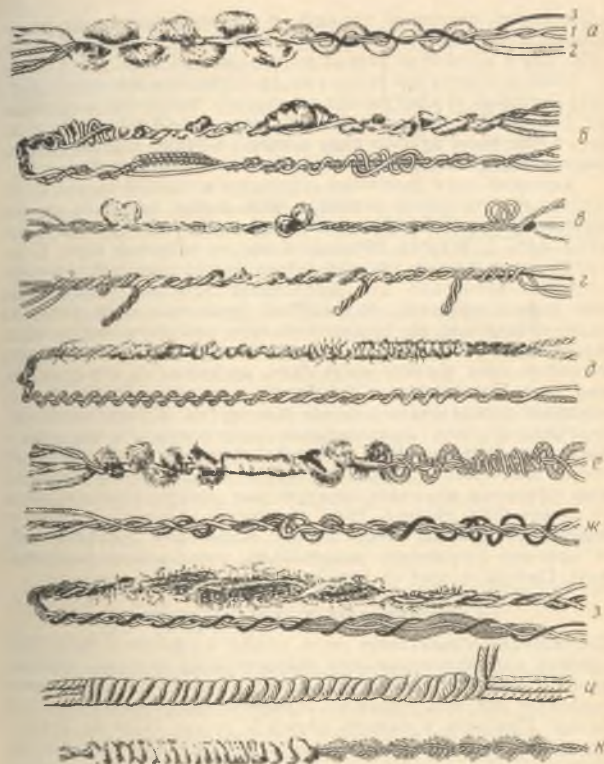


Рис. 1.33. Фасонные нити:

а — спиральная (навилетая); *б* — узелковая; *в* — петлистая; *г* — с сукрутинками; *д* — застилистая (пересекающаяся); *е* — комбинированная (узелки и спирали); *ж* — комбинированная (эпож); *з* — с ровничным эффектом; *и* — с внешней обмоткой; *к* — снелль

булентного воздушного потока, отличаются перепутанностью петлистых элементарных нитей. Такие нити могут быть изготовлены из любых нитей, в том числе и нетермопластичных.

К текстурированным относят также нити, получаемые путем применения фильер с отверстиями не круглого, а фигурного сечения (см. рис. 1.13), бикомпонентные нити из полимеров,

обладающих различной усадкой, и комбинированные из соединенных и скрученных текстурированных нитей с объемными нитями или с мычкой из разных штапельных волокон.

Особую группу по структуре представляют фасонные нити [14], которые в зависимости от способа получения разделяют на фасонную пряжу с заработанными в нее комочками волокон, в том числе другого вида и цвета, а также с периодически повторяющимися заметными утонениями и утолщениями.

Фасонные нити различной структуры показаны на рис. 1.33. Фасонные нити имеют основную нить 1 (см. рис. 1.33, а), называемую стержневой или сердцевинной, нагонную (эффектную) нить 2, которая обвивается вокруг основной нити 1, закрепляющую нить 3, закручиваемую вокруг основной, но в обратном направлении для закрепления эффектов, полученных при первом кручении. В фасонной узелковой нити нагонная нить, навиваемая на стержневую нить при переменном натяжении, образует узелки. В зависимости от величины натяжения нагонной нити узелки могут быть плотными и относительно рыхлыми. Периодическое ослабление натяжения нагонной нити приводит к образованию петель и сукрутин. У застилой переселжистой нити составляющие компоненты имеют разные цвета или толщину. Нить с чередованием спиралей и рыхлых петель известна под названием эпож. Фасонная нить с ровничным эффектом включает плотную или рыхлую ровницу, часть ее может быть цветной. Нить с внешней обмоткой состоит из толстой стержневой нити, плотно обвиваемой другой нитью. В качестве стержневой может быть использована резиновая нить. Синель состоит из двух скрученных нитей с ворсом.

4. СКРУЧЕННОСТЬ И УКРУТКА НИТЕЙ

Скручивание обеспечивает связь между элементами нити. Увеличение сил тангенциального сопротивления волокон, происходящее в результате уплотнения массы волокон при скручивании, позволяет получить пряжу из волокон сравнительно небольшой длины. При этом прочность пряжи и другие свойства зависят от степени (интенсивности) скрученности. Скручиванием нескольких нитей (пряжи) добиваются получения более толстой, прочной и равномерной нити.

Используя разную интенсивность и способы скручивания, создают также нити с внешними эффектами и объемностью (фасонные нити, текстурированные и др.). При скручивании нитей их длина изменяется на величину, называемую укруткой.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРУЧЕННОСТИ НИТЕЙ

Угол кручения. При скручивании волокна и нити располагаются примерно по винтовым линиям. Угол наклона наружных волокон или нитей к продольной оси, угол кручения β , является

универсальной мерой интенсивности скрученности нитей. Чем больше угол β , тем сильнее скручена нить. Для нескрученных нитей, например комплексных, угол кручения равен 0. По углу кручения можно сопоставить степень скрученности нитей любой толщины.

Крутка. Крутка K определяется средним числом кручений (витков) нити на единицу длины нити, равную 1 м. Как сравнительная мера интенсивности скрученности крутка пригодна только для нитей одинаковой толщины и плотности. Это наглядно видно на рис. 1.34, где показаны развернутые витки периферийного слоя с диаметрами $d_1 < d_2$ при одинаковых крутках $K_1 = K_2$. Чем больше диаметр нити, тем больше угол кручения.

Коэффициент крутки. Коэффициент крутки α как характеристика скрученности широко применяется в производственных условиях. В качестве сравнительной меры интенсивности скрученности нитей коэффициент крутки пригоден при различной их толщине и примерно одинаковой плотности.

Согласно ГОСТ 6611—73* коэффициент крутки

$$\alpha = 0,01K \sqrt{T}, \quad (1.28)$$

где T — линейная плотность нити, текс.

Для расчета коэффициента крутки в ряде литературных источников [8 и др.] использовалась формула

$$\alpha_N = K/\sqrt{N} = K\sqrt{T}/31,6, \quad (1.29)$$

где K — число кручений на 1 м; N — номер нити, м/г; T — линейная плотность нити, текс.

Сравнив формулы (1.28) и (1.29), находим, что $\alpha_T = 0,316\alpha_N$.

Ориентировочные значения коэффициента крутки и угла кручения в прядении или при окончательном скручивании приведены в табл. 1.4.

Взаимосвязь характеристик скрученности нитей. На рис. 1.34 показана развертка наружного волокна (нити), представляющая собой треугольник ABO . Из развертки следует, что

$$\tan \beta = \pi d_p / h, \quad (1.30)$$

где d_p — расчетный диаметр пряжи (нити); h — высота витка.

$$d_p = 0,036 \sqrt{T/\delta}; \quad h = 1000/K_\phi,$$

где T — линейная плотность нити; δ — плотность нити; K_ϕ — фактическая крутка.

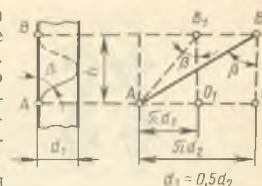
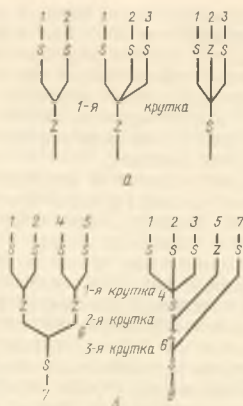


Рис. 1.34. Схема развертки витка периферийных волокон нити одинаковой крутки, но разной толщины



Рис. 1.35. Условное обозначение крутки

Рис. 1.36. Графическое обозначение крутки: а — крученые нити; б — многокруточные нити



Подставляя формулы для h и d_p в формулу (I.30), получим формулу взаимосвязи угла кручения, крутки, линейной плотности и плотности нити

$$\lg \beta = 0,0001 K_{\phi} T / \sqrt{\delta}. \quad (I.31)$$

Принимая во внимание формулу (I.28), получим

$$\lg \beta = 0,01 \alpha \sqrt{T}. \quad (I.32)$$

Табл. I.4. Коэффициент крутки и угол кручения нитей различных видов

Нить	Коэффициент крутки K_{ϕ}	Коэффициент крутки K_T	Угол кручения β , град
Пряжа			
хлопчатобумажная	80—140	25,3—44,2	17—28
льняная	75—115	23,7—36,4	15—29
шерстяная	45—150	14,2—47,4	11—32
вискозная	95—120	30—37,9	20—25
Вискозная комплексная нить			
уток	12—16	3,8—5,1	3—4
основа	26—30	8,2—9,5	6—7
креп	190—260	60—82	35—44
Ацетатная и триацетатная нити	50—80	15,8—25,3	—
Шелк			
уток	4—9	2,2—2,8	1—2
основа	27—34	8,5—10,5	5—7
креп	180—240	56,8—75,7	33—40

Тогда угол кручения $\beta = \arctg \beta = \arcsin(0,01 \alpha \sqrt{T})$, или $\beta = \arctg \beta = \arcsin(0,0001 K_{\phi} \sqrt{T/\delta})$.

Направление крутки. Направление наружных витков волокон или нитей принято обозначать буквами Z и S. При крутке Z витки идут снизу слева вверх направо, при крутке S витки идут снизу справа вверх налево (рис. 1.35). Для нитей, скрученных в несколько приемов, направление крутки показывают последовательно для всех процессов скручивания, начиная с первой крутки, и обозначают буквами Z и S. При отсутствии крутки (нулевая крутка) принято обозначение K0 (ГОСТ 16736—71*). Примеры графического обозначения направления крутки нитей показаны на рис. 1.36.

Ниже приведены обозначения структуры нитей с учетом других структурных параметров (ГОСТ 16736—71*):

Нить	Обозначение структуры
Однониточная нить	Вискозная пряжа 42 текс S 660
Мононить нулевой крутки	Капроновая мононить 1,7 текс K0
Скрученная мононить	Капроновая мононить 1,7 текс S 800 T_{Rn} 1,74 текс
Крученая комплексная нить	Вискозная нить 13 текс f 40 S 1000
Трошенная нить из разных составляющих нитей	Хлопчатобумажная пряжа (25 текс S 420 + 60 текс Z 80) K0
Однокруточная нить из разных составляющих нитей	Вискозно-ацетатный мооскреп (8,4 текс f 18 2050 + 11 текс f 25 S 100) S 500
Многокруточная нить из разных составляющих нитей	Хлопчатобумажная пряжа (20 текс S 700 $\times$ 3 S 400 + 34 текс S 600) Z 200 T_{Rn} 96 текс

Примечания: 1. T_{Rn} — номинальная результирующая линейная плотность. 2. При обозначении сложных структур многокруточных нитей допускается схема

$$\left. \begin{array}{l} 20 \text{ текс S } 700 \times 3 \text{ S } 400 \\ 34 \text{ текс S } 600 \\ 40 \text{ текс S } 500 \end{array} \right\} Z 200 \left. \begin{array}{l} S 180 T_{Rn} 150 \text{ текс} \end{array} \right\}$$

ВЛИЯНИЕ КРУТКИ НА СВОЙСТВА НИТЕЙ

Крутка нитей оказывает существенное влияние на свойства нитей. С увеличением степени скрученности уплотняются волокна нити, следствием чего является повышение средней плотности и уменьшение их диаметра [12]. При этом уплотнение волокон в начальный период скручивания происходит наиболее интенсивно, сопровождается сдвигом (скольжением) волокон, укруткой. С увеличением крутки прирост средней плотности уменьшается (рис. 1.37, а). При скручивании комплексных нитей вследствие укрутки при большой скрученности поперечник нити может увеличиваться (рис. 1.37, б).

Влияние крутки на прочность нити сложное. Так, разрывная нагрузка пряжи увеличивается с повышением крутки, достигая

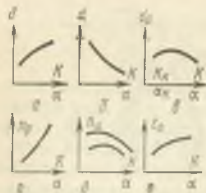


Рис. 1.37. Кривые зависимости от крутки (коэффициента крутки):

а — средней плотности δ ; б — диаметра нити d ; в — напряжения при разрыве σ_p ; г — выходящего нити при растяжении ϵ_p ; д — стойкости к истиранию n_i ; е — разрывного удлинения ϵ_p

повышении степени скрученности пряжи и комплексных нитей значительно повышается их долговечность (рис. 1.37, г). Усиление межволоконных и межнитевых связей от крутки оказывается таким, что при многократном растяжении нагрузками, намного меньшими разрывных, отрицательное влияние, связанное с уменьшением прочности волокон от деформации кручения, оказывается несущественным и за пределами критической крутки.

В случае многократного деформирования нитей на изгиб, на истирание положительный эффект от крутки значительно меньше, чем при многократном растяжении (рис. 1.37, д, е), особенно для комплексных нитей. Стойкость комплексных нитей многих видов к многократному изгибу имеет максимум, после которого происходит снижение показателя долговечности. Такое же наблюдается и при истирании некоторых комплексных нитей различной крутки.

Усиление межволоконных связей с повышением крутки приводит к повышению разрывного удлинения (см. рис. 1.37, е). Последнее объясняется увеличением спиральности волокон (нитей), составляющих скрученную нить.

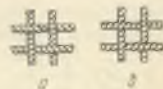
Направление крутки пряжи влияет на внешний вид и свойства тканей. Например, в ткани с одинаковым направлением крутки основы и утка рисунок переплетения оказывается более рельефным, чем при разном направлении крутки основы и утка. Контрастность рисунка достигается благодаря разностороннему расположению витков (рис. 1.38). Применение нитей с разносторонней круткой в основе и утке облегчает начесывание и свойлачивание тканей.

максимума, а затем уменьшается (рис. 1.37, в). Крутка, при которой нить имеет максимальную разрывную нагрузку, называется критической. Положительное влияние крутки на прочность заключается в увеличении сил трения между волокнами при скручивании до значений, превышающих прочность волокон, и равномерности пряжи за счет того, что утоненные ее места больше скручиваются, чем утолщенные. Однако с повышением скрученности пряжи увеличивается разрушение волокон от деформаций кручения, сжатия, вследствие чего уменьшается прочность пряжи.

Для комплексной нити положительный эффект от увеличения крутки значительно меньше, чем для пряжи. При

Рис. 1.38. Сочетание направлений крутки в основных и уточных нитях ткани:

а — направление крутки основы и утка разное (ZS); б — направление крутки основы и утка одинаковое (ZZ или SS)



Использование нитей с разным направлением крутки при вязании платированного трикотажа позволяет получать полотно с равновесной петельной структурой.

Равновесную крученную нить можно выработать, если чередовать направление крутки нитей при двукратном скручивании, соблюдая при этом определенное соотношение величин круток при первом и втором скручивании. Такие нити не дают петель и не раскручиваются, что особенно важно для швейных ниток.

УКРУТКА НИТЕЙ

Укрутку нити определяют как разницу между первоначальной длиной нити L_1 и ее длиной после скручивания L_2 , выраженную в процентах первоначальной длины:

$$U = (L_1 - L_2) 100 / L_1. \quad (1.33)$$

В качестве характеристики изменения длины нити при скручивании используют также коэффициент укрутки

$$K_U = L_2 / L_1 = 1 - 0,01U. \quad (1.34)$$

Общая укрутка, %, при многократном скручивании

$$U_o = \frac{L_1 - L_{n+1}}{L_1} 100 = (1 - L_{n+1} / L_1) 100, \quad (1.35)$$

где L_{n+1} — длина нити после n -го скручивания.

Если известны показатели укрутки после каждого скручивания $U_1, U_2, \dots, U_n$, то, определив отношение длин $L_2 / L_1, L_3 / L_2$ и т. д., преобразуем формулу (1.35):

$$U_1 = (1 - L_2 / L_1) 100;$$

$$U_2 = (1 - L_3 / L_2) 100;$$

$$\dots$$

$$U_n = (1 - L_{n+1} / L_n) 100.$$

$$L_2 / L_1 = 1 - 0,01U_1; L_3 / L_2 = 1 - 0,01U_2; \dots L_{n+1} / L_n = 1 - 0,01U_n.$$

Формула (1.35) примет вид

$$U_o = \left(1 - \frac{L_{n+1}}{L_1}\right) 100 = \left(1 - \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{L_3}{L_2} \cdot \dots \cdot \frac{L_{n+1}}{L_n}\right) 100 = \\ = [1 - (1 - 0,01U_1)(1 - 0,01U_2) \dots (1 - 0,01U_{n-1})(1 - 0,01U_n)] 100. \quad (1.36)$$

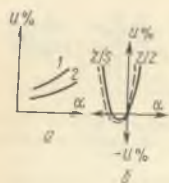


Рис. 1.39. Зависимость укрутки нити от коэффициента крутки α :
а — для однониточной пряжи большой (Π) и малой (2) линейной плотности;
б — для крученой пряжи

Известны также другие формулы расчета укрутки [15]. Например, по К. И. Корицкому, коэффициент укрутки

$$K_U = \cos \beta = 1 - \operatorname{tg}^2 (\beta/2),$$

где β — средневзвешенный угол наклона составляющих элементарных нитей периферийного слоя.

Величина укрутки зависит от ряда факторов, наиболее важными из которых являются интенсивность скрученности (рис. 1.39, а) и линейная плотность нити. Крученые нити с направлением крутки ZS; ZZ при небольшой окончательной крутке могут иметь отрицательную укрутку (рис. 1.39, б).

Укрутка нитей учитывается при расчете производительности прядаильных и крутильных машин, расчетного коэффициента крутки, нормальной линейной плотности и др.

Расчетный коэффициент крутки

$$\alpha_p = 0,01 K_p \sqrt{T_n} / (1 - 0,01 U), \quad (I. 37)$$

где K_p — расчетная крутка, равная числу кручений на 1 м длины нескрученной нити; T_n — нормальная линейная плотность крученой нити.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТКИ И УКРУТКИ НИТЕЙ

Основными методами определения крутки и укрутки нитей являются методы раскручивания, удвоенного кручения и сбалансированной крутки.

Метод непосредственного раскручивания более пригоден для определения крутки крученых нитей, а также пряжи из достаточно длинных волокон, когда возможно более точно определить момент параллелизации волокон. Суть этого метода заключается в раскручивании отрезка нити определенной длины, закрепленного в зажимах, до полной параллелизации волокон пряжи или составляющих нитей комплексных или крученых.

Фактическая крутка в пересчете на 1 м нити

$$K_\phi = n \cdot 10^3 / L, \quad (I. 38)$$

где n — число оборотов зажима, соответствующее числу кручений нитей на зажимной длине L .

Метод удвоенного кручения применяется согласно ГОСТ 6611.3—73* для однониточной хлопчатобумажной и штапельной пряжи из химических волокон кольцевого способа прядения. Пряжа, закрепленная в зажимы круткомера, раскручи-

вается, а затем закручивается до первоначальной длины. Таким образом, счетчик показывает число, равное удвоенному числу оборотов зажима. Крутка, кр./м,

$$K_\phi = n \cdot 10^3 / (2L).$$

Необходимо иметь в виду, что перемещения подвижного зажима должны быть заметны, но минимальны. При несоблюдении этих условий показатели крутки пряжи оказываются завышенными.

Крутку многокруточной нити определяют в следующем порядке: сначала находят окончательную крутку методом непосредственного раскручивания, затем вырезают нити, составляющие крученую нить, и определяют их крутку в зависимости от вида нити либо методом раскручивания, либо методом удвоенного кручения.

Стандартизированного метода определения крутки пряжи пневмомеханического способа прядения еще нет. Это объясняется особенностями строения пряжи. Например, измерить крутку пряжи методом непосредственного раскручивания трудно, так как волокна наружных слоев хаотически навиты на стержень пряжи и добиться их полной параллелизации практически невозможно. К тому же не исключено закручивание одних участков пряжи при раскручивании других.

При использовании метода удвоенного кручения крутка пряжи пневмомеханического способа прядения оказывается намного заниженной.

Более точные результаты измерения крутки пряжи пневмомеханического способа получают методом сбалансированной крутки [16]. При использовании метода удвоенной крутки за счет увеличения длины нити может иметь место разница между числом оборотов при раскручивании и закручивании. Эта разница уменьшается до минимума, если последовательно применить три операции «раскручивание — закручивание» для одной и той же пряжи, но со сменой направления кручения для выравнивания (сбалансирования) крутки. В этом случае крутка пряжи пневмомеханического способа прядения, кр./м,

$$K = (n_1 - 2n_2 + n_3) 1000 / (4L), \quad (I. 39)$$

где n_1 , n_2 , n_3 — показания счетчика круткомера, снятые после окончания каждой операции «раскручивание — закручивание»; L — длина нити между зажимами, мм.

Работа по совершенствованию метода определения крутки, коэффициента крутки для пряжи безверетенных способов прядения продолжается.

Укрутку нитей определяют на круткомере с перемещающимся зажимом (качающимся или скользящим). При раскручивании нить с зажимом перемещается (от действия постоянной

нагрузки), приращение длины нити до полной параллелизации фиксируется и рассчитывается по формулам (I.33) — (I.36).

Подробное описание методики определения крутки и укрутки нитей, описание универсального крутомера КУ-500 приведено в учебном пособии [4].

В последние годы в испытательных лабораториях появились автоматизированные крутомеры. Так, автоматизированный крутомер Д312 фирмы «Цвейгли» снабжен микрокомпьютером и цифровым устройством. Микрокомпьютер управляет работой прибора, фиксирует результаты измерения и обрабатывает их. Цифровое устройство фиксирует на бумаге результаты измерения и статистической обработки.

Прибор универсален, позволяет проводить испытания по определению крутки разными способами, укрутки, равновесности пряжи, нитей линейной плотности до 300 текс.

5. ВОРСИСТОСТЬ ПРЯЖИ

Кончики волокон, отдельные петельки, выступающие на поверхности пряжи, образуют ворс, или ворсистость, пряжи. Практически каждое волокно может иметь ворсинку от входящего или выходящего кончика или петельки при заработанных в тело пряжи концах. Важны как количество, так и длина ворсинок. При малой длине ворсинок ворсистость почти незаметна, при наличии длинных концов она значительна.

Ворсистость зависит от способа прядения, степени распрямленности и параллелизации волокон, крутки, линейной плотности пряжи, вида волокон и других факторов. Например, ворсистость пряжи пневмомеханического способа прядения [16] по сравнению с ворсистостью пряжи кольцевого способа прядения при одинаковой линейной плотности намного меньше (табл. I.5).

С увеличением линейной плотности пряжи, ее крутки показатели относительной ворсистости пряжи уменьшаются. Для пряжи кольцевого способа прядения при высокой крутке ряд исследователей [16] отмечает наличие минимума, после которого следует некоторое повышение ворсистости, что связано с воздействием бегунка на пряжу.

Табл. I.5. Ворсистость пряжи кольцевого (КП) и пневмомеханического (ПМП) способов прядения

Пряжа	Число ворсинок по классам длин, мм					
	0—12	0,5—12	1—12	2—12	4—12	8—12
КП	66 468	13 768	4 173	799	86	3
ПМП	35 277	4 096	1 216	263	35	3

Ворсистость пряжи является одной из основных характеристик структуры, в зависимости от назначения пряжи роль ее меняется. Например, для швейных ниток, тканей с выразительным рисунком переплетения необходима минимальная ворсистость пряжи или полное ее отсутствие. В последнем случае пряжу часто опаливают. Наоборот, для тканей, подвергающихся валке, ворсованию, необходима высокая ворсистость пряжи, чтобы на поверхности полотен образовывался хорошо закатанный ворс.

Знание характера образования ворсистости пряжи, ее зависимости от различных факторов, связанных с формированием пряжи, со строением и свойствами элементов, составляющих пряжу, дает возможность управлять этим процессом и проектировать пряжу с определенными показателями ворсистости.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОРСИСТОСТИ

В качестве показателей ворсистости пряжи применяются следующие: число ворсинок n_v на единицу длины (обычно на 1 м); средняя длина ворсинок l_v , мм; суммарная или общая длина ворсинок L_v , мм; суммарная площадь ворсинок S_v , мм².

Число ворсинок на единицу длины n_v — наиболее часто применяемая характеристика ворсистости пряжи. Эта характеристика свидетельствует о густоте ворсинок.

Экспериментально во многих работах подтверждена адекватность распределения числа ворсинок по длине закону Пуассона, согласно которому вероятность появления ворсинок на единице длины пряжи

$$P_k = (a^k \exp - a) / k!, \quad (I.40)$$

где a — математическое ожидание числа ворсинок на единицу длины (на 1 см).

Согласно закону Пуассона дисперсия численно равна математическому ожиданию.

Учитывая, что все волокна могут иметь свободные концы (ворсинки) на поверхности, среднее число концов волокон на 1 м может быть рассчитано из соотношения

$$n_v = 2 \cdot 10^3 T_n / (T_n l_n), \quad (I.41)$$

где T_n — средняя линейная плотность пряжи, текс; T_n — средняя линейная плотность волокон, текс; l_n — средняя длина волокон.

Известна также формула А. Бареллы для расчета числа ворсинок на 1 мм длины пряжи

$$n = 1,57 d_n (d_n - d_v) / (L_v k), \quad (I.42)$$

где d_n , d_v — средний диаметр соответственно волокон и пряжи, мм; L_v — средняя длина волокон, мм; k — поправка, зависящая от коэффициента крутки α ($k = 0,66 \dots 0,004\alpha$).

Расчет числа ворсинок пряжи по формулам (I. 41) и (I. 42) является ориентировочным.

Число ворсинок на единицу длины важно, особенно при техническом контроле ворсистости пряжи, когда известна длина ворсинок и их распределение. При изменении параметров технологического процесса, заправочных данных длина ворсинок может существенно изменяться, необходимы характеристики, учитывающие размеры ворсинок. Такими характеристиками являются средняя и суммарная длина ворсинок.

Экспериментально определено, что закон распределения ворсинок по их длине является экспоненциальным. Плотность распределения ворсинок по их длинам

$$F(y) = 1 - e^{-y/l} \quad (I. 43)$$

Средняя длина ворсинок зависит от многих факторов и имеет существенные колебания. Так, по данным Т. Н. Боровиковой [17], для хлопчатобумажной пряжи $l = 1,07 \dots 1,6$ мм, шерстяной — $l = 1,35 \dots 1,7$ мм.

Суммарная длина ворсинок является интегральной оценкой, учитывающей как число волокон на единицу длины, так и их среднюю длину. Поэтому многие исследователи отдают предпочтение этой характеристике. Ее рассчитывают по формуле

$$L_a = n l \quad (I. 44)$$

Суммарная площадь ворсинок — также интегральная характеристика. Она учитывает и число ворсинок, и их среднюю длину, и их среднюю площадь поперечного сечения и может быть использована для сравнения ворсистости пряжи, отличающейся площадью поперечного сечения волокон, длиной и числом ворсинок:

$$S_a = L_a d_a \quad (I. 45)$$

где d_a — диаметр волокон.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОРСИСТОСТИ ПРЯЖИ

Гравиметрический метод предусматривает оценку ворсистости пряжи путем определения разницы массы пряжи с ворсом и без ворса (ворс удаляют, например, опаливанием). При гравиметрическом методе получают представление о массе ворсинок, без учета их количества, средней длины. Точность таких методов оценки ворсистости низкая.

Оптический (проекционный) метод заключается в проекции пряжи посредством оптической системы на экран и подсчете числа ворсинок на отрезке изображения, соответствующем 1 мм длины пряжи. Однако отделить ворсинки друг от друга для подсчета, особенно при высокой ворсистости, затруднительно.

В дальнейшем проекционный метод совершенствовался в направлении более качественного подсчета числа ворсинок и измерения их длины. Например, было предложено определять характеристики ворсистости пряжи по предварительно сделанным микрофотографиям пряжи [18]. Микрофотографии с 6—10 участков (по 1 мм) на каждом из 30—

40 отрезков пряжи считаются на проекционном, читательском аппарате. Определяется средняя длина ворсинок l и число ворсинок (кончиков и петель) на длине пряжи 1 мм, подсчитывается также суммарная длина ворсинок. Данный метод определения ворсистости пряжи достаточно точен, но трудоемок.

Электростатические методы — методы косвенной оценки ворсистости пряжи по электростатическому заряду, снимаемому электродом кольцевого вида в результате прохождения ворсинок, получивших заряд от генератора высокого напряжения.

На рис. I. 40 показана схема измерения ворсистости электростатическим методом на приборе Руанского научно-исследовательского и экспериментального центра текстильного института (Франция). В электростатическом поле 2 (трубка), образуемом генератором высокого напряжения 1, ворсинки пряжи 3 поляризуются перпендикулярно ее стволу. При этом ворсинки отделяются одна от другой и выпрямляются. При перемещении пряжи через трубку 4 заряды с кончиков ворсинок снимаются и накапливаются в конденсаторе 6. Гальванометром 5 измеряется заряд конденсатора.

Недостатком электростатических методов определения ворсистости является зависимость показателя не только от переносимого заряда, но и от влажности, электропроводности пряжи, что затрудняет точное определение ворсистости. При таком способе определения ворсистости практически невозможна оценка длины ворсинок.

Фотоэлектрические методы (с помощью оптического увеличения) позволяют автоматически регистрировать число ворсинок на единицу длины непрерывно измеряемой пряжи. Эти методы оценки ворсистости получили наиболее широкое распространение. Рассмотрим принцип действия прибора, разработанного в МТИ им. А. Н. Косыгина [17, 19].

От источника света 1 (рис. I. 41) световой поток, направляемый линзами 2, освещает движущуюся перпендикулярно световому потоку нить 3. Ворсинки задерживают (поглощают или рассеивают) часть светового потока, и на фотоэлементы 5

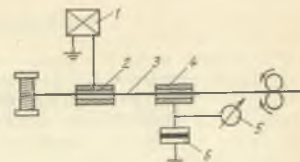


Рис. I. 40. Принципиальная схема электростатического метода измерения ворсистости пряжи

Табл. 1.7. Показатели извитости текстурированных нитей

Нить	Частота извитости i	Степень извитости I , %
Пушистая	19,4	11
Банлон	31,2	28
Фуфлон	46,4	67,1
Эластик	53,4	72,8
Аджилон	38,2	76,6

(ПАН). Однако устойчивость извитости перечисленных химических волокон значительно ниже, чем у шерсти; полиамидные волокна по этому показателю находятся практически на одном уровне с волокнами шерсти.

Показатели извитости текстурированных нитей приведены в табл. 1.7.

Из приведенных данных следует, что степень извитости текстурированных нитей видов аджилон, эластик является очень высокой.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗВИТОСТИ

Еще в начале XIX века при оценке качества тонкой шерсти определяли извитость волокон шаблонами. Шаблоны в виде пластинок с краями, имеющими разное число зубчиков на единицу длины, прикладываются параллельно волокнам к штапельку шерсти. Подбирая шаблон, максимально совпадающий с извитыми волокнами, определяют извитость и тонины шерсти [20]. Чем тоньше волокна шерсти, тем больше их извитость. Необходимо отметить, что основной операцией является определение тонины, а определение извитости — вспомогательной.

Метод зарисовки на экране изображений волокон и нитей для определения их извитости является весьма точным и применяется в исследовательских работах. Увеличенное в 10 раз и более изображение волокна зарисовывается на экране. По зарисовкам определяют длину нераспрямленного волокна L_0 , а с помощью курвиметра — истинную длину L_1 и число извитков Z . Используя полученные данные, по формулам (1.46), (1.47) рассчитывают показатели частоты и степени извитости. Возможно определение и устойчивости извитости, если извитые волокна и нити подвергались усталостным испытаниям. Этот метод определения извитости весьма трудоемок. Но при использовании проектора «Микрофот» время на определение показателей извитости существенно сокращается.

Для химических нитей стандартизирован метод распрямления волокон. Суть этого метода согласно ГОСТ 13411—71* (СТ СЭВ 2469—80) заключается в распрямлении извитой нити (волокна) при воздействии растягивающего усилия, сН, числен-

но равного 0,05 относительной нагрузки и округленного в большую сторону до ближайшей величины, кратной 5. При таком натяжении происходит полное распрямление волокна.

Для определения устойчивости извитости волокон (нитей) их выдерживают в распрямленном состоянии в течение 30 с, затем разгружают и дают отдых в течение 30 с.

По методике ЦНИИ шерсти волокна растягивают на 15 % их длины, удерживают в растянутом состоянии в течение 3 мин, после чего волокно освобождают от растягивающего усилия и дают отдых в течение 3 мин.

Методика определения показателей извитости волокон и нитей подробно изложена в учебном пособии [4].

7. ДЕФЕКТЫ И ЗАСОРЕННОСТЬ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОРОКИ И ЗАСОРЕННОСТЬ ВОЛОКОН

Пороки (дефекты) волокон представляют собой комочки волокон различных размеров и характера и степени уплотненности, возникающие в процессе получения, — сырьевые пороки, или в процессе переработки волокон на текстильных предприятиях вследствие неисправности оборудования, нарушений технологических процессов, плохой работы обслуживающего персонала и т. п.

Наличие пороков и сорных примесей в волокнах осложняет технологический процесс переработки их в прядени, часто требуется дополнительная обработка, уменьшается выход пряжи и увеличивается себестоимость продукции. Кроме того при недостаточной очистке пороки и примеси могут застревать в пряжу, ухудшая ее качество, а затем переходят в изделия, ткани и трикотаж, образуя на них дефекты. Поэтому дефекты волокон изучаются всегда весьма тщательно.

Пороки волокон разных видов подробно описаны в учебном пособии [4, с. 73—76].

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ ВОЛОКОН

При наличии пороков, засоряющих примесей, а в некоторых случаях и наличии на волокнах различных веществ (например, на шерсти — жиропота, на химических волокнах — примесей в виде замасливателей, антистатиков и т. д.) требуется определенная корректировка технологических процессов в прядени и знание содержания пороков, засоренности, содержания примесей как в целом, так и по отдельным видам. Для количественного анализа содержания пороков, сорных примесей в массе волокон применяются следующие методы: выборка вручную,

выделение пороков и примесей из пробы на приборах, обработка пробы реагентами.

Выборка пороков и сорных примесей вручную из пробы сопровождается последующим взвешиванием и расчетом их процентного содержания. Несмотря на большую трудоемкость, этот метод позволяет наиболее тщательно выделить разнообразные пороки и сор по отдельным видам, что необходимо для изучения причин появления дефектов и разработки рекомендаций мер по их устранению.

Содержание пороков и сорных примесей в пробе определяют на анализаторах разного типа. Этим методом определяется лишь суммарное содержание пороков и сорных примесей, без дифференциальной оценки. Однако таким методом содержание пороков определяется намного быстрее, чем при ручном разборе.

Обработка пробы реагентами, растворяющими волокно или содержащиеся в нем сорные примеси, применяется в тех случаях, когда химические свойства самого волокна и примесей различны. Например, химические свойства кератина шерстяных волокон и целлюлозы растительных примесей различны. Обрабатывая засоренную такими примесями шерсть раствором серной кислоты (карбонизация), разрушают растительные примеси. Однако карбонизация — это длительный процесс, к тому же он приводит к потере прочности волокон (примерно на 10 %).

Подробно методы определения чистоты волокон рассмотрены в учебном пособии [4] и стандартах.

ЧИСТОТА НИТЕЙ

Под чистой нитью понимают отсутствие в них резких местных утолщений и утонений, заработанных комочков волокон и посторонних (неволоконистых) частиц. Наличие этих дефектов ухудшает внешний вид нитей и изделий из них, влияет на однородность свойств, технологический процесс, вызывая повышенную обрывность. Поэтому необходимы контроль дефектов, их количества, определение размеров дефектов, их видов и распределения по длине нити, разработка методов определения чистоты. Большие работы в этом направлении проводятся фирмой «Цельвегер» (Швейцария), ЦНИХБИ (СССР) и др.

Дефекты, возникающие на различных стадиях переработки текстильных волокон, называют технологическими. Эти пороки являются следствием неисправности оборудования, нарушений технологического процесса, плохой работы обслуживающего персонала и т. д. К технологическим порокам (рис. 1.42), которые практически одинаковы для нитей различных видов, относятся: утолщения или толстые пропуски, жгуты, превосходящие в 2 раза и более поперечное сечение пряжи, утонения (переслежины), связанные с резким изменением размеров поперечного

сечения на коротких участках (несколько миллиметров или сантиметров); дефекты крутки, выражающиеся в резком увеличении (сукрутины) или уменьшении числа кручений на коротких участках; узлы; масляные и иные пятна, загрязняющие нить; места неправильного присучивания (плохо ссученные концы); шишки — заработанные в нить комки пуха, дающие резкие утолщения пряжи, и др.

Характерным пороком шерстяной пряжи являются мушки — заработанные комочки волокон, имеющие разные размеры (рис. 1.43).

В шелке-сырце наиболее часто встречаются шишки — рыхлые комочки шелковин; большие налеты — более плотно примотанные скопления шелковин длиной более 1 см; большие сукрутины и усы, образующиеся в результате плохого присоединения коконных нитей к нити шелка-сырца; очень длинные узлы. Кроме этих крупных пороков встречаются мелкие и мельчайшие пороки. К первым относятся малые налеты; петли, отщепившиеся от нити шелковицы; малые сукрутины и узлы; ко вторым относятся моховатость — расщепления самих шелковин на комплексы фибрилл; мелкие петли и усики — торчащие кончики шелковин и др.

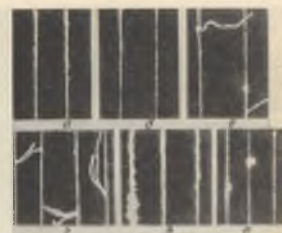


Рис. 1.42. Технологические пороки пряжи:
а — утолщения; б — утонения; в — сукрутины; г — узлы; д — неправильное присучивание; е — шишки

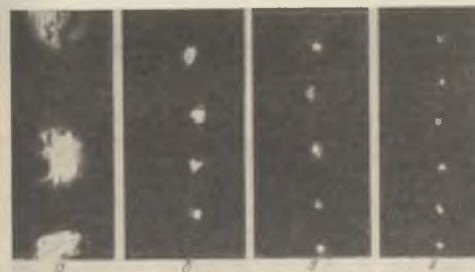


Рис. 1.43. Пороки шерстяной пряжи — мушки:
а — самые крупные; б — крупные; в — средние; г — мелкие

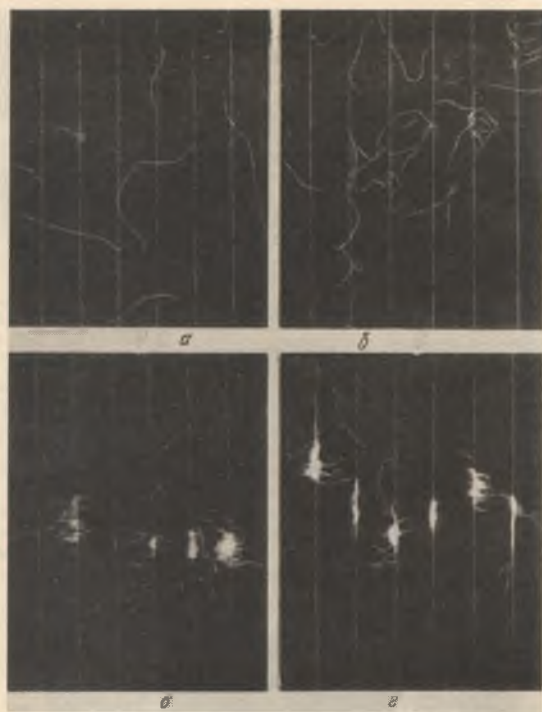


Рис. 1.44. Технологические пороки химических нитей:

а — одиночные обрывы элементарных нитей; б — то же групповые; в — шишки; г — налеты

Технологические пороки химических нитей (рис. 1.44) — это прежде всего пороки, связанные с обрывами элементарных нитей: одиночные и групповые обрывы, шишки, налеты, а также такие пороки, как бугристость по намотке (выступы слоев нити более 1 мм на образующей среднего конуса), разнооттеночность на бобине и между бобинами одного оттенка в партии, пятна и кольцевая полосатость, возникающие вследствие неправиль-

ной работы органов машины, плохой химической отделки и других причин.

В шелковых крученых и комплексных нитях к наиболее распространенным порокам относятся неправильная намотка (переполненная паковка, слабая намотка, несвязанные концы нитей, замотанная рвань), разнооттеночность, грязные и масляные нити и пятна на них; шишки — скопления шелковин, налеты, усы и др.

Кроме технологических пороков в пряже и нитях встречаются некоторые сырьевые пороки, такие, как узелки, кожа с волокном, мушки и др.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ НИТЕЙ

Методы, применяемые для определения чистоты нитей, разделяются на визуальные, с перемоткой нитей через калиброванные отверстия и с применением электрических приборов.

Визуальные методы широко распространены в техническом контроле нитей многих видов. Эти методы включают осмотр паковок (мотков, бобин и др.), осмотр нитей, намотанных на черные поверхности досок, барабанов и т. п. При осмотре паковок (метод стандартизирован для химических нитей), мотков, бобин определяют число видимых пороков. При этом отбирается от партии определенное число паковок и число обнаруженных дефектов относят к 1 г массы нитей. Недостатком такого метода является ограниченность осмотра (лишь наружной поверхности бобины). Осмотр в мотках несколько увеличивает возможность фиксирования пороков по длине, но полностью рассмотреть все пороки также не всегда удается.

В ряде случаев метод осмотра паковок совмещают с определением линейной плотности нитей. Например, число крупных технологических пороков в шерстяной пряже подсчитывают на образцах, подготовленных для определения линейной плотности и др.

Более распространенными визуальными методами являются методы с наматыванием нитей на черные поверхности (доски), когда витки нитей укладываются с определенным шагом. На черных досках достаточно рельефно выделяются пороки, которые и подсчитываются. В случае цветных нитей подбираются доски, цвет которых контрастен цвету нити.

Для шелка-сырца, шелковой пряжи и химических нитей применяют большие черные доски ($136 \times 47 \times 3$ см), на которые с 10 паковок наматывают 10 полос шириной около 13 см каждая. Намотка нитей на доски выполняется на специальном станке — сериплане с раскладником, регулируемым микровинтом. В зависимости от линейной плотности нити шаг раскладки изменяется так, чтобы каждая намотка содержала от 125 до 665 м нити. Вращение досок осуществляется от электродвигателя.

При испытаниях шелка-сырца вследствие большой тонины нити для лучшего обнаружения пороков серпиланные доски просматривают в камерах со строго определенными размерами, окраской и освещением. Подсчитывают все крупные и мелкие пороки, из которых 5 мелких пороков приравнивают к одному крупному. Содержание мельчайших пороков оценивают сопоставлением намоток с эталонами, которые представляют собой фотографии с намоток различной чистоты в натуральную величину. Каждая эталонная фотография оценена условным процентом чистоты. Вычисляется средний процент чистоты по всем оцененным панелям (часть намотки с одной стороны доски).

Определение чистоты по фотоэталонам проводится для хлопчатобумажной пряжи. Согласно ГОСТ 15818—70* пряжа наматывается на доску контрастного цвета с постоянным шагом 1,5 мм и сравнивается с фотоэталонами. Фотоэталон является фотографией в натуральную величину пряжи, намотанной на доску контрастного цвета и относящейся к нитям одной группы по линейной плотности с исследуемой. Подставляя к доске (параллельно в одной плоскости) с исследуемыми нитями фотоэталон разных классов (частоты), начиная с наилучшего, по внешнему виду определяют класс чистоты. Класс чистоты пряжи устанавливают наличием не менее 80 % экранов. При меньшем проценте экранов пряжа относится к следующему низшему классу. Для хлопчатобумажной пряжи установлены классы А, Б и В.

Перематывание нитей или протаскивание их отрезков через калиброванные отверстия и щели, сделанные в металлических пластинках, используется для оценки чистоты, хотя и значительно реже, чем визуальные методы. Например, при оценке чистоты льняной пряжи по данному методу размеры щелей берутся в соответствии с величиной нормального поперечного сечения нити. Застывшие в щелях утолщенные места вызывают обрыв нити, что и позволяет фиксировать пороки. Кроме перематывания нити через щель в отдельных случаях осуществляется протаскивание дефектных участков пряжи длиной 5—7 см с помощью грузиков. При этом дефектные участки пряжи значительно (в 2,5 раза для льняной пряжи и 3,2 раза для оческовой) превышают размеры поперечного сечения нити.

Диаметр щели подбирается соответственно линейной плотности пряжи. Масса грузиков

$$M = A\sqrt{T}, \quad (I. 49)$$

где A — постоянная величина, равная для пряжи сухого прядения 26, а мокрого — 13.

Если при протаскивании утолщенное место застревает в отверстии, оно считается пороком пряжи.

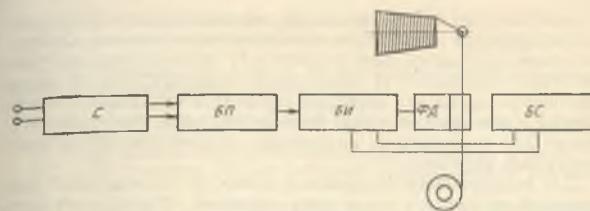


Рис. 1.45. Блок-схема прибора АОПН-5

Рассмотренные методы определения чистоты пряжи длительны, утомительны и в известной мере субъективны, требуют определенного навыка и соответствующей квалификации контролера. Поэтому представляют определенный интерес методы инструментальной оценки дефектов нитей.

Все большее распространение получают методы определения дефектов нити с применением электрических датчиков: фотоэлементных, емкостных и других типов. Преимуществом этих методов являются малые затраты времени, возможность автоматизации процесса определения дефектов и достаточно высокая степень объективности оценки по сравнению с визуальными методами.

Фотоэлементные методы определения чистоты основаны на прохождении нити между источником света и фотоэлементом любого типа (вакуумный, фотоумножитель, фотодиод, фототриод, фотосопротивление и т. п.). Изменение толщины нити вызывает изменение светового потока, преобразованная величина которого может дать представление как об отклонении от средней толщины нити, так и длине такого дефекта.

Определение чистоты с использованием фотоэлементного метода заложено в основу прибора АОПН-5, разработанного в ЦНИХБИ.

На блок-схеме прибора ФД (рис. 1.45) — фотоэлектронный датчик, сигналы от которого поступают на блок измерения БИ. В блоке измерения световой сигнал преобразуется в электрический, усиливается и поступает в блок счета БС, где происходит дискриминация сигнала по уровням толщины и двум уровням по протяженности, которые фиксируются соответствующими счетчиками.

Например, на приборе разделяются дефекты: короткие утолщения, превышающие 1,5 диаметра нити; утолщения, превышающие 1,5 диаметра нити и длиной более 10 см; утолщения, превышающие 2 диаметра нити; короткие утонения менее 0,6 диаметра и утонения менее 0,6 диаметра длиной свыше 10 см.

Блок питания *БП* предназначен для выдачи стабилизированного напряжения датчика схемы электролики, питания электродвигателя протяжки, электродвигателя автоматического компенсатора, следящего за изменением светового сигнала после поглощения его нитью, электродвигателей отсоса пыли с зеркал датчика и вентилятора ламп. Феррорезонансный стабилизатор *С* служит для поддержания неизменным напряжения на зажимах приемников энергии.

Для непрерывного измерения и контроля чистоты нитей применяются приборы с емкостным датчиком. Исследуемая нить пропускается между пластинами конденсатора, изменяя его сопротивление. Сопротивление конденсатора обратно пропорционально его емкости и будет тем меньше, чем больше масса нити, находящейся между пластинами.

Одним из приборов этой группы методов определения чистоты нитей является прибор швейцарской фирмы «Цельвегер» с приставкой-индикатором Дефект. Приставка позволяет с помощью трех электрических фильтров выделить даже малые кратковременные импульсы, возникающие от утолщений, узелков на коротких отрезках, заработки в пряже пуха-шишек, утонений и утолщений на длинных отрезках. При этом каждый из трех фильтров регистрирует импульсы в зависимости от длины дефектов.

Регулировкой фильтров может изменяться фиксация дефектов при определенном отклонении толщины нити от среднего значения как в сторону утолщения, так и утонения. Приставка снабжена автоматическим выключателем, который в зависимости от установки регулятора времени может выключать прибор через определенное время (от 0 до 20 мин). Скорость пропуска нити может быть также разной — 25, 50 или 100 м/мин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каковы особенности надмолекулярной структуры волокон?
2. Строение волокнообразующих полимеров.
3. Что представляют собой фибриллы хлопковых волокон?
4. Какова степень кристалличности волокон?
5. Как различаются волокна по плотности?
6. В чем отличие строения лубяных волокон от хлопковых?
7. Как располагаются фибриллы в лубяных волокнах?
8. Каковы особенности строения шерстяных волокон?
9. Чем отличаются по строению шелковые волокна от шерстяных?
10. Строение волокон асбеста.
11. Строение различных видов химических волокон из целлюлозы.
12. Чем отличаются по строению ацетатные волокна от вискозных?
13. Каковы особенности структуры полиамидных, полиэфирных и полиакрилонитрильных волокон?
14. Строение углеродных волокон.
15. Что дает структурный анализ волокон и нитей?

16. В чем сущность световой микроскопии?
17. Какие микроскопы применяются для изучения структуры волокон и нитей?
18. Чем интересны для изучения структуры волокон методы поляризационной и интерференционной микроскопии?
19. Чем отличается электронная микроскопия от световой?
20. Какие возможности для изучения структуры волокон имеют растровые микроскопы?
21. В чем сущность рентгеноструктурного анализа волокон и нитей?
22. Анализ структуры волокон методами рентгенографии и рентгеновской дифрактометрии.
23. Как определить межплоскостные расстояния, угол разориентации кристаллитов, степень кристалличности?
24. Спектральные методы структурного анализа волокон.
25. Каковы особенности инфракрасной спектроскопии, микрокалориметрии волокон?
26. Строение нитей (пряжи, комплексных, крученных, текстурированных и фасонных нитей).
27. Какое значение имеет скрученность нитей?
28. Характеристики скрученности нитей. Как можно их определить?
29. Как влияет крутка нитей на их свойства?
30. Как определить укрутку нитей?
31. Что такое ворсистость пряжи, от чего она зависит?
32. Методы определения ворсистости пряжи.
33. Какое значение имеет извитость волокон и нитей и как ее определить?
34. Наиболее распространенные дефекты волокон.
35. Что понимают под чистотой нитей?
36. Как оценить чистоту различных нитей?

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. I

1. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы). М., 1985.
2. Структура волокон/Под ред. Д. В. С. Хирла, Р. Х. Петерса. М., 1969.
3. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон. М., 1985.
4. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению/Под ред. А. И. Коблякова. М., 1986.
5. Берестнев В. А., Флексер Л. А., Лукьянова М. М. Микроструктура волокон и элементарных нитей и особенности их разрушения. М., 1982.
6. Бартенев Г. М., Зеленов Ю. В. Физика и механика полимеров. М., 1983.
7. Кукин Г. Н. Равномерность шелка-сырца. М., 1954.
8. Белицин Н. М. О расположении волокон в пряже//Текстиль. пром-сть. 1948. № 12. С. 22—24.
9. Павлов Н. Т., Пейсахов В. К. К вопросу о структуре пряжи//Текстиль. пром-сть. 1946. № 6. С. 9—10.
10. Morton W. E. Textile Research Journal. 1956. № 26 (325).
11. Усенко В. А. Шелкокручение. М., 1983.
12. Усенко В. А., Дамьянов Г. Б., Адыров П. В. Производство текстурированных нитей и высокообъемной пряжи. М., 1980.
13. Садыкова Ф. Х. Текстурированные нити, основные их свойства и методы определения. М., 1973.
14. Бузов Б. А., Модестова Т. А., Алыменкова Н. Д. Материаловедение швейного производства. М., 1986.
15. Свойства и особенности переработки химических волокон/Под ред. А. Б. Пакшвера. М., 1975.

16. Труевцев Н. Н. Свойства пряжи пневмомеханического способа пря-
дения. Л., 1977.
17. Боровикова Т. Н. Контрольно-измерительная аппаратура в текстиль-
ной промышленности. М., 1972.
18. Яцковский Т. К вопросу о ворсистости пряжи//Изв. вузов. Техноло-
гия текстил. пром-сти. 1961. № 5. С. 29—32.
19. Контроль технологических параметров текстильных материалов: ме-
тоды, устройства/Л. К. Таточенко, В. И. Киселев, В. Т. Песня и др. М., 1985.
20. Гусев В. Е. Химические волокна в текстильной промышленности. М.
1971.

Глава II. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Для оценки качества материала измеряют различные характе-
ристики его свойств, выражают их величины числовыми пока-
зателями, которые обычно сравнивают с нормативами [1]. При
этом всегда следует учитывать, что результаты всех измерений
дают лишь приближенное, а не точное значение измеряемой
величины. Причиной этого является допустимая погрешность
измерительных приборов, а также значительная неравномер-
ность текстильных материалов [2]. Для измерения показателей
свойств материала используют обычно незначительную его часть
(пробу, выборку), а результаты распространяют на всю партию
материала. Поэтому необходимо правильно отбирать небольшие
выборки (см. гл. III) для испытаний и анализа и не только
определять сводные выборочные характеристики, но и правиль-
но распространять их значения на всю партию материала
(определение термина «партия материала» см. в гл. III, с. 72).

Таким образом, оценка качества материала по единичным
показателям складывается из следующих основных этапов:
1) выбор номенклатуры показателей [3, 4]; 2) отбор проб (вы-
борок) для их испытаний; 3) измерение выбранных показателей
в пробе; 4) определение сводных выборочных характеристик;
5) определение доверительных вероятностных границ сводных
характеристик для всей партии материала и сравнение их
с нормами.

При оценке качества волокон и нитей по соответствующим
стандартам из них выбирают номенклатуру показателей (см.
гл. VII). Общие принципы методов отбора проб изложены
в гл. III, а методы измерения показателей и используемые для
этого приборы описаны в гл. IV—VI, а также в учебном пособии
[5]. Определение сводных выборочных характеристик по каж-
дому свойству, а также доверительных границ сводных генераль-
ных характеристик всей партии материала рассматривается
в данной главе и рекомендуемой литературе [2, 3, 4, 5, 6].

Применяемая в некоторых случаях комплексная оценка ка-
чества волокон и нитей изложена в гл. VIII.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ВЫБОРКИ И ДЛЯ ВСЕЙ ПАРТИИ МАТЕРИАЛА

СВОДНЫЕ ВЫБОРОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В математической статистике используют несколько сводных
характеристик, заменяющих совокупность результатов n отдель-
ных измерений $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ исследуемого материала.
Поясним сущность наиболее распространенных сводных харак-
теристик, приводя вначале простейшие способы их определения
при небольшом числе измерений и для одноступенчатого метода
отбора.

Средний показатель. Его определяют как среднее арифмети-
ческое по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (II. 1)$$

где x_i — отдельные результаты измерений; n — число измерений в пробе.

Значения $\bar{x}$ в отдельных выборках, взятых от одной партии
материала, являются случайными величинами и лишь прибли-
зительно равны среднему показателю $\bar{m}$ для всей партии мате-
риала только при большом числе испытаний n .

Среднее отклонение и коэффициент неравномерности. Эти характе-
ристики неравномерности свойств используются редко. Их опре-
деляют по формулам:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}; \quad (II. 2)$$

$$H = 100\Delta/\bar{x}, \quad (II. 3)$$

где Δ — среднее отклонение; x_i — отдельные результаты измерений; $\bar{x}$ — вы-
борочное среднее; n — число измерений в выборке; H — коэффициент не-
равноты, %.

Примеры их использования для оценки неравномерности
массы отрезков нитей постоянной длины см. на с. 112.

*Среднее квадратическое отклонение, дисперсия и коэффи-
циент вариации.* Следует различать смещенное S и несмещен-
ное σ среднее квадратическое отклонение. Значения S в малых
выборках ($n \leq 30$) в среднем занижены по сравнению со сред-
ним квадратическим отклонением σ для всей партии материала,
а значения σ имеют в среднем одинаковый уровень с S .

При неизвестной средней величине $\bar{m}^*$ для всей партии материала

$$S = + \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}; \quad (\text{II. 4})$$

$$\bar{S} = M_K S. \quad (\text{II. 5})$$

Значения M_K приведены ниже для $K = n - 1$, если среднее $\bar{m}$ для партии материала неизвестно, и $K = n$, если $\bar{m}$ известно:

K	2	3	4	9	19	30	50	60
M_K	1,128	1,085	1,064	1,028	1,013	1,008	1,005	1,004

При $n > 60$ значение $M_K \approx 1$.

Выборочная дисперсия S^2 является несмещенной и соответствует уровню дисперсии σ^2 для всей партии материала.

Коэффициент вариации (смещенный и несмещенный) определяют соответственно по формулам, %:

$$C = 100 \bar{S} / \bar{x}; \quad (\text{II. 6})$$

$$\bar{C} = 100 \bar{S} / \bar{x}. \quad (\text{II. 7})$$

Коэффициенты вариации позволяют сравнивать относительную неравномерность материалов при разных средних показателях $\bar{x}$.

Размах варьирования. Его обычно определяют для z малых выборок по $n \leq 10$ испытаний в каждой по формуле

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (\text{II. 8})$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — максимальный и минимальный результаты в выборке.

Для оценки неравномерности материала используют средний размах

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^z R_j / z, \quad (\text{II. 9})$$

где R_j — размах в j -й выборке.

Несмещенную оценку $\bar{S}_R$ среднего квадратического отклонения $\sigma \approx \bar{S}_R$ для всей партии материала определяют по среднему размаху:

$$\bar{S}_R = \bar{R} a_n, \quad (\text{II. 10})$$

где a_n — коэффициент, определяемый по объему выборки n :

n	2	3	4	5	6	8	10
a_n	0,8862	0,5908	0,4857	0,4299	0,3946	0,3512	0,3249

* В работах [3, 4, 5] используется другое обозначение среднего — a .

Результаты испытаний выборки большого объема следует разделить на z равных групп объемом $n \leq 10$ каждая и по формулам (II. 8), (II. 9) и (II. 10) определить z раз R_j , $\bar{R}$ и $\bar{S}_R$.

Прогнозирование по выборочным характеристикам свойств партии материала с достаточно высокой вероятностью возможно только при известном законе распределения первичных результатов испытаний. Выбор теоретического закона распределения данного свойства часто базируется на литературных данных и предварительных экспериментах. Проверка соответствия полученных результатов испытаний выборки нормальному распределению подробно изложена в литературе [2, 3, 4, 5, 6].

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ ГЕНЕРАЛЬНОГО СРЕДНЕГО ДЛЯ ПАРТИИ МАТЕРИАЛА

При распространении сводных выборочных характеристик на всю партию материала необходимо определить нижнюю и верхнюю односторонние или двусторонние границы вероятного нахождения внутри них генеральных характеристик.

При неизвестной генеральной дисперсии σ^2 эти границы определяют при нормальном распределении результатов испытаний в соответствии с ГОСТ 11.004—74* (СТ СЭВ 876—78) следующим образом.

Для выборки объемом n подсчитывают по формулам (II. 1) и (II. 4) выборочные значения $\bar{x}$ и S . Далее определяют нижнюю одностороннюю границу m_{n1} генерального среднего $\bar{m}$ для всей партии материала, верхнюю m_{n1} и соответственно двусторонние границы m_{n2} и m_{n2} по формулам

$$m_{n1} = \bar{x} - t_1 S / \sqrt{n} = \bar{x} - m_1; \quad (\text{II. 11})$$

$$m_{n1} = \bar{x} + t_1 S / \sqrt{n} = \bar{x} + m_1; \quad (\text{II. 12})$$

$$m_{n2} = \bar{x} - t S / \sqrt{n} = \bar{x} - m_2; \quad (\text{II. 13})$$

$$m_{n2} = \bar{x} + t S / \sqrt{n} = \bar{x} + m_2, \quad (\text{II. 14})$$

где t_1 и t — квантили распределения Стьюдента при доверительной вероятности соответственно $\gamma_1 = 0,95$ и $\gamma = 0,95$, определяемые по табл. II.1 в зависимости от числа испытаний n ; m_1 и m_2 — ошибки выборки [1, 2, 3, 4, 5].

Табл. II. 1. Квантили распределения Стьюдента

$K = n - 1$	t_1	t	z_H	z_B	$K = n - 1$	t_1	t	z_H	z_B
2	2,92	4,303	0,578	4,42	29	1,699	2,045	0,825	1,28
3	2,353	3,182	0,62	2,92	40	1,684	2,021	0,847	1,23
4	2,132	2,776	0,649	2,37	50	1,676	2,009	0,861	1,2
9	1,833	2,262	0,729	1,65	100	1,66	1,984	0,897	1,13
19	1,729	2,093	0,794	1,37	∞	1,645	1,96	1	1

Для промежуточных значений $K = n - 1$ квантили t_1 и t определяют интерполированием данных табл. II. 1.

Вероятность нахождения генерального среднего для всей партии материала в пределах доверительных границ (m_{n1}, ∞) , $(-\infty, m_{n1})$ или (m_{n2}, m_{n2}) определяется по формулам

$$P(m \geq m_{n1}) = \gamma_1; \quad (II. 15)$$

$$P(m \leq m_{n1}) = \gamma_1; \quad (II. 16)$$

$$P(m_{n2} \leq m \leq m_{n2}) = \gamma. \quad (II. 17)$$

Значения m_{n1} , m_{n1} , m_{n2} и m_{n2} вычисляют соответственно по формулам (II. 11), (II. 12), (II. 13) и (II. 14), а символ P перед скобкой обозначает «вероятность того, что...».

Если в формулы (II. 11) и (II. 12) подставить вместо t_1 значения t , взятые из табл. II. 1, то в формулах (II. 15) и (II. 16) доверительная вероятность $\gamma_1 = 0.5(1 + \gamma) = 0.975$.

При неизвестном законе распределения результатов испытаний при $n \geq 30$ значение γ можно ориентировочно определить исходя из неравенства Чебышева $\gamma > 1 - 1/t^2$.

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ σ И КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ V ДЛЯ ПАРТИИ МАТЕРИАЛА

Их обычно определяют, когда генеральная средняя $\bar{m}$ неизвестна. Вычислив по формуле (II. 4) выборочную характеристику S , задаются доверительной вероятностью $\gamma_1 = 0.95$ и по табл. II. 1 находят при $n \leq 100$ значения z_n и z_v . Их величину для промежуточных значений $K = n - 1$ находят линейным интерполированием, а также используют ГОСТ II.004—74* (СТ СЭВ 876—78). При $K > 100$ значения z_n и z_v вычисляют по формулам

$$z_n = \sqrt{2K/(\sqrt{2K-1} + U_{\gamma_1})}; \quad (II. 18)$$

$$z_v = \sqrt{2K/(\sqrt{2K-1} - U_{\gamma_1})}, \quad (II. 19)$$

где $U_{\gamma_1} = t_1$ при $n = \infty$, т. е. для $\gamma_1 = 0.95$ $U_{\gamma_1} = 1.645$.

Нижняя односторонняя доверительная граница

$$\sigma_{n1} = z_n S; \quad (II. 20)$$

верхняя односторонняя доверительная граница

$$\sigma_{n1} = z_n S. \quad (II. 21)$$

По аналогии с формулами (II. 15), (II. 16) и (II. 17) имеем

$$P(\sigma \geq \sigma_{n1}) = \gamma_1; \quad (II. 22)$$

$$P(\sigma \leq \sigma_{n1}) = \gamma_1; \quad (II. 23)$$

$$P(\sigma_{n2} \leq \sigma \leq \sigma_{n2}) = \gamma. \quad (II. 24)$$

Если доверительные границы σ_{n2} и σ_{n2} подсчитывают по формулам (II. 20) и (II. 21) для значений $\gamma_1 = 0.95$, то в формуле (II. 24) доверительная вероятность $\gamma = 2\gamma_1 - 1 = 0.9$.

Доверительные границы коэффициента вариации V для партии материала приближенно определяют при $n \geq 30$ и $V < 25\%$ по РС 2049—69 [3], используя следующие формулы:

$$V_{n1} = K_n C; \quad (II. 25)$$

$$V_{n1} = K_v C, \quad (II. 26)$$

где C — выборочный коэффициент вариации, определяемый по формуле (II. 6).

Значения K_n и K_v для односторонней доверительной вероятности $\gamma_1 = 0.95$ выбирают в зависимости от объема выборки n (табл. II. 2).

Доверительный интервал с двусторонней вероятностью $\gamma = 2\gamma_1 - 1 = 0.9$ можно определить по формуле

$$P(V_{n1} \leq V \leq V_{n1}) = \gamma. \quad (II. 27)$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ПОКАЗАТЕЛЯ $\bar{m}$ ДЛЯ ПАРТИИ МАТЕРИАЛА ПО ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ВЫБОРКЕ [2, 4]

При оценке показателей качества нитей обычно проводят двухступенчатую выборку (см. гл. III). Предположим, партия нитей состоит из z_0 паковок (единиц продукции), а максимально возможное число испытаний по каждой паковке n_0 . При двухступенчатом отборе обычно берут $z < z_0$, а по каждой паковке делают $n \ll n_0$ измерений. В итоге получают следующие nz результатов (табл. II. 3).

Табл. II. 3. Результаты измерений двухступенчатой выборки

Паковка	Результаты испытаний	Среднее по паковке
1-я	$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1j}, \dots, x_{1n}$	$\bar{x}_1$
2-я	$x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2j}, \dots, x_{2n}$	$\bar{x}_2$
...	...	...
i-я	$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}$	$\bar{x}_i$
...	...	...
z-я	$x_{z1}, x_{z2}, \dots, x_{zj}, \dots, x_{zn}$	$\bar{x}_z$

Вначале по каждой паковке подсчитывают выборочное среднее

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}/n. \quad (\text{II. 28})$$

Затем находят общее выборочное среднее для z паковок

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^z \bar{x}_i/z. \quad (\text{II. 29})$$

Для каждой паковки определяют внутреннюю смещенную дисперсию

$$S_{si}^2 = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2/n. \quad (\text{II. 30})$$

Далее вычисляют среднюю смещенную внутреннюю дисперсию $\bar{S}_s^2$ для всех z паковок и среднюю внутрипаковочную несмещенную дисперсию $\bar{S}_{s,n}^2$, которая примерно равна средней внутренней дисперсии для всей партии нитей.

$$\bar{S}_s^2 = \sum_{i=1}^z S_{si}^2/z; \quad (\text{II. 31})$$

$$\bar{S}_{s,n}^2 = S_s^2(1 - 1/n_0)n/(n - 1). \quad (\text{II. 32})$$

Если $n_0 \geq 50$, то принимают $(1 - 1/n_0) = 1$ и тогда

$$\bar{S}_{s,n}^2 = S_s^2 n/(n - 1). \quad (\text{II. 33})$$

Межпаковочная несмещенная дисперсия выборочных средних каждой паковки

$$S_m^2 = \sum_{i=1}^z (\bar{x}_i - \bar{x})^2/z. \quad (\text{II. 34})$$

Межпаковочная несмещенная дисперсия, соответствующая дисперсии генеральных средних,

$$S_{m,n}^2 = \{[S_m^2 z/(z - 1)] - \bar{S}_{s,n}^2(1 - n/n_0)/n\}(1 - 1/z_0). \quad (\text{II. 35})$$

Если $n/n_0 \leq 0,02$, а $z_0 \geq 50$, то принимают

$$S_{m,n}^2 = [S_m^2 z/(z - 1)] - \bar{S}_{s,n}^2/n. \quad (\text{II. 36})$$

Иногда $S_{m,n}^2$ получается отрицательной величиной, в этом случае необходимо повторно определить $\bar{S}_{s,n}^2$ и S_m^2 , увеличив n и z .

Общая выборочная дисперсия, используемая для оценки дисперсии всей партии нитей,

$$S_o^2 = \bar{S}_{s,n}^2 + S_{m,n}^2. \quad (\text{II. 37})$$

а общий коэффициент вариации

$$C_o = 100 S_o / \bar{x}. \quad (\text{II. 38})$$

Для определения доверительного двустороннего интервала среднего показателя $\bar{m}$ всей партии нитей вначале вычисляют ошибку выборки m_2 :

$$m_2 = t \sqrt{[\bar{S}_{s,n}^2(n_0 - n)/nz(n_0 - 1)] + \bar{S}_{m,n}^2(z_0 - z)/(z_0 - 1)z}. \quad (\text{II. 39})$$

При $nz \geq 30$ и $\gamma \approx 0,95$ принимают $t = 2$ [2, 4].

Если $n/n_0 \leq 0,02$ и $z/z_0 \leq 0,02$, то вместо формулы (II. 39) можно пользоваться формулой

$$m_2 = 2 \sqrt{\bar{S}_{s,n}^2/(nz) + \bar{S}_{m,n}^2/z}. \quad (\text{II. 40})$$

С вероятностью $\gamma \approx 0,95$ при нормальном и $\gamma \geq 0,75$ при любом распределении первичных результатов определяют доверительный интервал среднего показателя $\bar{m}$ для всей партии нитей:

$$P(m_{22} \leq \bar{m} \leq m_{22}) = P(\bar{x} - m_2 \leq \bar{m} \leq \bar{x} + m_2) = \gamma. \quad (\text{II. 41})$$

Для определения числа паковок z при разном числе испытаний n по каждой паковке решают уравнение (II. 40) относительно z .

$$z = 4(\bar{S}_{s,n}^2/n + S_{m,n}^2)/m_2^2. \quad (\text{II. 42})$$

После этого задаются величиной ошибки выборки m_2 , а также разными значениями n и вычисляют соответствующие значения z , округляя их до целых чисел. Затем составляют таблицу значений n , z и nz , позволяющих определять средний показатель качества $\bar{m}$ в партии нитей с одинаковым доверительным интервалом. Если оказывается, что $n/n_0 > 0,02$ и $z/z_0 > 0,02$, то для выбора n и z следует вместо формулы (II. 40) использовать формулу (II. 39), решив ее относительно z [2, 4].

3. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПАРТИИ МАТЕРИАЛА ПРИ СРАВНЕНИИ ВЫБОРОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С НОРМАТИВАМИ

Качество материала — это соответствие его свойств требованиям потребителя, определяющим пригодность материала для переработки по назначению [3]. Под показателем качества понимается числовое значение характеристики свойств материала, используемое при оценке качества. Показатель качества, у которого числовое значение увеличивается с улучшением качества материала, называется позитивным (+ПК), а если уменьшается — негативным показателем (−ПК). Для нейтральных пока-

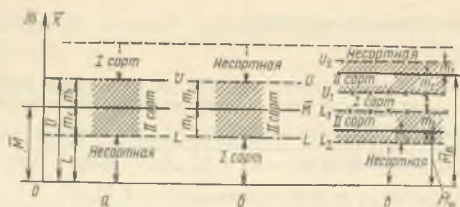


Рис. 11.1. Уровни норм среднего позитивного (а), негативного (б) и нейтрального (в) показателей для двух градаций качества партий материала

зателей изменение их величины не связано с улучшением или ухудшением их качества.

При оценке качества и сравнении доверительных границ $m_{н1}$ и $m_{в1}$ генерального среднего позитивных или негативных показателей с установленной одной нормой $\bar{M}$ среднего показателя для партий материала их подразделяют на две градации — сортовые и несортовые. При этом для одной нормы $\bar{M}$ устанавливают две выборочные нормы — верхнюю U и нижнюю L , с которыми сравнивают выборочные средние $\bar{x}$ и дают выборкам (но не партии материала) три оценки — I сорт, II сорт и несортовая (рис. 11.1).

С вероятностью не менее γ_1 дают выборке оценку I сорт и принимают решение, что партия материала сортовая, т. е. соответствует требованиям норматива $\bar{M}$, если для показателей позитивного

$$m_{в1} = \bar{x} - t_1 S / \sqrt{n} \geq \bar{M} \quad (\text{II. 43})$$

или

$$\bar{x} \geq \bar{M} + t_1 S / \sqrt{n} = U; \quad (\text{II. 44})$$

негативного

$$m_{в1} = \bar{x} + t_1 S / \sqrt{n} \leq \bar{M} \quad (\text{II. 45})$$

или

$$\bar{x} \leq \bar{M} - t_1 S / \sqrt{n} = L, \quad (\text{II. 46})$$

где $m_{в1}$ и $m_{н1}$ — доверительные границы среднего, определяемые по формулам (II. 11) и (II. 12); U и L — верхняя и нижняя выборочные нормы I сорта для выборочного среднего $\bar{x}$.

$$U = \bar{M} + m_1; \quad L = \bar{M} - m_1,$$

где m_1 — односторонняя ошибка выборки.

Остальные обозначения те же, что и для формул (II. 11) и (II. 12).

Значение t_1 определяют по табл. II. 1 для $\gamma_1 = 0,95$.

Решение о несоответствии фактического среднего показателя $\bar{m}$ партии материала установленной норме $\bar{M}$ принимают с вероятностью не менее γ_1 в тех случаях, когда для показателей позитивного

$$m_{в1} = \bar{x} + t_1 S / \sqrt{n} < \bar{M} \quad (\text{II. 47})$$

или

$$\bar{x} < \bar{M} - t_1 S / \sqrt{n} = L; \quad (\text{II. 48})$$

негативного

$$m_{н1} = \bar{x} - t_1 S / \sqrt{n} > \bar{M} \quad (\text{II. 49})$$

или

$$\bar{x} > \bar{M} + t_1 S / \sqrt{n} = U. \quad (\text{II. 50})$$

В тех же случаях, когда

$$m_{н1} > \bar{M} > m_{в1} \quad (\text{II. 51})$$

или для позитивного и негативного показателей

$$U > \bar{x} \geq L, \quad (\text{II. 52})$$

т. е. по выборочным нормам дается оценка выборки II сортом, принимают решение об увеличении объема выборки n для повторного определения величин $\bar{x}$, S , $m_{н1}$, $m_{в1}$, U и L и по ним принимают новое решение, используя формулы (II. 43) — (II. 52) при увеличенном объеме выборки n .

Если же и при увеличенном объеме выборки имеет место неравенство (II. 51) или (II. 52), то иногда вместо дальнейшего увеличения числа испытаний n для оценки качества сравнивают с нормой $\bar{M}$ средние выборочные значения $\bar{x}$, т. е. в формулах (II. 43) — (II. 50) принимают ошибку выборки $m_1 = t_1 S / \sqrt{n} = 0$. Однако при этом вероятность γ_1 правильности оценки остается неопределенной [7].

При оценке нейтральных средних показателей $\bar{m}$ для партий материала устанавливают две нормы ($\bar{M}_в$ и $\bar{M}_н$) при условии, что

$$\bar{M}_в - \bar{M}_н > 2m_2 = 2t_2 S / \sqrt{n}. \quad (\text{II. 53})$$

Нормам $\bar{M}_в$ и $\bar{M}_н$ соответствуют четыре выборочные нормы для среднего показателя $\bar{x}$ (см. рис. 11.1, в):

$$\text{для I сорта } U_1 = \bar{M}_в - m_2 \text{ и } L_1 = \bar{M}_н + m_2;$$

$$\text{для II сорта } U_2 = \bar{M}_в + m_1 \text{ и } L_2 = \bar{M}_н - m_1,$$

где m_2 — двусторонняя ошибка выборки; m_1 — односторонняя ошибка выборки.

$$m_2 = tS/\sqrt{n}, \quad m_1 = t_1S/\sqrt{n}.$$

Величины t и t_1 определяют по табл. II. 1.

Следует иметь в виду, что условие (II. 53) определяет минимальный объем выборки n при определении выборочных значений $\bar{x}$, S и ошибок выборки

$$n > 4t^2S^2/(\bar{M}_a - \bar{M}_n)^2. \quad (\text{II. 54})$$

При совместном соблюдении неравенств $m_{a2} \leq \bar{M}_a$ и $m_{n2} \geq \bar{M}_n$ или неравенства $U_1 \geq \bar{x} \geq L_1$ принимают решение с вероятностью γ о соответствии генерального среднего показателя $\bar{m}$ партии материала установленным нормам $\bar{M}_a$ и $\bar{M}_n$.

При $m_{n2} > \bar{M}_n$ или $m_{a2} < \bar{M}_a$, а также $\bar{x} > U_2$, или $\bar{x} < L_2$ генеральное среднее $\bar{m}$ с вероятностью γ_1 не соответствует требованиям нормативов, определяемых соотношением $\bar{M}_a \geq \bar{m} \geq \bar{M}_n$. Таким образом, оценка по выборке «I сорт» совпадает с оценкой партии материала «сортная», а оценка «несортная» совпадает для выборки и партии материала.

В тех случаях, когда $U_1 < \bar{x} \leq U_2$ или $L_1 > \bar{x} \geq L_2$, т. е. выборочная оценка соответствует II сорту, проводят дополнительные испытания. Затем по увеличенному объему выборки n определяют новые значения $\bar{x}$, S , m_{a2} , m_{n2} , m_1 , m_2 , U_1 , L_1 , U_2 и L_2 , вновь проверяют приведенные выше неравенства и принимают соответствующие решения.

При повторной оценке выборки II сортом иногда сравнивают среднее $\bar{x}$ с нормами $\bar{M}_a$ и $\bar{M}_n$ и при $\bar{M}_a \geq \bar{x} \geq \bar{M}_n$ принимают решение о соответствии, а при $\bar{x} > \bar{M}_a$; $\bar{x} < \bar{M}_n$ — о несоответствии материала нормативам. Однако при этом вероятность правильной оценки остается неопределенной. На рис. II. 1 показаны норма $\bar{M}$ генерального среднего для положительного и отрицательного показателей, нормы $\bar{M}_a$ и $\bar{M}_n$ для нейтральных показателей партий материала, выборочные нормы U , L , U_1 , L_1 , U_2 , L_2 , а также зоны различных сортовых оценок. Зоны выборочной оценки II сортом заштрихованы.

Часто партии материала по положительным (+ПК) и отрицательным (—ПК) показателям подразделяют на три градации: I сорт, II сорт и несортные. В этом случае для них устанавливают две нормы генерального среднего ($\bar{M}_a > \bar{M}_n$) с соблюдением неравенства (II. 53) и четыре выборочные нормы U_1 , U_2 , L_1 и L_2 ($U_2 > \bar{M}_a > U_1 > L_1 > \bar{M}_n > L_2$).

Партию материала оценивают с вероятностью γ_1 I сортом, если для (+ПК) $\bar{x} \geq U_2$ или для (—ПК) $\bar{x} \leq L_2$. Партию материала оценивают с вероятностью γ II сортом, если для (+ПК)

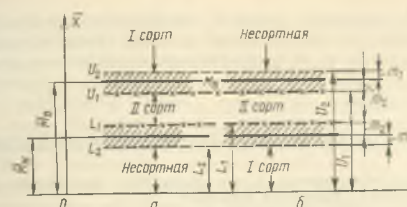


Рис. II. 2. Уровни норм среднего положительного (а) и отрицательного (б) показателей для партий материала трех градаций качества

и (—ПК) соблюдается неравенство $U_1 \geq \bar{x} \geq L_1$, а несортная оценка дается с вероятностью γ_1 для (+ПК) при $\bar{x} < L_2$, а для (—ПК) при $\bar{x} > U_2$. В тех случаях, когда $U_2 > \bar{x} > U_1$ или $L_1 > \bar{x} > L_2$ (на рис. II. 2 — заштрихованные зоны), принимают решение об увеличении объема выборки и повторного сравнения новых значений $\bar{x}$ с пересчитанными выборочными нормами (U_1 , U_2 , L_1 и L_2).

На рис. II. 2 показаны зоны выборочных оценок (I сорт, II сорт, несортная), которые совпадают с соответствующими вероятностными оценками сорта партий материала. Заштрихованные зоны соответствуют оценкам, при которых принимается решение о дополнительных испытаниях для увеличения объема выборки и повторных оценок сорта материала.

При оценке качества материала по отрицательному показателю — коэффициенту вариации S свойства — в выборке с нормой V_s для партии материала используют его доверительные границы V_{n1} и V_{n2} , определяемые по формулам (II. 25) и (II. 26).

Партия материала с вероятностью γ_1 соответствует норме, если

$$V_{n1} = K_n C \leq V_s, \quad (\text{II. 55})$$

и не соответствует ей, если

$$V_{n1} = K_n C > V_s. \quad (\text{II. 56})$$

В тех случаях, когда

$$V_{n1} > V_s > V_{n2}, \quad (\text{II. 57})$$

проводят дополнительные испытания и вновь подсчитывают V_{n1} и V_{n2} для увеличенного объема выборки и принимают повторное решение в соответствии с неравенствами (II. 55), (II. 56) или (II. 57).

В гл. VII изложены правила оценки качества волокон и нитей по нормам стандартов и выборочным характеристикам. При этом вероятности γ_1 и γ правильности оценки остаются неизвестными.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. С какой вероятностью и как сравнивают фактические выборочные показатели качества материала с нормами?
2. Порядок определения внутрипакеточной и межпакеточной дисперсий для двухступенчатой выборки.
3. Определить доверительные границы средней линейной плотности и коэффициента вариации для всей партии нитей, если при числе измерений $n = 30$ получены выборочные характеристики линейной плотности: $\bar{x} = 24$ текс, $S = 1$ текс.
4. Чем отличаются смещенная и несмещенная оценки неравномерности материала по отдельным показателям?
5. Для каких показателей определяют односторонние и двусторонние границы среднего партии материала?
6. Определить односторонние доверительные границы коэффициента вариации, если при числе измерений 100 его величина равна 15 %.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. II

1. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы). М., 1985.
2. Соловьев А. Н. Измерения и оценка свойств текстильных материалов. М., 1966.
3. Соловьев А. Н., Кириухин С. М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. М., 1984.
4. Кириухин С. М., Соловьев А. Н. Контроль и управление качеством текстильных материалов. М., 1977.
5. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению/Под ред. А. И. Коблякова. М., 1986.
6. ГОСТ 11.004—74* (СТ СЭВ 876—78). Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для нормального распределения. М., 1984.
7. Соловьев А. Н. Вероятностная оценка среднего показателя и качества партии материала по выборке/Изв. вузов. Технология легкой пром-сти. 1986. № 3. С. 19—22.

Глава III. ОТБОР ПРОБ (ВЫБОРОК) ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Комплектуемая за определенный интервал времени продукция одного наименования, способа изготовления, структуры и качественной градации называется *партией материала* или *штучных изделий* и оформляется одним документом о ее качестве.

Партии волокнистого сырья всегда состоят из очень большого количества волокон, неодинаковых по своим свойствам, а различные свойства нитей не бывают постоянными в отдельных

пакетках и на их различных участках. Поэтому теоретически точная оценка качественных показателей неравномерной по свойствам партии материала возможна лишь при измерении их у всех волокон, составляющих партию, и на всех участках всех пакетов партии нитей. Однако такая оценка свойств потребовала бы очень большого числа испытаний и много времени. Практически это невыполнимо, тем более что измерение некоторых свойств (прочности, износостойкости и др.) привело бы к порче всей партии материала. Поэтому, чтобы определить отдельные показатели качества, от партии волокон или нитей отбирают небольшую часть, которая должна правильно отражать свойства всей партии материала.

По ГОСТ 15895—77* (СТ СЭВ 547—84, СТ СЭВ 3404—81) отдельный экземпляр штучной продукции или определенное количество нештучной или штучной продукции называется *единицей продукции*. Регламентированное количество нештучной продукции, отобранное из контролируемой партии материала для принятия решения, называется *пробой*, а часть единиц продукции, отобранная из партии или потока продукции для оценки качества, называется *выборкой*.

В математической статистике совокупность любых объектов называют генеральной совокупностью, а отобранную для ее оценки часть — выборкой. Всегда следует помнить, что при неправильном отборе выборки результаты ее испытаний нельзя распространять на всю генеральную совокупность.

При испытании текстильных материалов, помимо проб и выборок, используют части продукции, имеющие другие наименования, в том числе обобщенный термин — образцы.

Для того чтобы пробы (выборки) отражали свойства всей партии материала, их отбирают по определенным общим правилам, кратко изложенным ниже. При этом необходимо еще учитывать, что партии волокон и нитей обычно состоят из штучных упаковочных единиц — киг, ящиков и других, а их части для нитей (пакетки, бобины и др.) также являются штучными единицами, а для волокон остаются пробами уменьшенного размера с различными наименованиями (средняя лабораторная, объединенная, малая средняя лабораторная, точечная, пробная лента, элементарная проба).

Для отдельных видов волокон правила отбора проб изложены в стандартах: хлопковое волокно — ГОСТ 3274.0—72*, лубяные волокна — ГОСТ 10330—76** и ГОСТ 25133—82, шерсть — ГОСТ 20576—82, химические волокна и жгут — ГОСТ 10213.0—73* (СТ СЭВ 2463—80, СТ СЭВ 2464—80), текстильные нити — ГОСТ 6611.0—73* (СТ СЭВ 2462—80).

При любом методе отбора выборка или проба должна отражать свойства всей партии продукции, т. е. быть представительной (репрезентативной). Для этого ее отбирают, соблюдая

следующий основной принцип. При отборе каждый объект генеральной совокупности (партии материала) должен иметь одинаковую вероятность быть отобранным в выборку, а сам отбор производят случайно. При отборе проб для измерения влажности материала их масса обязательно фиксируется в момент отбора или при определении общей фактической массы материала. Учтя изменение массы пробы после ее хранения перед измерением влажности, можно рассчитать влажность, которую имел материал в момент отбора из партии. Если массу пробы сразу не измеряют, то ее закладывают в герметически закрывающийся сосуд, чтобы предохранить изменение влажности материала под воздействием окружающего воздуха.

Объем пробы определяется неравномерностью материала и величиной доверительных границ, в пределах которых должно находиться искомое значение показателя качества всей партии материала. Чем больше неравномерность материала и чем меньше задаваемая величина доверительного интервала (ошибки выборки), тем больше должен быть объем выборки, который принимают по возможности минимальным для ускорения испытаний [1—4].

1. МЕТОДЫ ОТБОРА ПРОБ

В практике испытаний волокон и нитей методы отбора проб (выборки) бывают одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые; из последних чаще используют трехступенчатые [5].

Одноступенчатые методы отбора предусматривают отбор пробы из всей генеральной совокупности без предварительного деления ее на части. Так, одноступенчатой является проба из нескольких участков нитей с одной паковки или средняя проба волокна из одной кипы. При отборе чаще используют метод «вслепую» согласно ГОСТ 18321—73* (СТ СЭВ 1934—79), заключающийся в отборе объектов из разных частей партии материала независимо от субъективной оценки качества отбираемых объектов. Если при этом можно визуально выявлять дефектные объекты или отличающиеся по другим признакам, то данный метод применять нельзя. Если все объекты генеральной совокупности можно пронумеровать, то используют случайный отбор с применением таблиц случайных чисел по ГОСТ 11.003—73* (СТ СЭВ 546—77). Возможно также использование систематического отбора, который предусматривает взятие объектов через определенный интервал [2].

Двухступенчатые методы отбора применяют при разделении генеральной совокупности (партии продукции) на отдельные примерно равные части и фиксации этого разделения в выборке, а также при записи и обработке результатов испытаний.

Партии сырья чаще всего состоят из кип (упаковочных единиц), а партии нитей из упаковочных единиц и отдельных единиц продукции — паковок. Поэтому при двухступенчатом отборе вначале отбирают упаковочные единицы или единицы продукции (кипы или паковки), а потом на второй ступени отбирают волокна из каждой кипы или участки нитей из каждой паковки. Однако, если партия материала разделена на части, но отобранные из разных ее частей объекты (волокна, участки нитей) потом объединяют в одну общую выборку, такая выборка является одноступенчатой. Она будет такой же и при объединении всех результатов испытаний, без подразделения их соответственно отдельным частям совокупности.

Трехступенчатые методы отбора [5] используют, когда генеральная совокупность разделена на примерно равные части, а каждая часть — на серии из приблизительно одинакового количества единиц продукции. Из нескольких частей продукции отбирают по одинаковому числу серий, а из каждой отобранной серии испытывают по одинаковому числу единиц продукции. Например, при испытании партии нитей отбирают несколько упаковочных единиц, затем из каждой берут одинаковое число паковок (единиц продукции), а с каждой паковки испытывают одно и то же число отрезков нитей (точечных проб). На каждой ступени обычно практикуют отбор методом «вслепую», хотя иногда используют методы случайного и систематического отбора. Многоступенчатый метод отбора штучных изделий регламентируется в ГОСТ 18231—73* (СТ СЭВ 1934—79).

2. ОСОБЕННОСТИ ОТБОРА И ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОБ ВОЛОКОН

Из партии сырья массой в несколько тонн вскрывают определенное число кип (упаковочных единиц) и отбирают точечные пробы, а из них составляют объединенную пробу до 1 кг. Из нее в один или несколько приемов составляют пробы или малые пробы в несколько грамм, имеющие в стандартах для волокон разных видов различные наименования. Для некоторых испытаний сырья его необходимо освободить от посторонних примесей, а при определении длины — распрямить и параллелизовать отдельные волокна. Поэтому пробу волокон часто подвергают дополнительной обработке, в процессе которой кроме Удаления примесей и параллелизации волокон достигается их наилучшее перемешивание. Приготовленные пробы иногда испытывают не полностью, а частично. В итоге при измерении некоторых показателей качества используют лишь несколько миллиграммов волокон. При отборе проб используют также специфические методы, которые рассмотрены для хлопкового

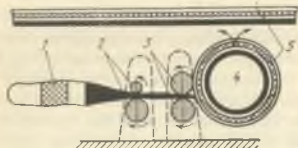


Рис. III. 1. Схема вытяжного (ленточного) прибора

10 % кип [6], а из каждой отбирают точечную пробу на расстоянии не менее 10 см от края кипы, сняв предварительно верхний слой волокна толщиной 2—3 см. Все точечные пробы образуют объединенную пробу первого вида массой не менее 1 кг. Из нее отбирают среднюю лабораторную пробу для анализа содержания пороков и сорных примесей. Малую среднюю пробу массой 4—5 г для определения разрывной нагрузки, линейной плотности, зрелости и длины волокна берут из всех точечных проб или из разных мест с двух сторон объединенной пробы. После удаления крупных пороков и сорных примесей из малой средней пробы ее делают на четыре части и каждую пропускают через вытяжной прибор для приготовления пробной ленты. Для этого часть пробы 1 (рис. III. 1) поступает в прибор, который интенсивно перемешивает волокна, распрямляет и параллелизует их. Прибор состоит из пары питающих валков 2, пары выпускных валков 3 и приемного валика 4, обтянутого ворсовой тканью. Окружная скорость вращения питающей пары в четыре раза больше окружной скорости вращения выпускной пары. В результате этого волокна части пробы 1 при движении от валков 2 к валкам 3 распрямляются, параллелизуются, а проба утоняется в четыре раза и наматывается в четыре слоя в виде ленты на приемный валик 4. Сила прижима валков 2 и 3, а также расстояние между ними должны быть такими, чтобы волокна не разрывались.

Допустим, что свойства волокон в пробе 1 неодинаковы. Отличающиеся по свойствам части пробы 1 на рис. III. 1 условно обозначены по-разному. Пропускаемая через вытяжной прибор проба слоями наматывается на плюш валика 4 и образует пробную ленту 5, в которой слои обозначены соответственно частям пробы. Надорвав ленту 5 в одном месте, снимают ее с валика 4 и вновь пропускают через вытяжной прибор. Лента вытягивается в четыре раза и, наматываясь на валик, образует опять четыре слоя, каждый из которых уже состоит из четырех слоев. Поэтому число слоев в ленте после двухкратного пропуска составит $n = 4^2 = 16$, а после x пропусков $n = 4^x$. Каждую ленту или ее половину пропускают через вытяжной прибор

3—5 раз. Например, при $x=15$ число слоев n в пробной ленте составит $1070 \cdot 10^6$, что обеспечивает интенсивное перемешивание в ней волокон.

Для постепенного уменьшения массы малой средней пробы при приготовлении пробной ленты используют в несколько измененном виде систематический отбор. После разделения малой средней пробы на четыре части и пропуска каждой через вытяжной прибор получают четыре ленты (рис. III. 2). Условно обозначив цифрами 1, 2, ..., 7, 8 половины этих лент, отбрасывают нечетные половины, а из четных вновь приготавливают две ленты, из которых берут четные половины 10 и 12 и получают одну пробную ленту 13, из которой выбирают крупные пороки. Для анализа из пробной ленты обычно используют часть 14, отбираемую методом «вслепую». Ее освобождают от мелких пороков, и после пропуска через вытяжной прибор получают окончательную ленточку массой 175—180 мг, которую используют при анализе разрывной нагрузки, линейной плотности и длины хлопкового волокна.

От партии трепаного льна по ГОСТ 10330—76** отбирают и вскрывают 5 % упаковочных единиц (кип), но не менее трех. Из них отбирают 15 пачек льна. Из середины каждой пачки берут по одной горсти, скручивают в пол-оборота и складывают вместе. Затем для определения содержания костры и примесей из средней части первых восьми горстей, из середины комлевой части других четырех горстей и тоже из середины вершинной части последних трех горстей вырезают пряди длиной 12 см и массой по 0,6—0,8 г. Все пряди складывают вместе одна на другую, разрезают на две части длиной по 6 см и массой 4,5—6 г каждая. Для определения содержания недоработки используют те же горсти и из середины каждой берут по две пряди по всей длине горсти и раскладывают отдельно, образуя две пробы [7].

Для проверки качества короткого льняного волокна по ГОСТ 9394—76** отбирают 5 % упаковочных единиц (кип), но не менее четырех. Из каждой кипы отбирают точечные пробы, из которых составляют объединенную пробу массой не менее 3 кг. Для определения разрывной нагрузки полученную пробу

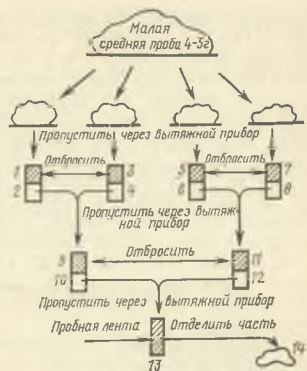


Рис. III. 2. Схема приготовления пробной ленты

рассортировывают по длине на две группы — до 25 см и выше 25 см. Из них отбирают три навески по 5,5 г и вручную формируют ленты длиной 1 м и шириной 3 см. Каждую ленту пропускают пять раз через лентообразователь, аналогичный вытяжному прибору для хлопкового волокна (см. рис. III.1), но без приемного валика 4. После каждого пропуска, кроме последнего, полученную ленту длиной 4 м складывают в четыре слоя так, чтобы ее длина снова составляла 1 м. После последнего пропуска ленту не складывают, а разрезают на отрезки длиной 27 см; масса каждого отрезка ленты равна 0,42 г. Для определения содержания костры и сорных примесей из тех же кип вырезают пряди общей массой около 0,5 кг.

Согласно ГОСТ 25133—82 (СТ СЭВ 2040—79) для определения влажности различных лубяных волокон отбирают пробу массой 100—150 г для сушильного аппарата и 50 г для сушильного шкафа.

Для натуральной сортированной шерсти по ГОСТ 20576—82 отбирают 30 % упаковочных единиц, но не менее трех методом систематического отбора. Их освобождают от тары и на верхний слой шерсти накладывают трафарет — лист с двенадцатью ячейками размером 150 × 150 мм. Из каждой ячейки отбирают точечные пробы. Их отбирают еще из трех слоев в середине кипы и на расстоянии 20—25 см от низа кипы. Все точечные пробы соединяют в одну объединенную пробу, которую раскладывают слоями на столе. Затем слои делят вертикально на четыре равные части и вновь накладывают горизонтальными слоями одну часть на другую. Из различных мест приготовленной перемешанной объединенной пробы отбирают три лабораторные пробы массой 50 г для мытой и соевизированной шерсти, 300 г для шерсти сухой производственной обработки. Для определения торговой массы из объединенной пробы отбирают и немедленно взвешивают восемь проб по 100 г, три из которых используют для определения влажности, а остальные — для определения потерь при обеспыливании.

Для анализа химических волокон и жгута отбирают случайным методом упаковочные единицы (кипы) в количестве, указанном в ГОСТ 10213.0—73* (СТ СЭВ 2463—80 и СТ СЭВ 2464—80). От каждой упаковочной единицы в различных местах отбирают пять точечных проб определенной массы для определения влажности и четыре пробы для определения остальных свойств волокон. Последние пробы тщательно перемешивают, накладывая слои волокна из каждой кипы друг на друга, и получают объединенную пробу. Из всех ее слоев отделяют 1/4 часть, от которой в 10 различных местах отбирают по одному клочку волокна массой не менее 4 г. Клочки разрыхляют вручную до тонкого слоя. Разрыхленные слои раскладывают так, чтобы первые два были рядом, а остальные накла-

дывают на них поочередно. Полученные слои волокна складывают пополам и вновь разрыхляют до первоначальной площади, повторяя эту процедуру еще два раза. После этого отбирают лабораторную пробу, из которой берут для испытаний различных свойств волокон отдельные элементарные пробы.

Из каждой упаковочной единицы отбрасывают 0,5 м с конца жгута и отбирают точечные пробы длиной не менее 0,7 м для определения линейной плотности и не более 1 м — остальных свойств. Их раскладывают равномерными слоями один на другой и получают объединенную пробу, из которой вырезают по всей ширине и высоте лабораторную пробу. Из нее отбирают для отдельных испытаний элементарные пробы.

3. ОСОБЕННОСТИ ОТБОРА ПРОБ НИТЕЙ

По ГОСТ 6611.0—73* (СТ СЭВ 2462—80) часть партии текстильных нитей, упакованная в отдельную тару (ящик, тюк, мешок, пачка и др.), называется упаковочной единицей, а наименьшая часть партии нитей — единицей продукции (моток, початок, шпуля, бобина, копе, кулич, катушка, сновальный валик, ткацкий навои, секционная катушка и др.). В литературе кроме термина «единица продукции» используется термин «паковка». Испытываемые мотки (пасмы) или отрезки (участки) одиночных нитей в ГОСТ 6611.1—73* (СТ СЭВ 2488—80) называются точечными пробами.

Упаковочные единицы нитей для их испытаний отбирают методом наибольшей объективности (слепую) или случайным методом.

Число отбираемых упаковочных единиц и единиц продукции (паковок) для испытаний зависит от массы партии нитей и для различных их видов регламентируется в ГОСТ 6611.0—73* (СТ СЭВ 2462—80).

Для обеспечения одинаковой вероятности изъятия в выборку из упаковочной единицы любой паковки можно также использовать систематический отбор. Для этого паковки перекладывают из вскрытой упаковки в пустой ящик и одновременно пересчитывают их. Паковки с порядковыми номерами, отличающимися на постоянный интервал, например паковки 10-ю, 20-ю, 30-ю и т. д., откладывают в сторону и из них составляют выборку. Число испытаний (точечных проб) с каждой паковки при определении линейной плотности нитей указывается в ГОСТ 6611.1—73* (СТ СЭВ 2488—80), разрывной нагрузки и удлинения — в ГОСТ 6611.2—73* (СТ СЭВ 3426—81), крутки и укрутки нитей — в ГОСТ 6611.3—73* (СТ СЭВ 2466—80). Перед началом испытаний с каждой паковки отматывают и отбрасывают пень длиной, указанной в перечисленных стандар-

тах. В них также регламентируется сматываемая и неиспользуемая длина нити между отдельными испытаниями.

Следует учитывать, что на паковках, особенно с большой длиной нити, ее свойства могут отличаться в наружных, средних и внутренних слоях. В этом случае пробы отбирают раздельно из разных слоев, а результаты испытаний также обрабатывают раздельно.

Для определения фактической влажности нитей единицы продукции (паковки) отбирают по возможности из внутренней части упаковочной единицы и из частей, соприкасающихся с тарой. Отбор на предприятии-изготовителе производят в процессе упаковки партии нитей непосредственно перед ее взвешиванием, а на предприятии-потребителе — в процессе взвешивания или сразу после него. Из отобранных единиц продукции отбирают согласно ГОСТ 6611.4—73* (СТ СЭВ 2040—79, СТ СЭВ 2465—80) для испытаний в сушильном аппарате одну пробу массой 100—250 г, а для испытаний в сушильном шкафу — две по 8—10 г. Перед отбором проб с каждой единицы продукции отматывают или срезают десять наружных слоев нитей и отбрасывают. Если нет возможности взвесить пробу в момент отбора, ее помещают во влагонепроницаемую тару. Массу пробы допускается определять по разности массы единиц продукции до и после отматывания пробы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Для каких материалов и когда используют двуступенчатые и трехступенчатые методы отбора выборки?
2. Основные принципы получения репрезентативной выборки.
3. Чем обеспечивается одинаковая вероятность отбора отдельных единиц продукции из партии материала в выборку?
4. Чем определяется объем выборки или пробы?

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. III

1. Виноградов Ю. С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности. М., 1970.
2. Кирюхин С. М., Соловьев А. Н. Контроль и управление качеством текстильных материалов. М., 1977.
3. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению/Под ред. А. И. Коблякова. М., 1986.
4. Соловьев А. Н., Кирюхин С. М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. М., 1984.
5. Соловьев А. Н. Измерения и оценка свойств текстильных материалов. М., 1966.
6. Методы определения свойств хлопка-волокна/С. С. Иванов, Л. П. Ладина, А. Н. Соловьев и др. М., 1972.
7. Борухсон Б. В., Городов В. В., Скворцов А. Г. Товароведение лубяных волокон. М., 1974.

Глава IV. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Геометрическими свойствами называют размеры и форму волокон и нитей, а основными характеристиками их размеров являются длина и толщина. Форму поперечных сечений определяют при описании структуры волокон и нитей, их распознавании, а форму продольной оси при оценке характера извитости. Изогнутость нитей в ткани используется для характеристики фаз строения тканей.

Толщину необходимо измерять как для волокон, так и для нитей, тогда как длину и ее неравномерность — только для волокон. Длина нитей определяется при их количественной приемке, а также при косвенной оценке их толщины по линейной плотности. Неравномерность по толщине чаще оценивают для нитей и реже для волокон. Исключение составляет шерсть, неравномерность по размерам поперечного сечения которой является важнейшей качественной характеристикой.

Длина и толщина волокон влияют на свойства вырабатываемой из них пряжи. Длина волокон определяет выбор технологического процесса прядения и совокупности применяемых машин. Например, для переработки длинных волокон используют гребнечесание, а короткие волокна перерабатывают без него. В соответствии с длиной волокон устанавливают разводки (расстояния) между рабочими органами машин. Толщина нитей определяет материалоемкость и толщину изделий из них. При уменьшении толщины нитей снижается их жесткость и изделий из них. Однако при одном и том же исходном сырье более тонкая пряжа неравномернее по своим свойствам. Следует также учитывать отрицательное значение пониженной толщины волокон, которые при чесании сильнее запутываются в плотные, мелкие скопления (узелки, комочки и др.), которые проходят в пряжу, портят ее внешний вид и ухудшают качество.

От формы поверхности волокон и нитей зависят их блеск, фрикционные свойства, а также поверхностные свойства вырабатываемых изделий. Извитые волокна обладают лучшей прочностью. Увеличение извитости текстурированных нитей повышает их растяжимость и объемность.

1. ДЛИНА ВОЛОКОН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛИНЫ ВОЛОКОН И ИХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПО ДЛИНЕ

Характеристики длины. Длина волокна L определяется наибольшим расстоянием между его концами a и b в распрямленном состоянии (рис. IV.1). Наибольшее расстояние L_0 между

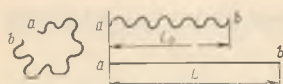


Рис. IV.1. Схема определения длины волокна

концами a и b выпрямленного волокна с сохраненными присущими или приданными ему извитками называется условно протяженностью. Ее учитывают иногда при определении извитости.

В массе волокон длина их неодинакова, поэтому используют

различные сводные характеристики длины и неравномерности волокон по длине, а также дополнительные характеристики.

Пусть в общей массе сырья содержится n_1 волокон длиной L_1 и массой M_1 , n_2 волокон длиной L_2 и массой M_2 и т. д. Практически значения n_1 , n_2 , ... определяют после промера длины каждого волокна и подсчета числа волокон с одинаковыми длинами или относящихся к определенному интервалу длин. Для нахождения M_1 , M_2 , ... все волокна рассортировывают на группы, содержащие волокна определенного интервала длины, и взвешивают каждую группу отдельно.

Среднюю арифметическую длину L_a часто называют средней длиной, а в ГОСТ 10213.4—73* — фактической длиной.

$$L_a = (L_1 n_1 + L_2 n_2 + \dots) / (n_1 + n_2 + \dots) = \Sigma(Ln) / \Sigma n. \quad (IV.1)$$

Эту сводную характеристику используют при определении длины химических волокон, а также длины запутанных или коротких волокон (например, хлопкового пуха, мытой шерсти и др.), для которых обязательно измерение отдельных волокон. Поскольку такой промер и подсчет числа волокон одинаковых длин весьма трудоемок, то значительно чаще применяют рассортировку волокон на группы одинаковой длины и их отдельное взвешивание.

Средняя массодлина L_d подсчитывается по аналогии со средней арифметической, только вместо числа волокон n берется их масса M :

$$L_d = (L_1 M_1 + L_2 M_2 + \dots) / (M_1 + M_2 + \dots) = \Sigma(LM) / \Sigma M. \quad (IV.2)$$

При рассортировке волокон на группы с определенным интервалом длин значения L_1 , L_2 , ... соответствуют средним значениям длины отдельных групп.

Доля по массе $M / \Sigma M$ содержания более длинных волокон всегда больше их числовой доли $n / \Sigma n$, вследствие чего

$$L_d \geq L_a. \quad (IV.3)$$

Эта разница тем больше, чем выше неравномерность по длине отдельных волокон.

Если считать линейную плотность (толщину) всех волокон одинаковой и, следовательно, массу 1 мм волокон Δ постоянной, то L_d можно определить по числовому содержанию волокон

разной длины. В этом случае масса M для n волокон длиной L определяется соотношением

$$M = \Delta L n. \quad (IV.4)$$

Подставляя значение M из формулы (IV.4) в формулу (IV.2), получим

$$L_d = \Sigma(\Delta L^2 n) / \Sigma(\Delta L n), \quad (IV.5)$$

а при $\Delta = \text{const}$

$$L'_d = \Sigma(L^2 n) / \Sigma(L n). \quad (IV.6)$$

В последнем случае

$$L'_d = L_a (1 + 10^{-4} C_a^2), \quad (IV.7)$$

где C_a — коэффициент вариации средней арифметической длины волокон.

Формулу (IV.4) используют также для пересчета числового содержания волокон разной длины на содержание их по массе и обратно [1].

Условная средняя длина L_y вычисляется в тех случаях, когда известно содержание по массе волокон разных длин и необходимо определить длину, более близкую к средней арифметической.

Пользуясь равенством (IV.4), найдем число волокон n :

$$n = M / (\Delta L). \quad (IV.8)$$

Подставив значение n в формулу (IV.1), получим

$$L_a = \Sigma(Ln) / \Sigma n = \Sigma[LM / (\Delta L)] / \Sigma[M / (\Delta L)] = \Sigma(M / \Delta) / \Sigma[M / (\Delta L)]. \quad (IV.9)$$

При $\Delta = \text{const}$ для подсчета условной средней длины L_y , величина которой равна L_a , получим формулу

$$L_y = \Sigma M / \Sigma(M / L). \quad (IV.10)$$

В тех случаях, когда $\Delta \approx \text{const}$, принимают

$$L_y \approx L_a. \quad (IV.11)$$

Для хлопковых волокон по ГОСТ 3274.5—72* подсчитывают модальную, штапельную и среднюю массодлину.

Модальная массодлина L_m соответствует длине волокон, составляющих группу с наибольшей массой. Эта длина всегда несколько больше модальной длины L_n , соответствующей длине наиболее многочисленных волокон, так как доля по массе более длинных волокон всегда превышает числовую долю.

Штапельная массодлина L_{sh} подсчитывается как средняя массодлина из длин, больших модальной массодлины. Для хлопковых волокон $L_{sh} \approx 1,1 L_m$.

Табл. IV.1. Данные для расчета сводных характеристик длины волокон

Длина волокон в группе, мм	Средняя длина волокон в группе L , мм	Число волокон n	Масса волокон M , мкг
0—10	5	2	2
10—20	15	20	60
20—30	25	16	80
30—40	35	8	56
40—50	45	4	36
Сумма		50	234

Формулы для точного подсчета $L_{ш}$ и L_m приведены в учебном пособии [2]. Здесь же дается упрощенный числовой пример расчета различных сводных характеристик длины волокон по данным табл. IV.1, которая для наглядности составлена при $\Delta=0,2$ мкг/мм и малом числе измеренных волокон, но с более высоким, чем обычно, варьированием по длине.

Средняя арифметическая длина

$$L_a = (5 \cdot 2 + 15 \cdot 20 + \dots + 45 \cdot 4) / (2 + 20 + \dots + 4) = 23,4 \text{ мм.}$$

Средняя массодлина

$$L_d = (5 \cdot 2 + 15 \cdot 60 + \dots + 45 \cdot 36) / (2 + 60 + \dots + 36) = 27,7 \text{ мм.}$$

Поскольку для волокон любой длины $\Delta = M/(Ln) = 0,2$ мкг/мм, то $L_y = L_a = 23,4$ мм. Модальная массодлина $L_m = 25$ мм, а модальная длина $L_n = 15$ мм. Штапельная длина $L_{ш} = (35 \cdot 56 + 45 \cdot 36) / (56 + 36) = 38,9$ мм.

Дополнительные характеристики длины применяют для химических волокон. По ГОСТ 10213.4—73* фиксируется номинальная (заданная) длина L_n и определяется отклонение, %, от нее средней фактической длины L_a .

$$O_L = 100(L_a - L_n)/L_n. \quad (IV.12)$$

Кроме того, вычисляется содержание длинных волокон, %

$$D = 101 n_l/n, \quad (IV.13)$$

где n_l — число длинных волокон, у которых длина превышает номинальную более чем на 15 %, но менее чем в два раза; n — общее число волокон в навеске.

Волокна, длина которых в два раза и более превышает номинальную длину, называются непрорезанными и относятся к порокам (ГОСТ 10213.5—73*).

Для хлопковых волокон по ГОСТ 3274.5—72* определяют содержание, %, коротких волокон R :

$$R = 100 M_1/M_0, \quad (IV.14)$$

где M_1 — масса коротких, не рассортированных по длинам волокон, мг; M_0 — суммарная масса волокон всех групп штапеля, мг.

Характеристики неравномерности по длине. Среднее квадратическое отклонение S , мм, и коэффициент вариации C , %, характеризуют неравномерность волокон при измерении средней арифметической длины L_a . Их вычисляют по формулам:

$$S = \sqrt{\sum [(L - L_a)^2 n] / \sum n}; \quad (IV.15)$$

$$C = 100S/L_a, \quad (IV.16)$$

где L — средняя длина отдельных групп волокон, мм; n — число волокон в отдельных группах.

Среднее квадратическое отклонение S_m и коэффициент вариации C_m массодлины в дополнение к средней массодлине L_d характеризуют неравномерность длины волокон и вычисляются по формулам:

$$S_m = \sqrt{\sum [(L - L_d)^2 M] / \sum M}; \quad (IV.17)$$

$$C_m = 100S_m/L_d, \quad (IV.18)$$

где L — средняя длина отдельных групп волокон, мм; M — масса волокон в отдельных группах.

База B_5 являлась условной характеристикой равномерности волокон по длине и использовалась для хлопковых волокон до 1972 г. База выражает процентное содержание по массе наиболее часто встречающихся волокон с разницей в длине 5 мм. В ГОСТ 3274.5—72* эта характеристика отсутствует.

Диаграмма распределения, штапельная диаграмма и фиброграмма. Длину волокон выражают не только перечисленными сводными характеристиками, но иногда изображают в виде диаграммы распределения, штапельной диаграммы или фиброграммы.

Пусть после рассортировки волокон получены группы со средними длинами $L_1, L_2, L_3, \dots$; числом волокон в каждой группе $n_1, n_2, n_3, \dots$ и с постоянным интервалом длин $k = L_2 - L_1 = L_3 - L_2 = \dots$. Величины n выражают в процентах от суммарного числа волокон $\sum n$.

Диаграмму распределения строят, принимая значения L за абсциссы, а n — за ординаты точек этой диаграммы (рис. IV.2, а). Штапельную диаграмму (рис. IV.2, б) строят в осях $\sum n$ и L следующим образом. На оси ординат откладывают минимальную длину $L_1 - 0,5k$ группы наиболее коротких волокон, затем на расстоянии Oa , равном числовому содержанию n_1 волокон в этой группе, проводят линию ab , параллельную оси ординат и равную максимальной длине $L_1 + 0,5k$ волокон самой короткой группы. Далее на расстоянии n_2 , равном процентному содержанию волокон в следующей группе, от точ-

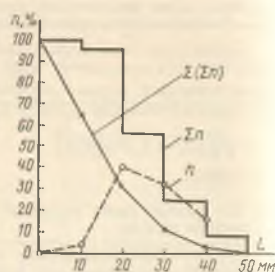
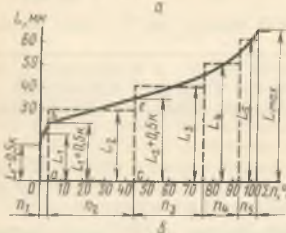
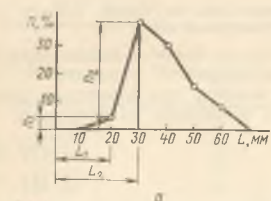


Рис. IV.3. Сопоставление диаграммы распределения n , штапельной диаграммы Σn и фиброграммы $\Sigma(\Sigma n)$

Рис. IV.2. Диаграмма распределения (а) и штапельная диаграмма (б)

ки a (но не от начала координат) проводят линию ce , параллельную оси ординат, и откладывают на ней максимальную длину $L_2 + 0,5k$ следующей группы и т. д. Из рис. IV.2,б видно, что площадь штапельной диаграммы равна ΣLn . Штапельная диаграмма, построенная в осях Σn и L , соответствует натуральной штапельной диаграмме, получаемой при раскладке волокон в порядке возрастания их длины и расположения их концов с одной стороны на прямой линии.

Иногда результаты штапельного анализа изображают в виде фиброграммы (рис. IV.3), которая показывает величины $\Sigma(\Sigma n)$, соответствующие изменению толщины специально приготовленного из пробной ленты штапеля-бородки. Между фиброграммой, диаграммами распределения и штапельной имеется взаимосвязь, определяемая зависимостью между содержанием волокон разной длины в сечении продукта прядильного производства (пряже, ровнице, ленте) и во всей массе продукта или в исходном сырье. При этом предполагается, что волокна каждой группы длины равномерно распределены на всем протяжении идеально ровного продукта, содержащего одинаковое число волокон в любом сечении продукта. В реальных продуктах вследствие их неравномерности число волокон и их распределение по длинам в разных сечениях будут различными. Поэтому получаемые для идеально ровного продукта выводы, сводные характеристики длины и формулы их определения являются для реальных продуктов приближенными. Однако при много-

кратных измерениях результаты оценки длины могут быть получены с достаточной точностью.

Допустим, что имеется масса волокон M_0 , состоящая из n_1 волокон длиной L_1 , n_2 волокон длиной L_2 , ..., n волокон длиной L . Если из этой массы волокон будет сформирован идеально равномерный продукт (пробная лента) длиной L_0 и массой M_0 , то число волокон x с длиной L в сечении продукта можно рассчитать следующим образом. Очевидно, общая длина n волокон с длиной L равна nL , а при условии равномерного их распределения по всей длине L_0 продукта число таких линий или число x волокон с длиной L в сечении продукта (рис. IV.4) определяется по формуле

$$x = nL/L_0. \quad (IV.19)$$

Следовательно, числовое содержание x волокон в сечении продукта отличается от их числового содержания n в исходном сырье, и чем меньше длина волокон L , тем меньше их содержание x в сечении продукта. Учитывая формулу (IV.8), имеем

$$x = M/(\Delta L_0). \quad (IV.20)$$

Так как $L_0 = \text{const}$, то при $\Delta = \text{const}$ числовое содержание x в сечении продукта соответствует содержанию волокон по их массе M во всем продукте.

Взаимосвязь между диаграммой распределения, штапельной диаграммой и фиброграммой рассмотрим на следующем примере.

Допустим, что в исходном сырье числовое содержание волокон n характеризуется штапельной диаграммой, приведенной на рис. IV.5,а. При изготовлении из этого сырья равномерного продукта (пробной ленты) волокна каждой длины будут равномерно распределяться по всему продукту. При отсутствии сдвигов между отдельными волокнами каждой группы они бы расположились в виде прямоугольников (рис. IV.5,б). Числовое содержание x волокон каждой длины в любом сечении продукта может быть рассчитано по формуле (IV.20). В действительности при изготовлении продукта волокна сдвигаются на какую-то величину, которая в равномерном продукте постоянна. В этом случае группы волокон изображаются уже не прямоугольниками, а параллелограммами (рис. IV.5,в). Если продукт зажать по линии AA и вычесать волокна, не попавшие в зажим, то



Рис. IV.4. Схема расположения волокон в продукте

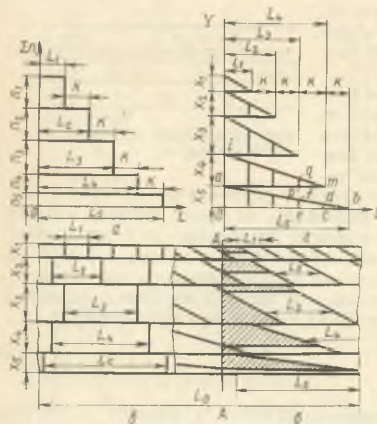


Рис. IV.5. Распределение волокон в штапельной диаграмме (а), продукте (б, в), штапеле-бородке (в, з)

формулы (IV.19) $Y_4 = (\kappa n_5 L_5 / L_0) / L_5 = \kappa n_5 / L_0$. При $L = L_3$ имеем $Y_3 = ex + pq$. По аналогии с предыдущим, учитывая подобие треугольников Oab и efb , а также треугольников aim и pqt получим

$$Y_3 = 2\kappa x_5 / L_5 + \kappa x_4 / L_4,$$

а с учетом формулы (IV.19)

$$Y_3 = 2\kappa n_5 / L_0 + \kappa n_4 / L_0 = \kappa [n_5 + (n_5 + n_4)] / L_0.$$

Точно также находим

$$Y_2 = \kappa [n_5 + (n_5 + n_4) + (n_5 + n_4 + n_3)] / L_0,$$

$$Y_1 = \kappa [n_5 + (n_5 + n_4) + (n_5 + n_4 + n_3) + (n_5 + n_4 + n_3 + n_2)] / L_0,$$

$$Y_0 = \kappa [n_5 + (n_5 + n_4) + \dots + (n_5 + n_4 + n_3 + n_2 + n_1)] / L_0.$$

Обычно значения Y подсчитывают в процентах от Y_0 . В табл. IV.2 приведены данные при $\kappa = 10$ мм и $L_0 = 100$ мм для расчета и построения диаграммы распределения n , штапель-

получится бородка, показанная на рис. IV.5, в заштрихованными отдельными треугольниками. Для определения толщины Y бородки при разных значениях L необходимо суммировать толщины всех треугольников (рис. IV.5, з).

Например, при $L = 0$ $Y_0 = x_5 + x_4 + x_3 + x_2 + x_1 = \Sigma x$ или с учетом формулы (IV.19) $Y_0 = \Sigma L n / L_0$.

При $L = L_5$ $Y_5 = 0$. Если $L = L_4$, то $Y_4 = cd$. Из подобия треугольников Oab и cdh имеем $cd/aO = cb/Ob$ и $Y_4 = \kappa x_5 / L_5$, а с учетом

новой диаграммы ΣL и диаграммы изменения толщины Y бородки, т. е. фиброграммы $\Sigma(\Sigma n)$, а сами диаграммы показаны на рис. IV.3.

Для волокон с одинаковой линейной плотностью $\Delta = \text{const}$ и при интервале между группами смежных длин $\kappa \rightarrow 0$ установлена следующая взаимосвязь трех диаграмм, показанных на рис. IV.6. Штапельная диаграмма (см. рис. IV.6, б) является интегральной кривой по отношению к кривой распределения числового содержания волокон разной длины (см. рис. IV.6, а), а последняя — дифференциальной кривой по отношению к штапельной диаграмме, которая в свою очередь является дифференциальной кривой по отношению к кривой изменения толщины бородки, или фиброграмме (см. рис. IV.6, в). Поэтому площадь $OAB = Z_0$, а площадь $OCD = Y_0$.

Если из точки с координатами $L = 0$ и $Y = Y_0$ провести касательную к кривой $Y = \varphi(L)$, то $tg \alpha = dY/dL = Z_0 = OE/OF = Y_0/OF$.

Следовательно,

$$OF = Y_0 / Z_0 = \text{пл. } OCD / OC = L_a \quad (IV.22)$$

соответствует средней длине волокон.

Табл. IV.2. Данные для расчета и построения диаграммы распределения, штапельной диаграммы и фиброграммы

L , мм	n , %	Σn , %	Y	$100Y/Y_0$, %
$L_5 = 50$	$n_5 = 8$	8	0	0
$L_4 = 40$	$n_4 = 16$	24	0,8	2,8
$L_3 = 30$	$n_3 = 32$	56	3,2	11,3
$L_2 = 20$	$n_2 = 40$	96	8,8	31
$L_1 = 10$	$n_1 = 4$	100	18,4	64,8
$L_0 = 0$	$n_0 = 0$	100	28,4	100

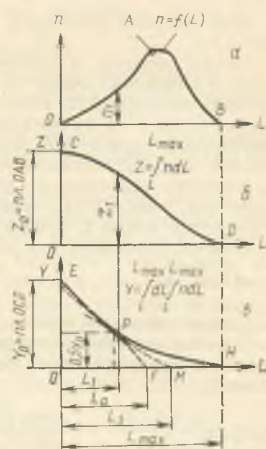


Рис. IV.6. Взаимосвязь кривой распределения (а), штапельной диаграммы (б) и кривой изменения толщины штапеля-бородки (в)

Для волокон различной линейной плотности ($\Delta \neq \text{const}$) $OF = L_y$.

Таким образом, для определения средней длины L_a или средней условной длины L_y необходимо разделить числовое значение площади OCD штапельной диаграммы на величину OC или из точки E на фиброграмме (см. рис. IV.6, в) провести касательную к кривой EH . Абсцисса точки F пересечения касательной с осью L соответствует L_a или L_y . Иногда рекомендуется измерять эффективную длину L_z . Для этого из точки P с ординатой, равной $0,5Y_0$, проводят касательную к кривой EH до пересечения с осью L в точке M . Эффективная длина $L_z = OM$. Показатель равномерности длины волокон, %

$$R_i = 100L_a/L_z \quad (\text{IV. 23})$$

Для волокон одинаковой длины $R_i = 100\%$.

Длина различных волокон изменяется в довольно широких пределах. Ниже приведены типичные значения длины различных волокон:

Волокно	Длина, мм	Волокно	Длина, мм
Хлопковое	25—45	Шерсть	
Элементарные		тонкая, полутонкая	50—100
льняное	15—20	полугрубая, грубая	50—200
пенька	10—15	Асбест	1—20
джут	2—4	Вискозное	34—120
Технические		Лавсановое	35—100
льняное	500—750	Нитроновое	33—95
пенька	700—1500	Капроновое	65—110
джут	2000—3000		

Следует иметь в виду, что технические лубяные волокна при переработке разделяются на более короткие.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛОКОН

Различные, наиболее типичные, методы определения длины волокон можно разделить на четыре основные группы.

1. Промер отдельных волокон:

измерение длины распрямленных волокон;

измерение курвиметром зарисовки нераспрямленных волокон или их проекции на экран.

2. Сортировка штапелей или деление штапеля волокон на классы длин:

сортировка штапелей вручную;

приготовление и сортировка штапеля на механических приборах;

сортировка штапеля прибором с выпускным валиком;

сортировка штапеля в гребенном поле.

3. Измерение длины волокон без деления штапеля на группы длин:

для штапеля с двумя ровными концами;

просвечиванием штапеля на фотоэлементном приборе.

4. Измерение длины волокон в продукте (потоке) очесыванием зажатой части продукта [1].

Рассмотрим сущность нескольких наиболее распространенных методов измерения длины волокон. Описание других методов приведено в литературе [2—5].

Промер отдельных распрямленных волокон. Его обычно осуществляют вручную с помощью миллиметровой линейки. Для химических волокон этот метод является стандартным (ГОСТ 10213.4—73*). Все волокна, входящие в отобранную навеску, поочередно укладывают на пластину, смазанную касторовым маслом, и распрямляют до полного устранения извитости. Результаты измерений записывают по соответствующим классам длин с интервалом 1 мм. Фактическую среднюю длину волокна подсчитывают по формуле (IV.1), а ее отклонение от номинальной — по формуле (IV.12). Содержание длинных волокон определяют по формуле (IV.13).

Измерение длины промером отдельных волокон используют для проверки точности определения длины на приборах.

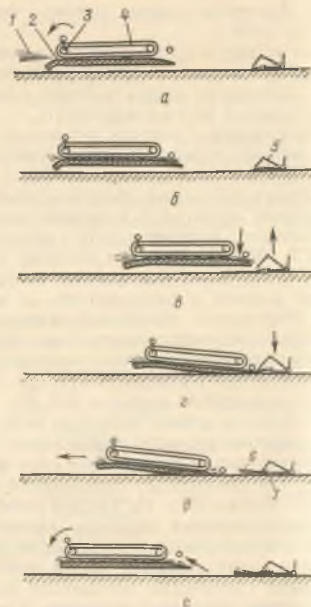
Сортировка и измерение длины отдельных штапелей. Такой метод применяется для определения длины натуральной шерсти (ГОСТ 21244—75*). Из каждой лабораторной пробы выделяют все сохранившиеся штапели (косицы). Каждый штапель (косицу) распрямляют по линейке, не растягивая извитости, и измеряют длину основной массы волокон. Измеренные штапели (косицы) группируют по классам длин с интервалом 10 мм и определяют раздельно их массу. Среднюю массодлину подсчитывают по формуле (IV.2) или по формулам в ГОСТ 21244—75*.

Приготовление штапеля с ровным концом и его рассортировка по длинам на механических приборах. При определении длины хлопкового волокна по ГОСТ 3274.5—72* используется штапель с одним ровным концом AB (рис. IV.7). Его приготавливают вручную или на механическом штапелестроительном приборе [3] из окончательной пробной ленты 13 (см. рис. III.2). Пробную ленту 1 (рис. IV.8, а) заправляют между транспортером 4 и пластиной 2 и, вращая рукоятку 3, смещают вправо до тех пор, пока концы волокон не выступят за край пластины. Затем каретка с транспортером и пластиной подается в сторону приемного зажима 5 (рис. IV.8, б). В правом крайнем положении каретка наклоняется к зажиму 5, верхняя губка которого приподнимается (рис. IV.8, в). Выступающие концы волокон укладываются на нижнюю губку и зажимаются опустившейся верхней губкой зажима (рис. IV.8, г). Далее каретка отходит влево, оставляя в зажиме первую часть штапеля 6 (рис. IV.8, д) с ров-



Рис. IV. 7. Штапель с одним ровным концом

Рис. IV. 8. Схема работы штапелеукладчика



ным концом 7, и приходит в исходное левое положение, а транспортер 4 подает заправленную ленту на 0,5 мм вправо (рис. IV. 8, е). Затем описанный цикл повторяется.

Для механического выравнивания края ленты набивают в течение 1 мин штапель 6 и, открыв зажим, отбрасывают его. Затем вновь набивают штапель с ровным концом требуемой массы. Приоткрыв зажим, заменяют в нем вкладыш с острой кромкой на вкладыш с плюшевой прокладкой, что облегчает последующую сортировку волокон, и вновь закрывают зажим.

Для сортировки волокон по классам от максимальных до минимальных длин используют другой прибор — рассортировщик. Схема рассортировки волокон показана на рис. IV. 9. Зажим 5 с подготовленным штапелем 6 с ровным концом 7 снимают со штапелеукладчика и устанавливают на столике 8 механизма подачи рассортировщика. При включении прибора механизм движется вправо вместе со столиком 8 и зажимом 5

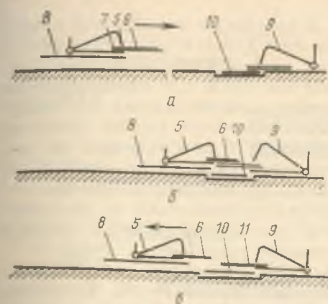


Рис. IV. 9. Схема рассортировки штапеля

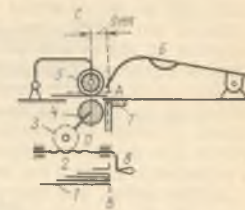


Рис. IV. 10. Схема прибора Жукова

к неподвижному зажиму 9, который открывается при подходе столика в крайнее правое положение, а затем закрывается (см. рис. IV. 9, а). При этом зажим еще не захватывает концы волокон. При возвращении зажима 5 в левое положение происходит его смещение на 0,5 мм вправо. После нескольких циклов движения вправо-влево зажима 5 концы наиболее длинных волокон штапеля 6 попадают в раскрытый зажим 9 (см. рис. IV. 9, б). Перед тем как зажим 5 переместится влево, зажим 9 закроется и зажатые волокна останутся на ворсовой ленте 10 (см. рис. IV. 9, в).

После четырех циклов движения будет отсортирована группа наиболее длинных волокон с интервалом $0,5 \times 4 = 2$ мм. Затем при открытом зажиме 9 лента 10 с группой волокон 11 сместится перпендикулярно плоскости схемы. Аналогично из штапеля 6 отсортировывается следующая более короткая (на 2 мм) группа волокон и т. д.

Хлопковые волокна рассортировывают на группы до 16 или 20 мм. Собрав с ленты 10 отдельно каждую группу волокон, а также из зажима 5 последнюю группу коротких волокон, их взвешивают. Полученные данные используют для подсчета характеристик длины и неравномерности волокон по длине.

Сортировка штапеля на приборе с выпускными валиками системы Жукова. Этот прибор ГОСТ 3274.5—72* рекомендует для определения длины хлопкового волокна. Приготовленный из пробной ленты вручную штапель 1 (рис. IV. 10) с одним ровным концом с помощью зажима 6 с упором 7 закладывают в прибор между валиком 5 и цилиндром 4 так, чтобы ровный конец штапеля АВ находился на расстоянии 9 мм от линии зажима CD валика 5 и цилиндра 4. Это обеспечивается правильной фикси-

рованной установкой упора 7. В результате незажатыми между валиком и цилиндром будут волокна 9 мм и короче. Рукояткой 8 через червяк 2 на один оборот поворачивают шестерню 3 на один зуб, а находящийся с ней на одной оси цилиндр 4 — на 1 мм по его окружности. Поэтому с линии зажима *CD* сойдут волокна 10 мм и короче. После извлечения особым зажимом группы незажатых волокон рукоятку 8 поворачивают на два оборота и из зажима освободится группа волокон длиной более 10 мм, но до 12 мм включительно. Их собирают с помощью зажима, а затем описанную процедуру повторяют до рассортировки всего штапеля. Волокна, рассортированные по группам с разницей в длине 2 мм, взвешивают отдельно.

Установлено, что группа волокон со средней длиной L частично попадает в обе смежные с ней группы. Чтобы определить истинную массу группы волокон длиной L , необходимо от массы волокон группы длиной $(L-2)$ взять 17 %, группы длиной $L-46$ %, а группы длиной $(L+2)$ — 37 % и полученные величины сложить. Для ускорения таких подсчетов используют счетный круг [2, 3].

Определение длины волокон с помощью электроемкостного прибора алметра. Этот прибор используют для определения длины хлопкового шерстяного и химических волокон. Вначале готовят штапель с ровным концом на укладчике с гребенным полем. Пробу волокон 1 (рис. IV.11) укладывают на гребенное поле 2 каретки 3. До включения прибора предварительно перемещают влево верхние гребни, которые опускаются последовательно вниз, до тех пор пока из переднего гребня не будут выступать концы волокон. При включении прибора каретка перемещается влево к зажиму 5 (см. рис. IV.11, а). При подходе каретки к открытому зажиму 5 (см. рис. IV.11, б) он приподнимается и выступающие из гребня волокна ложатся на нижнюю пластину зажима. После этого зажим закрывается (см. рис. IV.11, в) и захватывает прядку волокон, которая затем располагается на иглах держателя 6 штапеля. В этот момент каретка отходит назад, а плунжер 4 поднимается (см. рис. IV.11, г) и углубляет прядку в иглах держателя 6, который немного опускается и подходит почти вплотную к зажиму 5. При опускании плунжера 4 (см. рис. IV.11, д) зажим снова открывается, а в каретке происходит перемещение гребней. Передний (левый) гребень опускается, а следующий за ним гребень подается влево на 2 мм и занимает место предыдущего. В результате из переднего гребня снова выступают на 2 мм концы волокон. Предварительно набранные держателем 6 за несколько циклов волокна удаляют и приступают к наработке штапеля с ровным концом. Когда из пробы будет набран штапель массой 300—350 мг, прибор автоматически останавливается. Для лучшей распрямленности и параллелизации воло-

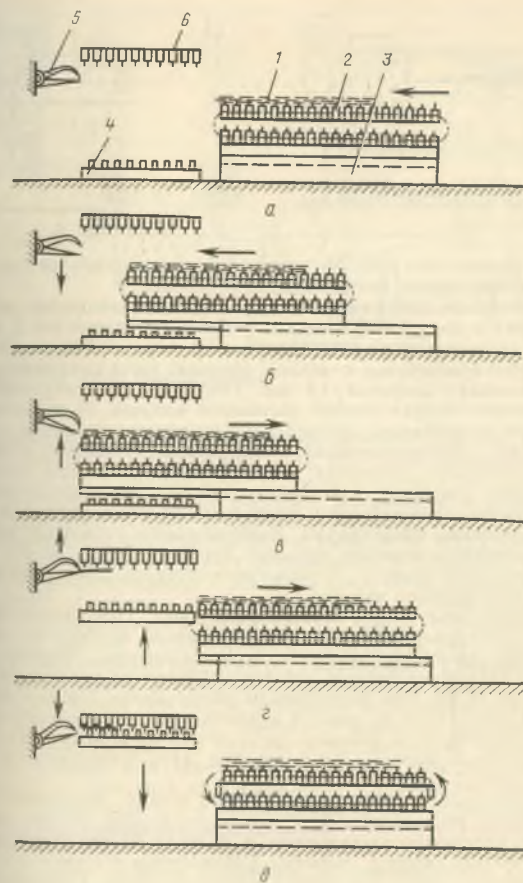


Рис. IV.11. Схема работы укладчика штапеля

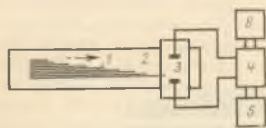
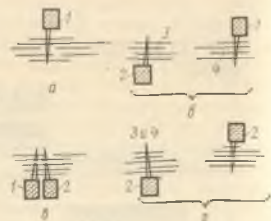


Рис. IV. 12. Схема алметра

Рис. IV. 13. Схема приготовления бороздок волокон для сервофибрографа



кон в штапеле его повторно укладывают, расположив на переднем (левом) гребне наиболее длинные волокна.

Приготовленный штапель 1 (рис. IV. 12) закладывают между двумя прозрачными пленками в приемное устройство 2, которое автоматически с постоянной малой скоростью продвигается внутрь прибора, где штапель 1 проходит через конденсатор 3 с пластинами шириной 1,8 мм. Поскольку диэлектрическая постоянная воздуха меньше постоянной волокон, то изменение емкости конденсатора пропорционально изменению массы слоя штапеля и соответствующий этому электрический ток в цепи после усилителя 4 поступает в преобразователь сигнала, вычислительное устройство 5 и самописец 6. На нем записываются диаграммы распределения и штапельная по массе волокон и по числу, а также фиброграмма. Вычислительное устройство 5 автоматически определяет среднюю арифметическую длину L_d , среднюю массодлину L_m , а также соответствующие коэффициенты вариации длины волокон [3].

Определение длины на сервофибрографе. При определении длины на сервофибрографе (фотоэлементный прибор) большое значение имеет приготовление штапеля-бороздки. Волокна из пробы вначале случайным методом набирают на иглы гребня 1 (рис. IV. 13, а). При последующем расчесывании бороздки гребнем 2 (рис. IV. 13, б) волокна перемещаются, что предохраняет их от повреждений. Волокна, располагаясь на этих гребнях, образуют новые бороздки 3 и 4, которые затем совмещают на одном гребне 2 (рис. IV. 13, в, г).

Далее гребень 2 поворачивают вниз иглами, повторяют очесывание и распределяют волокна на два гребня, которые вместе с бороздками закладывают в прибор. В нем бороздки 1 (рис. IV. 14) вместе с гребнями 2 закрепляют в держателе, соединенном с тягой 4, имеющей винтовую резьбу. При включении электродвигателя 5 тяга через шестерни и винтовую гайку медленно поднимается вверх. Толщина бороздки определяется косвенным путем по изменению силы пропускаемого через нее света от источника 3 и силы тока в фотоэлементе 6. Когда свет

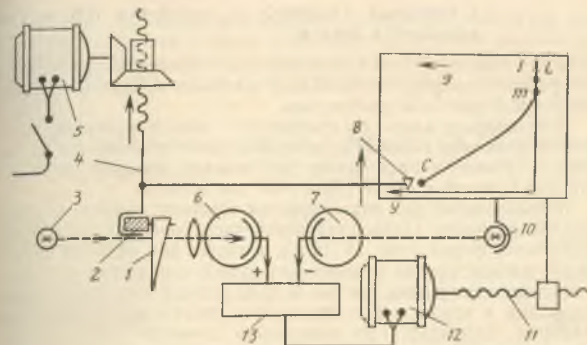


Рис. IV. 14. Схема сервофибрографа

проходит через основание бороздки, он наиболее ослаблен, а ток в фотоэлементе минимальный. Для его уравнивания от фотоэлемента 7 должен соответственно поступать ток другого знака и тоже минимальной величины, что достигается наибольшим удалением от этого фотоэлемента лампы 10.

При подъеме штапеля-бороздки ее толщина на пути светового потока уменьшается и ток от фотоэлемента 6 становится больше тока от фотоэлемента 7. Разность токов после усилителя 13 поступает на обмотку электродвигателя 12, который вращает винт 11 и, приближая к фотоэлементу 7 лампу 10, выравнивает эти токи. В итоге при непрерывном подъеме бороздки 1 соответственно перемещается перо 8 вверх, а влево вместе с лампой пластина 9 с бумагой. В результате вычерчивается кривая cm изменения толщины бороздки от основания до вершины, называемая фиброграммой. Когда бороздка 1 перестает преграждать свет, то при дальнейшем подъеме в фотоэлементах возникает ток постоянной и максимальной силы, при этом пластина 9 с лампой 10 находится на минимальном и неизменном расстоянии от фотоэлемента 7 и поднимающееся перо 8 вычерчивает на бумаге вертикальную прямую ml .

По записанной фиброграмме определяют среднюю и эффективную длину, а также показатель равномерности (см. с. 90). Поскольку просвечивание толщины бороздки начинается не от ее основания, а отступая от игл гребня на 6 мм, постольку точка c на фиброграмме (см. рис. IV. 14) или E на рис. IV. 6, в отстоит от оси Y тоже на 6 мм.

2. ТОЛЩИНА (ТОНИНА) И ЛИНЕЙНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Толщину волокон и нитей характеризуют линейными размерами поперечного сечения, его площадью или массой единицы длины, называемой линейной плотностью.

Относительно малая по сравнению с длиной величина поперечных размеров волокон и незначительная абсолютная их величина привели к применению для волокон термина «тонина», который включен в ГОСТ 17514—80* для шерсти.

Использование для характеристик толщины волокон и нитей средних размеров (диаметра) поперечного сечения при его неправильной форме (рис. IV. 15, а), а также при наличии пустот внутри элементарного волокна или нити и воздушных прослоек между элементарными нитями в комплексной нити или между волокнами в пряже может привести к неправильной оценке их толщины. Например, при одинаковом диаметре ($d_1 = d_2$) волокна имеют различную площадь сечения ($S_1 > S_2$) и неодинаковую толщину (рис. IV. 15, б, в). Более точно толщину волокон и нитей можно характеризовать площадью их поперечного сечения, измерение которой однако весьма трудоемко, а для рыхлых, легко деформирующихся нитей затруднительно. Поэтому чаще толщину волокон и нитей характеризуют косвенно массой единицы длины — линейной плотностью или показателем толщины. Для обратной характеристики, т. е. тонины волокон и нитей, используют номер или показатель тонины.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЛЩИНЫ И ТОНИНЫ

Линейная плотность, номер, показатели толщины и тонины. Наиболее часто толщина волокон и нитей характеризуется линейной плотностью T :

$$T = M/L, \quad (IV. 24)$$

где M — масса, мг, г; L — длина, м, км.

Единица линейной плотности мг/м или г/км принята как международная согласно ГОСТ 8.417—81* (СТ СЭВ 1052—78)

и имеет условное наименование текс (начальная часть слова «текстильный»). Для волокон используют также более мелкую единицу — миллитекс, или мг/км, а для некоторых полупродуктов пряжильного производства более крупную единицу — килотекс, или кг/км.

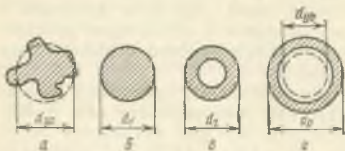


Рис. IV. 15. Формы поперечного сечения волокон и нитей

Между площадью поперечного сечения S и линейной плотностью T волокон и нитей существует следующая зависимость. Если масса тела M , мг, а его длина L , мм, площадь поперечного сечения S , мм², то при плотности вещества тела γ , мг/мм³, $M = SL'\gamma$. (IV. 25)

Подставив формулу (IV. 25) в формулу (IV. 24), имеем

$$T = SyL'/L = 1000Sy \quad (IV. 26)$$

или

$$S = 0,001T/\gamma. \quad (IV. 27)$$

При сравнении толщины волокон и нитей с разной плотностью γ целесообразно использовать показатель толщины τ .

$$\tau = 1000S = T/\gamma. \quad (IV. 28)$$

Показатель толщины определяет площадь, заполненную веществом 1000 волокон или нитей, мм². Весьма наглядной обратной характеристикой является показатель тонины μ , 1/мм²:

$$\mu = 1/S = 1000/\tau = 1000\gamma/T. \quad (IV. 29)$$

Он имеет реальный физический смысл и равен числу волокон или нитей с общей площадью поперечного сечения 1 мм². Показатели толщины или тонины следует использовать при сравнении волокон и нитей с разной плотностью γ (см. табл. IV. 3).

Тонину волокон и нитей иногда характеризуют номером N , мм/мг, м/г, км/кг:

$$N = L_0/M_0, \quad (IV. 30)$$

где L_0 — длина образца, мм, м, км; M_0 — масса образца, мг, г, кг.

Табл. IV. 3. Сравнение различных характеристик толщины и тонины волокон и нитей

Волокно и нить	Плотность, мг/мм ³	Линейная плотность T , текс	Показатель толщины τ , мм ²	Показатель тонины μ , 1/мм ²	Номер N , мм/мг
Волокно					
стеклянное	2,5	0,3	0,12	8333	3333
вискозное	1,5	0,3	0,2	5000	3333
ацетатное	1,3	0,3	0,23	4333	3333
нитроновое	1,2	0,3	0,25	4000	3333
капроновое	1,1	0,3	0,27	3667	3333
Пряжа					
асбестовая	2,6	104	40	25	9,6
хлопчатобумажная	1,5	60	40	25	16,7
лавсановая	1,4	56	40	25	17,9
шерстяная	1,3	52	40	25	19,2

Для сопоставления номера N , м/г, с линейной плотностью T , текс, используют соотношение

$$TN = 1000.$$

(IV. 31)

Сравнительная оценка толщины волокон и нитей по линейной плотности, а тонины по номерам правильна лишь при одинаковой плотности γ сравниваемых волокон или нитей. В противном случае такую оценку необходимо давать по площади поперечного сечения или показателю толщины [см. формулу (IV. 28)].

За рубежом используют иногда другую единицу линейной плотности — денье, соответствующую массе, г, нити длиной 9 км. Линейную плотность, выраженную в денье, обычно называют «титр». Таким образом,

$$T = T_t/9,$$

(IV. 32)

где T — линейная плотность, текс; T_t — титр, денье.

В табл. IV.4 приведены типичные округленные значения различных характеристик толщины и тонины волокон и нитей.

Табл. IV.4. Характеристики толщины и тонины различных волокон и нитей

Волокно и нить	Линейная плотность T , текс	Показатель толщины t , мм ²	Номер N , м/г
Хлопковое			
Лен	0,13—0,22	0,09—0,15	4550—7700
элементарное	0,17—0,33	0,11—0,22	3030—5880
техническое	5—8	3,3—5,3	125—200
Пенька			
элементарное	0,22—0,44	0,15—0,29	2270—4550
техническое	8—40	5,3—26,7	25—125
Шерсть			
пух и ость	0,5—2	0,4—1,5	500—2000
мертвый волос	3,3—5	2,5—3,8	200—300
Вискозное	0,2—0,7	0,13—0,47	1430—5000
Триацетатное	0,3—0,7	0,23—0,54	1430—3330
Лавсановое	0,2—0,7	0,14—0,5	1430—5000
Нитроновое	0,3—0,7	0,25—0,58	1430—3330
Капроновое	0,3—1	0,26—0,87	1000—3330
Пряжа			
хлопчатобумажная	5—320	3,3—213	3—200
льняная	17—670	11,3—447	1,5—60
пеньковая	167—5000	111—3333	0,2—6
шерстяная	15—340	11,5—262	3—67
стеклянная	140—1000	56—400	1—7
Комплексная нить			
шелк-сырец	1,6—4,6	1,2—3,5	217—625
вискозная	8—84	5,3—59,5	12—125
ацетатная	7—22	5,4—17	90—143
капроновая	1,7—6,7	1,5—5,8	150—590
стеклянная	1,8—160	0,7—64	62—625

Следует иметь в виду, что для всего ассортимента волокон и нитей отдельных видов показатели их толщины и тонины изменяются более значительно. Номинальные значения линейной плотности пряжи и нитей различных видов зафиксированы в ГОСТ 11970.0...5—70* в пределах 1,6—9250 текс, а химических волокон и жгута — в ГОСТ 21750—76* в пределах 0,076—10 текс.

Условный и расчетный диаметры. При сравнении толщины волокон или нитей следует учитывать, что при одинаковом показателе толщины t они имеют одинаковую площадь поперечного сечения, заполненную веществом, но размеры их видимого поперечника могут быть разными вследствие наличия каналов или различной плотности укладки волокон в сечении пряжи, а элементарных нитей — в сечении комплексной. Если необходимо знать поперечные размеры нитей и волокон, их измеряют с помощью микроскопа [2] или вычисляют условный d_{yc} и расчетный d_p диаметры (см. рис. IV.15, а и IV.15, з).

Условный диаметр подсчитывают по формуле (IV.33), выведенной из равенства (IV.27) в предположении, что $S = \pi d_{yc}^2/4$, т. е. что волокно или элементарная нить непустотелы и имеют цилиндрическую форму.

$$d_{yc} = 0,0357 \sqrt{T/\gamma} = 0,0357 \sqrt{t}, \quad (IV. 33)$$

где t — показатель толщины, определяемый по формуле (IV.28).

Для округлых элементарных волокон и нитей без канала d_{yc} близок к фактическим размерам поперечника. Его величина для пустотелых волокон и нитей ближе соответствует расчетному диаметру d_p . При вычислении его величины необходимо знать среднюю плотность, т. е. массу единицы объема волокон или нитей, измеренного по внешней контуре, δ , мг/мм³. Так, для пустотелого волокна (см. рис. IV.15, з) длиной L , мм, и массой M , мг,

$$\delta = 4M/(\pi d_p^2 L) = 0,004T/(\pi d_p^2). \quad (IV. 34)$$

Отсюда

$$d_p = 0,0357 \sqrt{T/\delta}. \quad (IV. 35)$$

Ориентировочные значения плотности γ и средней плотности δ различных волокон и нитей приведены в табл. IV.5.

Величины расчетного и условного диаметров нитей используются для определения некоторых характеристик строения и заполнения тканей и трикотажа.

Удельная поверхность и кроющая способность. Эти показатели косвенно характеризуют тонины волокон и нитей.

Удельную поверхность F_0 определяют отношением боковой поверхности к объему.

Табл. IV.5. Плотность γ и средняя плотность δ волокон и нитей

Волокно и нить	γ , мг/мм ³	δ , мг/мм ³	Волокно и нить	γ , мг/мм ³	δ , мг/мм ³
Элементарное во- локно			стеклянная шелк-сырец	2,5 1,3	0,7—2 1,1
хлопковое	1,5	0,9—1,3	Пряжа		
льняное	1,5	1,3—1,4	хлопчатобу- мажная	1,5	0,8—0,9
шерстяное (пух, ост.)	1,3	1—1,3	льняная	1,5	0,9—1
Комплексная нить			шерстяная	1,3	0,7—0,8
вискозная	1,5	0,8—1,2	шелковая	1,3	0,7—0,8
ацетатная	1,3	0,6—1	вискозная	1,5	0,8—0,9
капроновая	1,1	0,6—0,9			

Для цилиндрических волокон

$$F_0 = \pi d L / (\pi d^2 L / 4) = 4/d; \quad (IV.36)$$

для нецилиндрических

$$F_0 = PL/(SL) = P/S = 1000P\gamma/T = 1000P/\tau, \quad (IV.37)$$

где d — диаметр волокна, мм; L — длина волокна, мм; P — периметр поперечного сечения, мм; S — площадь поперечного сечения, мм²; γ — плотность вещества волокна, мг/мм³; T — линейная плотность, текс; τ — показатель толщины, определяемый по формуле (IV.28).

С увеличением F_0 понижается воздухопроницаемость слоя волокон. Это используют для косвенного определения их толщины.

Кроющая способность F_1 , м²/кг, аналогична удельной поверхности и определяет площадь, полностью покрываемую нитью массой 1 кг.

$$F_1 = 0,001 L d_p / M, \quad (IV.38)$$

где L — длина нити, м; d_p — расчетный диаметр нити, мм; M — масса нити, кг.

Заменяя в формуле (IV.38) отношение L/M на $10^6/T$ и величину d_p по формуле (IV.35), имеем

$$F_1 = 35,7/\sqrt{T\delta}. \quad (IV.39)$$

Значения кроющей способности различных нитей изменяются в больших пределах, примерно от 1 м²/кг для грубой пряжи из льняных волокон или толстых крученых стеклянных нитей до 30 м²/кг для тонких капроновых нитей. Значения F_1 дают относительную оценку площади тканей одинакового строения, получаемых из 1 кг различных нитей.

ЗНАЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Теоретические расчеты и экспериментальные данные показывают, что чем больше линейная плотность волокон, тем меньше относительная разрывная нагрузка P_0 вырабатываемой из них

пряжи (рис. IV.16). При этом значение толщины волокон больше заметно для более тонкой пряжи.

Минимальная линейная плотность $T_{\min}$ вырабатываемой пряжи обуславливается минимально допустимым числом волокон $n_{\min}$ в ее поперечном сечении и определяется равенством

$$T_{\min} = T_s n_{\min}, \quad (IV.40)$$

где T_s — линейная плотность волокон, текс.

Следует также учитывать отрицательное значение пониженной линейной плотности волокон, заключающееся в большей склонности тонких волокон при чесании к запутыванию в плотные скопления (узелки, комочки и др.), которые проходят в пряжу, портят ее внешний вид и ухудшают качество.

От толщины пряжи и нитей зависит толщина получаемых из них изделий. Уменьшение толщины нитей значительно понижает их жесткость и жесткость вырабатываемых из них изделий. Однако при одном и том же исходном сырье более тонкая пряжа неравномернее по своим свойствам.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ

Измерение фактического поперечника (диаметра) волокон и нитей. На практике широко применяют измерение поперечника шерстяных волокон (ГОСТ 17514—80*) и реже других волокон и нитей с помощью микроскопа с окулярным микрометром или проектора, имеющего на экране шкалу [2].

Толщиномер (микрометр) применяют для измерения поперечника плотных крученых нитей. При измерении поперечника менее плотной пряжи следует учитывать ее сплющивание. Чтобы уменьшить его, между дисками микрометра располагают несколько нитей. Их число берется таким, при котором результаты промера поперечника микрометром и с помощью микроскопа совпадают. Для текстурированных нитей применяют зарисовку контура проекции нити длиной L и планиметром измеряют его площадь F . Средний поперечник определяют по формуле $d = F/L$.

Определение площади поперечного сечения волокон и нитей. Наиболее часто ее вычисляют по линейной плотности, используя формулу (IV.27). Значительно реже ее измеряют по зарисовкам, сделанным с помощью рисовального прибора под микроскопом, площади поперечных срезов. Чтобы избежать трудностей, связанных с получением поперечных срезов волокон или нитей, используют метод вращения, предложенный Г. Н. Куки-

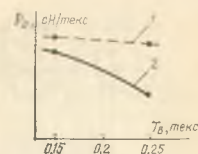


Рис. IV.16. Зависимость относительной прочности пряжи P_0 100 (1) и 5 текс (2) от линейной плотности волокна T_s

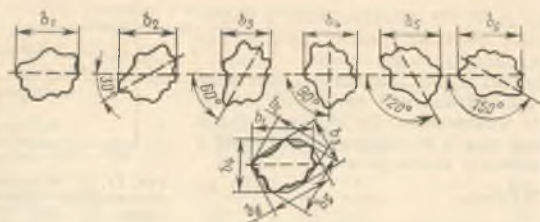


Рис. IV.17. Определение площади поперечного сечения нити методом вращения образца

ным. Исследуемая нить или волокно закрепляются во вращающихся зажимах, располагаемых на столике микроскопа. Оба зажима одновременно поворачивают на определенный угол α . На образце делают n последовательных поворотов и замеров видимого поперечника $b_1, b_2, \dots, b_n$ с поворотом его после каждого замера на угол $\alpha = 180^\circ/n$ (рис. IV.17). Вся площадь поперечного сечения нити линиями промеров как бы разобьется на $2n$ треугольников и будет приблизительно равна сумме их площадей.

Площадь двух треугольников, полученных после первых двух замеров b_1 и b_2 , составляет $2S = 2[0,5(0,5b_1 \cdot 0,5b_2) \sin \alpha] = 0,25b_1b_2 \sin \alpha$.

Площадь поперечного сечения нити, мм^2 , определяется суммированием площадей всех пар треугольников после n замеров:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n 2S = 0,25(b_1b_2 + b_2b_3 + \dots + b_{n-1}b_n + b_nb_1) \sin \alpha. \quad (\text{IV. 41})$$

Метод вращения требует в 5—6 раз меньше времени, чем метод срезов, а величина ошибки не превышает 5%. Возможная ошибка обуславливается тем, что между отдельными замерами могут быть выпуклости и впадины, а также тем, что ось вращения нити при повороте смещается.

Определение линейной плотности промером длины отдельных волокон. Метод основан на измерении длины всех волокон, составляющих пробу определенной массы. Пусть проба массой M , мг, состоит из n волокон длиной L_i , мм, каждое. Тогда фактическая линейная плотность, текс,

$$T = 1000M / \sum_{i=1}^n L_i. \quad (\text{IV. 42})$$

Для этого метода характерны большие затраты времени, поэтому его применяют редко, но он позволяет одновременно определять и среднюю длину.

Определение линейной плотности по вырезке из пучка волокон. Этот метод используют для хлопкового (ГОСТ 3274.1—72*) и химических (ГОСТ 10213.1—73*) волокон. Вначале из волокон готовят штапель с ровным концом AA_1 (рис. IV.18).

Затем его зажимают со стороны ровного конца на расстоянии a , мм, а другой конец штапеля предварительно прочесывают вверх гребнем. Затем на расстоянии $L_0 = a + L_s + x$ от ровного конца зажимают по линии BB_1 и вычесывают вниз гребнем волокна, которые короче L_0 . В результате в штапеле остаются волокна длиннее L_0 . Их для удобства подсчета под микроскопом делят на части и раскладывают каждую часть тонким слоем между двумя предметными стеклами, сохраняя ровный конец волокон. С помощью микроскопа или проектора подсчитывают число волокон в каждой раскладке. Затем все волокна собирают вместе в один общий штапель с ровным концом с известным числом волокон n . Из этого штапеля на расстоянии a от ровного конца вырезают часть длиной L_s . Все волокна в вырезке должны иметь одинаковую длину L_s , что достигается при $L_0 > L_s + a$. Обычно $L_s = 10$ мм; $a = 5 \dots 10$ мм. Величина x , L_0 зависит от длины волокон и регламентируется соответственно ГОСТ 3274.1—72* и ГОСТ 10213.1—73*. Вырезанную среднюю часть штапеля и его концы взвешивают раздельно [2]. Линейную плотность T , текс, и число n_s волокон в 1 мг подсчитывают по формулам:

$$T = 1000M_s / (L_s n_s); \quad (\text{IV. 43})$$

$$n_s = n / (M_s + M_k), \quad (\text{IV. 44})$$

где M_s — масса вырезки из n волокон, мг; L_s — длина вырезанной средней части штапеля, мм; M_k — масса двух концов штапеля, мг.

Число волокон n_s используется при пересчете средней разрывной нагрузки штапеля на одиночное волокно.

Определение линейной плотности комплексных волокон по расщепленности. Метод применяется для лубяных волокон и характеризует не только толщину волокон, но и способность их к дальнейшему расщеплению [4]. Для этого заготавливают прядки волокон определенной длины и делают из них вырезки длиной $L_s = 10$ мм общей массой M_s , мг. Затем подсчитывают

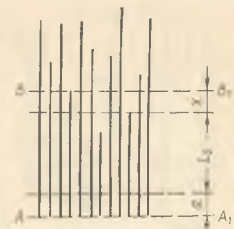


Рис. IV.18. Штапель для определения линейной плотности волокон

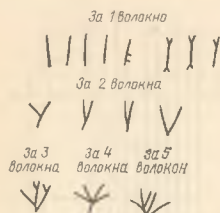


Рис. IV.19. Подсчет числа волокон с учетом их расщепленности

Определение диаметра и линейной плотности по воздухопроницаемости слоя волокон. Этот косвенный метод основан на том, что слой волокон определенной средней плотности оказывает тем большее сопротивление проходящему воздушному потоку и обладает тем меньшей воздухопроницаемостью, чем тоньше волокна и чем больше их удельная поверхность. По этим показателям оценивают степень распушки асбеста.

Для определения воздухопроницаемости слоя волокон используют различные приборы. На рис. IV.20 показана схема прибора для определения поперечника однородной мытой шерсти. Проба волокон массой 1,5 г закладывается между двумя перфорированными днищами 1 и 2, зафиксированными на заданном расстоянии друг от друга. В результате образуется слой волокон с постоянной плотностью 0,3 г/см³. Через этот слой насосом 3 засасывается поток воздуха, давление которого регулируют вентилем 4 и устанавливают по микроманометру 7 постоянным. Ротаметр 6 представляет собой немного расширяющуюся вверх трубку с делениями, внутри которой расположен поплавочек 5, имеющий форму тела вращения и поднимающийся потоком воздуха на высоту H . По ее величине определяют скорость (расход) воздуха Q , л/ч, и влияющую на нее удельную поверхность F_0 (см. с. 101).

$$H = \text{const}, \quad Q = \text{const}/F_0^2 \quad (\text{IV.46})$$

Для цилиндрических непустотелых волокон $F_0 = 4/d$, следовательно,

$$d = \text{const} \sqrt{H}. \quad (\text{IV.47})$$

По этой формуле для каждого прибора рассчитывают калибровочную таблицу для определения по величине H размера поперечника шерстяных волокон. Условия испытаний на приборе зафиксированы в ГОСТ 17514—80, согласно которому до-

общее число вырезанных волокон n_0 следующим образом. Целое волокно и расщепленное менее чем на половину своей длины считают за одно волокно каждое (рис. IV.19); расщепленное более чем на половину своей длины волокно — за столько волокон, на сколько концов оно расщеплено. Линейная плотность расщепленных волокон, текс,

$$T_p = 1000M_s/(L_s n_0), \quad (\text{IV.45})$$

где n_0 — условное число волокон с учетом концов, расщепленных более чем на 0,5 L_s (обычно 0,5 $L_s = 5$ мм).

пускается подготовку проб и измерения проводить в помещении с отклонением температуры и относительной влажности воздуха от стандартных условий, но с введением соответствующих поправок, зафиксированных в таблицах.

Иногда поперечник волокон определяют при заданных постоянных скорости воздуха Q и высоте H , измеряя по микроманометру 7 соответствующий перепад давления h .

Средний поперечник волокон

$$d = \sqrt{\text{const}/h}. \quad (\text{IV.47a})$$

Для проверки величины постоянной в формуле (IV.47a), а также необходимой скорости воздуха Q вместо пробы волокон ставят калибр. Кроме того, для определения и проверки постоянных величин в формулах (IV.47) и (IV.47a) используют прямые методы измерения d .

В ГОСТ 9679.3—71* по перепаду давления h предусматривается определение сорта хлопка-сырца, основанное на взаимосвязи зрелости, толщины и прочности хлопковых волокон.

Вибрационный метод определения линейной плотности одностебельных волокон и нитей. Сущность этого косвенного метода состоит в том, что частота собственных колебаний образца волокна или нити, вызванных вибратором, имеющим определенную частоту и амплитуду колебаний, находится в определенной зависимости от линейной плотности волокна или нити [6, 7]. По измеренной частоте собственных колебаний при заданной длине образца и его натяжению подсчитывают линейную плотность образца по формуле, текс,

$$T = gm/(4L_0^2 f^2), \quad (\text{IV.48})$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; m — масса груза предварительного натяжения, мг; L_0 — длина образца, м; f — частота собственных колебаний, Гц.

Массу груза и длину образца подбирают так, чтобы получить результаты, совпадающие с результатами гравиметрического метода. Эмпирическая калибровка вибростатического метода соответствует формуле (IV.48), если $T_{\min}/T_{\max} = 1/4$.

Определение линейной плотности нитей. В зависимости от условий определения различают номинальную, фактическую, результирующую и кондиционную линейную плотность.

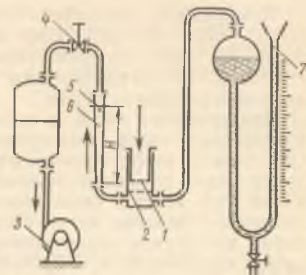


Рис. IV.20. Схема прибора для определения толщины волокон по их воздухопроницаемости

Номинальной линейной плотностью T_n называют по ГОСТ 16736—71* (СТ СЭВ 1375—78) линейную плотность одиночной нити, предназначенной к выработке. В ГОСТ 11970.0...5—70* зафиксированы значения линейной плотности для нитей различных видов.

Для трощеных нитей, а также крученой пряжи и крученых комплексных нитей, полученных из одинаковых одиночных (первичных) нитей, номинальная линейная плотность обозначается рядом стоящими числами, разделенными знаками умножения (X). Первое число обозначает номинальную линейную плотность отдельных нитей, второе — число сложений при трощении или первом скручивании, третье — число сложений при втором скручивании и т. д. Например, 25 текс X 2; 18,5 текс X 2 X 3.

При обозначении структуры одиночных химических нитей дополнительно к номинальной линейной плотности комплексной нити иногда указывают вместе с буквой f число элементарных нитей. Например, нить вискозная 13 текс f 40.

Номинальную линейную плотность трощеной или крученой нити, полученной из нитей разной линейной плотности $T_1, T_2, \dots, T_n$, обозначают их суммой: $T_1 + T_2 + \dots + T_n$. Например, 20 текс + 60 текс; (20 текс + 34 текс) X 2 + 20 текс; 20 текс X 3 + 34 текс. В первом числовом примере обозначена линейная плотность однокруточной нити, а в двух последних — двухкруточной.

Фактическая линейная плотность T_f определяется по ГОСТ 6611.1—73* (СТ СЭВ 2488—80) взвешиванием на весах или квадранте пасм (мотков) длиной 5—200 м, отматываемых на мотовиле [2]. Иногда линейную плотность определяют по отрезкам, получаемым после испытаний на прочность, крутку и др. Для этого испытанную нить срезают и взвешивают. Ее длина равна начальному расстоянию между зажимами прибора. Для получения отрезков нитей длиной 1 м разрезают моток длиной не более 25 м.

Для определения линейной плотности и растяжимости текстированных нитей (ГОСТ 23362—78) их длину измеряют при натяжении 10—30 мН/текс.

Кондиционная линейная плотность вычисляется по формуле, текс,

$$T_k = T_f (100 + W_n) / (100 + W_f), \quad (IV. 49)$$

где W_n — нормированная влажность нити, %; W_f — фактическая влажность нити, %.

Стандартами на нити нормируется относительное отклонение δ , %, кондиционной линейной плотности T_k от номинальной T_n :

$$\delta = 100 (T_k - T_n) / T_n. \quad (IV. 50)$$

Завышение δ против установленных норм приводит к перерасходу сырья и увеличению материалоемкости изделий.

Результирующая линейная плотность T_R определяется как суммарная линейная плотность без учета укрутки трощеных нитей.

$$T_R = T_1 + T_2 + \dots + T_n. \quad (IV. 51)$$

При $T_1 = T_2 = \dots = T_n = T_0$

$$T_R = T_0 n, \quad (IV. 52)$$

где n — число сложений.

При однократном скручивании одинаковых нитей

$$T_R = 100 T_0 n_1 / (100 - u_1), \quad (IV. 53)$$

а при многократном скручивании

$$T_R = \frac{T_0 n_1 n_2 \dots n_x \cdot 100 \cdot 100 \dots 100}{(100 - u_1)(100 - u_2) \dots (100 - u_x)}, \quad (IV. 54)$$

где T_0 — линейная плотность одиночной нити, текс; $n_1, n_2, \dots, n_x$ — число сложений при первом, втором, ..., x -м скручивании; $u_1, u_2, \dots, u_x$ — укрутка от первого, второго, ..., x -го скручивания, %.

В зависимости от того, какие значения T_0 подставляют в формулу, результирующая линейная плотность может быть номинальной T_{Rn} , фактической T_{Rf} и кондиционной T_{Rk} .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЛОКОН И НИТЕЙ ПО ТОЛЩИНЕ

Размер поперечника шерстяных волокон, называемый по ГОСТ 17514—80 тониной, и его неравномерность являются основными показателями, определяющими качественные градации, т. е. качество однородной шерсти или сорт неоднородной шерсти. Для характеристики неравномерности поперечника волокон шерсти в ГОСТ 6326—74*, ГОСТ 6327—74**, ГОСТ 6614—84, ГОСТ 8488—73* и ГОСТ 26383—84 используется среднее квадратическое отклонение [2].

Неравномерность нитей по толщине является их весьма важным показателем качества, так как наличие этой неровности вызывает полосатость изделий и портит их внешний вид. Повышенная неравномерность нитей снижает использование прочности волокон в пряже или элементарных нитей в комплексной, за счет чего ухудшаются механические свойства нитей и повышается их обрывность при переработке в ткачестве и вязании. Поэтому определение неравномерности входит в общую качественную оценку нитей самых разнообразных видов.

Глазомерная оценка неровноты нитей. В производственных условиях неровноту нитей по толщине оценивают иногда визуально различными способами. Наиболее быстрой, но и менее точной является глазомерная оценка неровноты при отматывании нити с паковки. Для получения более точной оценки нить наматывают параллельными рядами с постоянным шагом на доску или барабан, имеющие цвет, контрастный цвету нити. Если намотана ровная по толщине нить, то создается впечатление равномерной по оттенку поверхности намотки; неравномерная по толщине нить создает полосатость в намотке. Следует учитывать, что если утонченные или утолщенные участки нити имеют длину, меньшую длины одного витка на контрастной поверхности, то такая неравномерность нити при визуальной оценке может быть не обнаружена. Более объективную оценку неравномерности нити, намотанной рядами на контрастную поверхность, можно получить при сравнении намотки с натуральными или фотозатонами.

Оценка неравномерности нитей по линейной плотности. Данный метод широко применяют с одновременным определением средней линейной плотности нитей. Для определения коэффициента вариации по линейной плотности взвешивают каждую пасму или каждый отрезок нити. Согласно ГОСТ 6611.1—73* (СТ СЭВ 2488—80) используют пасмы длиной 200, 100, 50, 25, 20, 10 и 5 м и отрезки нитей длиной 1 и 0,5 м, а в некоторых исследованиях и 0,03 и 0,01 м. Неравномерность нитей на коротких отрезках зависит преимущественно от работы выпускной машины и наиболее сильно влияет на неравномерность поверхности изделий. Неровнота на большой длине пасм дает общее представление о качественном уровне всего процесса получения нити. Следует учитывать, что коэффициент вариации линейной плотности смежных отрезков одной и той же нити уменьшается с увеличением их длины. Эта зависимость может быть выражена аналитически [8].

Определение неровноты по толщине нитей на приборах. Для этой цели предлагались различные приборы, но некоторые из них не получили широкого применения из-за малой чувствительности или очень большой сложности. В большинстве приборов используется косвенный метод измерения толщины нитей и ее неравномерности с помощью электроемкостных, фотоэлементных, радиоактивных и акустических датчиков. Ниже даны описание и принципиальная схема наиболее распространенных. Более детально измерение неравномерности нитей по толщине описано в литературе [2, 9].

Прибор для определения неровноты по толщине нитей с электроемкостным датчиком получил большое распространение [2]. Испытываемая нить 1 (рис. IV.21) проходит через конденсатор 2, который вместе с катушкой самоиндукции 3 является

колебательным контуром генератора 4. Частота последнего сравнивается с постоянной частотой генератора 9. Так как частота генератора 4 зависит от емкости конденсатора 2, а последняя от линейной плотности нити 1, то разница в частотах генераторов 4 и 9 все время изменяется соответственно неравномерности линейной плотности нити. У генератора 9 катушка самоиндукции 10 одинакова с катушкой самоиндукции 3, а конденсатор 11 переменной емкости устанавливается так, что частота генератора 9 равна частоте генератора 4, когда в измерительном датчике-конденсаторе 2 находится нить средней линейной плотности.

При движении нити непрерывное изменение ее линейной плотности на отрезках L_0 , равных длине пластин конденсатора 2, создает переменную разность частот генераторов 4 и 9, которая через частотомер 5 регистрируется миллиамперметром 6, измерительным прибором интегратора 7 и записывается устройством 8, вычерчивающим кривую колебаний линейной плотности нити. С помощью интегратора измеряется коэффициент неровноты H или коэффициент вариации C линейной плотности вдоль длины нити.

Неравномерность нитей по толщине имеет сложный характер и может быть выражена спектром волн с длинами от долей сантиметра до сотен метров. Чтобы регистрировать коротковолновые колебания, необходимо иметь пластины конденсатора минимальной длины $L_0 < 10$ мм. Для измерения колебаний линейной плотности с разными, в том числе и большими, длинами волн, а также для оценки неравномерности на разных единицах длины интегрирование колебаний по массе производят за разные промежутки времени и при разной скорости движения нити.

Чем больше время интегрирования и больше скорость движения нити, тем на больших длинах измеряется неравномерность по линейной плотности нити. Диаграммная запись колебаний массы нити по длине позволяет определять характер неровноты и источники ее возникновения, а также рассчитывать коэффициент неровноты или коэффициент вариации по линейной плотности нити. Подробнее об оценке характера неровноты см. с. 113.

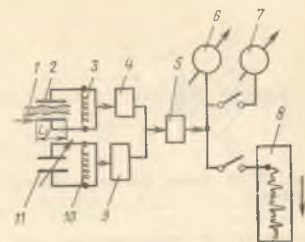


Рис. IV.21. Схема прибора с колебательным контуром высокой частоты для измерения толщины нитей и ее неравномерности

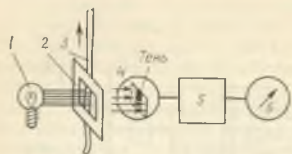


Рис. IV.22. Схема фотоэлементного прибора

ренности и температуры, что может искажать результаты испытаний. При определении неравномерности нити из смеси разных волокон на результаты влияет также неравномерное распределение компонентов смеси по длине нити.

На приборе для определения неровноты по толщине нити с фотоэлектрическим датчиком по сравнению с прибором с электроемкостным датчиком исключается влияние влажности нити на результаты испытаний. Свет от источника 1 (рис. IV.22) проходит через диафрагму 2 и освещает фотоэлемент 4. Его освещенность, а следовательно, и сила тока в цепи изменяются в зависимости от толщины движущейся нити 3, которая дает тень на фотоэлемент. Эти колебания силы тока после усиления ламповым усилителем 5 фиксируются самопишущим гальванометром 6. Преимуществом фотоэлектрических приборов является отсутствие сплющивания нити, а недостатком — неравномерность теневого контура нити в одной плоскости, что несущественно для круглых нитей, но может искажать правильную оценку неровноты нитей с сечением овальной и неправильной формы.

Способы оценки неравномерности нитей. Полученные результаты могут быть зафиксированы в виде показателей $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$ отдельных n измерений (например, массы отдельных отрезков нити постоянной длины) или записаны в виде непрерывной диаграммы изменения линейной плотности нити (рис. IV.23, а). В последнем случае обычно измеряют (через промежутки ΔL) ординаты $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$ и по их значениям так же, как и в первом случае, определяют характеристики неровноты разными методами. Рассмотрим три из них: 1) статистическую оценку уровня неровноты, 2) общую оценку уровня и характера неровноты и 3) оценку неровноты с разложением ее на отдельные составляющие.

Статистическая оценка уровня неровноты без учета последовательности результатов испытаний часто применяется на практике и обычно выражается коэффициентом неровноты H или коэффициентом вариации C . Их смещенная величина, %, определяется по формулам:

определяется по формулам:

$$H = 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n |M_i - \bar{M}| / (n\bar{M})}; \quad (IV.55)$$

$$C = 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 / n\bar{M}}; \quad (IV.56)$$

где M_i — линейная плотность (масса) отдельных отрезков (пасм); n — число отрезков (пасм).

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n M_i / n.$$

На диаграмме (см. рис. IV.23, а) значения M_i определяют измерением соответствующих ординат.

Для автоматического подсчета H или C на приборах имеются счетно-решающие устройства. На рис. IV.23, б показана упрощенная схема такого устройства для подсчета коэффициента неровноты H . На выходных зажимах 1, 2 прибора электрический сигнал меняется соответственно изменению линейной плотности нити. Конденсатор 3 большой емкости заряжается за определенное время T соответственно среднему напряжению A_1 , пропорциональному средней линейной плотности нити. Величина A_1 измеряется гальванометром 4. С помощью выпрямителя 7 переменное напряжение, выделенное от среднего напряжения, выпрямляется и получается пульсирующее напряжение, которым заряжается за тот же промежуток времени T конденсатор 6 большой емкости. На его зажимах гальванометром 5 измеряется ток сигнала A_2 , который пропорционален среднему отклонению изменяющейся линейной плотности нити от ее среднего значения. Время T интегрирования сигналов зависит от емкости конденсаторов 3 и 6, а также сопротивлений 8. Коэффициент неровноты H пропорционален отношению A_1/A_2 .

Оценка уровня и характера неровноты [9]. Возможны случаи, когда два вида нитей имеют одинаковые значения коэффициентов вариации линейной плотности или поперечника нити, но разный характер изменения толщины (рис. IV.24). Такие нити могут придавать изделиям в одном случае равномерный вид, а в другом — полосатость. Испытание таких нитей на

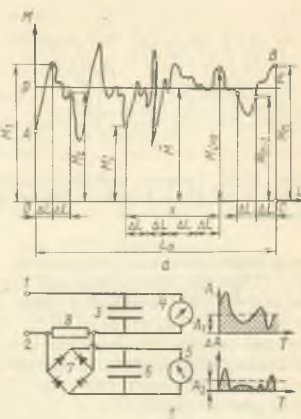


Рис. IV.23. График изменения толщины нити по ее длине (а) и схема счетно-решающего устройства для подсчета коэффициента неровноты (б)

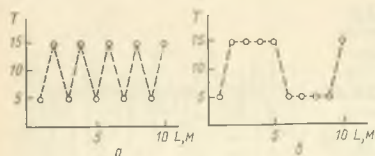


Рис. IV.24. Графики изменения линейной плотности T по длине L нити с разным характером неровноты

отрезков показали результаты, изображенные на рис. IV.24, а и б. Подсчет статистических характеристик неровноты по формулам (IV.55) и (IV.56) даст для обоих вариантов одинаковые результаты: $H_a = H_b = 50\%$ и $C_a = C_b = 53\%$. Однако трудно видеть, что порядок чередования отдельных показателей и характер неровноты в обоих случаях различен. Длина волны у первого образца (см. рис. IV.24, а) меньше, чем у второго (см. рис. IV.24, б).

Длину волны преобладающих колебаний толщины нитей можно установить с помощью корреляционной функции. Ее график, сокращенно называемый коррелограммой, показывает изменение коэффициента корреляции $r(x)$ между толщинами сечений продукта, удаленных на разные расстояния x друг от друга (см. рис. IV.23, а). Для вычисления ординат $r(x)$ используют диаграмму изменения толщины (линейной плотности) нити (продукта прядильного производства) и через одинаковые интервалы ΔL , условно принимаемые за единицу, измеряют n ординат $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$. Далее для разных целых значений x , выраженных в единицах ΔL (на рис. IV.23, а $x = 4\Delta L/\Delta L = 4$), подсчитывают ординаты коррелограммы:

$$r(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n-x} (M_i - \bar{M})(M_{i+x} - \bar{M})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n-x} (M_i - \bar{M})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^{n-x} (M_{i+x} - \bar{M})^2 \right]}}, \quad (IV.57)$$

где $\bar{M} = \sum_{i=1}^n M_i/n$.

Из формулы (IV.57) следует, что при $x=0$ всегда $r(x) = +1$. По вычисленным ординатам $r(x)$ строят коррелограмму, наиболее типичные формы которой показаны на рис. IV.25 [10].

Если изменение толщины нити на диаграмме $M(L)$ (см. рис. IV.23, а) имеет неперриодический, случайный характер, то на коррелограмме с увеличением x значение $r(x)$ уменьшается

приборах показывает разницу в записанных кривых изменения толщины, хотя подсчитанные по ним коэффициенты вариации оказываются одинаковыми. Предположим, например, что измерения линейной плотности смежных

постепенно до нуля (кривая 1 на рис. IV.25). При строго периодическом изменении толщины нити на диаграмме $M(L)$ с постоянной амплитудой и постоянной длиной волны λ_n коррелограмма (кривая 2) имеет вид периодической функции (косинусоиды) с той же длиной волны λ_n . В нитях и продуктах прядильного производства чаще сочетается случайный характер изменения толщины с ее периодическими затухающими колебаниями с переменными значениями амплитуды и длины волны. Для таких продуктов коррелограмма имеет вид кривой 3. Наличие при отдельных значениях x ординат $r(x) < 0$ указывает на некоторый элемент периодичности в случайных изменениях толщины продукта $M(L)$, так как при интервале, равном половине преобладающей длины волны колебаний толщины ($x_2 = 0,5\lambda_n$), положительным отклонениям ($M_i - \bar{M}$) от средней толщины $\bar{M}$ соответствуют отрицательные отклонения ($M_{i+x} - \bar{M}$) и наоборот.

Величина $r(x_2)$ не достигает минимального значения, равного -1 , следовательно, в суммарной сложной функции отсутствуют чисто периодические изменения толщины, а имеется комплекс часто встречающихся волн колебаний с малой разницей в длине, близкой к $2x_2$. Поэтому для нахождения преобладающей длины волны λ на коррелограмме отмечают значение x_2 , соответствующее первому максимальному отрицательному значению $r(x_2)$ и по нему определяют $\lambda = 2x_2\Delta L$. Для дополнительного контроля можно также использовать соотношения $\lambda = 4x_1\Delta L$ и $\lambda = 4x_3\Delta L$, где значения x_1 и x_3 соответствуют нулевому и второму максимальному положительному значению $r(x)$. По длине волны λ можно определить дефектный рабочий орган, создающий данную периодическую неровноту, полагая, что его периметр, умноженный на последующую общую вытяжку продукта, будет равен этой длине волны.

При оценке и анализе уровня и характера неровноты используют также градиент неровноты, который выражает аналитически или графически зависимость коэффициента вариации толщины (линейной плотности) от длины отрезка продукта [9]. Градиент внешней неровноты $C_n(L)$ показывает изменение коэффициента вариации C_n средней толщины или линейной плотности продукта в зависимости от длины L отрезков.

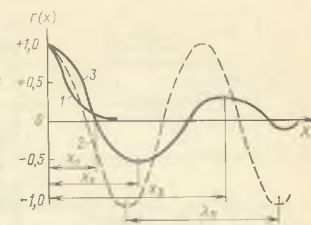


Рис. IV.25. Коррелограммы: 1 — продукт со случайными колебаниями толщины; 2 — продукт с периодическими затухающими колебаниями толщины; 3 — продукт со случайными и периодическими колебаниями толщины

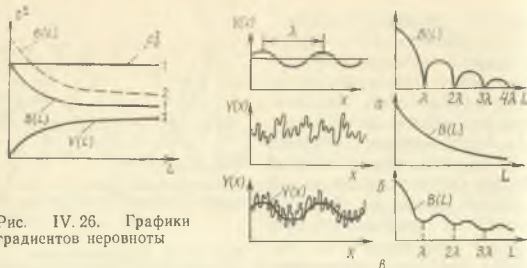


Рис. IV.26. Графики градиентов неровноты

Рис. IV.27. Диаграммы линейной плотности и градиента внешней неровноты для нитей с периодической (а), случайной (б) и комбинированной (в) неровнотой

Градиент внутренней неровноты $C_v(L)$ показывает изменение коэффициента вариации C_v размеров поперечника (площади поперечных сечений) или линейной плотности на отрезках $l \ll L$ внутри отрезка продукта длиной L в зависимости от этой длины. Очень часто на графиках (рис. IV.26) показывают зависимость квадратов коэффициентов вариации $C_a^2 = B$ и $C_v^2 = V$ от длины отрезков L в виде кривых $C_a^2(L) = B(L)$ и $C_v^2(L) = V(L)$. При этом квадрат общего коэффициента вариации толщины продукта

$$C_o^2 = B(L) + V(L). \quad (IV.58)$$

С увеличением длины L отрезка нити величина $B(L)$ уменьшается, а в соответствии с формулой (IV.58) при $C_o^2 = \text{const}$ значение $V(L)$ увеличивается.

Знание градиента неровноты позволяет сравнивать неровноту нитей, измеренную на отрезках разной длины. Для продуктов со строго периодической неровнотой с длиной волны λ_n градиент внешней неровноты $B(L = \lambda_n m) = 0$ при отрезках $L = \lambda_n m$, где m — любое целое число. В практических исследованиях чаще определяют градиент внешней неровноты $B(L)$. По его величине можно более уверенно судить об уровне неровноты на отрезках разной длины. Например, на рис. IV.26 нить 2 более неравномерна, чем нить 1. Вид графиков градиента $B(L)$ зависит от характера диаграммы изменения линейной плотности (толщины) $Y(x)$ по длине продукта x (рис. IV.27).

Спектральный анализ неровноты [10]. Сущность спектрального анализа заключается в определении спектра волн, образующих неровноту толщины продукта по его длине, и их ха-

рактеристик. Для этого используют спектрограмму, показывающую амплитуду периодических колебаний толщины продукта с разной длиной волны. Широкое распространение получил метод записи спектрограмм на счетно-решающем устройстве — спектрографе швейцарской фирмы «Устер». Электрический сигнал, получаемый на выходе прибора 1 (рис. IV.28) с емкостным датчиком и отражающий сложные колебания линейной плотности нити, поступает одновременно на ряд электрических фильтров 2, 3, ..., 31. Каждый из фильтров пропускает переменный ток определенной узкой полосы частот, который суммируется за некоторый промежуток времени. После этого начинает вращаться переключатель 32, который поочередно подключает выход каждого фильтра к самопишущему устройству 33. Движение бумаги на нем по оси X соответствует перемещению переключателя, а высота подъема пера по оси Y — величине суммарного электрического сигнала, поступающего от каждого фильтра. В результате на бумаге записывается спектрограмма, по оси X которой фиксируются логарифмы длины волн $\lg \lambda$, а по оси Y — средняя амплитуда A этих волн.

Идеально равномерная нить дает на спектрограмме прямую, совпадающую с осью X . В действительности нить, имеющая колебания по толщине, но без преобладания определенной длины волны, будет характеризоваться спектрограммой, изображенной на рис. IV.29, а. Спектрограмма на рис. IV.29, б, наоборот, показывает два резко выраженных пика колебаний толщины нити с длинами волн около 22 и 50 см. Эти данные используют для тщательного анализа всего технологического процесса изготовления нитей и выявления места возникновения периодической неровноты с длиной волн 22 и 50 см. Анализ спектрограмм используют не только для отыскания источников неровноты нити, но и последующего ее влияния, например на полосатость ткани.

Сравнительная оценка неравномерности пряжи разной линейной плотности. При одном сырье и одинаковом технологическом процессе более тонкая пряжа имеет более высокую неравномерность по толщине. Поэтому норма неровноты для такой пряжи должна быть больше. При отсутствии норм коэффициента вариации по линейной плотности пряжи для оценки отклонения фактической неровноты от неровноты идеального или гипотетического продукта иногда используют индекс неровноты I .

$$I = C_d/C_a = C_d \sqrt{m} / (100K_0) = C_d \sqrt{T} / (100K_0 \sqrt{T_a}), \quad (IV.59)$$

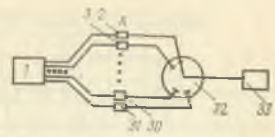


Рис. IV.28. Схема спектрографа

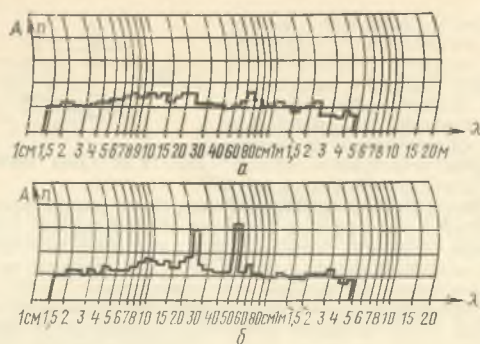


Рис. IV. 29. Спектрограммы:

а — равномерной нити; б — нити, имеющей периодическую неровноту с длинами волн 22 и 50 см

где C_d — фактический коэффициент вариации поперечника пряжи, %; C_d — минимальный коэффициент вариации поперечника гипотетической пряжи, %; m — среднее число волокон в сечении пряжи ($m = T/T_a$); T — линейная плотность пряжи, текс; T_a — линейная плотность волокон, текс.

$$K_0 = \sqrt{1 + 0,0001 C_d^2},$$

где C_d — коэффициент вариации волокон по площади их поперечного сечения, %.

По А. Г. Севостьянову [9], рекомендуется принимать для волокон: хлопкового $K_0 = 1,06$ при $C_d \leq 35\%$; шерстяного $K_0 = 1,12$ при $C_d \leq 50\%$; вискозного $K_0 = 1,02$ и льняного $K_0 = 1,3$.

Экспериментальные исследования неровноты продуктов прядения показывают, что индекс неровноты увеличивается с увеличением среднего числа m волокон в их поперечном сечении, поэтому индекс неровноты не может служить для сравнения неровноты продуктов прядения различной линейной плотности. Для такого сравнения предлагается при $m \geq 64$ определять уровень неровноты U :

$$U = C_d \sqrt[3]{m} / (50 K_0). \quad (\text{IV. } 60)$$

Для пряжи разного волокнистого состава рекомендуются нормы для пяти градаций уровня неровноты [9].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие используют показатели толщины для волокон хлопка, шерсти и вискозных?
2. Какова взаимосвязь между диаграммой распределения, штапельной диаграммой и фиброграммой?
3. Различные сводные характеристики длины волокон и их взаимосвязь.
4. Одна нить имеет $T = 40$ текс и $\gamma = 1,5$ мг/мм³, другая — $N = 22$ м/г и $\gamma = 1,3$ мг/мм³. Какая из них толще?
5. Преимущества и недостатки различных методов и приборов для измерения неравномерности нитей по линейной плотности.
6. Как оценивается различный характер и уровень неравномерности нитей по толщине?
7. Определить кроющую способность шерстяной пряжи 20 текс, если ее средняя плотность 0,75 мг/мм³.
8. Как определяется длина волокна на электроемкостном приборе?
9. Как определяется длина волокна на сервофибрографе?
10. Сравнительная оценка неравномерности пряжи различной линейной плотности.
11. Определить условный диаметр стеклянного волокна, если его номер 3500 м/г и плотность 2,5 мг/мм³.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. IV

1. Добычин В. П. Вопросы теории и методологии исследований в текстильной технологии. М., 1960.
2. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению/Под ред. А. И. Коблякова. М., 1986.
3. Методы определения свойств хлопка-волокна/С. С. Иванов, Л. П. Ладьянина, А. Н. Соловьев и др. М., 1972.
4. Испытание лубоволокнистых материалов/В. В. Городов, С. Е. Лазарева, И. Я. Лунев и др. М., 1969.
5. Свойства и особенности переработки химических волокон/А. Б. Пакшвер, Б. Н. Мельников, В. А. Усенко и др. М., 1975.
6. Труевцев Н. Н., Сучкова Г. Г. Прибор дениероскоп для измерения линейной плотности волокон и нитей//Текстиль. пром-сть. 1972. № 7. С. 66–68.
7. Меридит Р., Хирл Д. Физические методы исследования текстильных материалов. М., 1963.
8. Кирюхин С. М., Соловьев А. Н. Контроль и управление качеством текстильных материалов. М., 1977.
9. Севостьянов А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М., 1980.
10. Соловьев А. Н. Измерения и оценка свойств текстильных материалов. М., 1966.

Глава V. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Механическими свойствами волокон и нитей, как и любых тел, называются такие, которые определяют их отношение к действию различно приложенных к ним сил. Под действием сил волокна и нити деформируются, а порою и разрушаются. Вместе с тем силы действуют на них непрерывно — при переработ-

ке, использовании и даже хранении. Изучение механических свойств показывает, как волокна и нити деформируются и как они разрушаются под действием сил.

Деформирование и разрушение неразрывно связано с перемещением частиц материала с его движением, а изучение движения составляет предмет механики. Поэтому определяемые свойства и называются механическими. Среди других они являются важнейшими, с них начинается познание особенностей тел. Ф. Энгельс писал, что различные формы и виды самого вещества можно познать через движение, только в движении обнаруживаются свойства тел.

Изучение механических свойств ведется путем разнообразных исследований, осуществляемых экспериментальными методами, и обобщается теориями разрушения и деформирования, т. е. теориями упругости, высокоэластичности, пластичности.

Текстильное материаловедение как прикладная наука широко пользуется экспериментальными методами. Разработка теории прочности и деформирования составляет предмет физики твердого тела и механики полимеров (реологии¹); поэтому в данном учебнике прежде всего излагаются наиболее важные экспериментальные методы и лишь кратко сообщается об основных теоретических положениях, которые относятся к другим курсам.

Механические свойства волокон и нитей зависят от их строения, от составляющих их веществ, однако проявляются они в зависимости от действия на них сил (напряжения), приложение которых вызывают перемещение в волокнах и нитях составляющих их веществ, т. е. дают то движение, которое позволяет обнаруживать их свойства.

Силы могут прилагаться: а) по разным направлениям и, следовательно, вызывать деформации различных типов — растяжение, изгиб и т. д.; б) они могут быть различны по величине и потому вызывать неодинаковые деформации, в том числе разрушающие; в) действовать в течение разного времени; г) с разной кратностью, т. е. с разным числом чередующихся нагрузок и «отдыхов» после них.

В ряде случаев можно предполагать, что сообщаемые волокнам и нитям усилия равномерно распределяются по всему их сечению, и поэтому наряду с действием сил можно рассматривать действие напряжений, так как это позволяет отвлекаться от конкретных размеров отдельных волокон и нитей и сравнивать между собой свойства составляющих их веществ.

Поскольку большинство текстильных волокон и нитей состоит из полимерных веществ, это следует иметь в виду при

изучении механических свойств. В частности, при определении деформации необходимо учитывать большое влияние на ее величину времени действия сил, кратности числа нагрузок, различных внешних факторов — температуры, количества поглощенных веществ (например, водяных паров) и т. д. Структура волокон и нитей сказывается еще и в том, что они анизотропны, т. е. обладают различными свойствами в разных направлениях, и весьма неоднородны в разных своих слоях по сечению.

Отметим, что для описания механических свойств нитей недостаточно знать аналогичные свойства составляющих их волокон, так как структура нитей еще более сложна и неоднородна. При определении механических свойств волокон и нитей на основе экспериментальных данных в текстильном материаловедении используют более 50 различных характеристик. При таком их числе становится необходимой их классификация. В основу принципов классификации характеристик механических свойств вообще всех текстильных материалов положены особенности получения характеристик.

В соответствии со сказанным выше нагрузка может сопровождаться последующей разгрузкой, а порой и отдыхом. Подобное воздействие может быть повторено много раз. Отсюда при определении механических свойств возникает понятие испытательного цикла, при котором осуществляется последовательность воздействий: нагрузка — разгрузка — отдых.

На рис. V.1 представлена классификация механических свойств текстильных материалов. В ней деление идет сначала по типам в зависимости от характера деформации (растяжение, сжатие, изгиб и т. д.), затем по классам в зависимости от особенностей осуществления испытательного цикла и, наконец, по видам в зависимости от способа выражения характеристик (по силе, деформации, работе, времени и т. д.). При делении на классы учтено следующее. Характеристики, получаемые при осуществлении части испытательного цикла (например, при нагружении без разгрузки, или с ней, но без последующего отдыха) относятся к полуцикловым, получаемые в процессе полного цикла — к одноклассовым и, наконец, получаемые в результате многократного ряда полных циклов — к многоцикловым¹.

Характеристики первого и третьего классов могут быть разделены на подклассы, поскольку они получаются как при доведении образца до разрушения (разрывные), так и без него (неразрывные). Характеристиками разных классов описываются механические свойства с разных сторон.

¹ Реология — раздел механики, в котором рассматриваются вопросы течения вязких жидкостей, релаксации напряжений и деформаций полимеров и т. п.

² Последние иногда называют усталостными, поскольку при их получении в материалах возникает явление так называемой динамической усталости — изменение показателей надежности в результате воздействий.

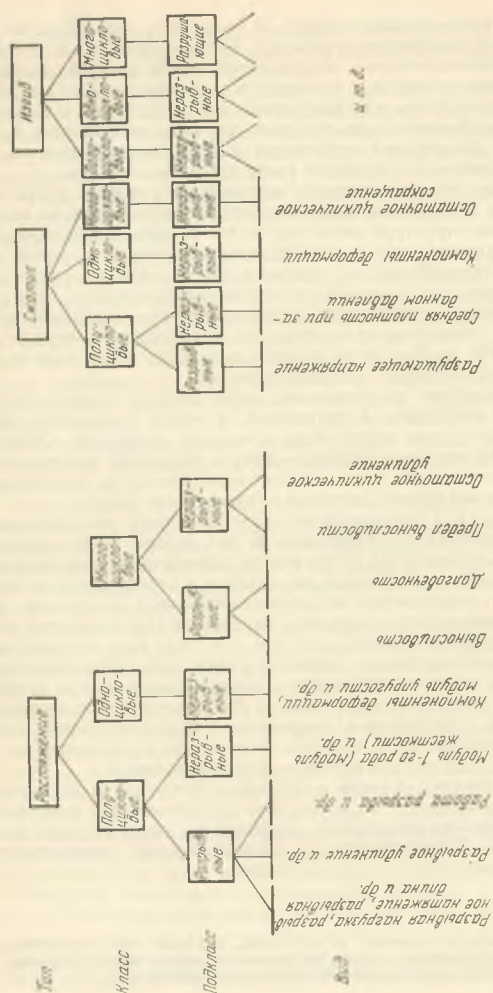


Рис. V.1. Классификация характеристик механических свойств текстильных волокон и нитей, получаемых экспериментальным путем (по Г. Н. Кушину)

Полуцикловые характеристики определяют отношение материалов к однократному, обычно кратковременному и лишь иногда к длительному нагружению. Если оно сопровождается разрушением, эти характеристики показывают предельные механические возможности материала. Они также хорошо отражают сильную деструкцию молекул вещества, составляющего материал, в результате воздействия на него различных химических и физических факторов, потерю массы материала и др.

Одноцикловые характеристики, получаемые чаще всего при длительном нагружении, хорошо выявляют влияние временного фактора, особенности деформации материалов, их способность сохранять форму и др.

Многоцикловые характеристики показывают устойчивость механических свойств при многократных силовых воздействиях. При действии малых сил, но многократно, нарушается структура тел, ослабляются межмолекулярные связи, даже деструктируются молекулы. Таким образом, многоцикловыми характеристиками оценивают устойчивость структуры.

Нецелесообразно получать много характеристик одного и того же класса, так как это усложняет эксперимент, но не дает ценных новых сведений. Не следует для целей, которые обеспечиваются характеристиками одного класса, получать характеристики другого класса. Например, полуцикловые характеристики плохо отражают изменения в структуре и, значит, в механических свойствах, происходящие вследствие многократных силовых воздействий. Пытаться с их помощью отразить подобные постепенные расшатывания структуры нецелесообразно. Наоборот, усталостные характеристики не выражают предельную возможность нагружения тел, так как оцениваются при малых нагрузках, но обеспечивают лучшее объяснение, например обрывности при подобных воздействиях.

Описание механических свойств текстильных материалов целесообразно вести по указанной на рис. V.1 классификации, последовательно рассматривая различные типы деформирования, а для каждого из них — классы и подклассы [1].

1. РАСТЯЖЕНИЕ [2—6]

При изучении механических свойств волокон и нитей наибольшее значение получили исследования их растяжения. Это объясняется тем, что форма волокон и нитей (малые поперечные размеры и значительная длина) часто вызывает такой характер приложения к ним сил, при котором в них возникают деформации растяжения. Этому же в известной мере способствует продольное расположение волокон в нитях, а нитей в тканях и других изделиях. При изгибах в волокнах и нитях части их поперечных сечений, лежащие выше нейтральной оси, также ис-

пытаются растяжение. Кроме того, исследования растяжения являются испытаниями механических свойств, давно и широко вошедшими в материаловедческую практику. В результате накоплено много данных, характеризующих механические свойства.

ПОЛУЦИКЛОВЫЕ РАЗРЫВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [7, 8]

При экспериментальном изучении растяжения чаще всего получают полуцикловые характеристики, доводя образцы до разрушения. При этом испытания образцов волокон и нитей осуществляются двумя путями, из которых первый широко распространен в лабораторной практике, а второй используется лишь в отдельных исследовательских работах.

1. С помощью внешней силы вызывают растяжение образца, непрерывно увеличивающееся по тому или иному закону; вследствие этого за сравнительно короткое время (обычно от доли секунды до нескольких десятков секунд) внутренние напряжения в нем резко нарастают и проба доводится до разрыва. Определяются характеристики (усилия, деформации и др.), относящиеся как к течению процесса растяжения, так и чаще к моменту разрыва. Зависимость получаемых характеристик от времени при этом обычно не устанавливается. Для того чтобы исключить его влияние, каждое испытание проводится в течение некоторого постоянного времени. Иногда по записываемой в процессе растяжения диаграмме в осях удлинение — нагрузка вычисляются модули 1-го рода и другие характеристики, для получения которых не обязательно доводить образец до разрыва.

Испытания осуществляются на разрывных машинах разнообразных конструкций, принципы устройства которых описаны ниже.

2. Образец подвергают действию постоянного усилия — статической нагрузке или постоянному напряжению и изучают в течение длительного времени (многих часов или даже суток) нарастающее удлинение; иногда образец тоже доводится до разрыва. Подобные испытания дают характеристики, выражающие связи усилия и деформации со временем. Зависимость прочности при статической нагрузке от времени часто называют статической усталостью.

Первый путь исследования, связанный с относительно быстрым растяжением образца, приводит к быстрому увеличению в нем напряжений. Имеющиеся в структуре волокон дефекты вызывают рост трещин, который и заканчивается нарушением сплошности. Если растягивается нить, происходит разрушение отдельных волокон; оставшиеся перенапрягаются и быстро рвутся вслед за ними. В пряже часть волокон, менее связанных

с другими трением и цепкостью, при этом даже не рвется, а просто смещается друг относительно друга — образец «расползается».

При растяжении образцов волокон и нитей до разрыва определяются ряд характеристик, объяснение существа которых и способов выражения дано в табл. V.1.

Первой из них является характеристика по внешней силе, требующейся для растяжения образца, — разрывная нагрузка P_R . Она определяется непосредственно на приборах, называемых разрывными машинами. На разрывных машинах определяют и другие характеристики [9].

Разрывную нагрузку часто называют абсолютной прочностью, поскольку она выражается тем максимальным усилием, которое образец выдерживает в условиях постепенного нарастания нагрузки, создаваемой на разрывной машине до момента его разрушения. Предполагается, что рост нагрузки является единственной причиной разрушения образца. Такая трактовка разрушения сложилась несколько веков тому назад¹ и часто в наше время еще представляется правильной. Однако исследования в области реологии, проведенные в последние десятилетия, показывают, что разрушение является не спонтанным (т. е. мгновенно протекающим) явлением, а процессом, начинающимся с разрыва одиночной молекулы, перенапряжения соседних, возникновения трещины и ее роста, непрерывно идущим во времени и зависящем от многих факторов, прежде всего от структуры материала, температуры и других факторов. Наиболее оправдала себя кинетическая теория прочности, разработанная известным советским ученым С. Н. Журковым и его сотрудниками, именно так рассматривающая вопросы прочности материалов, в частности полимерных. Следует отметить, что использование усложненных характеристик разрывной нагрузки при ее определении по пучку, пряжке или пасме, по существу, не имеет преимуществ по сравнению с определением по одиночному образцу, кроме выигрыша во времени, но это всегда связано со снижением точности результатов, вызываемым неравномерностью свойств отдельных слагающих и уменьшением абсолютного значения нагрузки, приходящейся на единицу пучка, на что обратил внимание известный французский физик Р. Реомюр еще в XVIII в.

Ряд далее перечисляемых характеристик (см. табл. V.1) связан с разрывной нагрузкой. В числе их напряжение σ_R . Его непосредственный расчет делением усилия P_R на площадь поперечного сечения S , определяемого для волокон и нитей по

¹ О возникновении методов изучения механических характеристик текстильных материалов см. в учебнике [1, с. 15].

Табл. V. 1. Основные характеристики механических свойств волокон и нитей,

Общие сведения	Нагрузка — наибольшее усилие, выдерживаемое до разрыва	Напряжение — отношение разрывной нагрузки к площади поперечного сечения
Способ получения	На разрывных машинах для растяжения волокон и нитей: а) одиночных; б) групповых (пучков, прядок)	Рассчитывается на основе определения разрывной нагрузки и площади поперечного сечения
Рекомендуемое обозначение механических показателей	а) $\bar{P}_p, H$ б) Q_p, H	$\bar{\sigma}_p, Па$
Расчетная формула	а) $\bar{P}_p = \Sigma P_p/n$; б) $Q_p = \Sigma q_p/m$	$\bar{\sigma}_p = \bar{P}_p/S$
Область использования	Общая оценка прочности, без уточнения конкретных условий использования материала	Для сравнения прочности различных материалов в недеформированном состоянии
Примечание	При методе б требуется для испытаний меньше времени, чем при методе а, однако результаты менее точные и отражают прочность наиболее слабых нитей в группе	Применяются также другие формулы, например $\bar{\sigma} = 10^3 P_p \gamma / T$. Иногда определяют разрывную длину L_p , $L_p = P_p \cdot 10^3 / T$. Эта характеристика не соответствует современным взглядам на процесс разрушения

паружным контурам, неудобен, так как сечение их по площади резко колеблется вдоль их длины и имеет непрерывно меняющиеся сложные геометрические формы и различное заполнение их материалом. Поэтому его определяют косвенным путем через массу и длину или среднюю плотность. Это по существу отводит от реальной картины разрыва в конкретном сечении и делает понятие разрывного напряжения условным. Практически его используют сравнительно редко, а применяют при расчетах конструкций, когда сопоставляют материалы волокон и нитей, используя их совместно с другими (например, проволокой, что встречается в технических изделиях — канатах, конвейерных лентах и др.).

Далее рассмотрим характеристики, в которых учитывается деформация. Абсолютное полное разрывное удлинение l_p представляет приращение длины растягиваемого образца к моменту

определяемые при растяжении до разрыва (однократное воздействие)

Удлинение абсолютное — увеличение протяженности материала до потери им сплошности	Удлинение относительное — отношение абсолютного удлинения к начальной длине	Работа (энергия, затрачиваемая при разрыве) абсолютная	Работа относительная — отношение работы к массе или объему испытуемого материала
На разрывных машинах по шкале деформации	Рассчитывается на основе определения абсолютного удлинения, отношения к исходной длине	На разрывных машинах с диаграммным прибором или другими устройствами фиксации работы	Рассчитывается на основе определения абсолютного удлинения делением на массу или объем
$\bar{l}_p, мм$	$\bar{\epsilon}_p, \%$	$\bar{R}_p, Дж$	$\bar{r}_m, Дж/г; \bar{r}_v, Дж/мм^3$
$\bar{l}_p = \Sigma (L_k - L_0)/n$	$\bar{\epsilon}_p = (\bar{L}_k - \bar{L}_0)/\bar{L}_0$	$\bar{R}_p = \eta P_p \bar{l}_p$	$\bar{r}_m = \bar{R}_p/m$ $\bar{r}_v = \bar{R}_p/V$
Для оценки предельной деформационной способности материала	Для сравнения предельных деформационных способностей различных материалов	Для оценки предельной способности разрушающей энергии	Для оценки предельной способности единичных масс или объема материала противостоять разрушающей энергии
Используется при выборе материала, общей оценке свойств которого не превышало бы конкретной величины при растяжении вплоть до разрыва	Используется при оценке свойств материалов без уточнения конкретных условий их применения и тогда, когда требуются материалы с определенным удлинением	Используется при оценке свойств материалов из них другим (экономичности, срока службы, надежности)	Используется при общей оценке материалов при замене одного из них другим (экономичности, срока службы, надежности)

его разрыва и выражается в единицах длины (обычно в миллиметрах):

$$l_p = L_k - L_0, \quad (V. 1)$$

где L_k — конечная его длина перед разрывом, L_0 — начальная длина образца (перед растяжением).

Иногда определяют разрывное удлинение пучка волокон или пазм нитей. Как уже отмечалось выше, неоднородность волокон по разрывному удлинению приводит к их неодновременному разрыву; поэтому удлинение, фиксируемое по пучку, не является средним. Поправочные коэффициенты, более устойчивые для разрывной нагрузки, менее устойчивы для разрывного удлинения; они колеблются в значительных пределах. При разрыве пазмы разрывное удлинение замеряется неточно в связи со смещением нитей.

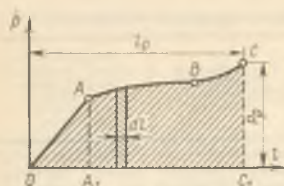


Рис. V. 2. Диаграмма растяжения образца

Часто относительное полное разрывное удлинение выражается в процентах:

$$\epsilon'_p = l_p \cdot 100 / L_0. \quad (V. 3)$$

Третьим видом характеристик являются характеристики, устанавливаемые по величине работы, затрачиваемой внешней силой на растяжение образца.

Работа разрыва R_p , т. е. работа, совершаемая внешней силой при растяжении образца, показывает, какое количество энергии затрачено, чтобы преодолеть энергию связи между частицами структуры этого образца при его разрушении. Она может быть определена как площадь, ограниченная кривой на диаграмме растяжения в осях абсолютное удлинение l —усилие P , т. е. кривой, соответствующей функции $l=f(P)$.

Элементарная работа растяжения (рис. V. 2) $dR = Pdl$. Вся работа, совершенная внешней силой до разрыва образца,

$$R_p = \int_0^{l_p} P dl = \int_0^{l_p} f(l) dl. \quad (V. 4)$$

Практически ввиду трудности определения функции f работу разрыва чаще всего определяют планиметрированием площади $OABCC_1A_1$ по диаграмме, записанной на разрывной машине и представленной на рис. V. 2.

Отметим, что координатами точки разрыва C являются разрывная нагрузка P_r и разрывное удлинение l_r . Произведение этих величин представляет некоторую условную работу R_y , которая была бы совершена, если бы в течение всего растяжения действовала сила, равная разрывной нагрузке

$$R_y = P_r l_r. \quad (V. 5)$$

Отношение фактически совершенной работы к этой условной работе принято называть коэффициентом полноты диаграммы

Относительное полное разрывное удлинение ϵ_r , часто сокращенно называемое разрывным удлинением, или даже просто удлинением, представляет собой отношение l_r к начальной (зажимной) длине растягиваемой нити L_0 :

$$\epsilon_r = l_r / L_0 = (L_k - L_0) / L_0 = L_k / L_0 - 1. \quad (V. 2)$$

растяжения и обозначать буквой η . Из сказанного следует, что $\eta = R_p / R_y$. (V. 6)

Подставляя значение R_y из формулы (V. 5) в формулу (V. 6), имеем

$$R_p = \eta P_r l_r. \quad (V. 7)$$

Чем выше значение η , тем большую работу совершает растягиваемое волокно или нить, т. е. тем лучше оно сопротивляется разрыву.

Практически для волокон и нитей различных видов значения η колеблются примерно от 0,35 до 0,65. Для определенных видов волокон и нитей эти значения сравнительно устойчивы; поэтому работа разрыва приблизительно (с ошибкой порядка не более $\pm 10\%$) может быть определена по формуле (V. 7), если известны разрывные нагрузка и удлинение. Для материалов, мало деформирующихся при действии большой внешней растягивающей силы и, наоборот, сильно деформирующихся при действии малой силы, значения работы разрыва могут быть примерно одинаковыми, как, например, для льняной и шерстяной пряжи, хотя первая пряжа прочна и малорастяжима, а вторая — наоборот.

Как всякая комплексная характеристика, работа разрыва облегчает оценку свойств материала в целом, но наряду с ней требуется и оценка по отдельным составляющим ее характеристикам. Желательно, чтобы работа разрыва материала была больше, т. е. чтобы для разрушения материала требовалось затратить большую энергию, так как это означает, что материал труднее разрушить. В то же время в зависимости от характера использования той или иной нити необходимо, чтобы разрывная нагрузка была высокой или чтобы нить обладала большой способностью деформироваться. Например, нити, составляющие канат, должны удовлетворять первому условию, а нити, формирующие трикотажное изделие, — второму. Канат должен быть прочен и в то же время малорастяжим, а трикотажное изделие — прочным и хорошо растяжимым.

Типичные полуцикловые разрывные характеристики для главных видов волокон, а также для нитей, как первичных, так и вторичных — крученых, приведены в табл. V. 2 и V. 3 и на рис. V. 3 и V. 4.

Из приведенных в табл. V. 1 характеристик не получили широкого распространения те, которые связаны с определением работы разрыва, хотя они были впервые предложены более века тому назад известным немецким ученым А. Гартигом. Это вызвано тем, что в современной реологии вопросы разрушения полимерных материалов и их деформирования рассматриваются независимо друг от друга.

Т а б л. V. 2. Типичные полумикровые разрывные характеристики, полученные при растяжении натуральных волокон и нитей основных видов

Волокно или нить	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, сН	Разрывное напряжение, Па ($\cdot 10^3$)	Разрывное удлинение, %	Работа разрыва, Дж ($\cdot 10^{-7}$)
Хлопок					
средневолокнистый	0,16—0,2	3—4	19—20	8—9	24—36
тонковолокнистый	0,12—0,14	4—5	32—36	7—8	28—40
Хлопчатобумажная пряжа					
кардная	12—100	132—940	10—75	6—9	600 ... 84,5 $\cdot 10^2$
гребенная	5—84	64—1340	10—21	5—8	320 ... 10,7 $\cdot 10^3$
Лен					
элементарное волокно	0,17—0,33	10—20	45—75	2—3	20—60
техническое чесальное волокно	5—8	200—300	40—60	2—3	400—900
Льняная пряжа					
сухого прядения	56—1200	7,7 $\cdot 10^2$... 22 $\cdot 10^3$	6—120	5—6	3,85 $\cdot 10^3$... 13,2 $\cdot 10^4$
мокрого прядения	34—200	5,6 $\cdot 10^2$... 3,9 $\cdot 10^3$	14—20	4—5	2,24 $\cdot 10^3$... 1,95 $\cdot 10^4$
Пенька					
элементарное волокно	0,22—0,44	10—22	40—45	3—4	30—88
техническое волокно	5—40	16—20	35—40	2—3	32—60
Пеньковая пряжа	280—5000	40 $\cdot 10^2$... 70 $\cdot 10^3$	8—14	4—5	16 $\cdot 10^3$... 35 $\cdot 10^4$
Шерсть					
тонкая	0,3—1	6—12	20—25	30—40	180—480
грубая	1,2—3	20—35	15—20	25—35	500—700
Шерстяная пряжа					
аппаратная	60—200	1,8 $\cdot 10^2$... 7,8 $\cdot 10^2$	8—20	2—12	400 ... 90 $\cdot 10^2$
тонкогребенная	20—56	100—350	4—14	6—20	600 ... 70 $\cdot 10^3$
Шелк					
коконная нить	0,22—0,33	6—9	40—45	14—15	84—405
шелк-сырец	1,5—4,7	440—1424	25—42	16—17	70,4 $\cdot 10^2$... 24,2 $\cdot 10^2$
Асбестовая пряжа	330—1250	660—2500	2,6—5,2	8—9	52,8 $\cdot 10^2$... 225 $\cdot 10^2$

Т а б л. V. 3. Типичные полумикровые разрывные характеристики, полученные при растяжении химических волокон и нитей основных видов

Волокно или нить	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, сН	Разрывное напряжение, Па ($\cdot 10^3$)	Относительное разрывное удлинение, %	Работа разрыва (энергия), Дж
Вискозные волокно	0,3	3	27	15	25
пряжа	25	200	12	10	900
обыкновенная комп-лексная нить	9	142	24	18	1 530
упрочненная комплексная нить	9	214	36	10	1 175
Медно-аммиачное волокно	0,4	—	22	—	—
Дицетанная комплексная нить	11	155	18	18	1 535
Лавсановые волокно	0,3	18	75	35	380
комплексная нить	2,9	—	—	15	—
Полиамидные комплексные нити	2,9	—	—	15	—
анидная поликапроамидная (капроновая)	5	200	46	25	3 500
эластик	25	350	16	14	14 000
Нитроновое волокно	0,3	9	33	18	80
Стеклопластиковая нить	68	220	80	1,5	—

Как уже отмечалось, предложен ряд теорий разрушения, из которых хорошо обоснована кинетическая теория прочности. Длительность сохранения целостности материалов, или, как в реологии принято называть, долговечность, представляет собой сложную многофакторную зависимость, которая еще требует дополнительных исследований. Напомним, что при этом основными из действующих факторов являются состав и строение веществ, слагающих полимеры (в данном случае — состоящие из них волокна и нити), время действия растягивающих внешних сил, условий внешней среды — температуры и влажности, при которых осуществляется растяжение.

Понятие «работа разрыва» условно и требует согласования с концепциями кинетической теории прочности, поскольку последняя предполагает, что разрушение происходит там, где образовалась и развивается магистральная трещина, а не во всем растягиваемом объеме образца. В понятии же «работа разрыва» предполагается, что разрушается весь объем растягиваемого тела: фактически же тело в большинстве случаев распадается лишь на две части, которые только несколько деформируются.

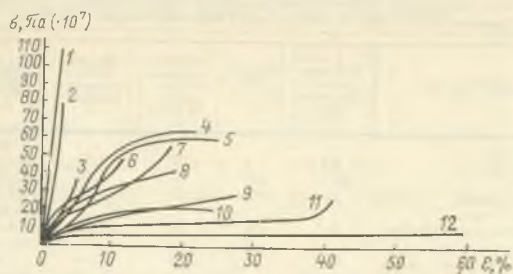


Рис. V. 3. Кривые растяжения волокон:

1 — стеклянное; 2 — льняное (э. н.); 3 — хлопковое; 4 — лавсановое (э. н.); 5 — капроновое (э. н.); 6 — вискозное упругое (э. н.); 7 — нитроновое; 8 — шелк (коконная нить); 9 — вискозное обыкновенное (э. н.); 10 — ацетатное (э. н.); 11 — тонкая шерсть; 12 — казеиновое (э. н. — элементарная нить)

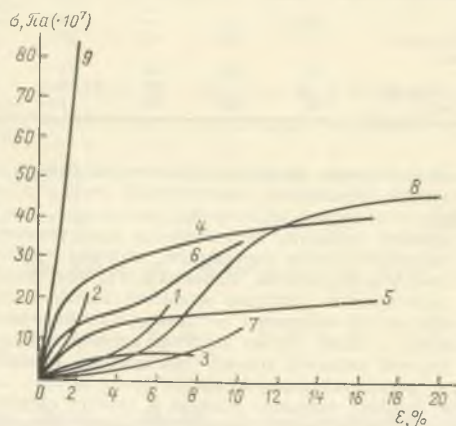


Рис. V. 4. Кривые растяжения нитей:

1 — хлопчатобумажная кардная пряжа 25 текс; 2 — льняная пряжа 70 текс сухого прядения; 3 — шерстяная гребенная пряжа 40 текс; 4 — шелк-сырец 2,5 текс; 5 — вискозная обыкновенная нить 25 текс; 6 — вискозная упругая нить 9 текс; 7 — вискозная штапельная пряжа 25 текс; 8 — капроновая комплексная нить 5 текс; 9 — стеклянная комплексная нить 7 текс

ПОЛУЦИКЛОВЫЕ НЕРАЗРЫВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [10]

В исследовательской практике иногда используют характеристики, получаемые при однократном растяжении текстильных материалов без доведения их до разрушения. В этих случаях производят растяжение, например, до определенного заданного удлинения и фиксируют нагрузку. По последней может быть подсчитано напряжение. Расчет ведут по формуле, приведенной в табл. V.1, с той лишь разницей, что в нее подставляют вместо разрывной нагрузки P_r полученную при выбранном значении удлинения нагрузку P . Иногда вычисляют отвечающую этому напряжению долю разрывной длины. Полученную характеристику называют напряженностью, или эквивалентной длиной.

Используются и обратные методы нахождения получающегося при растяжении удлинения — по заданной нагрузке или напряжению.

Подобные характеристики целесообразно применять для оценки нагрузок (или удлинений), которым подвергаются волокна или нити в технологических процессах, когда задается один из этих параметров. Например, можно определить, какие нагрузки нить испытывает при перематывании, осуществляемом с определенной величиной деформации при растяжении (при этом следует еще учитывать различие скоростей при перематывании и испытании; о влиянии фактора скорости будет сказано ниже).

Из других полуцикловых неразрывных характеристик необходимо отметить нередко применяемую в США и Англии характеристику относительной податливости волокон C (compliance ratio), предложенную американскими исследователями Л. Бэтси и Р. Гоффманом (1950 г.):

$$C = 2/\sigma_{10} - 1/\sigma_5, \quad (V. 8)$$

где σ_{10} — напряжение при деформации, равной 10%; σ_5 — напряжение при деформации, равной 5% (значения этих напряжений определяются по диаграмме растяжения).

Для жестких, малорастяжимых волокон (стекловолокно, лубяные и др.) $C = 0$; при этом чем податливее волокно, тем значение C выше. Для волокон, способных упрочняться по мере вытяжки (например, полиамидные), значения $C < 0$.

У многих материалов (например, у металлов) обратимая деформация почти полностью является упругой (т. е. развивающейся при приложении усилий и исчезающей после его снятия практически мгновенно) и связана с усилием прямолинейной зависимости. Такую деформацию выражают законом Гука, как коэффициент пропорциональности между деформацией и напряжением E — модуль продольной упругости, иначе модуль Юнга, или модуль 1-го рода.

Переноса эти общие положения и на полимерные материалы, в частности текстильные, считают, что прямолинейные участки кривых растяжения отвечают полностью обратимой упругой деформации. Определяя по диаграмме напряжение деформации, рассчитывают модули предельной упругости. Это неверно по следующим причинам. Прямолинейность кривой растяжения или части ее не является доказательством того, что вся деформация на этом участке упруга, т. е. исчезает немедленно после снятия нагрузки, или даже вообще обратима. В этом можно легко убедиться, разгрузив образец не доведя его до разрыва. Разгрузка идет по иной кривой. Об этом подробно говорится далее, при описании одноцикловых характеристик.

Вследствие особенностей строения полимерных материалов для них характерно наличие трех слагающих частей (компонентов) деформаций; наряду с небольшой истинно упругой деформацией большую долю обратимой деформации в этих материалах составляет эластическая, медленно развивающаяся и исчезающая. Кроме того, одновременно развивается и большая остаточная необратимая деформация. Сумма этих трех деформаций может развиваться прямолинейно, но из этого не следует, что она является полностью обратимой упругой. Следовательно, и характеристики, вычисленные по этой суммарной деформации, не являются характеристиками упругой деформации. Правильное представление о компонентах деформации дается ниже (см. с. 156).

А. Н. Соловьев показал, что величину E , Па, в отношении к текстильным материалам нужно рассматривать как модуль относительной жесткости.

По закону Гука

$$\sigma = \epsilon E,$$

откуда $E = \sigma / \epsilon$. Поскольку $\sigma = P/S$, где P — усилие, а S — площадь поперечного сечения, то $P/S = \epsilon E$, откуда

$$E = P/(\epsilon S). \quad (V.9)$$

Отношение P/ϵ в теории упругости принято называть жесткостью материала, а поскольку в формуле (V.9) в знаменатель входит еще величина S , получается, что жесткость в этом случае отнесена к площади, т. е. является относительной.

Если дать волокнам или нитям малые удлинения, например равные 1 % и на короткое время (на несколько секунд), деформация у подавляющего числа их видов будет почти полностью обратимой и притом в основном упругой. Вычисление модулей для таких условий допустимо. Подобные модули часто называют начальными, имея в виду то, что они получены для начальных условий растяжения. При использовании волокон и нитей им часто приходится претерпевать кратковременные и не-

большие растяжения. В этих условиях для приближенных и простых расчетов зависимости между деформацией и напряжением может быть рекомендован закон Гука — с использованием начальных модулей.

Применение модулей продольной упругости для больших растяжений, осуществляемых в течение длительного времени, когда доля упругой деформации в полной мере, по существу, теряет смысл, и модуль может рассматриваться как отношение данного напряжения к соответствующему полному удлинению. Применение подобных модулей малооправданно, поскольку их значения, естественно, различны как для разных напряжений, так и для одинаковых, но при повторных нагружениях.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВОЛОКОН И НИТЕЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ [10]

Существует большое разнообразие приборов для получения механических характеристик волокон и нитей при растяжении. В зависимости от того, для получения характеристик какого класса они предназначаются, их можно разделить на три группы:

1) разрывные машины — приборы, в основном служащие для определения полуцикловых разрывных характеристик. Иногда их не совсем точно называют динамометрами, т. е. измерителями усилия; однако на многих современных разрывных машинах можно определять и другие разрывные характеристики, например полное разрывное удлинение;

2) релаксометры — приборы, позволяющие получать одноцикловые характеристики, наблюдать за изменением деформации во времени (релаксацией деформации), определять ее составные части; в тех случаях, когда приборы приспособлены для наблюдений за релаксацией напряжения, их часто называют экстензометрами;

3) пульсаторы — приборы, на которых проводят многоцикловые испытания на растяжение (усталостные испытания); если на пульсаторах отмечается изменение усилия в каждом цикле, их называют циклодинамометрами.

Иногда приборы какой-либо одной группы применяют для получения характеристик другого класса; однако в этих случаях не всегда можно обеспечить рациональное проведение испытаний.

Среди приборов первой группы в зависимости от их конструктивных особенностей можно выделить следующие основные подгруппы:

1) приборы, в которых сообщается определенный характер движению зажима, дающего растяжение; чаще всего скорость движения этого зажима постоянна, при этом усилие и дефор-

мация, возникающие в материале, зависят от свойств последнего;

2) приборы, в которых соблюдается постоянство скорости возрастания усилия;

3) приборы, в которых соблюдается постоянство скорости деформирования.

К первой подгруппе относятся разрывные машины с маятниковыми, а также пружинными силоизмерителями; ко второй — весовые, с наклонной плоскостью; к третьей — с силоизмерителями в виде электрических датчиков (емкостных, индукционных и др.), с пружинными силоизмерителями.

Приборы первой подгруппы в зависимости от скорости движения растягивающих зажимов могут быть медленнодействующими и быстродействующими. Растяжение волокон и нитей на первых осуществляется со скоростью до 0,01 м/с, на вторых — до 2 м/с и более. Это значит, что на первых материалы доводятся до разрыва за несколько секунд, а на вторых — за десятки доли секунды. Медленно действующие приборы нередко называют статическими, что неточно, так как они сообщают нитям во время испытания не неизменное, а медленно нарастающее усилие. Быстродействующие приборы часто называют динамическими, баллистическими, ударными (копрами), что тоже неточно, так как в механике обычно считают воздействие ударным, если оно совершается с продолжительностью, измеряемой тысячными долями секунды.

Приборы второй подгруппы только медленнодействующие.

Приборы третьей подгруппы выпускаются для проведения испытаний с различными пределами скоростей растяжения, в том числе и со сравнительно высокими скоростями.

Разрывные машины могут быть периодического и непрерывного действия (полуавтоматические, автоматические). Они имеют следующие основные узлы:

- узел привода, осуществляющий деформирование образца (механизм движения зажимов);
- узел подачи и закрепления образцов;
- узел измерения усилия (силоизмеритель) или работы разрыва;
- узел измерения деформации;
- узел регистрации зависимости между усилием и деформацией (диаграммный прибор).

В отдельных конструкциях могут отсутствовать узлы измерения деформации и, особенно часто, узел регистрации. Встречаются разрывные машины с приводами: ручными, гидравлическими, механическими — от падающего груза или рычага (с воздушными и масляными тормозными устройствами, так называемыми демпферами) и электрическими. Современные разрывные машины конструируются в основном с электрическими приво-

дами; обычно их снабжают регуляторами, которые позволяют измерять скорости движения зажимов, обеспечивающих растяжение волокон и нитей.

Для закрепления образца применяются два одинаковых узла, называемых зажимами, или тисками; в отдельных случаях их заменяют другими устройствами, например при разрыве нити пасмой — роликами или крючками. Прогрессивным направлением приборостроения является создание устройств, обеспечивающих автоматическую заправку образцов.

В качестве силоизмерителей в зависимости от конструкции применяются грузы, пружины, маятники и т. д.; для отсчета деформации — шкалы с указателями и другие устройства.

Ниже дается описание наиболее типичных разрывных машин для волокон и нитей.

Самыми распространенными приборами первой подгруппы являются разрывные машины маятникового типа. Образец волокна или нити закрепляется в зажимах 1 и 2 (рис. V.5). Зажим 2 под действием устройства 3 опускается вниз и тянет за собой волокно, а оно в свою очередь тянет зажим 1, подвешенный с помощью металлической ленты (или цепочки) на имеющем вид сектора плече радиуса r маятникового рычага (силоизмерителя) 7, вращающемся вокруг точки 8. Рычаг 7 несет на себе груз 6 весом G . Чем прочнее образец, тем на больший угол φ отклонится силоизмеритель 7, его отклонения отмечаются прикрепленным к нему указателем 5 по шкале 4, которая градуируется непосредственно в граммах или процентах, если груз 6 сменный. Усилие, при котором произошел разрыв,

$$P = G \sin \varphi R/r.$$

Отношение плеч рычага силоизмерителя R/r постоянно, G в течение одного испытания не меняется. Следовательно, абсолютная прочность (разрывное усилие) пропорциональна синусу угла наибольшего отклонения силоизмерителя, которое будет им достигнуто от вертикального положения.

Маятниковые разрывные машины обычно снабжены устройствами для отсчета деформации. С верхним зажимом связывают

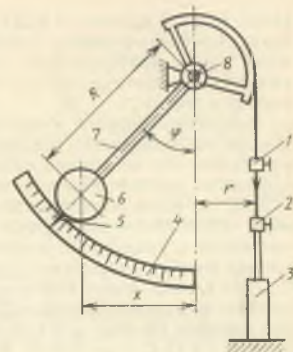


Рис. V.5. Схема разрывной машины маятникового типа

указатели, а с нижним — шкалы, по которым отсчитывают удлинение. Благодаря такому устройству перемещение верхнего зажима вниз, неизбежное при отклонении силоизмерителя, учитывается автоматически, так как с верхним зажимом перемещается и шкала.

Разрывные машины с маятниковым силоизмерителем встречаются разнообразных конструкций. В различных странах их выпускают для испытания одиночных волокон, пучков волокон, одиночных нитей и, наконец, пасм. В СССР подобные приборы выпускают Ивановское производственное объединение «Точприбор» (ДШ-ЗМ-2 — для пучков волокон, РМ-3-1 — для одиночных нитей с разрывным усилием до 30 Н, РМ-30-1 — для одиночных нитей с разрывным усилием до 300 Н). В ВНР приборостроительный завод «Метримпекс» (Будапешт) и другие выпускают ряд маятниковых разрывных машин для нитей. Среди них машины FY-19-A и FY-19-B, дающие разрывное усилие до 30 Н, и FY-15-D — до 500 Н. В ГДР завод «Веркштофпрюфmaschinen» (Лейпциг) выпускает прибор FC-01 для одиночных волокон и ряд приборов для нитей, в ЧССР — завод «Ковостав» (г. Усти над Орлицей) производит прибор 31-98502 для одиночных нитей и т. д.

Типичная машина с маятниковым силоизмерителем представлена на рис. V.5. Она нередко снабжается диаграммным устройством, позволяющим записывать кривые растяжения в осях удлинение — усилие. В отдельных конструкциях разнообразных устройств приводов (3 на рис. V.5). В настоящее время чаще всего используется электрический привод с коробками скоростей различных конструкций, позволяющий менять скорости опускания нижнего зажима в сравнительно широких пределах.

Иногда встречаются приборы устаревших типов, в которых используются гидравлические поршневые приводы, приводы от грузовых устройств с воздушными демпферами, обеспечивающие плавное опускание нижнего зажима с постоянной скоростью и др. Существенными недостатками приборов маятникового типа являются переменная скорость растяжения, зависящая от свойств материала, и влияние инерции тяжелых маятниковых силоизмерителей, вследствие чего при растяжении образцов нагрузка растет рывками. Кроме того, приборы не могут быть в достаточной мере универсальными, так как вес маятников приходится выбирать в соответствии с прочностью образцов. Несмотря на недостатки, эти приборы широко используются благодаря простоте и надежности конструкции.

Из быстродействующих приборов данной подгруппы рассмотрим маятниковый копер, который иногда используется в лабораториях. Схема копра представлена на рис. V.6.

Образец (пасма или пучок нитей) закрепляется в зажимах 1 и 2, из которых второй неподвижен, а первый закреплен на ма-

ятнике 4. Поворачивая его вокруг опоры O на угол φ_1 из вертикального положения, маятник поднимают на некоторую высоту h_1 и закрепляют защелкой. Во время испытания защелку поднимают и маятник быстро опускается. Энергия поднятого маятника при его падении частично расходуется на разрыв нити, вследствие чего он после падения поднимается уже на меньшую высоту h_2 , что соответствует его повороту от вертикали на угол φ_2 .

Если известны радиус центра тяжести маятника r и его вес Q , легко подсчитать работу, затраченную на разрыв нити R_p .

$$R_p = Qh_1 - Qh_2. \quad (V.10)$$

Выразив высоту h_1 и h_2 через радиус маятника и косинусы углов φ_1 и φ_2 и подставив их в формулу (V.10), получим

$$R_p = Q[(r - r \cos \varphi_1) - (r - r \cos \varphi_2)].$$

После преобразований

$$R_p = Qr(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1). \quad (V.11)$$

Работа разрыва может быть определена непосредственно по шкале 3 с помощью легкой стрелки, отклоняемой маятником при его подъеме на угол φ_2 .

Конструктивно маятниковые копры различаются способами крепления зажимов.

Испытания на быстродействующих приборах представляют известный интерес, так как условия разрыва близки к условиям обрыва нитей при перематывании и в других процессах производства, где к нитям рывком прилагаются значительные усилия.

Недостатком распространенных разрывных машин такого типа является то, что с их помощью определяют только работу разрыва, а не разрывную нагрузку и удлинение, для фиксации которых ввиду большой скорости испытания необходимо их снабжать дополнительными электрическими датчиками, фиксирующими эти величины.

Из приборов второй группы отметим используемые преимущественно для растяжения волокон (реже нитей) приборы весового типа.

Волокно зажато в неподвижный зажим 1 (рис. V.7) и в подвешенный к одному из плеч коромысла весов 3 зажим 2. На другое плечо рычага весов действует груз G , который и создает

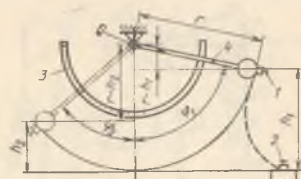


Рис. V.6. Схема маятникового копра



Рис. V.7. Схемы разрывной машины весового типа (а) и различных нагрузочных устройств (б, в, г)

нагрузку на волокно. При равенстве плеч усилие на волокно $P = G$. Нагрузка может осуществляться по-разному:

втягиванием сердечника 6 (рис. V.7, б) в катушку электромагнита 7;

изменением длины цепи 8 (рис. V.7, в), один конец которой закреплен на коромысле весов, а другой сматывается с барабана 9;

подачей капель воды из бачка 10 (рис. V.7, г) в ведро 11, подвешенное на грузовое плечо весов (динамометры П. Крайса).

Отсчет деформаций производится или оптически, для чего на коромысле весов закрепляется зеркальце, или с помощью специального устройства, изображенного на рис. V.7, а (динамометр П. Крайса). Это устройство представляет собой рамку, на которую надевается бумага 5, покрытая слоем копоти. Стрелка 4 весов несет на своем конце перпендикулярное ей острие, которое при движении рамки вверх и вниз прочерчивает на закопченной бумаге линию. При появлении деформации коромысло весов, а вместе с ним и стрелка отклоняются и на бумаге появляются зигзагообразные линии. Полное разрывное удлинение l_p изображается абсциссой всего зигзагообразного графика.

Рассмотрим также разрывные машины с наклонной плоскостью, схема одной из которых приведена на рис. V.8. Обычно эти машины выпускались для испытания нитей. Ее зажимы 1 и 2, в которых закрепляется нить, перемещаются на плоскости; эта плоскость может наклоняться. Зажим 1 неподвижен, зажим 2 связан с кареткой 3, которая при наклоне плоскости 4 смещается по ней вниз и нагружает своим весом нить, закрепленную в зажимах. Как видно из параллелограмма сил, показанного на рис. V.8, нагрузка на нить растет пропорционально синусу угла наклона плоскости.

Пусть вес каретки G , угол наклона φ , тогда усилие, сообщаемое нити,

$$P = G \sin \varphi.$$

(V.12)

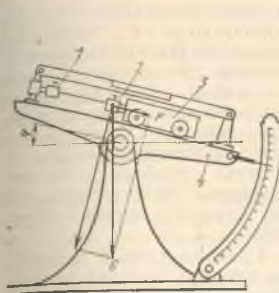


Рис. V.8. Схема разрывной машины с наклонной плоскостью

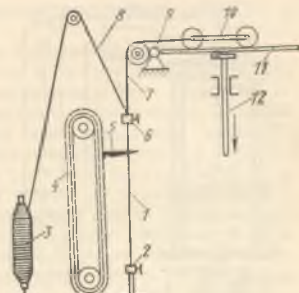


Рис. V.9. Схема разрывной машины Устер

Машины данного типа снабжены диаграммными приборами и обеспечивают удобную запись кривых удлинение — нагрузка как при доведении испытания до разрыва, так и при сообщении пробе ряда циклов нагрузка — отдых, т. е. гистерезисных петель.

Описанный принцип положен в основу конструкции автоматической разрывной машины Устер фирмы «Цельсгер» (Швейцария) для разрыва нитей. Образец нити 1 (рис. V.9) зажимается в неподвижный зажим 2 и подвижный 6. Стержень 12, опускающийся (от передачи) с постоянной скоростью, заставляет наклоняться опирающуюся на него направляющую 11, которая при этом поворачивается вокруг точки 9. Вследствие этого наклона каретка 10 перемещается по направляющей и тянет за собой с помощью гибкой связи 7 верхний зажим 6. Нити сообщается напряжение, и наконец она рвется. В момент разрыва прибор автоматически останавливается и счетчик фиксирует разрывную нагрузку и удлинение.

Прибор заправляется автоматически с помощью цепного конвейера 4, на котором установлен захват 5. После разрыва нити каретка и верхний зажим возвращаются в исходное положение; оба зажима автоматически приоткрываются и захват 5, подхвативший во время своего движения висевший конец нити 8, сходящий с паковки 3, заводит его в зажимы 6 и 2, после чего они закрываются и прибор готов к очередному разрыву следующего участка нити.

Приборы второй подгруппы совершеннее приборов первой подгруппы, так как обеспечивают при испытании постоянство скорости нагружения независимо от вида испытуемого материала. Однако такое постоянство редко встречается в условиях переработки и использования текстильных материалов. В этих

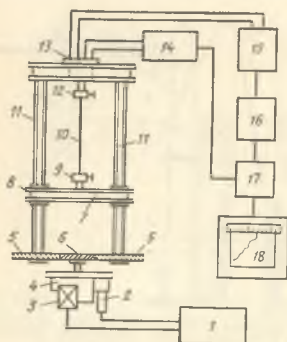


Рис. V. 10. Схема разрывной машины Инстрон

рывные машины Инстрон. Идея их конструкции была предложена в конце 40-х годов в США. Сущность ее заключалась в том, что один захжим разрывной машины непосредственно связывался с неподвижно установленным тензометрическим датчиком, а другой — с ползуном, перемещавшимся по направляющим. По существу это была реализация старых конструкций конца прошлого века (например, Э. Мюллера, П. Лейнера) — пружинных динамометров — с заменой ненадежных узлов (пружин) современными электрическими датчиками. Первые публикации об этих приборах относятся к 1949 г. и принадлежат Д. С. Барру. В 50-х годах возникли две фирмы, принявшие название компаний «Инстрон». В одной из них конструкторы Д. С. Барр и Г. Гайдэн (США), а в другой Дж. Целлер (Англия) создали свои варианты конструкций приборов, сохранив их принципиальные особенности, в частности вертикальное расположение рамы конструкции. Опишем разрывную машину Инстрон применительно к первым их выпускам, так как они имеются в некоторых лабораториях нашей страны. В приборе образец 10 (рис. V. 10) закрепляется в нижнем захжиме 9 и в верхнем 12. Нижний захжим помещен на перекладине 7, которая с помощью гаек 8 установлена на винтах 11. При вращении последних перекладина 7 опускается вместе с захжимом 9 с равномерной скоростью и растягивает образец. Винты 11 приводятся в движение от электродвигателя 3 через коробку скоростей 4 и шестерни 6 и 5. Питание и регулировка электродвигателя осуществляется от устройств 1 с помощью сельсина 2.

условиях материалы чаще деформируются с постоянной скоростью (например, при воздействии большинства органов машин, поскольку последние обычно имеют постоянные скорости). Поэтому наиболее совершенными следует считать приборы третьей подгруппы, действующие как раз по такому принципу.

Приборы третьей подгруппы возникли и стали распространяться одновременно с развитием электроники. В них в качестве силовых измерителей используются различные электрические датчики. Типичным прибором этой подгруппы являются универсальные раз-

Прибор позволяет изменять скорость растяжения от 0,0005 до 0,5 м/мин.

Верхний захжим 12 связан со сменным проволочным датчиком сопротивления 13, включаемым по мостовой схеме. Поскольку смещения датчика 13 при регистрации усилия ничтожны, захжим 12 практически можно считать неподвижным. Следовательно, испытание производится при нарастании удлинения с постоянной скоростью. Датчики питаются током с частотой 390 Гц от генератора 14. Ток от датчиков, пройдя два каскада усиления (15 и 16), подается на фильтр 17 и на самописец 18, записывающий диаграмму растяжения. Прибор позволяет осуществлять в процессе испытания разгрузку, записывать гистерезисные петли. Датчики 13 сменные, поэтому можно использовать для разных предельных нагрузок одну и ту же модель прибора, т. е. модель универсальна для различных материалов.

Так, в первых выпусках приборов набор датчиков был рассчитан на особенно широкий диапазон нагрузок — от 2 сН до 22 кН (на одном и том же приборе можно испытывать разнообразные текстильные материалы — от волокон до прочных технических тканей и канатов).

Однако такая чрезмерная универсальность усложняла конструкцию и в последние десятилетия фирмы перешли на выпуск моделей, специализированных для определенных предельных нагрузок (для разных видов материалов). Наиболее типичными для текстильных материалов являются модель 1101 с 4 диапазонами нагрузок (от 0—0,02 до 0—1000 Н) и модель 1102 с 5 диапазонами нагрузок (от 0—0,02 до 0—5000 Н). Они состоят из двух устройств каждая — испытательного стенда и стенда, в котором размещена аппаратура, регистрирующая результаты испытаний — диаграммный прибор, регуляторы нагрузок, цифровые счетчики и т. п.

Приборы моделей 1101 и 1102 снабжены коробками скоростей, позволяющими вести испытания с широким диапазоном скоростей растяжения (от 5 до 1000 мм/мин), сменными захжимами¹ для образцов, имеющими различные конструкции, в том числе с заклинивающими пластинами, непосредственно контактирующими с образцами, и др.

Фирмы «Инстрон» совершенствуют свои приборы, выпуская новые устройства. В частности, предложено использование разрывных машин в сочетании с процессорами, осуществляющими обработку результатов наблюдений, фиксируя и накапливая данные о значении показателей обычных статистических величин (средних, коэффициентов вариации, ошибок опыта и др.).

Конструкции приборов этих фирм в той или иной форме повлияли на развитие моделей разрывных машин во многих

¹ Конструкторы приборов часто захваты называют «захватами».

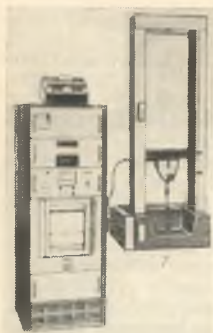


Рис. V.11. Автоматизированный прибор 2038 P-0,05:
1—регистрирующее устройство;
2—испытательный стенд

типа, о которых упоминалось выше, но также и новые автоматизированные, например прибор 2038 P-0,05 (рис. V.11). Этот прибор позволяет плавно регулировать растяжения от 1 до 1000 мм/мин, обеспечивая предельную нагрузку 500 Н при 6 ее диапазонах.

Среди приборов, выпускаемых в социалистических странах, следует отметить разрывную машину Тенситест 101 (ВНР). Эта машина позволяет вести испытания в широком интервале нагрузок от 0 до 10^6 Н при 8 диапазонах.

Во многих странах выпускаются разрывные машины с компоновкой их по типу машины Инстрон. Так, фирма «Цвик» (ФРГ) выпускает прибор 1400 нескольких разновидностей с большой гаммой разнообразных зажимов и других узлов и деталей. Фирма «Шимадзу» (Япония) выпускает приборы 1S и другие с диапазонами нагрузок от 0,2 до $5 \cdot 10^5$ Н. Фирма «Адамель-Ломаржи» (Франция) выпускает машины DY-95. Последняя фирма выпускает интересную разновидность малых разрывных машин с одним винтовым приводом вместо двух у всех перечисленных выше (тип DY-21 с предельной нагрузкой 10^5 Н). Подобные приборы производит фирма «Роел-Кортхаузе» (ФРГ).

Иной принцип устройства разрывных машин для текстильных нитей был разработан заводом «Веркштофпрофмашинен» (входит в объединение «Тюрингские заводы», ГДР). Эти машины выпускаются четырех типов, каждый из которых имеет по три диапазона нагрузок от 0 до следующих: 40 Н—машина

странах, которые также вносят много нового в свои разработки.

В работе Р. Д. Джемса и Р. Е. Морриса (США) было проведено сравнение разрывных машин Инстрон и маятниковых. Оно выявило существенный недостаток последних — необходимость использовать малые скорости нагружения, так как при больших они только за счет сил инерции дают ошибку, достигающую 15 %. Кроме того, низкие скорости делают результаты мало сопоставимыми с реальными скоростями нагружения нитей при переработке и использовании.

В СССР предприятиями Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления выпускается ряд разрывных машин, в том числе специализированных для испытания текстильных материалов.

Среди них приборы маятникового

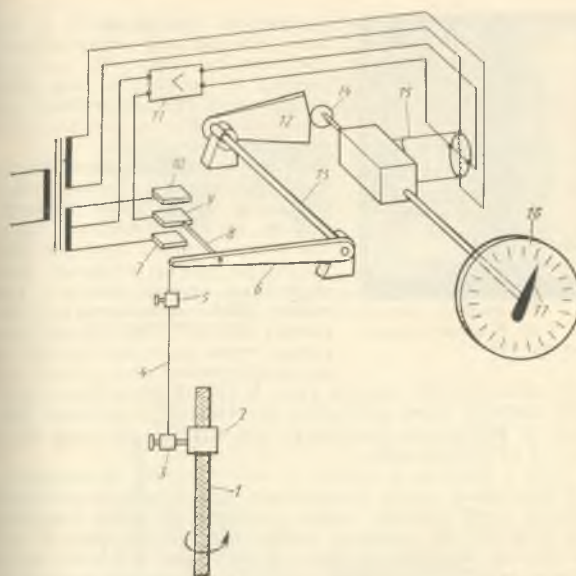


Рис. V.12. Схема разрывной машины завода «Веркштофпрофмашинен»

ZT-4, 100 Н — машина ZT-10, 200 Н — машина ZT-20, 400 Н — машина ZT-40. Зажимная длина от 50 до 500 мм. Испытуемый образец 4 (рис. V.12) зажимается в зажимах 3 и 5. Нижний зажим 3, смонтированный на гайке 2, при вращении винта 1 опускается, обеспечивая испытание с постоянной скоростью нарастания удлинения. Верхний зажим 5 подвешен на рычаге 6, закрепленном на валу 13. При возникновении усилия вал 13 начинает скручиваться, а закрепленная на оси 8 пластина 9, помещенная между обкладками 7 и 10 конденсатора, несколько смещается.

Возникающая при этом разность потенциалов увеличивается усилителем 11 и передается на обмотку электродвигателя феррариса 15, который начинает поворачиваться. На оси электродвигателя сидит зубчатое колесо 14, которое с помощью зубчатого сектора 12, закрепленного на валу 13, передает последнему крутящий момент обратного знака, вследствие чего система стремится вернуться в равновесие. По мере нарастания усилия

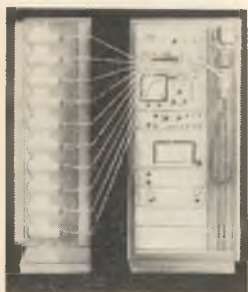


Рис. V. 13. Разрывная машина Текстимат 1504

нескольких (до 10) паковок (рис. V. 13). В ней автоматизированы заправка нити, проведение растяжения до разрыва, фиксация на штриховых диаграммах результатов одиночных испытаний и их суммирование.

Нить с паковок заправляется вокруг ролика предварительного натяжения, конец ее проводится поворотным заправочным рычагом через верхний зажим, открытый во время заправки. При этом открыт и нижний зажим, под которым имеется гибкая трубка, находящаяся под вакуумом. Она всасывает конец и проводит его через нижний зажим. После разрыва испытываемого отрезка нижний обрывок всасывающая трубка передает в ящик для рвани, расположенный под машиной.

Прибор снабжен двумя штриховыми диаграммными устройствами, которые фиксируют разрывные нагрузки и удлинения. Тензометрические датчики сменные; они обеспечивают максимальные разрывные нагрузки до 20, 200 и 1000 Н. Имеется цифровое устройство, суммирующее результаты испытаний. Тензодатчик, к которому подвешен верхний зажим, дает смещение при максимальной нагрузке всего на 0,4 мм и потому не оказывает существенного влияния на результаты испытания. В рамки устанавливается до 10 паковок, нити которых заправляются и испытываются последовательно одна за другой.

Другое направление в развитии разрывных машин для текстильных нитей, осуществляемое в настоящее время приборостроительными заводами ряда стран, заключается в одновременном испытании на одном приборе нескольких нитей.

К числу подобных приборов относится Мультимат типа FY-36 (ВНР). Он предназначен для одновременного испытания на растяжение до 10 нитей (рис. V. 14). Наибольшая разрывная на-

растяжения увеличивается и момент, создаваемый электродвигателем, что на шкале 16 отмечает стрелка 17, сидящая на валу электродвигателя. Прибор снабжен диаграммным прибором, шкалой удлинения и работы разрыва.

В последние десятилетия появилось еще несколько новых типов разрывных машин, сконструированных по другим принципам. Среди них отметим группу приборов фирмы «Цвик» (ФРГ), типичным представителем которой является Текстимат 1504 — автоматическая разрывная машина, позволяющая проводить серию последовательных испытаний отрезков нити с одной или

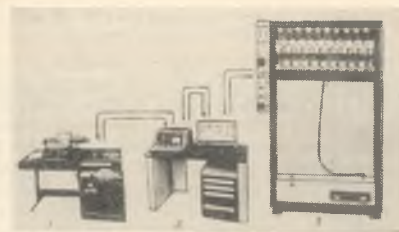


Рис. V. 14. Электронная 10-позиционная автоматическая разрывная машина Мультимат FY-36:
1 — печатающее устройство; 2 — регистрирующее устройство;
3 — испытательный стенд

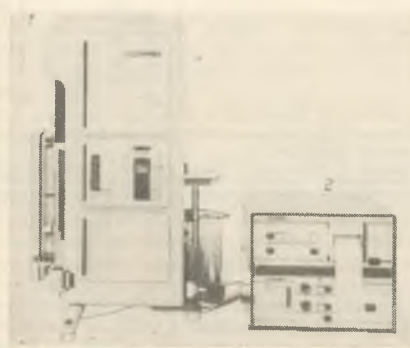


Рис. V. 15. Разрывная машина Тензомат II:
1 — испытательный стенд; 2 — регистрирующее устройство

грузка — до 30 или 60 Н. Все нити заправляются сначала в верхние, а затем в нижние зажимы под натяжением, которое создается дисковыми тормозами. Верхние зажимы прикреплены к раме прибора, нижние — к перекладине, которая устанавливается в соответствии с выбранным зажимным расстоянием — 100, 200, 500 мм. Удлинение при зажимной длине 500 мм может быть до 100 %. Зажимы пневматические, их пластины прижимаются друг к другу воздухом при давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Воздух для них подается от имеющегося при приборе специального

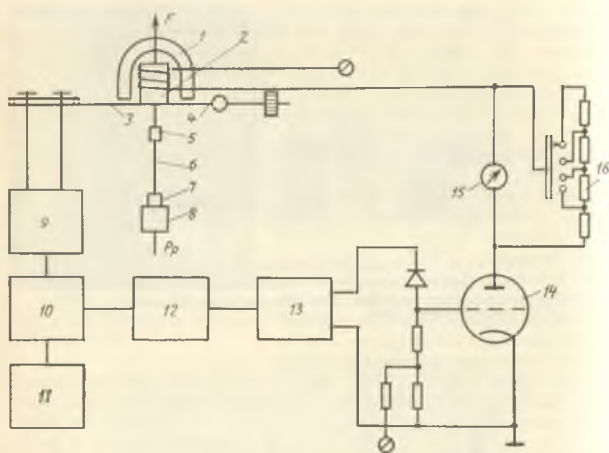


Рис. V. 16. Блок-схема канала измерения разрывной нагрузки электронной разрывной машины Полимер-4:

1—постоянный магнит; 2—сердечник; 3—рычаг; 4—опора; 5—верхний зажим; 6—подложка; 7—нижний зажим; 8—траверса; 9—измерительный генератор; 10—смеситель; 11—опорный генератор; 12—усилитель промежуточной частоты; 13—амплитудный ограничитель; 14—усилитель постоянного тока; 15—измерительный прибор; 16—усилитель тока

компрессора. Тензодатчики, отдельные для каждого верхнего зажима, передают сигналы на ЭВМ.

Статистическая обработка данных проводится с помощью подключенной ЭВМ типа EMG-666.

Сходная система испытания осуществляется и на разрывной машине Тензомат II швейцарской фирмы «Цельвегер» (рис. V. 15). Расположение нитей горизонтальное.

В мастерских Саратовского монтажного техникума серийно выпускаются электронные разрывные машины Полимер, которые могут использоваться и для испытаний волокон с подходящими длинами и разрывными характеристиками. Прибор рассчитан для работ с расстоянием между зажимами — 10—50 мм, предельной разрывной нагрузкой 100 сН и удлинением до 100 %. Он снабжен емкостными датчиками для измерения нагрузки и удлинения. Скорость растяжения в процессе испытания может изменяться от 10 до 150 мм/мин. Блок-схема канала измерения разрывной нагрузки электронной разрывной машины Полимер-4 приведена на рис. V. 16.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЛУЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [4, 10]

Температура и влажность. Температура и влажность оказывают существенное влияние на полуцикловые характеристики, полученные при растяжении волокон и нитей.

Снижение температуры, приводящее к замедлению тепловых колебаний молекул, затрудняет нарушение межмолекулярных связей, делает волокна и нити более прочными и менее деформируемыми. При росте температуры (рис. V. 17) наблюдается обратная зависимость.

Сильное снижение прочности и рост деформации при нагреве характерны для тех видов синтетических волокон и нитей, у которых воздействие температуры связано с переходом составляющих их веществ в вязкотекучее состояние или с явлениями рекристаллизации для кристаллических полимеров [1, с. 53]. К числу подобных волокон относятся полиолефиновые, хлорсодержащие поливиниловые, полиамидные и др. Волокна из природных высокомолекулярных веществ (целлюлозы, белков) не показывают резких снижений прочности и роста деформации, так как эти вещества разлагаются прежде, чем переходят в вязкотекучее состояние.

Следует иметь в виду, что испытания при повышенных температурах проводятся обычно в условиях резкого снижения влажности нитей. Для нитей, сильно реагирующих на изменения влажности, при нагреве вначале происходит повышение прочности и снижение удлинения от уменьшения влажности, которое обгоняет обратный эффект, создаваемый нагревом. Подобные изменения типичны для вязкоэластичных волокон; к ним приближаются изменения, происходящие в шерстяном волокне (см. рис. V. 18, в, г).

Для волокон и нитей, на деформацию которых температура оказывает резкое влияние (например, из синтетических полимеров), весьма интересны термомеханические зависимости, т. е. изучение при постоянных напряжениях или усилиях (меньших разрывных) и постоянном времени их действия деформаций, получающихся при разных температурах. Подобные полуцикловые неразрывные характеристики для каждого значения температуры и напряжения следует получать на сходных по своим свойствам образцах. При исследованиях одних и тех же образцов при разных температурах и напряжениях на результатах могут существенно сказаться предыдущие воздействия, вызывающие ориентацию структурных элементов.

Полученные зависимости обычно представляют в виде термомеханических кривых, откладывая по оси абсцисс температуры, а по оси ординат — время. Эти кривые позволяют судить о том, каким воздействиям и с какими последствиями можно

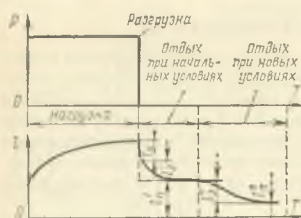


Рис. V. 17. Изменение удлинения при отдыхе после нагружения под влиянием нагрева и увлажнения

нити содержится такое количество воды, которое соответствует равновесному состоянию.

Молекулы воды, замещая межмолекулярные связи макромолекул, ослабляют их взаимодействие. С повышением влажности волокон и нитей у большинства из них наблюдается снижение прочности и рост деформации. Исключение составляют растительные волокна (хлопковое, льняное и др.) и пряжа из них; их прочность с увлажнением растет, что связано со структурными особенностями. Макромолекулы целлюлозы расположены под углом к оси волокон. При растяжении во влажном состоянии макромолекулы легче ориентируются вдоль оси волокна по направлению действия растягивающей силы, что и приводит к повышению разрывной нагрузки.

Однако, как показали исследования В. А. Каргина и Р. С. Неймана, для хлопкового волокна разрывное напряжение, рассчитанное по истинному сечению, все же может снижаться, так как вследствие набухания увеличивается площадь поперечного сечения. Резкое падение прочности хлопкового волокна с приближением относительной влажности воздуха к нулю, как установлено исследованиями З. И. Сулеймановой, объясняется тем, что в этом случае мал ориентационный эффект.

Поскольку температура и влажность влияют на механические свойства волокон и нитей весьма существенно, необходимо при испытаниях тщательно соблюдать нормы, установленные для этих факторов. Как уже указывалось, стандартными условиями окружающей среды при испытании текстильных материалов считают температуру воздуха 20°C и относительную влажность его 65 %. Допустимые отклонения от этих норм фиксируются в соответствующих официальных документах (стандартах, технических условиях и других документах).

Иногда, если нет возможности соблюсти стандартные условия, разрывные полцикловые характеристики для этих усло-

подвергать исследуемые волокна и нити в процессах переработки и при использовании.

Изменение влажности резко действует на механические свойства тех волокон, которые могут поглощать ее в значительном количестве. На рис. V. 18 приводятся зависимости разрывной нагрузки и разрывного удлинения от относительной влажности воздуха и его температуры. Имеется в виду, что в волокне или

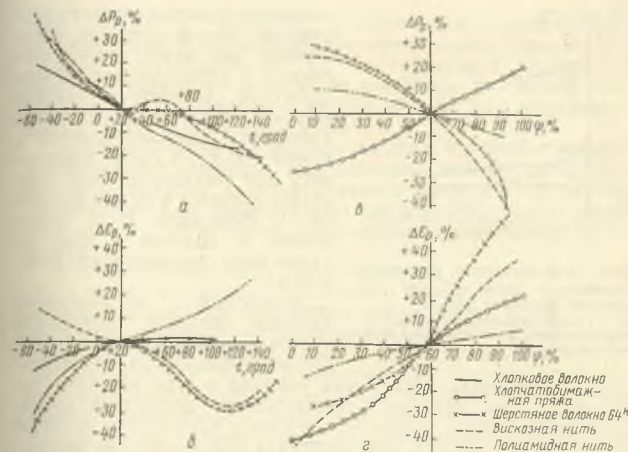


Рис. V. 18. Изменение разрывных нагрузок и удлинений при различных температурах (а, б) и относительных влажностях (в, г)

вий устанавливают расчетным путем по характеристикам, определенным в нестандартных условиях и по фактической влажности материала.

Скорость растяжения. Скорость, с которой осуществляется растяжение волокон и нитей, оказывает значительное влияние на результаты испытаний, что объясняется особенностями деформирования полимерных материалов. В зависимости от скорости растяжения меняется время, в течение которого осуществляется деформация. При большой скорости время деформирования мало. Вследствие этого не успевают нарушиться многие межмолекулярные связи, прорасти трещины, развиваться эластическая и пластическая деформации. При малой скорости получается обратная картина, поэтому с ростом скорости растяжения разрывная нагрузка увеличивается, а полное разрывное удлинение падает.

О росте разрывной нагрузки (напряжения) с уменьшением времени воздействия известно из теории временной зависимости прочности. Экспериментальные данные полностью подтверждают высказанные соображения. Что касается зависимости между скоростью растяжения и разрывным удлинением, то нередко обнаруживаются расхождения между высказанными положениями и экспериментальными данными: разрывное

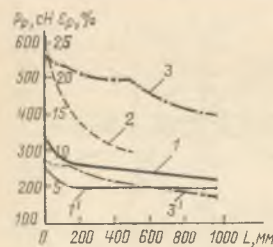


Рис. V.19. Изменение разрывных нагрузок и удлинений при увеличении зажимной длины:

1 и 1' — хлопчатобумажная пряжа; 2 — льняная пряжа; 3 и 4' — вискозная комплексная нить

удлинение с ростом скорости растяжения иногда остается неизменным или даже растет. Это связано с особенностями макроструктуры, характером взаимодействия структурных элементов (фибрилл в волокнах, волокон в пряже и т. д.), а также упрочнением при растяжении. Хотя этот вопрос изучался многими авторами (Р. Мередисом, М. Д. Талызиным, Э. Шухтом и др.), но дальнейшие исследования необходимы.

Вследствие значительного влияния скорости растяжения (длительности разрыва) на показатели полужикловых характеристик в стандартах, технических условиях и тому подобных документах, как правило, устанавливается постоянное время, в течение которого должен осуществиться разрыв. Так, согласно ГОСТ 6611.2—73 (СТ СЭВ 3426—81) для пряжи оно должно составлять 10 с, а для комплексных нитей — 15 с.

Длина пробы. Влияние длины испытываемого отрезка (так называемой зажимной длины) на показатели механических характеристик определяется двумя факторами. Первым из них является скорость растяжения. Если, например, определяются разрывные характеристики и тиски (захваты) разрывной машины перемещаются с постоянной скоростью, а длина испытываемого отрезка берется различной, то более длинный отрезок будет доведен до разрушения за больший промежуток времени и в результате, как следует из описанного выше влияния скорости, его прочность окажется ниже, а удлинение — больше, чем у более короткого отрезка.

Вторым фактором является наличие на нити слабых мест. Чем длиннее испытываемый отрезок нити, тем больше на нем слабых мест, которые могут легче деформироваться и в которых нить может даже разорваться. Вследствие этого при увеличении зажимной длины существенно уменьшаются разрывные характеристики.

Экспериментальные данные об изменениях разрывных характеристик в зависимости от зажимной длины для нитей различных видов, полученные разными авторами в результате испытаний на разрывных машинах с маятниковыми силовыми измерителями при постоянной длительности разрыва, представлены на рис. V.19. Эти данные свидетельствуют о большом влиянии длины проб на показатели характеристик, получаемых при раз-

рыве. Поэтому в стандартах и технических условиях всегда устанавливаются постоянные величины длины, при которых следует вести испытания. Так, для одиночных волокон они обычно принимаются равными 10 или 50 мм, для пучков волокон — 3 мм, для первичных нитей — 500 мм, для вторичных — крученных нитей — 200 или 500 мм.

Способы испытания с узлом и петлями. Разрывные характеристики нитей, особенно искусственных, нередко определяют при их растяжении: а) с завязыванием посередине пробы узла; б) с заправкой не одного, а двух отрезков нити в виде входящих одна в другую петель, концы которых закрепляются в зажимах.

Эти методы испытания иногда называют определением жесткости нитей, что неточно, так как под жесткостью следует понимать сопротивление нити изменению ее формы; жесткость выражается произведением характеристики формы (площади поперечного сечения при растяжении, полярного момента инерции при кручении и т. д.) на соответствующие модули. Жесткость материала при испытании названными методами влияет на разрывные характеристики. Например, более толстые нити, завязанные узлом, сильнее в нем деформируются и испытывают большие напряжения, чем более тонкие из тех же волокон. В результате разрывные характеристики более толстых нитей снижаются больше. Таким образом, эти методы лишь косвенно характеризуют жесткость.

В. В. Линде установил, что при испытании нитей шелка-сырца 16,5 и 21 текс с узлом разрывная нагрузка падает по сравнению с определяемой обычным методом на 5—8 %, а удлинение — на 11—21 %. Соответственно для вискозных нитей 16,6 текс с различными исходными разрывными характеристиками, по данным Я. А. Фрейдлина, происходит падение разрывной нагрузки на 30—40 %, а удлинения — на 57—60 %; для вискозных нитей при испытании петлями разрывная нагрузка снижается на 30—38 %.

Следует отметить, что недостатком обоих методов является невозможность при каждом отдельном испытании одинаково завязать узел или сделать петлю, вследствие чего они дают большую неровноту показателей. Это усугубляется еще и тем, что из-за неровноты нитей по поперечному сечению узлы или петли приходится то на более тонкие, то на более толстые места нитей.

Сказанное свидетельствует о том, что испытания с узлом и петлями малоценно. Их целесообразно применять лишь в тех случаях, когда они воспроизводят аналогичные реальные условия использования нитей (например, в рыболовных сетях).

Число одновременно испытываемых волокон и нитей. Испытания на однократное растяжение до разрыва — полужикловые —

производятся с однопниточными и групповыми образцами. В первом случае пробы представляют собой хорошо, но без растяжения распрямленные волокна или отрезки нитей; волокна для удобства зажима их концов в захватах разрывных машин обычно предварительно заклеиваются в бумажные рамки, перерезаемые (без повреждения волокон) перед началом растяжения. Во втором случае применяются пучки параллелизованных волокон, а для нитей — пряжки предварительно отмотанных на мотвиле нитей, отрезанные и заклеенные по концам, или целые «пробные» моточки (пасмы, непосредственно надеваемые на захваты крючкового типа).

Результаты испытаний, проведенных на одиночных и групповых образцах, несколько отличаются друг от друга. Разрывная нагрузка при групповых испытаниях ниже суммарной прочности отдельных волокон или нитей. Это является следствием неодновременности разрыва отдельных волокон или нитей, входящих в групповой образец. При разрыве пасмы происходит следующее. Сначала рвутся две-три нити, не выдерживающие растяжения. После этого нагрузка на оставшиеся нити возрастает, тогда рвется еще ряд нитей. Разорвавшись в нескольких местах, пасма начинает расползаться. Таким образом, разрывная нагрузка по пасме не является средней характеристикой для всех нитей: она зависит от устойчивости наименее прочных нитей.

Для определения соотношения разрывных нагрузок, полученных при испытании одиночных волокон и их пучка или одиночных нитей и пасм, можно пользоваться приближенным равенством

$$P_p \approx Q_p(n_p) \approx Q_p'/(2m\psi), \quad (V. 13)$$

где P_p — прочность одиночной пробы; Q_p — прочность пучка волокон; n — число волокон в пучке; ρ — поправочный коэффициент, зависящий от свойств волокон и нитей и их числа в пучке; Q_p' — прочность пасмы; m — число витков нити в мотке (пасме); ψ — поправочный коэффициент.

По данным ряда исследователей (А. Г. Прокошева и др.), для хлопкового волокна $\rho = 0,625$, для вискозного волокна $\rho = 0,85$. Для хлопчатобумажной пряжи 12–25 текс при $m = 100$ $\psi = 0,77$, а с уменьшением числа витков ψ увеличивается до 0,85 (при $m = 25$).

Влияние методов растяжения (типов разрывных машин). Следует также рассмотреть влияние на показатели полудикловых характеристик, получаемых при растяжении до разрыва волокон и нитей, метода растяжения, применяемого при испытании. Метод в свою очередь связан с типом разрывных машин. Описание машин было дано выше. Здесь отметим еще раз, что распространенными являются три типа машин, в которых растяжение проводится с соблюдением постоянства: 1) скорости

нагружения (ПСН), 2) скорости перемещения зажимов (ПСЗ), скорости деформирования проб (ПСД).

Ряд исследователей изучал этот вопрос применительно к текстильным материалам разных видов. Одним из первых исследовал влияние способов растяжения на показатели механических свойств хлопкового волокна Г. Пернер (ГДР); для нитей были проведены работы Г. Миринисом (США), Ю. Юилфс (Швейцария), Е. Вагнером (ФРГ), Г. Краузе и Г. Золиманом (ФРГ).

Перечисленные исследователи в основном ограничились констатацией расхождений в величинах показателей разрывных характеристик при разных режимах растяжения, но не объяснили причин этого явления. Это было сделано в работе Л. П. Косарева, выполненной в Московском текстильном институте им. А. Н. Косыгина под руководством Г. Н. Кукина и А. А. Аскадского. При испытании ряда нитей различного волокнистого состава на растяжение до разрыва с применением различных режимов испытания было установлено, что от характера последних может существенно меняться структура нитей, а это приводит к изменениям структурно-чувствительного коэффициента γ , входящего в уравнение долговечности по кинетической теории прочности [9]. Так, при поддержании в течение испытания постоянной скорости нагружения привело к изменению структуры нитей, связанному с их упрочнением, вследствие чего уменьшился коэффициент γ , увеличился разрывная нагрузка на 10–15 %, разрывное удлинение в 1,5–2 раза. Следует иметь в виду, что в технологических процессах при переработке волокон и нитей подобные режимы растяжения почти не встречаются, поэтому подобный режим испытания применять не следует. Изменения в структуре при других способах испытания менее велики.

На разрывных машинах с маятниковым силоизмерителем наблюдаются значительные колебания нагрузок из-за инерции маятника; нагружение вследствие этого идет рывками и носит ступенчатый характер (особенно в начале испытания при почти вертикальном положении маятника). Однако простота конструкции подобных приборов и их распространенность позволяют пока их использовать для массовых испытаний.

Как уже указывалось, применение маятникового силоизмерителя приводит к необходимости использовать малые скорости нагружения, так как при значительных скоростях нагружения только за счет сил инерции ошибка достигает 15 %. В то же время при низких скоростях результаты испытаний мало сопоставимы с показателями натяжения нитей при переработке и использовании в изделиях.

Результаты, полученные на маятниковых приборах, близки к результатам, полученным на приборах, работающих по ме-

тому сохранения постоянной скорости деформирования нитей. Конструкция этих приборов является оптимальной. Преимущества конструкции заключаются в том, что при испытании наблюдаются наименьшие изменения строения испытываемых нитей; лучше моделируется характер воздействий, испытываемых нитями при их переработке; применяются более точные способы электрических измерений.

ОДНОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ [4, 11, 12]

За последние годы при изучении растяжения волокон и нитей все шире используются одноцикловые характеристики, которые, как указывалось выше, хорошо отражают особенности деформации текстильных материалов. Получение этих характеристик обычно связано с достаточно длительными испытаниями, что позволяет выявить влияние на деформацию волокон и нитей фактора времени, играющего большую роль при деформировании полимерных материалов.

Определение одноцикловых характеристик, выполняемое всегда без доведения образца до разрушения, интересно еще и потому, что текстильные материалы в процессах переработки и использования в изделиях редко испытывают растяжения, доводящие их до разрыва. Так, многочисленные исследования натяжения нитей в различных производственных процессах (перематывание, кручение, ткачество) показали, что нитям при переработке редко сообщаются усилия, превосходящие 30—35 %, и удлинения, превышающие 40—45 % разрывных.

Исследования Л. Н. Панковой и Б. А. Бузова показали, что при носке одежды усилия и деформации в нитях ткани, из которых сшита одежда, еще меньше и составляют в продольном и поперечном направлениях (т. е. по основе и утку) 10—15 %, в диагональных направлениях увеличиваются до 20—25 % разрывного удлинения.

В большинстве случаев в процессах переработки и при использовании в изделиях волокна и нити подвергаются натяжению в течение некоторого времени, а затем разгружаются и получают отдых. Поэтому и представляет большой интерес изучение поведения волокон и нитей в цикле нагрузка — разгрузка — отдых.

Прежде чем описывать используемые методы получения одноцикловых характеристик, подробно рассмотрим особенности деформирования текстильных материалов как полимерных. Представление об этих особенностях сложилось в результате работ многих исследователей.

Полная деформация текстильных материалов складывается из следующих частей: обратимых (упругой и эластической) и необратимой (пластической).

Упругая деформация возникает потому, что под действием внешней силы происходят небольшие изменения средних расстояний между частицами полимеров, составляющих текстильные волокна, между соседними звеньями и атомами в макромолекулах. При этом межмолекулярные и межатомные связи сохраняются, а валентные углы немного увеличиваются. Эти изменения приводят к тому, что упругая деформация всегда вызывает увеличение объема деформируемого тела.

Упругая деформация распространяется со скоростью распространения звука в исследуемой нити. По данным И. В. Крагельского, эта скорость в хлопчатобумажной крученой нити составляет 1425 м/с, а в льняной — 1900 м/с. Таким образом, в отрезках этих нитей длиной 1 м упругая деформация распространяется за 0,0007—0,0005 с, т. е. практически мгновенно.

В результате изменений расстояний между частицами в деформированном волокне накапливается упругая энергия. При освобождении от действия внешней силы происходит исчезновение упругой деформации, которое осуществляется с такой же большой скоростью, как и ее распространение.

Упругая деформация не может быть велика: при удалении частиц на большие расстояния нарушается связь между ними, возникают трещины и разрывы. Упругая деформация свойственна не только полимерным веществам кристаллического строения, она возникает и у полимеров аморфного упорядоченного строения, когда взаимодействие между частицами тела велико.

Эластическая деформация возникает вследствие того, что под действием внешней силы происходят изменения конфигураций макромолекул полимеров, составляющих волокна, — их «конформации», а также их перегруппировки. У некоторых полимерных материалов, например у каучука, эта деформация может достигать нескольких сотен процентов и потому называется высокоэластической. Для текстильных волокон и нитей, максимальная деформация которых составляет несколько десятков процентов, она значительно меньше, поэтому ее часто называют просто эластической¹.

Под действием внешней силы макромолекулы полимеров переходят в более распрямленное состояние и ориентируются по направлению действия сил, т. е. по растяжению волокон — вдоль их оси. Поскольку же макромолекулы взаимодействуют с сосед-

¹ Поскольку особенности деформирования полимерных материалов установлены сравнительно недавно, в терминологии нет еще полной устойчивости и термин «эластическая» применяется неправильно; этому способствует еще то обстоятельство, что слово «упругая» звучит по-английски *elastic*, по-немецки *elastisch*, по-французски *elastique*, и нередко при переводах смешивают термины «упругая» и «эластическая». Термин «упругая деформация» иногда распространяют на всю обратимую деформацию, что неправильно.

ними, а звенья одной и той же молекулы вследствие ее изогнутости взаимодействуют друг с другом, эти перемещения совершаются лишь малыми участками полимерных молекул и вместо нарушенных межмолекулярных взаимодействий тотчас возникают новые.

Для подобной перегруппировки требуется значительное время; она осуществляется как релаксационный процесс, идущий во времени и приводящий к достижению равновесного состояния. Так как молекулы одного и того же вещества могут иметь разные размеры, находиться в состоянии различной изогнутости и в зависимости от своих положений подвергаться большим или меньшим силам взаимодействия, общий процесс составляется из множества частных, протекающих за различные периоды времени. Наличие набора периодов релаксации приводит к тому, что у разных волокон суммарный процесс осуществляется за разное время.

Из изложенного видно, что эластическая деформация развивается во времени с небольшими скоростями. Она сильно зависит от условий, влияющих на межмолекулярное взаимодействие. Например, повышение температуры, поглощение малых молекул различных веществ, ослабляющих межмолекулярное взаимодействие (так называемая пластификация), ускоряют развитие деформации. Если волокна или нити находятся в нормальных атмосферных условиях, основная часть эластической деформации успевает проявиться за несколько часов, но в целом процесс идет многие сутки. Чешский исследователь Я. Кашипарек в вязкозных и капроновых нитях наблюдал его проявление в течение 12 сут.

Поскольку эластическая деформация осуществляется только за счет изменения конфигураций (конформаций) молекул и их перегруппировок, объем деформируемого тела при ней не увеличивается. Следует иметь в виду, что вначале за счет исчезновения упругого компонента величина деформации быстро уменьшается. Затем прямой релаксационный процесс, развивающийся при нагрузках (если он еще не привел к равновесию), снова проявляет себя и исчезновение деформации замедляется; происходит новое небольшое нарастание деформации, которое вскоре прекращается, и наблюдается обратимый релаксационный процесс, идущий за счет проявления конформации. При этом деформация уже устойчиво снижается.

Явление подобного обратного нарастания деформации подробно изучалось А. В. Матуконисом и В. М. Милашюсом в Каунасском политехническом институте им. А. Снежкиса, которые предложили называть его астрингацией (от латинского *astringo* — связанный).

При описанных явлениях большую роль играют факторы, ослабляющие межмолекулярное взаимодействие (повышение

температуры, увеличение количества сорбированных веществ). При наличии этих факторов обратный релаксационный процесс исчезновения эластической деформации протекает быстрее.

Если учесть, что в текстильных волокнах полимерное вещество часто находится в стеклообразном состоянии или близком к нему, то следует иметь в виду, что эластическая деформация, протекающая в условиях сильного межмолекулярного взаимодействия, после снятия внешних сил в значительной степени оказывается зафиксированной. Подобную эластическую деформацию полимеров принято называть вынужденной. При ее возникновении тепловое движение не способно полностью изменить возникшие новые формы макромолекул, обеспечить их возвращение в сильно изогнутое равновесное состояние. Порой можно предположить, что развившаяся деформация является необратимой. Однако стоит воздействовать на волокна нагревом, осуществить поглощение ими молекул воды или других веществ (пластификацию), как обратный релаксационный процесс возобновляется и деформация, казавшаяся необратимой, исчезает¹.

Воздействия на материал не должны нарушать его структуру. Например, воздействие концентрированными растворителями легко может привести к освобождению отдельных молекул от межмолекулярных взаимодействий и полному равновесному состоянию, но при этом строение тела будет нарушено.

Высокоэластичность полимеров по своей природе сходна с упругостью идеального газа при сжатии. Сопротивление газа сжатию поршнем в цилиндре вызывается тем, что по мере уменьшения занимаемого им объема его частицы, находящиеся в состоянии непрерывного теплового движения, все чаще ударяются о стенки цилиндра и поршень, вследствие чего температура газа повышается. А так как скорость движения молекул газа и, следовательно, его сопротивление сжатию (упругость) зависит от температуры, то с ее увеличением растет его сопротивление.

Аналогично этому тепловые колебания звеньев молекул при деформации полимеров повышают их сопротивление деформированию, и если растягивающие внешние силы стремятся выпрямить изогнутую молекулу полимера, то тепловые колебания, наоборот, препятствуют этому, стремясь ее изогнуть. Подобно газам при сжатии, полимерные материалы при эластическом деформировании нагреваются.

Пластическая деформация возникает вследствие того, что под действием внешней силы происходят необратимые смещения

¹ Исчезновение вынужденной эластической деформации является одной из причин так называемой усадки текстильных изделий — их укорочения при смачивании и нагреве (в частности при стирке и других мокрых и тепловых обработках).

звеньев макромолекул на довольно большие расстояния¹. Поскольку при развитии этого вида деформации в волокнах макромолекулам приходится преодолевать значительные межмолекулярные связи, она развивается еще медленнее, чем эластическая. В чистом виде процесс ее развития, представляющий собой течение материала, является стационарным и продолжается длительно — до разрушения материала. Пластическая деформация необратима, так как после удаления внешней силы отсутствуют причины, которые могли бы заставить ее исчезнуть. Для того чтобы отличить ее от описанной выше вынужденной эластической деформации, необходимо знать структуру материала в исходном и данном состоянии. Если она оказывается одинаковой, а форма тела стала иной, значит, имеет место истинно необратимая деформация.

Наряду с собственно пластической деформацией в нитях (особенно в пряже) проявляется другой вид необратимой деформации, который обычно формально тоже относят к пластической деформации. Это необратимая деформация, появляющаяся вследствие смещения плохо закрепленных целых волокон или их больших участков в нити. Когда внешняя сила преодолевает силы трения, удерживающие данный участок волокна, зажатый среди других волокон, он сразу смещается, если растяжение осуществляется быстрым приложением значительной силы, необратимые смещения происходят почти с той же скоростью.

Полная абсолютная деформация волокон и нитей

$$l = l_y + l_e + l_n, \quad (V. 14)$$

где l_y , l_e , l_n — соответственно упругая, эластическая, пластическая части деформации².

Сумма долей этих частей составляет 1:

$$l_y/l + l_e/l + l_n/l = \Delta_y + \Delta_e + \Delta_n = 1. \quad (V. 15)$$

Нередко полную деформацию и ее составные части выражают относительно исходных размеров образца (L_0). Тогда полная относительная деформация

$$e = l/L_0, \quad (V. 16)$$

где $l = L_k - L_0$ (L_k — конечный размер образца).

Полная относительная деформация равна сумме относительных величин трех компонентов:

¹ Напомним, что пластичностью называют способность тел сохранять форму, измененную внешними силами. Пластические тела, сопротивление которых изменению формы зависит только от скорости деформации, а не от ее величины, называются вязкими.

² В пластическую часть включена и необратимая деформация от смещения структурных элементов (например, волокон в пряже).

$$e = e_y + e_e + e_n,$$

(V. 17)

где $e_y = l_y/L_0$, $e_e = l_e/L_0$ и $e_n = l_n/L_0$.

Относительные деформации часто выражают и в процентах.

Все составные части полной деформации при приложении внешней силы начинают развиваться одновременно, но с различными, присущими им скоростями. Текстильные волокна, а тем более нити являются телами сложного строения; отдельные части их могут быть из вещества, структура которого находится в упорядоченном или даже кристаллическом состоянии, а другие, наоборот, состоят из плохо ориентированных и порой даже относительно слабо взаимодействующих молекул. Естественно, что эти разные части деформируются по-разному, давая в итоге суммарную полную деформацию.

Упругая деформация по изложенным выше причинам невелика и проявляется с большой скоростью. Свободное течение материала сдерживается участками более регулярной структуры, в результате развитие пластической деформации иногда затухает, а не протекает до разрушения тела как установившийся процесс, который в значительной мере носит характер релаксационного.

Рассматривая диаграмму растяжения (см. рис. V. 2), иногда считают, что в зоне OA , где диаграмма нередко близка к прямой, имеет место упругая часть деформации, на участке AB — эластическая, на участке BC — пластическая. Это неверно, так как три составные части деформации развиваются не последовательно одна за другой, а одновременно, хотя и с различными (присущими каждой из них) скоростями. После прекращения действия силы (при отдыхе) одновременно начинают исчезать обе обратимые части деформации, но естественно с разными скоростями. При наличии вынужденной эластичности процесс исчезновения деформации иногда прекращается, а затем, когда материал попадает в новые условия (нагревается, увлажняется и т. д.), возобновляется вновь.

При быстрой разгрузке, в начале процесса исчезновения деформации, вместо плавного сокращения образца нередко наблюдаются небольшие затухающие колебания его размеров. Это объясняется упругими колебаниями еще растянутого образца. Волна исчезающей упругой деформации быстро доходит от одного конца образца до другого, и, возвращаясь обратно, дает на короткий период небольшое увеличение его размеров.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ДЕФОРМАЦИИ [5, 12, 13]

Исследования для получения одноцикловых характеристик обычно осуществляются одним из описываемых ниже способов.

Первый способ основан на длительном поддержании постоянной деформации и определении происходящих при этом изме-

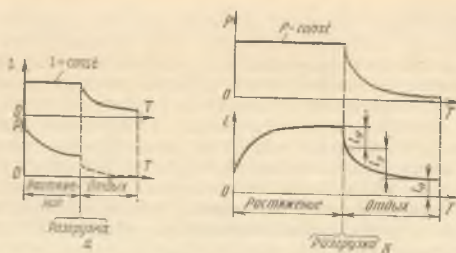


Рис. V. 20. Изменение во времени (при растяжении и отдыхе) удлинения (а), нагрузки (б)

нений усилия (напряжений) в образце. Образец подвергается быстрому растяжению до некоторой заданной длины, которая затем сохраняется во время наблюдения постоянной (рис. V. 20, а).

Макромолекулы в растянутом образце под действием внешнего силового поля постепенно изменяют свою конфигурацию, перестраиваются межмолекулярные связи и в образце происходит спад усилия (напряжения) — его релаксация (рис. V. 20, б). При этом внутренние усилия, вызывающие равные внешние усилия, могут быть зафиксированы электрическими или механическими датчиками (образец в данном случае «тянет» датчик). После разгрузки величина деформации значительно убывает во время отдыха.

Процесс изменения деформации протекает в основной своей части как релаксационный; продолжается также и снижение усилия внутри образца. Однако его сложно точно замерить экспериментально, поэтому в период отдыха кривая $T - \dot{P}$ на рис. V. 20, б нанесена условно (пунктиром).

Для указанного способа исследования применяют специальные приборы — экстензометры, позволяющие с помощью механических и электрических датчиков определять усилия, а также имеющие приспособления для установления заданной деформации.

Экстензометры обычно не снабжаются устройством для замера изменения деформации при отдыхе, так как в противном случае их конструкция сильно усложняется.

Основными характеристиками, получаемыми с помощью этих приборов, являются значения усилий (напряжений), зависящих от времени наблюдения (например, времени, в течение которого напряжение при постоянной заданной деформации падает в определенное число раз). Чем более податлив материал, чем

меньше его упругая и быстрая эластическая деформация, тем это время меньше.

Описываемый метод исследования представляет некоторый интерес для текстильщиков, так как воспроизводит ряд реальных условий растяжения нитей. Подобное по своему характеру длительное растяжение на определенную величину испытывают нити, намотанные в разные паковки (бобины, початки, навои и т. д.). Однако получаемые характеристики являются в известной мере косвенными, недостаточно наглядными; потому они не получили широкого распространения.

Второй способ исследования основывается на длительном растяжении образца нагрузкой постоянной величины с последующей разгрузкой и фиксацией в течение опыта изменений величины деформации пробы.

Образец подвергается быстрому растяжению заданной нагрузкой (напряжением), которая затем во времени длительно остается постоянной. При постоянном усилии (напряжении) идет процесс нарастания деформации (см. рис. V. 20, б). Он в основном протекает как релаксационный. Затем образец разгружается и получает возможность свободно сокращаться при отдыхе. Во время отдыха внутреннее усилие релаксирует. Ход его изменений изображен условно. Исчезновение значительной части деформации (обратный релаксационный процесс) точно прослеживается экспериментально. Наблюдения ведутся на специальных приборах — релаксометрах.

В соответствии с задачами исследования релаксометры в отличие от экстензометров приспособлены для замеров изменений деформации. Последнюю удается фиксировать более простыми методами. Применяемый при втором способе характер воздействий на текстильные материалы также нередко встречается в практике. Например, он наблюдается в нитях основы, длительно находящихся под нагрузкой на ткацком станке, в изделиях, долго остающихся под действием собственного веса (занавеси, паруса и др.), различных технических изделиях (канаты и др.), длительно испытывающих нагрузку, и т. п.

Второй способ наблюдений ценен тем, что при нем в качестве характеристик используются весьма наглядные изменения длины материала. Для текстильных же изделий в большинстве случаев важно постоянство их размеров. С ним, в частности, связана неизменность размеров готовых швейных и других изделий при их использовании. Этот способ наблюдений позволяет также легко осуществить разделение полной деформации на составные части (компоненты). Подобное разделение основывается на различии скоростей исчезновения деформации. Вследствие высокой скорости исчезновения упругой части за нее принимается та часть, которая исчезает за малое время в несколько секунд (вертикальный участок разгрузочной кривой деформации).

ции на рис. V.17). За пластическую часть принимается та, которая не исчезает после достаточно длительного отдыха; за эластическую — оставшаяся доля полной деформации, оставшаяся за вычетом упругой и пластической.

Подобное разделение оказывается условным по следующим причинам. Как и при определении полцикловых характеристик, получаемые значения полной деформации и ее составных частей зависят от того, за какое время и при каком состоянии волокон или нитей (температура, влажность и т. д.) они наблюдались. Играет роль также величина нагрузки, при которой определяются составные части деформации. Наконец, очень существенной причиной условности деления полной деформации на составные части является то обстоятельство, что имеющиеся приборы в большинстве случаев не позволяют произвести мгновенную разгрузку и определить истинно упругую часть деформации, которая исчезает за десятилетия доли секунды. Чаще всего наблюдения осуществляются на приборах с ручным управлением и визуальным отсчетом, на который требуется несколько секунд (обычно 2—5 с для первого отсчета после разгрузки). Благодаря этому в величину деформации, исчезающей за указанное время, входит не только истинно упругая, но и часть эластической деформации (быстро исчезающая, характеризующаяся малыми периодами релаксации).

Время наблюдения за отдыхом образца обычно приходится ограничивать несколькими часами, так как большая длительность затрудняет испытание (делает его продолжительным, неоперативным). Релаксационный процесс не успевает полностью завершиться, и некоторая доля эластической деформации с очень длительным периодом релаксации зачисляется в пластическую.

Нередко эластическая деформация имеет вынужденный характер, и при изменении температуры, набухании волокон и нитей и т. п. релаксационный процесс, который уже пришел в равновесие, вновь возобновляется, как это показано на рис. V.17. В этом случае условное значение эластической деформации $I_s = I'_s + I''_s$, а пластической (остаточной) $I_p = I'_p$.

Все сказанное объясняет условность деления полной деформации на ее компоненты. Однако такое разделение представляет значительный интерес. В текстильных материалах особенно ценится их способность деформироваться упруго, потому что с упругостью связаны такие важные особенности изделий, как их несминаемость — способность сохранять свою форму, износостойкость при истирании и др. Эти же свойства, хотя и в меньшей степени, обеспечивает эластическая деформация, особенно та ее доля, которая проявляется быстро. За счет упругой и эластической деформации нитей получают некоторые виды эффектов в изделиях. Например, нити эластик, сильно скрученные и

зафиксированные в этом состоянии нагревом, а затем подвергнутые раскручиванию, приобретают рыхлую, извитую структуру и благодаря наличию у них упругих и эластических компонентов деформации могут сильно растягиваться, а затем сокращаться подобно витой пружине. Другим примером может быть креповый эффект. Из сильно скрученных нитей вырабатывают ткань. При мокрых процессах отделки нити сильно релаксируют. Эластическая деформация исчезает, длина нитей уменьшается, а на коротких участках нити еще и скручиваются, в результате чего ткань стягивается и ее поверхность становится волнистой.

Имеет положительное значение и пластическая деформация, если она невелика. Она обеспечивает податливость ткани, трикотажа и их способность принимать необходимую форму в готовых швейных и других изделиях.

Из изложенного ясно, что даже приближенное, условное деление деформации на ее составные части является весьма ценным, так как позволяет составить важное для практики представление о поведении материалов в процессах их переработки и использования.

Необходимо подчеркнуть, что описанные исследования нельзя ограничивать очень малым временем, как это порой делают исследователи, особенно зарубежные; такое ограничение приводит к существенному искажению результатов. Части деформации, медленно развивающиеся и исчезающие во времени, имеют заниженные значения. При изучении составных частей деформации необходимо доводить материал до так называемого технического равновесия, т. е. до такого состояния, после которого величина нарастающей и исчезающей деформации становится меньше некоторой, наперед заданной небольшой величины. Эта величина должна составлять не более 10—15 % полной деформации, получаемой за очень длительное время (несколько суток), в течение которого достигается полное равновесие или продолжается медленное нарастание пластической деформации. Подобное условное равновесие позволяет изучать особенности деформирования с точностью, необходимой для решения вопросов переработки и использования материалов.

Техническое равновесие для волокон и нитей обычно достигается при нагрузке за 2—2,5 ч, при отдыхе — за 1,5—2 ч. Исключение составляют в основном шерстяные и вискозные волокна и пряжа из них. Процессы больших изменений деформации идут в них более длительно. Для этих материалов приходится определять техническое равновесие с меньшей точностью.

Деформацию, оставшуюся к концу опыта, при котором не достигнуто даже условное, техническое, равновесие, лучше называть не условным значением пластической деформации, а остаточной деформацией. Аналогично этому в тех случаях, когда

исчезающую часть деформации не делят на составные части (упругую и эластическую), ее следует называть обратной.

Сопоставляя два описанных способа исследования, применяемых для получения одноцикловых характеристик при растяжении, следует отметить, что при первом, как и при втором, наряду с определением изменения напряжения можно по наблюдениям во время отдыха фиксировать изменения деформации и определять ее компоненты. Однако это усложняет конструкции приборов и ставит испытания в несколько неопределенные условия, поскольку разные виды материалов обладают разной способностью деформироваться.

Второй способ обладает некоторыми преимуществами, так как позволяет осуществлять наблюдения с помощью более простых приборов, получать более конкретные характеристики (данные об изменении удлинений во времени), правильное и легкое определять компоненты полного удлинения. Благодаря этому второй способ за последние годы начал широко внедряться в практику материаловедческих исследований.

Третий способ, как и первый, осуществляется при длительном поддержании в образце постоянных деформаций, но не одного значения, а нескольких. При этом каждая последующая величина деформации уменьшается по сравнению с предыдущей, растяжение изменяется ступенчато (см. рис. V. 17). В этих условиях, как указывалось выше, возникают особенности в изменениях напряжений, отвечающих задаваемым деформациям. Вместо закономерного их уменьшения порой наблюдается их рост. Это явление, как указывалось, называют астрингацией. Оно возникает в том случае, если изменение внутренней структуры волокон и нитей проходит медленнее, чем уменьшение деформации. Вследствие этого последняя изменяется в уже установившемся режиме.

Четвертый способ определения одноцикловых характеристик осуществляется путем использования гистерезисных петель, записываемых с помощью диаграммного прибора разрывной машины в осях деформация — нагрузка при постепенном растяжении образца до заданной нагрузки или деформации, меньшей разрывной, а затем такой же постепенной полной его разгрузке. Цикл может завершаться и отдыхом разгруженного образца [13 с. 193]. Возможно также повторение нескольких циклов нагрузка — разгрузка и непрерывная запись соответствующих гистерезисных петель. Варианты этого способа следующие:

проба выдерживается при определенном достигнутом значении нагрузки;

проба выдерживается в растянутом состоянии после достижения определенного значения деформации;

одной пробе дается несколько последовательных растяжений и проводится запись соответствующих им гистерезисных петель до тех пор, пока петли не начнут накладываться друг на друга; за упругий компонент принимается отрезок оси абсцисс под последней петлей, а за пластический — соседний с ним — до точки касания первой петли оси абсцисс.

Четвертый способ имеет существенные недостатки:

большинство конструкций разрывных машин позволяет одновременно испытывать одну пробу, а при неровноте механических свойств волокон и нитей требуется для получения надежных результатов с малой ошибкой опыта минимум 10 проб, это увеличивает продолжительность испытания, уменьшение же числа проб приводит к росту ошибки опыта;

конструкция самых распространенных разрывных машин (с маятниковыми силоизмерителями) не обеспечивает поддержания деформации на постоянном уровне, а деление деформации на компоненты из-за малых величин отклонений маятника производится неточно.

Влияние способов определения компонентов удлинения на величину их показателей хорошо видно из сопоставления данных по трем основным способам, полученных при испытании нитей различного волокнистого состава (табл. V. 4).

Табл. V. 4. Компоненты удлинения при различных способах определения

Материал	Полное удлинение к концу растяжения, %	Способ								
		Сохранение постоянной деформации (первый)			Сохранение постоянного усилия натяжения (второй)			Сохранение заданного усилия, достигнутого в конце растяжения (четвертый)		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Хлопчатобумажная кардная пряжа 24,8 текс	3,4	0,12	0,09	0,79	0,19	0,08	0,73	0,46	0,23	0,31
Шерстяная гребенная пряжа 32,2 текс	1,8	0,39	0,28	0,33	0,45	0,27	0,28	0,87	0,13	0
Вискозная комплексная нить 15,6 текс	4,4	0,09	0,12	0,79	0,16	0,25	0,59	0,51	0,26	0,23
Капроновая комплексная нить 5 текс	6,4	0,78	0,14	0,08	0,83	0,11	0,06	0,82	0,15	0,03

Примечание. Условное обозначение компонентов удлинения: I — быстро исчезающий; II — медленно исчезающий; III — остаточный.

Сравнивая результаты по второму и первому способам, видим, что при первом способе занижены значения быстрообратимой деформации. Это является результатом того, что длительное пребывание в условиях постоянной деформации приводит к перестройке молекулярной структуры и возникновению «замороженной» обратимой деформации, удлиняются периоды релаксации, растет остаточная деформация. Четвертый способ во всех случаях искажает величины компонентов: получается, например, что шерстяная пряжа более упруга, чем капроновая нить, и что у нее нет остаточной деформации. Подобные результаты показывают, что четвертый способ нельзя рекомендовать.

ВИДЫ ОДНОЦИКЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК [14]

Перечислим одноцикловые характеристики, которые обычно изучаются при растяжении волокон и нитей.

1. Компоненты деформации являются наиболее распространенными одноцикловыми характеристиками. При массовых испытаниях следует пользоваться ОСТ 17534—75 (продлен до 1990 г.) «Нити текстильные. Метод определения компонентов полного удлинения при растяжении нитей нагрузкой, меньшей разрывной». Данные о режимах испытаний приведены в табл. V.5.

Табл. V.5. Основные способы определения компонентов удлинения текстильных волокон и нитей

Способ (основные особенности)	Задаваемый параметр	Длительность, ч		Примечание
		нагрузки	отдыха	
Растяжение на релаксационном до определенного удлинения при постоянном усилии	Доля разрывного усилия Условно задаваемая величина	2—4	1—3	Один конец нити зажат, другой несет грузик
		2—4	1—3	
Растяжение на разрывной машине с измерением гистерезисной петли после выдержки при заданных усилиях (в долях разрывного)	То же	До 0,25	До 0,25	Оба конца нити в зажимах
удлинениях (в долях разрывного)		До 0,25	До 0,25	
Растяжение непрерывно повторяемыми гистерезисными петлями на разрывной машине		До 0,25	До 0,25	То же

Компоненты деформации растяжения обычно определяются как условные (приближенные) их значения в процессе отдыха после действия усилий (или напряжений) постоянной величины. Для краткости их называют составляющими: упругая $l_y = L_1 - L_2$; эластическая $l_s = L_2 - L_3$; пластическая $l_n = L_3 - L_0$.

Здесь L_0 — начальная длина образца; L_1 — длина после нагружения в течение времени, выбранного для данного опыта; L_2 — длина тотчас после разгрузки; $L_3 = L_k$ — длина после отдыха в течение времени, выбранного при опыте.

Как это было указано ранее для разрывного удлинения, относительные деформации (упругая ϵ_y , эластическая ϵ_s и пластическая ϵ_n) получаются делением указанных составляющих на L_0 , а если они выражаются в процентах, то еще и умножением на 100. Время наблюдения, ч, удобно отмечать индексами при обозначении компонента [например, $(T_1)\epsilon_y(T_2)$; $(T_1)\epsilon_s(T_3)$], где T_1 — время нахождения образца под нагрузкой, T_2 — длительность разгрузки, T_3 — время отдыха].

В табл. V.6 приведены типичные условные значения компонентов деформации растяжения волокон и нитей основных видов. Они получены по второму способу.

Изменение деформации во времени при постоянной нагрузке и отдыхе после нее для основных волокон и нитей показано на рис. V.21. Все данные представлены для испытаний с постоянной нагрузкой, равной 0,25 разрывной. Данные о компонентах деформации сведены в табл. V.7.

Наибольшим абсолютным упругим удлинением обладают шерстяное, капроновое и лавсановое волокна, а также нити из них. Доля упругой деформации льняного волокна — одна из высоких, но так как мала его полная деформация, то абсолютная величина упругости невелика (меньше, чем у других целлюлозных волокон — хлопкового, вискозного). Этим, в частности, объясняется большая сминаемость изделий из льна.

Упругость пряжи ниже, а пластичность выше, нежели у волокон, из которых она состоит, что объясняется появлением необратимой деформации вследствие смещения волокон в пряже.

Для первого метода определения компонентов деформации установлена достаточно достоверная корреляция между

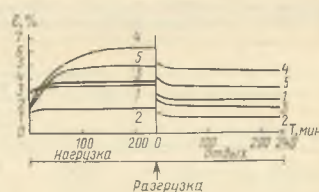


Рис. V.21. Изменение полной деформации нити во времени при постоянных растягивающих нагрузках и после них: 1 — хлопчатобумажная пряжа 25 текс; 2 — льняная пряжа 72 текс сухого прядения; 3 — шерстяная гребенная пряжа 42 текс; 4 — вискозная обжимованная нить 38 текс; 5 — вискозная упрочненная нить 88 текс

Табл. V.6. Типичные условные значения компонентов деформации растяжения волокон и нитей основных видов

Волокно или нить	Линейная плотность, текс	Полная деформация к концу нагружения, % зажимной длины	Доля компонента деформации от полной		
			упругого	эластического	пластического
Средневолокнистый хлоп-пок	0,2	4	0,23	0,21	0,56
Хлопчатобумажная кардная пряжа	25	3,7	0,22	0,14	0,64
Льняное — техническое чесаное волокно	5	1,1	0,51	0,04	0,45
Льняная пряжа сухого прядения	42	1,8	0,22	0,11	0,67
Тонкое шерстяное волокно	0,4	4,5	0,71	0,16	0,13
Шерстяная гребенная пряжа	42	3,7	0,3	0,22	0,18
Шелк-сырец	2,5	3,3	0,3	0,31	0,39
Вискозная комплексная нить обыкновенная упрочненная	9	6,4	0,11	0,19	0,7
	9	4,9	0,12	0,2	0,68
Капроновое штапельное волокно	0,4	9,5	0,71	0,13	0,16
Капроновая комплексная нить	5	6,3	0,76	0,21	0,03
Лавсановое штапельное волокно	0,3	16,2	0,49	0,24	0,27
Лавсановая аппаратная пряжа	36	10	0,29	0,22	0,49
Нитроновое штапельное волокно	0,6	8,6	0,45	0,26	0,29
Капроновый эластик	25	210	0,7	0,05	0,16

Примечание. Данные получены при следующих условиях: нагрузка — 0,25 разрывной; цикл — нагрузка 4 ч, разгрузка и первый отсчет за 3 с, отдых 4 ч; температура 20 °С и относительная влажность воздуха 65%.

Табл. V.7. Изменение условных значений компонентов полной деформации для нитей некоторых видов при различной относительной влажности воздуха

Нить	Относительная влажность воздуха, %	Доля компонента деформации от полной		
		упругого	эластического	пластического
Хлопчатобумажная кардная пряжа 25 текс	40	0,18	0,18	0,64
	65	0,21	0,15	0,64
	90	0,18	0,12	0,7
Льняная пряжа 72 текс сухого прядения	40	0,35	0,15	0,5
	65	0,39	0,13	0,48
	90	0,25	0,18	0,57
Шерстяная гребенная пряжа 42 текс	40	0,45	0,27	0,28
	65	0,46	0,24	0,3
	90	0,29	0,57	0,14
Вискозная комплексная нить 9 текс (обыкновенная)	40	0,12	0,2	0,68
	65	0,14	0,17	0,69
	90	0,15	0,12	0,73

обратимыми частями деформации и числом обрывов на 1 м основы в ткачестве; коэффициенты корреляции составляют величины порядка —0,6...—0,7.

2. Падение напряжения (или усилия) при постоянной относительной деформации (релаксация напряжения) обычно характеризуется одним из следующих параметров:

отношением начального σ_0 и конечного σ_t напряжений через некоторый промежуток времени t , принимаемым постоянным — $r = \sigma_0/\sigma_t$ (по данным английских исследователей Р. Мередиса, Г. Вудса и других при растяжении на 1 % разрывного и времени примерно 3 ч для различных натуральных и химических волокон колеблется от 1,37 до 1,75; исключение составляет вискозное волокно, имеющее $r = 2,46$);

временем T , за которое напряжение (или усилие) падает в определенное число раз; так как изменение напряжений часто выражается экспоненциальными законами и изображается полулוגарифмическими графиками (по оси абсцисс — логарифм времени $\ln T$, а по оси ординат — напряжение), то нередко определяется время, в течение которого напряжение падает в e раз (e — основание натуральных логарифмов).

Кроме того, характер кривых падения напряжения (рис. V.22) позволяет оценивать особенности этого процесса.

3. Нарастание удлинения при постоянном усилии (или напряжении) и уменьшение удлинения во время отдыха после разгрузки обычно характеризуется величинами относительных удлинений, возникших или исчезнувших при заданных условиях

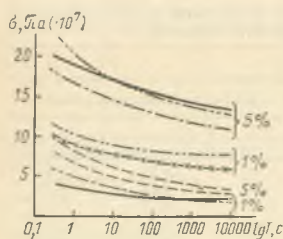


Рис. V.22. Релаксация напряжения волокон при постоянном удлинении (по Р. Мередису, Г. Вудсу и др.)

время наблюдения). Нагрузка (или напряжение) выбирается равной или некоторой постоянной доле от разрывной (например, 10, 25, 50 %), или одинаковой постоянной величине. При нагрузках, превышающих 50 % разрывной, для достижения равновесия требуется много времени, а кроме того из-за неровнот по поперечному сечению образцы часто рвутся. Первый способ позволяет разные материалы, обладающие различной способностью деформироваться, ставить в сопоставимые условия, поскольку каждый из них получает одинаковую долю нагрузки от предельно для него возможной. Второй способ позволяет сравнивать поведение различных материалов в одинаковых условиях деформирования, которые для одних материалов могут быть тяжелыми (например, приближать к разрушению), для других, наоборот, легкими. Для всесторонней оценки материалов желательно проводить испытания обоими способами. Как и для наблюдений за падением напряжения, в данном случае используются и сами графики изменений деформации во времени (см. рис. V.20).

Модули продольной упругости при растяжении могут рассматриваться как одноцикловые, так как их можно рассчитывать для различных участков кривой растяжения по упругому компоненту, определенному для удлинений, отвечающим точкам начала и конца участка, выбранного на кривой растяжения. Чаще всего используется модуль для начальной стадии растяжения — для удлинения порядка 1—2 %, когда подавляющая доля удлинения (до 95 %) может условно рассматриваться как упругая. Тогда модуль получает наименование «начальный модуль продольной упругости» (табл. V.8). Его рассчитывают по формуле

$$E_n = 100PL_0 / [(L_t - L_0)S], \quad (V.18)$$

где P — нагрузка, сН; L_0 — начальная длина образца, мм; L_t — длина образца в конце нагружения, мм; S — площадь поперечного сечения образца волокна или нити, мм².

Табл. V.8. Начальные модули продольной упругости волокон и нитей основных видов (по Г. Н. Кукину и Ф. Х. Садыковой)

Волокно или нить	Линейная плотность, текс	Модуль, Па ($\cdot 10^9$)
Средневолокнистый хлопок	0,2	525
Хлопчатобумажная кардная пряжа	25	135
Льняная пряжа мокрого прядения	45	1950
Тонкое шерстяное волокно	0,4	180
Шерстяная гребенная пряжа	35	170
Вискозное штапельное волокно	0,2	485
Вискозная комплексная нить обыкновенная	9	414
упрочненная	9	461
Капроновая нить элементарная	0,5	255
комплексная	30	260
Лавсановая комплексная нить	50	1000

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ОДНОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [10, 15]

При определении одноцикловых характеристик, как и полумоментов, существенное влияние оказывают условия, в которых оно проводится. К ним относятся характер цикла (величина и режим нагружения или деформирования, темп разгрузки, длительность отдыха), условия окружающей среды и др.

Ряд указанных вопросов анализировался в работах Г. Н. Кукина, А. Н. Соловьева (Московский текстильный институт им. А. Н. Косыгина), а также в работах В. Вегенера (ФРГ), Р. Мередиса, Г. Вудса (Англия) и др.

Влияние удлинений, нагрузок и времени их действия. Из указанных выше работ можно сделать вывод, что падение напряжения за одинаковое время (10^4 с) у большинства волокон тем меньше, чем выше было постоянное удлинение, сообщенное волокнам.

Исследуя изменения в деформации при постоянных нагрузках от 0,1 до 0,5 разрывных, установлено, что полная деформация нарастает у различных нитей при увеличении нагрузки по-разному (например, у льняной пряжи замедленно, у вискозной нити — ускоренно). Составные части относительной деформации растяжения в зависимости от нагрузки изменяются следующим образом: быстрообратимые («условно упругие») — примерно пропорционально нагрузкам; медленнообратимые («условно эластические») — в большинстве случаев замедленно; пластические — в соответствии со структурой нитей (у нитей с прочными межмолекулярными и межволокнистыми связями — замедленно, у нитей неоднородной структуры с непрочными связями — ускоренно). Соответственно доля упругой деформации в полной

падает, доли остальных частей растут. Полученные результаты находятся в соответствии с особенностями структуры материала, так как распрямление изогнутых молекул, а отчасти смещение их частей при сильных взаимодействиях между ними имеет ограниченный характер.

Влияние длительности наблюдения и, в частности, длительности нагрузки при постоянной ее величине (0,25 разрывной) было исследовано для хлопчатобумажной пряжи и вискозных нитей при использовании цикла, в котором время нагружения изменялось от 5 с до 15 ч, а время разгрузки (3 с) и отдыха (3 ч) оставалось постоянным. Во всех случаях полная деформация нарастала; упругая составляющая вначале немного нарастала, а при больших значениях времени несколько падала; эластическая составляющая вначале несколько нарастала, затем при больших длительностях наблюдения уменьшалась; пластическая составляющая непрерывно нарастала (сначала быстро, затем медленно). Это объясняется ускоренным ростом полной деформации по мере увеличения постоянных нагрузок.

При длительном растяжении идут два процесса — ориентация молекул, вследствие которой увеличиваются обратимые составляющие, и смещение молекул и их звеньев, вследствие которого нарастает остаточная деформация. Вначале преобладает первый процесс, затем — второй. Однако развитие второго процесса сдерживается первым.

Влияние окружающей среды. Большое влияние на одноцикловые характеристики оказывают условия окружающей среды. В воздушной среде наиболее существенное значение имеет относительная влажность воздуха и отвечающая ей равновесная влажность волокон и нитей, оказывающая на них пластифицирующее действие (см. табл. V.7). Данные этой таблицы получены при нагружении нити в течение 4 ч и последующем ее отдыхе тоже в течение 4 ч; нагрузка — 0,5 разрывной. Следует отметить, что влияние относительной влажности в пределах 40—65 % значительно меньше, чем в пределах 65—90 %.

Наконец, большое влияние действия среды и температуры на деформацию видно из рис. V.23, на котором представлены полная деформация ϵ (% зажимной длины) и ее составные части для хлопчатобумажной, шерстяной и лавсановой пряжи. В водной среде при одновременном нагреве до температуры 70 °C деформации хлопчатобумажной пряжи и лавсановой увеличились примерно вдвое, а шерстяной аппаратной пряжи — в 11 раз¹.

Резко изменяются компоненты деформации и в различных других средах (растворах кислот, щелочей и т. д.).

¹ В аналогичных условиях деформация шерстяной гребенной пряжи, имеющей более совершенную структуру, увеличивается в 3,5 раза.

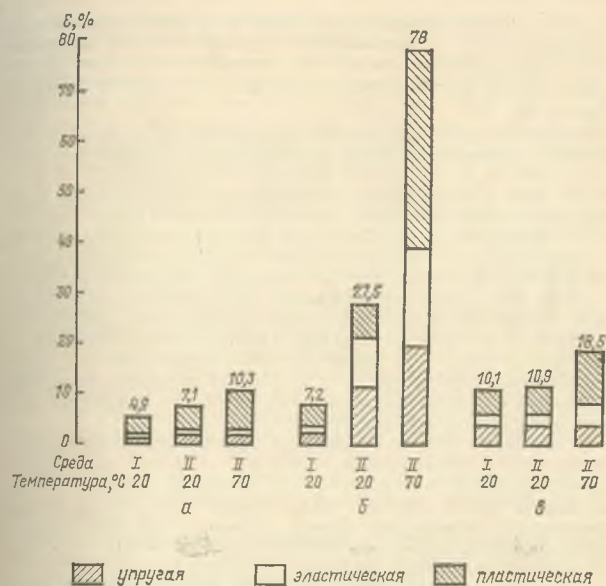


Рис. V.23. Изменение (по Г. Н. Кукину) составных частей деформации (упругой, эластической, пластической) пряжи (а — хлопчатобумажной; б — шерстяной; в — лавсановой) при различных условиях окружающей среды (I — воздушная; II — водная)

Из сказанного следует, что для материалов, подвергающихся силовым воздействиям в воде, в различных растворах, при нагреве и т. д., необходимо определять механические характеристики в сходных условиях, так как изучение в нормальных атмосферных условиях недостаточно характеризует их механические свойства в других условиях.

В связи с этим приведем некоторые данные о наличии в текстильных нитях вынужденной эластической деформации. Хлопчатобумажная кардная пряжа 25 текс была подвергнута действию цикла нагрузка (0,25 разрывной на 4 ч) — разгрузка (3 с) — отдых (24 ч). В этих условиях получена полная деформация $\epsilon = 4,9$ % и условные значения компонентов: упругого $\epsilon_u = 1$ %, эластического $\epsilon'_e = 0,9$ % и пластического $\epsilon_p = 3$ %. Затем нить была подвергнута замачиванию в воде температу-

рой 70°C. Прекратившийся релаксационный процесс вновь возобновился, и за 7 ч пребывания в горячей водной среде пластический компонент с $\epsilon' = 3\%$ уменьшился до $\epsilon'' = 2,1\%$, а эластический соответственно увеличился с $\epsilon' = 0,9\%$ до $\epsilon'' = 1,8\%$.

Вследствие этого для точных исследований компонентов деформаций применяется метод предварительного приведения волокон и нитей в равновесное состояние кипячением их (не менее 30 мин) в воде. Такая равновесность является более или менее достаточной для последующих воздействий водной среды, но не гарантирует от возобновления релаксационных процессов в других средах. Большую гарантию полного завершения релаксационных процессов дает максимальное набухание волокон.

Тако набухание осуществляется для волокон: целлюлозных — в щелочных растворах слабой концентрации (например, в 3 или 5 %-ных растворах NaOH), животного происхождения — в слабых растворах уксусной кислоты, полиамидных — в слабых фенольных растворах и т. д. Однако выбирать реактивы необходимо с большой осторожностью, чтобы их воздействие не привело к нарушению структуры молекул.

Механическое кондиционирование. Под механическим кондиционированием, применяемым иногда при получении одноцикло-вых характеристик волокон и нитей, понимается предварительное выдерживание образцов под нагрузкой для снятия части пластической деформации. Смысл подобного кондиционирования заключается в том, что «предыстория» образцов до испытания часто неизвестна. Часть их могла подвергаться различным силовым воздействиям, вследствие чего их пластическая деформация могла уменьшиться, другие, наоборот, могли не подвергаться силовым воздействиям. Механическое кондиционирование выравнивает их в этом отношении. Однако при нем всегда есть опасность возникновения вынужденной эластичности и приведения образцов в более неравновесное состояние. Поэтому вслед за механическим кондиционированием образцы необходимо приводить в равновесное состояние.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЕМ И ДЕФОРМАЦИЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ [4, 16]

После подробного ознакомления с особенностями деформации текстильных волокон и нитей при растяжении целесообразно вернуться к поставленному в начале этой главы вопросу о зависимости между напряжением (усилием) и деформацией с учетом влияющих на эту зависимость основных факторов, прежде всего времени.

Выше отмечалось, что простейшим путем является составление эмпирических формул на основе экспериментальных дан-

ных, однако этот путь не дает физического обоснования получаемых зависимостей. Вследствие этого в течение уже более ста лет, начиная с Д. К. Максвелла, впервые применившего этот метод, довольно широко используется метод выражения механических свойств различных тел с помощью моделей. Для этих механических моделей затем составляются уравнения, позволяющие получить необходимые зависимости.

В моделях упругие свойства условно изображаются пружинами, пластические — поршнями, движущимися в цилиндрах, заполненных очень вязкими жидкостями, а эластические — комбинациями этих двух элементов. Простейшая так называемая максвелловская модель механических свойств, представленная на рис. V.24, а, состоит из двух последовательно соединенных модельных элементов (пружины и поршня) и отображает свойства вязкого тела, обладающего некоторой упругостью. На примере этой модели покажем, как составляются уравнения, позволяющие выразить зависимости между напряжением и деформацией при растяжении (направление, в котором растягивается модель, закрепленная одним концом, изображено на рисунке стрелками).

Полное относительное удлинение ϵ системы, очевидно, будет складываться из удлинения пружины (упругого удлинения ϵ_y) и перемещения поршня (вязкого удлинения ϵ_a):

$$\epsilon = \epsilon_y + \epsilon_a. \quad (V. 19)$$

Дифференцируя по времени, получим

$$d\epsilon/dt = d\epsilon_y/dt + d\epsilon_a/dt. \quad (V. 20)$$

Растяжение пружины под действием напряжения в соответствии с законом Гука

$$\sigma = E\epsilon_y.$$

Дифференцируя по времени, имеем

$$d\epsilon_y/dt = E^{-1} d\sigma/dt. \quad (V. 21)$$

Перемещение поршня под действием той же силы будет следовать закону вязкости Ньютона:

$$\sigma = \eta d\epsilon_a/dt.$$

Откуда

$$\sigma/\eta = d\epsilon_a/dt, \quad (V. 22)$$

где η — модуль вязкости.

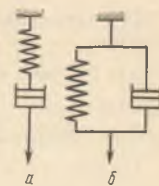


Рис. V.24. Механические модели:
а — Д. К. Максвелла; б — Кельвина — Фойгта

Подставляя формулы (V.21) и (V.22) в уравнение (V.20), получим

$$d\epsilon/dt = E^{-1} d\sigma/dt + \sigma/\eta.$$

Откуда

$$d\sigma/dt = E d\epsilon/dt - E\sigma/\eta.$$

Обозначив $\eta/E = \tau$, получим уравнение

$$d\sigma/dt = E d\epsilon/dt - \sigma/\tau. \quad (V.23)$$

Это уравнение дает характеристику релаксационных свойств вязкого тела, наделенного упругостью. Из него легко определить, как в таком теле будут релаксировать напряжения при постоянной деформации.

Пусть $\epsilon = \text{const}$, тогда $d\epsilon/dt = 0$. Уравнение (V.23) примет вид

$$d\sigma/dt + \sigma/\tau = 0. \quad (V.24)$$

Интегрируя, получим

$$\sigma = \sigma_0 \exp -t/\tau, \quad (V.25)$$

где σ_0 — начальное напряжение; t — время; τ — константа, определяющая темп релаксации напряжения во времени и потому называемая «временем релаксации».

Таким образом, напряжение будет падать по закону показательной функции.

В уравнение (V.23) время входит непосредственно, а влияние других факторов (температуры, влажности и т. д.) отражается через изменения E и η .

Эластические свойства чаще всего изображают параллельно расположенными пружиной и поршнем, так называемой моделью Кельвина — Фойгта (рис. V.24, б), т. е. представляют собой упругость, сочетающуюся с внутренним трением (вязкостью). Модель Кельвина — Фойгта отвечает уравнению

$$\sigma = \epsilon_y E + \eta d\epsilon_0/dt. \quad (V.26)$$

Считая, что обе составляющие деформации развиваются одинаково, полагаем, что

$$\epsilon = \epsilon_y = \epsilon_v.$$

Тогда формула (V.26) примет вид

$$\sigma = \epsilon E + \eta d\epsilon/dt. \quad (V.27)$$

Для деформации при постоянном напряжении

$$\epsilon = \sigma/E (1 - \exp - Et/\eta) = \sigma/E (1 - \exp - t/\tau). \quad (V.28)$$

Было предложено много различных моделей, которые выражают механические свойства тел, обладающих подобно волокнам, нитям и другим текстильным материалам тремя составными частями деформации. Сложность структуры этих материалов, индивидуальные особенности отдельных их видов приводят к тому, что в одних случаях для выражения свойств ближе подходят одни модели, в других — другие. Отвечающие различным моделям уравнения с большим или меньшим приближением отображаются экспериментальными данными.

Приведем примеры некоторых моделей, с помощью которых отображаются механические свойства текстильных материалов.

На рис. V.25 изображены механические модели, применяемые для текстильных материалов. Модель, предложенную советскими учеными Я. И. Френкелем и Ю. И. Образцовым и американскими учеными (Т. Алфреем и другими), часто называют моделью А (см. рис. V.25, а). В ней три звена, каждое из которых соответствует одной из составляющих деформации. В первом звене пружина с модулем E_1 отвечает упругой составляющей; во втором — параллельно расположенные пружина с модулем E_2 и поршень с коэффициентом вязкости η_2 соответствуют (по Кельвину — Фойгту) эластической составляющей; в третьем — поршень с коэффициентом вязкости η_3 отвечает пластической (вязкой) составляющей.

Линейное дифференциальное уравнение этой модели иногда используют для текстильных материалов, особенно обладающих значительной пластической составляющей. При постоянстве напряжения σ оно имеет вид

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} \left(1 - \exp - \frac{T_1}{\tau}\right) + \frac{\sigma}{\eta_3} T_1, \quad (V.29)$$

где T_1 — время нагрузки; $\tau = \eta_2/E_2$.

Уравнение (V.29) дает хорошее совпадение преимущественно в области малых напряжений.

Г. Л. Слонимский с учетом того, что смещения отдельных участков длинных, гибких ценных молекул относительно неза-

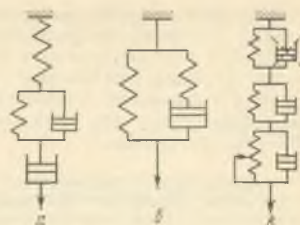


Рис. V.25. Механические модели, применяемые для текстильных материалов:

а — модель А; б — трехэлементная модель Г. Эйринга и др.; в — обобщенная модель Г. И. Кукина и А. Н. Соловьева

висимы друг от друга, предложил более обобщенную и точную модель, состоящую из ряда последовательно соединенных моделей А, у которых поршни с коэффициентом вязкости η_3 движутся в общей вязкой среде. К сожалению, математическая сложность уравнений, отвечающих этой модели, пока затрудняет ее использование для выражения механических свойств текстильных материалов.

Группой ученых Принстонского университета (США) — Г. Эйрингом и др. — была разработана теория деформирования текстильных материалов, названная ими «теория темпа реагирования». В основу этой теории положено представление о различии тепловых колебаний частиц макромолекул полимеров при отсутствии силового поля и при его наложении. В связи с этим деформация обуславливается разностью числа перескоков сегментов в направлении действия силы и обратном ему.

В этой работе использована трехэлементная модель, представленная на рис. V.25, б и отображающая наличие у упругого тела особого вида вязкости, которая проявляется лишь после того, как упругая деформация достигает некоторого значения. Ее назвали «неньютоновской», т. е. не подчиняющейся закону вязкости Ньютона. Она выражается довольно сложно — функцией гиперболического синуса. Эта модель была проверена на нитях (шелке-сырце, вискозных, ацетатных и др.) и дала хорошие совпадения с экспериментальными данными. Однако последующее применение ее к ряду других текстильных объектов привело к необходимости во многих случаях существенно видоизменять и усложнять модель и отвечающие ей уравнения.

Малая универсальность модели, сложность вычислений, недостаточное объяснение физической сущности «неньютоновской» вязкости, условность принимаемых в расчетах размеров частиц несколько ограничили применение описанной теории.

Возможность применения модели, состоящей из двух параллельно расположенных трехэлементных моделей, была показана А. В. Матуконисом для расчетов распределения напряжений в двух разнородных нитях, например капроновой и вискозной, скрученных вместе.

Для выражения механических свойств нитей была использована обобщенная модель Г. Н. Кукина и А. Н. Соловьева (рис. V.25, в), состоящая из трех последовательно соединенных и видоизмененных звеньев модели Кельвина — Фойгта. При этом принималось, что в первом звене, отображающем упругую составляющую, модуль продольной упругости во много раз больше коэффициента вязкости ($E_1 \gg \eta_1$), т. е. фактически свойства звена выражает почти одна пружина. Второе звено отображает эластическую деформацию, а третье — пластическую. Развитие пластической деформации сдерживается наличием эластической, поэтому она также выражается звеном эластического типа. Однако чтобы подчеркнуть необратимость третьей составляющей, у пружины имеется фиксатор, не дающий ей сокращаться после растяжения.

Уравнение, отвечающее рассматриваемой модели, для периода нагрузки представляет собой обобщенное уравнение

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_1} \left(1 - \exp - \frac{T_1 E_1}{\eta_1} \right) + \frac{\sigma}{E_2} \left(1 - \exp - \frac{T_1 E_2}{\eta_2} \right) + \frac{\sigma}{E_3} \left(1 - \exp - \frac{T_1 E_3}{\eta_3} \right), \quad (V.30)$$

где T_1 — время нагрузки; E_1, E_2 и E_3 — модули продольной упругости соответственно звеньев 1, 2, 3; η_1, η_2, η_3 — коэффициенты вязкости тех же звеньев¹.

Уравнение (V.30) было использовано для вычисления полной деформации за то или иное время T_1 по известным величинам ее составных частей, определенным экспериментально. В этом случае нет необходимости определять отдельные модули и коэффициенты, и уравнение (V.30) может быть представлено в более простом виде

$$\epsilon = \epsilon_y (1 - \exp - AT_1) + \epsilon_s (1 - \exp - BT_1) + \epsilon_n (1 - \exp - CT_1), \quad (V.30a)$$

Для периода отдыха

$$\epsilon = \epsilon_y \exp - AT_2 + \epsilon_s \exp - B_1 T_2 + \epsilon_n, \quad (V.31)$$

где T_2 — время отдыха.

Учитывая, что распространение и исчезновение упругой составляющей идет со скоростью звука, было принято для всех нитей $A = 10^8$, а коэффициенты B, B_1, C вычислены через известные составляющие и полную деформацию (для каких либо отдельных значений T_1 и T_2).

Релаксационные процессы развития и исчезновения эластической деформации текстильных нитей нередко протекают различно. Этим объясняется, что в общем виде $B \neq B_1$, хотя для нитей отдельных видов они равны.

Коэффициенты уравнений (V.30a) и (V.31) для нитей основных видов (при стандартных атмосферных условиях) приведены в табл. V.9. Расчетные и фактические данные не расходились более чем на 3—5 %.

Из описания механических моделей можно сделать вывод, что единых универсальных моделей и уравнений пока не создано; поиски их следует продолжить, возможно при этом могут быть использованы новые виды звеньев.

¹ Детальные методы расчета величин, входящих в уравнение (V.30), были разработаны Ф. Винклером (ГДР).

Табл. V.9. Коэффициенты B , B_1 и C

Нить	Нагрузка, доля разрывной нагрузки	B	B_1	C
Хлопчатобумажная кардная пряжа 25 текс	0,1 0,25 0,5	0,05 0,07 0,03	0,05 0,07 0,03	50 60 30
Льняная пряжа 72 текс сухого прядения	0,5	0,05	0,05	100
Шерстяная гребенная пряжа 42 текс	0,5	4	0,05	0,03
Вискозная комплексная нить 9 текс (обыкновенная)	0,25	4	0,05	0,04

МНОГОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ [2, 7]

В практику испытания текстильных материалов все шире входят методы оценки их механических свойств многократным растяжением. Как уже указывалось, такие методы хорошо отражают изменения структуры текстильных материалов, в частности волокон и нитей, при многократных силовых воздействиях. Применение этих методов тем более целесообразно, что нити и, следовательно, составляющие их волокна в процессах переработки и использования подвергаются именно таким воздействиям.

Так, нити основы при изготовлении ткани на ткацком станке подвергаются тысячам, а порой и десяткам тысяч циклов растяжений с частотами 3—4 Гц и более: ткани и трикотаж в носке испытывают многие миллионы циклов растяжений с низкими частотами, меньшими 1 Гц; нити корда при работе автомобильной шины претерпевают десятки миллионов циклов растяжений с относительно большими частотами порядка нескольких десятков, а иногда и более 100 Гц. Многократному растяжению с различными частотами подвергаются швейные нитки при пошиве изделий, готовые швейные изделия при различных движениях человека, рыболовные снасти под действием волн и многие другие текстильные материалы.

При многократном растяжении в волокнах и нитях происходят сложные изменения структуры, а значит и изменения механических свойств, причем результаты этих изменений имеют различный характер на разных стадиях растяжения. Здесь очень наглядно выявляется диалектический характер наличия двух противоположных процессов: во-первых, улучшения структуры за счет ориентации структурных элементов (молекул, микрофибрилл, волокон) в направлении растяжения, т. е. продоль-

ной оси волокна или нити, и происходящего благодаря этому усилению взаимодействия между элементами; во-вторых, ухудшения структуры в связи с концентрацией напряжений в тех местах, где структура имеет какие-либо дефекты, а также смещения элементов структуры без усиления связи между ними, возникновения и прорастания трещин, приводящих в конечном счете к разрушению материала.

Подобные явления встречаются и при использовании других материалов, например металлов. В частности, с таким явлением еще в прошлом веке встретились железнодорожники в связи с поломками вагонных осей. В их практике это явление получило название «усталостного разрушения». Термин «усталость» стали прилагать и к другим материалам, в том числе и к текстильным.

Ряд ученых в разных странах занят исследованиями усталости при многократном растяжении нитей, что показывает важность этой проблемы. Рассмотрим, как протекают процессы утомления и вызываемые ими структурные изменения в волокнах и нитях.

Структура у большинства волокон и нитей по мере многократного растяжения изменяется в три фазы.

В *первой фазе*, проходящей обычно во время десятков и сотен циклов растяжений, в основном идут смещения тех структурных элементов, которые мало взаимодействуют с окружающими. В волокнах смещаются отдельные звенья целых молекул и, по-видимому, макрофибриллы. В нитях изменяется расположение отдельных частей волокон или элементарных нитей, недостаточно зажатых при скручивании. В результате структурные элементы располагаются более ориентированно вдоль продольной оси волокон (или нитей), лучше взаимодействуют друг с другом за счет межмолекулярных связей, сил трения и т. д. Эти явления сопровождаются увеличением остаточных удлинений, состоящих в основном из необратимой пластической, а также из медленно исчезающей части эластической деформации.

В последующих циклах быстрое нарастание удлинений резко замедляется, структура нити в известной мере стабилизируется.

Разрушение структуры идет слабо и не может вызвать сколько-нибудь существенного ухудшения механических свойств. Исключение составляют нити с плохой структурой, например пряжа с плохо параллелизованными волокнами и слабо скрученная (в частности, аппаратная пряжа, у которой волокна не столько разрушаются, сколько постепенно растаскиваются).

Если длительность цикла растяжения велика (десятки секунд, минуты), то для значительных изменений структуры достаточно десятков циклов; если длительность цикла мала (доли секунд и секунды), то требуются сотни, а иногда и тысячи циклов.

Если волокна или нити подвергнуть первым десяткам или сотням циклов растяжения, а затем испытать на растяжение до разрыва, то в большинстве случаев обнаруживается, что у них растет прочность и снижается полное разрывное удлинение (падение последнего связано с уменьшением его необратимой части), при этом растут жесткость и модуль продольной упругости.

Таким образом, в описанной первой фазе многократного растяжения волокон и нитей в большинстве случаев превалирует процесс ориентации и структура улучшается. При дальнейшем многократном растяжении улучшения структуры уже не происходит. Начинается *вторая фаза*. В этой фазе, если структура волокон или нитей хорошая, а величина и частоты растяжений таковы, что они вызывают только быстрообратимые деформации, состоящие в основном из упругих и отчасти из быстро релаксирующих эластических компонентов (т. е. из таких, которые в каждом цикле растяжения успевают исчезнуть за время разгрузки и отдыха), в результате воздействия не происходит существенных ухудшений структуры материала и в итоге она остается почти неизменной.

Материал выдерживает очень большое число растяжений, нередко определяемое десятками и сотнями тысяч, а иногда и миллионами циклов. Развитие структурных дефектов и накопление необратимых деформаций, состоящих из медленных эластических и пластической частей, идет очень медленными темпами; лишь после большого числа циклов накапливается некоторая необратимая деформация и начинается *третья фаза*. В этой фазе уже сравнительно быстро протекает процесс ухудшения, расшатывания структуры. В местах, где структура нити имеет дефекты и где поэтому концентрируются напряжения, начинается прорастание магистральной трещины, быстрое накопление пластических деформаций, так как здесь происходят в волокнах необратимые смещения молекул, а в пряже — самих волокон, и даже их разрывы. Смещение волокон наглядно видно на микрофотографиях (рис. V. 26). О деструкции молекул говорит снижение вязкости растворов веществ, составляющих волокна, после того как волокна сами по себе или в пряже подвергались многократному растяжению. Расшатывание структуры нити усиливается химическими процессами, идущими на концах разорванных молекул. У волокон появляются быстро прорастающие трещины. Описанные местные изменения структуры и носят названия «утомление», «усталость». В результате этих изменений и происходит разрыв.

Постепенное местное разрушение структуры при многократных воздействиях, не сопровождающееся существенной потерей массы, называется усталостью. Таким образом, усталость есть результат утомления. Заметим, что когда требуется подчерк-

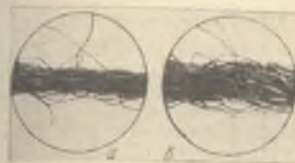


Рис. V. 26. Изменение макроструктуры хлопчатобумажной пряжи до (а) и после (б) многократного растяжения (по Г. Н. Кукину)

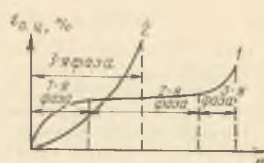


Рис. V. 27. Нарастание остаточной циклической деформации у нитей различных структур: 1 — хорошей; 2 — плохой

нуть различие между описанной выше статической усталостью и усталостью, получаемой при многократных воздействиях, последнюю часто называют динамической усталостью.

На рис. V. 27 представлен характер накопления остаточных деформаций нитями различных структур в процессах многократного растяжения. Эти усталостные деформации называют остаточными циклическими.

Особо следует отметить, что утомление представляет собой механохимический процесс. Механические воздействия приводят к разрыву молекул (так называемому механокрекингу), образованию из них микрорадикалов, возникновению химических процессов, которые в свою очередь вызывают деструкцию. Таким образом, механические процессы вызывают химические, а последние ускоряют деструкцию. Среди процессов, идущих в воздушной среде (а текстильным материалам приходится почти всегда находиться в таковой), особенное значение имеют окислительные процессы.

Изменения во времени структуры полимерных материалов в результате воздействий внешней среды (света, тепла, влаги, кислорода и т. д.) принято называть старением. Следовательно, утомление, как правило, бывает осложнено старением.

Итак, действие многократных растяжений на волокна и нити обычно может быть разделено на три фазы. Однако, если волокна и нити имеют очень плохую структуру, элементы которой мало связаны между собой, или, если структура хорошая, но растяжение осуществляется с большими деформациями, вторая фаза может отсутствовать и сразу начинается третья — утомление. Наконец, если воздействия чрезмерно велики и разрушение наступает через несколько циклов, то вообще нет оснований говорить об утомлении. Характерный признак его — постепенное расшатывание структуры — в этом случае отсутствует. По существу, до разрыва происходит растяжение, подобное многократному, но лишь осложненное несколькими разгрузками.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Исследования для получения многоцикловых характеристик при растяжении могут выполняться различными способами. При этом образец подвергается воздействиям циклов растяжений, характер которых может быть очень разнообразен.

При испытании волокон и нитей растяжение и сокращение образца чаще всего осуществляют по синусоиде, а третий член полного цикла — отдых — отсутствует.

Растяжение в каждом цикле (рис. V.28) может осуществляться, в частности, так, что образец претерпевает деформацию l , изменяющуюся по определенному закону, например по тому же — синусоидальному с сохранением в каждом цикле синусоиды ее амплитуды a , т. е. наибольших отклонений от ее среднего значения в обоих полупериодах. Напомним, что периодом называют продолжительность цикла, а число циклов, осуществляемых в единицу времени, — частотой.

Амплитуда

$$a = (l_{\max} - l_{\min})/2, \quad (V.32)$$

где $l_{\max}$, $l_{\min}$ — соответственно наибольшая и наименьшая циклические деформации.

В полимерных материалах, как отмечалось выше, вследствие протекания релаксационных процессов изменения деформаций и усилий (напряжений) не совпадают во времени. При указанном способе многократного растяжения возникающие усилия (напряжения) отстают от задаваемых деформаций; происходит их сдвиг по фазе (рис. V.29, а).

Может осуществляться и другой способ испытаний, когда в каждом цикле образцу сообщается усилие или напряжение, изменяющееся по определенному закону, а амплитуда его

$$a = (P_{\max} - P_{\min})/2, \quad (V.33)$$

где $P_{\max}$, $P_{\min}$ — наибольшее и наименьшее усилие.

В этом случае деформация, развивающаяся в испытуемом образце (рис. V.29, б), будет отставать от задаваемого усилия. Если в цикле осуществляется деформация только одного знака (растяжение, сжатие), то его называют знакопостоянным. В частном случае, когда минимальная деформация или усилие становится равным нулю ($l_{\min} = 0$, $a = l_{\min}/2$), знакопостоянный цикл называют пульсирующим. Поскольку для текстильных волокон и нитей вследствие их удлиненной формы и гибкости сжатие по продольной оси осуществимо только для очень коротких отрезков, при их испытании применяются только знакопостоянные циклы растяжения¹. Для сохранения на испыта-

¹ Исключение составляет покрытый резиной корд.

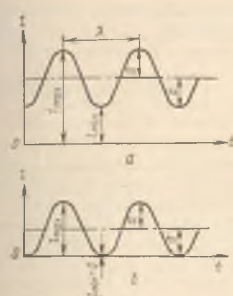


Рис. V.28. Различные типы циклов:
а — знакопеременный; б — пульсирующий

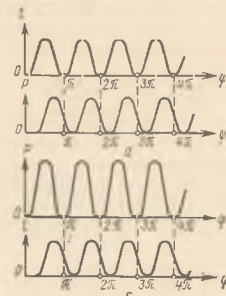
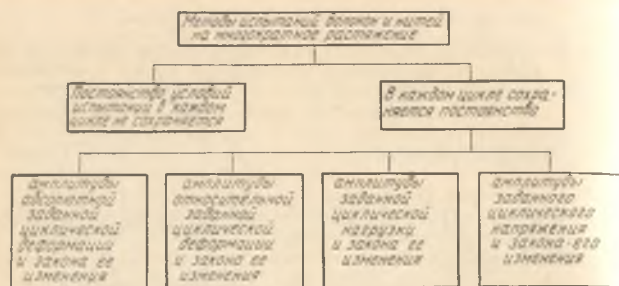


Рис. V.29. Взаимосвязь изменений деформаций l и усилий P для волокон и нитей при многократном растяжении:
а — задана деформация; б — задано усилие

тельных приборах описанных режимов, а также для облегчения записи диаграмм изменений деформаций (или усилий) дополнительно к задаваемым переменным циклическим деформациям (или усилиям) образцам почти всегда приходится задавать еще дополнительные постоянные деформации (или усилия); тогда циклические деформации (или усилия) соответственно смещаются. Однако, поскольку эти постоянные величины обычно малы, циклы близки к пульсирующим. Поэтому приборы для получения многоцикловых характеристик текстильных материалов при растяжении обычно называют пульсаторами. Наконец, следует отметить, что иногда используются и более сложные циклы — с отдыхом, с изменяющейся амплитудой, несинусоидальные и т. д.

В соответствии с особенностями режимов многократных испытаний текстильных материалов рядом исследователей (И. Х. Диллоном, Ф. Винклером, Г. Н. Кукиным совместно с М. П. Носовым) предложены классификации методов и приборов, применяемых для этой цели. Остановимся на классификации, охватывающей все распространенные способы (см. с. 188).

К первому классу в ней отнесены такие методы испытаний, при которых не сохраняется постоянство их условий. Если при испытании наибольшее расстояние между зажимами оставлять в каждом цикле одинаковым, то по мере увеличения длины образца (вследствие нарастания пластического компонента) амплитуда абсолютной деформации падает и, наконец, может



оказаться равной нулю. Тогда испытание практически прекращается. Подобные методы не обеспечивают сопоставимости результатов испытаний, являются устаревшими и, как правило, уже не используются.

Среди методов второго класса, часто применяемых в настоящее время, к первой группе относятся такие, при которых в каждом цикле сохраняется действие закона растяжения (чаще всего синусоидального) и постоянство амплитуды абсолютной деформации в каждом цикле. Обозначив максимальную абсолютную деформацию, задаваемую в каждом цикле, через $l_{a,ц}$, получим для первой группы методов амплитуду

$$a_l = (l_{a,ц} - l_{min})/2 = \text{const.} \quad (V.34)$$

Как уже отмечалось выше, при многократных испытаниях происходит рост остаточной деформации. При использовании методов первой группы расстояние между зажимами прибора (длина образца) увеличивается на величину остаточной деформации. Благодаря этому по мере нарастания последней относительная деформация пробы падает, что особенно заметно в начале испытания, когда проба быстро удлиняется; при этом усилие, естественно, повышается медленнее, а затем, когда нарастание остаточной деформации почти прекращается (во второй фазе), легче осуществляется релаксация усилия. Вследствие этого материал не подвергается излишним перенапряжениям, а вся масса образца остается в зоне испытаний.

Различие отдельных методов этой группы заключается в способах создания минимального (постоянного) удлинения l_{min} , в тщательности соблюдения соответствия зажимного расстояния увеличению длины образца и др.

Ко второй группе методов второго класса относятся такие, при осуществлении которых в каждом цикле сохраняется действие закона растяжения (в большинстве случаев также исполь-

зуется синусоидальный, но применяются и другие, в частности с отдыхом между циклами растяжений) и постоянство амплитуды относительной деформации. В этом случае амплитуда

$$a_t = (e_{a,ц} - e_{min})/2 = \text{const.} \quad (V.35)$$

Особенностью этих методов является поддержание неизменным заданного расстояния между зажимами к началу каждого цикла, вследствие чего избыточная длина образца, возникающая из-за остаточной деформации, по мере ее накопления выводится из зоны испытания (обычно с одной стороны). Такие методы обеспечивают и более интенсивное нарастание усилия в первой фазе испытания и меньшую его релаксацию — во второй; режим испытания становится более напряженным.

Недостатком подобных методов испытаний является то обстоятельство, что с выводом части образца из зоны растяжения уменьшается его масса. Вследствие этого искусственно уменьшается вероятность того, что место, в котором возникает и развивается дефект структуры, остается в зоне испытания. Как и в первой группе, во второй имеются различные методы поддержания e_{min} и других условий испытания.

К третьей группе методов относятся методы, обеспечивающие в каждом цикле сохранение действия закона, по которому в растягиваемой пробе изменяется усилие¹ и обычно соблюдается постоянство его амплитуды a .

$$a_p = (P_{a,ц} - P_{min})/2 = \text{const.}, \quad (V.36)$$

где $P_{a,ц}$, P_{min} — наибольшее и наименьшее заданные усилия.

В методах этой группы поддержание заданных усилий достигается соответствующим растяжением. Чтобы обеспечить соответствующее усилие, в первых же циклах пробу приходится сильно растягивать. Поэтому в начале испытания нередко происходят обрывы; чтобы их избежать, испытания проводят при более «мягких» режимах, т. е. при небольших нагрузках. Это значительно увеличивает длительность испытаний. Кроме того, приборы данной группы методов сложны конструктивно. Вследствие перечисленного методы третьей группы применяются реже.

Решая вопрос о выборе метода, отдают предпочтение тому, при котором воспроизводятся условия переработки и практического использования материала. Однако этот принципиально правильный путь не всегда применим при решении вопроса о методе усталостных испытаний. На практике редко нагрузки или деформации, сообщаемые текстильным материалам, сохра-

¹ В этой группе чаще всего также используется изменение по синусоидальной зависимости.

няются постоянными. Рассмотрим, например, условия работы корда в автопокрышке. При каждом повороте колеса автомашины с грузом постоянного веса по идеально гладкой дороге корд автопокрышки испытывает одинаковую нагрузку. Как только дорога становится неровной, корд начинает получать переменные нагрузки. Идеальных дорог не существует, поэтому корд никогда не получает постоянной нагрузки.

Нити ткани, из которой выполнена одежда человека, при ходьбе с одинаковым шагом испытывают постоянную деформацию, но как только меняется шаг, она становится переменной. Следовательно, нити ткани в одежде практически не получают деформаций, постоянных по величине.

Специальные исследования, проведенные в ЛИТМ Московского текстильного института им. А. Н. Косыгина, показали, что при использовании методов всех трех групп первая фаза испытания, когда резко изменяются структура и механические свойства испытываемых волокон или нитей, заканчивается быстро. В зависимости от выбранного режима достаточно нескольких десятков или сотен циклов растяжений, чтобы условия испытания стабилизировались и началась вторая фаза. Это показывают тензограммы, записанные с помощью датчиков сопротивления на пульсаторах разных типов. В случае применения методов первых двух групп через 250—300 первых циклов существенные нарастания максимального усилия прекращаются, а при испытании по методу третьей группы оно стабилизируется с первых циклов. Учитывая, что испытания проводятся с частотами порядка 3—10 Гц и более, т. е. с 180—600 циклами в минуту, нормальный режим (вторая фаза) устанавливается через 1—2 мин, тогда как все испытание в зависимости от выбранного режима длится десятки минут, а иногда и часы.

Таким образом, выбор метода только по сходству с условиями практического использования материала еще требует подкрепления другими соображениями: следует учитывать простоту конструкции прибора и точность его работы, использование при испытании всей массы пробы и другие факторы. При их учете преимущества оказываются на стороне первой группы методов.

ВИДЫ МНОГОЦИКЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК [14, 17]

Многоцикловые характеристики, с помощью которых оценивается влияние на волокна и нити многократного растяжения, следующие: выносливость, остаточная циклическая деформация, предел выносливости, сдвиг фаз между усилием и деформацией.

Выносливость n_p — число циклов растяжения, которое выдерживает материал до своего разрушения. Эта же характеристика, но выраженная временем t_p , в течение которого производились многократные растяжения, называется долговечностью.

Остаточная циклическая деформация (относительная) $\epsilon_{o.ц}$ — деформация, накопившаяся за некоторое число циклов и не исчезающая в процессе непрерывного приложения этих циклов. Данная деформация, как уже указывалось, состоит из пластической и эластической с периодом релаксации большим, чем время разгрузки в цикле, и потому она не успевает исчезнуть за короткое время разгрузки¹.

Остаточную циклическую деформацию определяют как к моменту разрыва, т. е. соответствующую выносливости, так и за какое-либо число циклов, например 1000 или 10 000. Накопление ее в первый период испытания зачастую уже достаточно характеризует материал, и нет необходимости всегда определять его выносливость.

Рассмотрим зависимость между заданной циклической деформацией и выносливостью (рис. V.30). При больших заданных циклических деформациях выносливость очень невелика; когда эта деформация становится близкой к разрывной, образец разрывается при первом же растяжении. По мере снижения сообщаемой деформации изменение выносливости может быть аппроксимировано по гиперболической зависимости.

Для нитей хорошей структуры (хлопчатобумажной пряжи, шелка-сырца, вискозной и синтетических комплексных нитей) кривая выносливости асимптотически приближается к некоторой прямой, параллельной оси ординат. Это означает, что если заданная деформация не превышает величины, на которую данная прямая отстоит от оси ординат, нити проявляют большую выносливость, выражаемую многими тысячами и даже миллионами циклов. М. С. Бородавский предложил называть наибольшую деформацию, до которой нить выдерживает, не разрушаясь, очень большое число циклов (сотню тысяч и более), пределом выносливости ϵ_B .

¹ Если образец не довести до разрыва и освободить от зажимов, то часть $\epsilon_{o.ц}$ в процессе отдыха исчезнет.

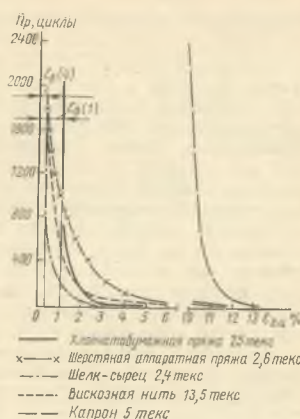


Рис. V.30. Зависимость выносливости от заданной максимальной циклической относительной деформации

Для нитей плохой структуры, например шерстяной аппаратной пряжи, как это видно из рис. V.30, установить предел выносливости не удается, так как соответствующие этим нитям кривые подходят к оси ординат не асимптотически, а наклонно и пересекают ее. Испытания целесообразно вести при заданной циклической деформации, немного превышающей предел выносливости. Кривые зависимости между заданной циклической деформацией и выносливостью при наличии предела выносливости представляют собой гиперболы, а при отсутствии этого предела приближаются к ним.

Энергия, сообщаемая нити при многократном растяжении, поглощается ею как в обратимой, так и в необратимой форме. Наличие упругой и быстрой частей эластической деформации, исчезающих за время цикла, обеспечивает первую форму поглощения. Благодаря наличию медленно исчезающей и пластической частей деформации часть энергии превращается в тепло.

Вся работа, сообщаемая нити до ее разрушения при многократном растяжении (циклическая работа разрыва),

$$R_n = \int_0^{n_p} \int_{l_{min}}^{l_{2,u}} P_{cl} dl dn, \quad (V. 37)$$

где P_{cl} — переменная циклическая нагрузка в полупериод нагружения; l — абсолютная деформация; n — число циклов.

Интегрирование сначала идет в пределах одного цикла, т. е. удвоенной амплитуды $2a_l$, а затем по всему числу циклов, отвечающему выносливости, т. е. n_p .

Некоторые сведения о практических показателях, соответствующих указанным характеристикам, приведены в табл. V. 10.

Следует подчеркнуть, что нити, которые превосходят другие по выносливости при малых заданных деформациях, при больших могут оказаться худшими (см. рис. V. 30 — хлопчатобумажная пряжа и вискозная нить).

В производственных процессах (например, на ткацких станках) нити нередко подвергаются растяжениям, при которых действующие на них силы могут быть аппроксимированы (приблизительно выражены) как изменяющиеся по синусоидальному закону. В этом случае

$$R_n = a_p \sin \omega t, \quad (V. 38)$$

где ω — круговая частота; t — время.

$$\omega = 2\pi/T,$$

где T — период колебания.

Сдвиг фаз (см. рис. V. 29) определяется углом φ между силой и деформацией.

Табл. V. 10. Многоцикловые характеристики, получаемые при растяжении волокон и нитей основных видов

Волокно или нить	Линейная плотность, текс	Предел выносливости,	Заданная относительная циклическая деформация,	Выносливость (число циклов до разрыва)
		% начальной длины образца		
Хлопковое волокно	0,2	0,5	0,6	$5 \cdot 10^3$
Хлопчатобумажная пряжа	25	0,6—0,8	0,8	$4 \cdot 10^3$
Хлопчатобумажный корд 9Т	435	1,6—1,8	1,8	$8 \cdot 10^4$
Льняная пряжа	70	0,5—0,7	0,8	$4 \cdot 10^3$
Шерстяная гребенная	8,5	—	3	$3 \cdot 10^3$
аппаратная	250	—	1	$1 \cdot 10^3$
Вискозная комплексная нить	13	0,6—0,8	0,8	$1 \cdot 10^3$
Вискозный корд 14НВ	435	2—2,2	2,2	$1 \cdot 10^4$
Капроновая комплексная нить	29	6,5—7	7	$2 \cdot 10^5$

Примечание. Данные получены при испытаниях с частотами 3—6 Гц в нормальных атмосферных условиях со статической нагрузкой 5—10% разрывной. Они показывают, что пряжа устает медленнее волокон, а круточная нить — медленнее пряжи. Из нитей различного волокнистого состава наиболее выносливой является капроновая.

Метод этот предложен А. П. Александровым и Ю. С. Лазурным. Он ценен тем, что определяет несовпадение по времени усилий и деформаций нитей и этим характеризует поведение изделий, которые будут выработаны из нитей, — их способность сохранять и восстанавливать свою форму (несминаемость).

Деформация при изменении силы изменяется по синусоидальному закону с той же частотой, но отстает на некоторую долю периода, характеризуемую углом сдвига фаз φ . Тогда

$$l_n = a_l \sin(\omega t - \varphi), \quad (V. 39)$$

где a_l — амплитуда деформации.

Работа, совершаемая за один цикл,

$$r_n = \int_0^T a_p da_l = \pi a_p a_l \sin \varphi, \quad (V. 40)$$

т. е. она пропорциональна произведению амплитуд силы и деформации и синуса угла сдвига фаз. Вся эта работа превращается в тепло и поэтому является механически потерянной, вследствие чего угол φ называют углом механических потерь. Таким образом, он представляет характеристику, описывающую механические свойства материалов с учетом релаксационных явлений.

Табл. V.11. Обрывность основных нитей в ткачестве и показатели их механических свойств (сопоставление)

Исследователь	Нить	Среднее (на 1 м) число обрывов основы	Средняя разрывная нагрузка, сН	Средняя выносливость (число циклов)	Коэффициент корреляции обрывности со средней	
					разрывной нагрузки	выносливостью
Ф. Х. Садыкова	Хлопчатобумажная кардная пряжа 18,4 текс	0,37	219	1384	-0,75	-0,9
Л. М. Бутузова	Вискозная гребенная пряжа 20 текс	0,11	246	5485	-0,36	-0,87
А. Ф. Давыдов	Хлопчатобумажная кардная пряжа 20 текс	0,1	236	1033	-0,48	-0,89

Примечание. Во всех случаях $\epsilon_{\text{вн}} = 1\%$.

Отметим, что $\sin \phi$ достигает максимума, когда скорости воздействия становятся сопоставимыми со скоростями релаксаций.

В заключение остановимся на вопросе о том, какие характеристики механических свойств нитей целесообразно применять для прогнозирования их обрывности при переработке в ткачестве.

В ряде исследований изучались зависимости между разрывной нагрузкой и обрывностью, выносливостью и обрывностью нитей наиболее распространенных видов (хлопчатобумажная и вискозная пряжа и вискозные комплексные нити) при переработке их в сопоставимых условиях на ткацком станке в качестве основы для ткани полотняного переплетения. Результаты исследований приведены в табл. V.11 [17].

Данные табл. V.11 показывают, что имеется высокая отрицательная зависимость между обрывностью пряжи при переработке на ткацком станке и ее выносливостью, тогда как корреляция обрывности с разрывной нагрузкой мала.

Н. Н. Миловидов отметил также наличие для нитей с сложной структурой (например, для шерстяной аппаратной пряжи) обратную корреляцию обрывности с остаточной циклической деформацией.

Все сказанное говорит о необходимости широкого внедрения многоцикловых испытаний в практику.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА МНОГОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [18]

Температура и влажность. На многоцикловые характеристики волокон и нитей температура и влажность оказывают такое же существенное влияние, как и на характеристики других классов. Однако влияние этих факторов, хорошо изученное для других полимерных материалов, для волокон и нитей исследовано недостаточно. Более других объектов исследован корд, который в покрышках нагревается до температуры 100° и более при значительном снижении его влажности. От стойкости корда зависит долговечность покрышек.

На рис. V.31 представлены результаты испытаний трех видов корда. Они наглядно иллюстрируют значительное падение выносливости при нагреве до температуры 80° С. Такой результат хорошо объясняется кинетической теорией прочности (см. с. 125). Падение выносливости в нагретом состоянии у вискозного корда меньше чем у хлопчатобумажного, что является одной из причин отказа от применения последнего для покрышек большинства видов.

Частота. Влияние частоты растяжения при многократных воздействиях на получающуюся остаточную циклическую деформацию эквивалентно влиянию понижения температуры. С ростом частоты эластическая и пластическая деформации успевают развиться в меньшей мере в связи с тем, что время нахождения в растянутом состоянии сокращается. Выносливость при большей частоте увеличивается, так как время развития дефектов уменьшается. В соответствии с высказанными положениями находятся результаты работы Г. Н. Кукина. Испытывалась хлопчатобумажная кардная пряжа 25 текс при начальной заданной относительной циклической деформации $1,2\%$ и статическом натяжении 50 сН. При частоте 1,8 Гц ее выносливость была 1270 циклов, при частоте 4,2 Гц она повысилась до 1712 циклов, а при 6,6 Гц — до 7073.

Параллельные эксперименты показали соответственно падение напряжения нити. Иногда имеет место обратный эффект

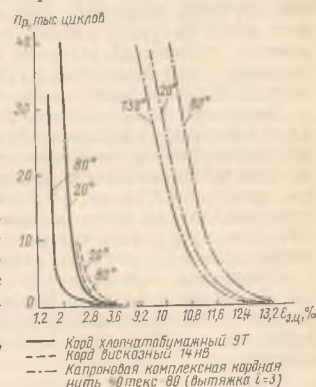


Рис. V.31. Изменение выносливости кордных нитей при нагреве (по Г. Н. Кукину)

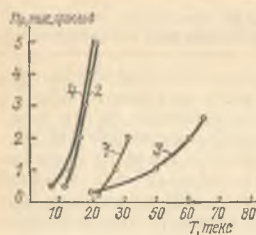


Рис. V. 32. Зависимость выносливости нитей от линейной плотности нитей:

1 и 2—хлопчатобумажная кардная пряжа; 3—шерстяная гребенная пряжа; 4—вискозная комплексная нить

мации 1,2 % и частоте 4,2 Гц показали, что при статическом натяжении 50 сН выносливость составляет 1712 циклов, при натяжении 60 сН—1443 цикла, при натяжении 70 сН—358 циклов (данные Г. Н. Кукина).

Повышение статической нагрузки приводит к распрямлению молекул, в результате чего уменьшается эластичность материала и ускоряется его разрушение. М. П. Носов при изучении синтетических нитей и ряд американских исследователей при изучении различных видов хлопчатобумажного и вискозного корда получили данные, показывающие еще более резкое влияние статической нагрузки. Они считают, что падение выносливости при изменении статической нагрузки происходит по экспоненциальной зависимости.

Зажимная длина образца. Влияние зажимной длины образца при испытании с постоянной заданной амплитудой абсолютной деформации изучалось многими исследователями. Они установили, что выносливость растет с увеличением зажимной длины, несмотря на то, что в проведенных опытах в первом цикле относительная заданная деформация принималась одинаковой. Это объясняется тем, что темп нарастания остаточной деформации различен у образцов разной длины.

Линейная плотность нити. Результаты исследований (З. А. Иваницкой, О. Я. Березиной и др.) влияния линейной плотности нитей различных видов на их выносливость показывают, что в общем виде характер зависимости приближается к следующей:

$$n_p = 10^6 AT^x, \quad (V. 41)$$

где A и x —константы, зависящие от вида материала, его структуры и режима испытания (рис. V. 32); T —линейная плотность нити, текс.

действия частоты, что можно объяснить сопутствующими явлениями—старением вследствие нагрева.

Статическая нагрузка. Необходимость выбора нарастающей остаточной циклической деформации, использования самописцев и другие причины нередко заставляют применять при многократном растяжении дополнительную постоянную статическую нагрузку на испытываемые волокна или нити. Эта нагрузка существенно влияет на результаты испытаний.

Эксперименты с хлопчатобумажной пряжей 25 текс при начальной заданной циклической деформации 1,2 % и частоте 4,2 Гц показали, что при статическом

Виды приборов. Выносливость волокон и нитей при многократном растяжении определяют на приборах, называемых пульсаторами.

Пульсаторы—приборы третьей группы (см. с. 188), их конструкции весьма разнообразны. По методам многократного растяжения, осуществляемого с помощью этих приборов, их можно разделить на три подгруппы¹.

К первой подгруппе следует отнести приборы, обеспечивающие в каждом цикле сохранение закона растяжения и постоянства амплитуды абсолютной деформации. Таким прибором, например, является пульсатор ПК-3 для нитей, выпускаемый Московским опытным заводом при ЦНИХБИ. Новая его модификация—ПН-10. В приборе ПК-3, получившем некоторое распространение в отечественных лабораториях и потому описываемом здесь, от электродвигателя 23 (рис. V. 33) через пару конических зубчатых колес 22 вращаются диски 21 и 19. Последний можно перемещать вдоль вала 15 муфтой 20, передвигаемой винтовым механизмом 16. Это позволяет изменять число оборотов вала 15 и тем самым частоту циклов растяжения (от 175 до 675 циклов в минуту). Установленная частота отмечается стрелкой 17 на шкале 18. На валу 15 находится двойной эксцентрик 14, эксцентриситет которого может изменяться, увеличивая или уменьшая амплитуду растяжения нити (от 0 до 25 мм). Эксцентрик 14 поднимает и опускает толкатель 7, на который давит пружина 5, прижимающая к толкателю 7 двуплечий рычаг 6, на одном конце которого помещен верхний зажим 3. Рычаг 6 поворачивается на оси 4. Нить закрепляется одним концом в верхнем зажиме 3, а другим—в нижнем зажиме 1, расположенном на рейке 12. Рейка и дополнительный груз 13 создают постоянное статическое натяжение нити.

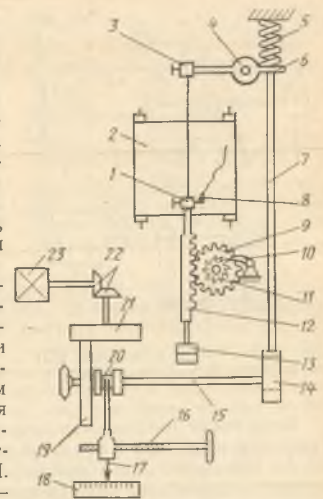
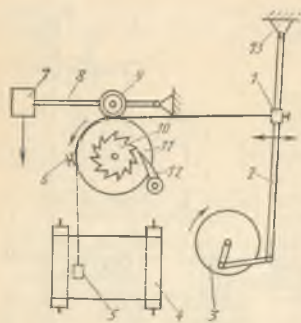


Рис. V. 33. Схема пульсатора ПК-3 конструкции Г. Н. Кукина

¹ Приборы, которые не обеспечивают постоянных условий испытаний, здесь не описываются как устаревшие.



Когда толкатель 7 опускается, а зажим 3 поднимается, нить не может подняться зажим 1. Рейка 12 взаимодействует с зубчатым колесом 9. На одной оси с этим колесом закреплен храповик 11, движению которого по часовой стрелке препятствуют собачки 10, упирающиеся в зубья храповика. При удлинении нити рейка 12 свободно опускается вниз, так как повороту зубчатого колеса 9 и храповика 11 против часовой стрелки собачки 10 не препятствуют. Это обеспечивает сохранение постоянной амплитуды абсолютной деформации в каждом цикле растяжения.

Остаточная циклическая деформация фиксируется на диаграммном приборе 2 с помощью пера 8, установленного на рейке 12. Бумажная лента диаграммного прибора движется с постоянной скоростью, т. е. пропорционально числу циклов при испытании. Прибор снабжен счетчиком числа циклов и остановом при обрыве нити.

На оси 4 размещено пять зажимов 3 и имеется пять соответствующих реечных механизмов. Это позволяет одновременно испытывать пять нитей. Запись остаточной циклической деформации для всех пяти нитей производится на одной диаграмме.

Ко второй подгруппе относятся приборы, обеспечивающие в каждом цикле сохранение закона растяжения и постоянства амплитуды относительной деформации. К приборам этой подгруппы относится пульсатор ПБГ конструкции М. С. Бородавского.

В этом приборе рычаг 2 (рис. V.34) качается на оси 13 (под действием шатуно-кровошипного механизма 3) и растягивает испытуемый отрезок нити. Один конец отрезка закрепляется в зажиме 1, помещенном на рычаге 2, а другой — в зажиме 6, расположенном на барабане 11. Растяжению подвергается отрезок нити от зажима 1 до ролика 9, которым нить прижимается к рифленому ободу барабана 11. Ролик 9 помещен на рычаге 8, нагруженном грузом 7. Заданную абсолютную величину деформации можно изменять, перемещая точку закрепления шарнира шатуна на диске механизма 3. При нарастании циклической остаточной деформации и увеличении вследствие этого длины нити по сравнению с зажимной барабан 11, поворачи-

ваясь под действием подвешенного к нему грузика 5, выводит избыточный участок нити из зоны испытания. На грузике 5 помещено перо, записывающее на медленно движущейся (с постоянной скоростью) бумажной ленте диаграммного прибора 4 кривую нарастания циклической остаточной деформации. Грузик 5 обеспечивает постоянное (статическое) натяжение нити.

Обратному движению нити при ходе рычага 2 против часовой стрелки препятствует храповик 10, насаженный на одну ось с барабаном 11. Собачки 12, упираясь в зубья храповика 10, не позволяют барабану поворачиваться по часовой стрелке. Прибор снабжен счетчиком числа циклов.

К третьей подгруппе относятся приборы, обеспечивающие в каждом цикле сохранение закона изменения усилия и постоянства его амплитуды.

* В Венгерском научно-исследовательском институте текстильной промышленности сконструирован прибор для многократного растяжения нити в указанных выше условиях нагружения при низкой частоте (6—60 циклов в минуту)¹. Прибор выпускает завод «Метримпекс» (Будапешт).

Прибор позволяет записывать кривую полной деформации за цикл нагрузка — разгрузка и таким образом фиксировать гистерезисные петли удлинения. Отрезок нити крепят в неподвижный нижний зажим 1 (рис. V.35) и в подвижный верхний 2, помещенный на конце наклонной плоскости 5, поворачивающейся вокруг оси 6. От блока 12 на валу электродвигателя 13 получает вращение с помощью гибкой связи блок 9, на оси которого жестко закреплена шестерня 10, сцепляющаяся с рейкой 8. При повороте по часовой стрелке шестерни 10 рейка перемещается и передвигает вправо по наклонной плоскости закрепленную на ее конце каретку 11. Каретка заставляет наклоняться плоскость 5, вследствие чего зажим 2 поднимается вверх и растягивает образец. Затем с помощью рутного переключателя электродвигателю сообщается вращение в обратную сторону. Шестерня 10 начинает вращаться против часовой стрелки и передвигает рейку, а с нею и каретку по наклонной плоскости влево, вследствие чего нагрузка уменьшается, а за-

¹ Сходные по принципу действия приборы были предложены бельгийской фирмой «М. Дефрен», французским исследователем А. Кошанским.

жим 2 опускается, разгружая нить. Расцеплению рейки 8 с шестерней 10 препятствует направляющая 7. Изменения деформации фиксируются на диаграмме 4 пером 3, соединенным с наклонной плоскостью.

2. СЖАТИЕ [7]

Текстильные волокна в массе и нити часто подвергаются деформации сжатия. Так, многие натуральные волокна (хлопковое, лубяные, шерсть) прессуют для уменьшения занимаемого ими объема, чтобы облегчить транспортировку и хранение; волокнистые материалы используют как набивочные материалы в строительном деле, в мебельном производстве, в соединениях трубопроводов и т. д. При переработке волокна сжимаются между различными валами, цилиндрами и другими органами машин. Они испытывают сжатие в сформированных из них нитях, а нити — в паковках, изделиях (например, в ткани нити двух взаимно переплетающихся систем — основы и утка — прижаты друг к другу) и т. д.¹

В последние десятилетия выявлено, что характеристики, получаемые при сжатии волокон, могут служить для выявления их структурных особенностей, а также коррелируют с обрывностью в прядении и других технологических процессах. В связи с этим исследованию сжатия волокон и нитей посвящен ряд работ, так Б. П. Комаров изучал сжатие льняного волокна, П. Д. Балясов — сжатие различных волокон, Э. А. Немченко — сжатие искусственных волокон, Ю. И. Розенбаум принимал участие в конструировании приборов для сжатия волокон. Получили известность работы зарубежных исследователей: У. Ф. Басси и его сотрудников (США), В. Бобета и Л. Фоллрата, Л. Рудольфа (ГДР), Г. Мутшлера (ФРГ), П. Хольцера (Канада) и др.

Для изучения сжатия волокон и нитей были предложены разные устройства и приборы. Чаще всего использовались разнообразнейшие емкости, например круговые цилиндры с плотно входившими в них поршнями, снабженные отверстиями для выхода воздуха; иногда делались специальные насадки к разрывным машинам, заменявшие у последних зажимы.

При исследованиях, проводившихся при малых давлениях, образцы, как правило, сжимались между двумя пластинами. Сжатие часто осуществлялось на прессах различных типов (на-

пример, применяемых для испытания или обработки металлов).

Из приборов, применяемых только для испытания текстильных материалов, рассмотрим два прибора, разработанные на кафедре текстильного материаловедения МТИ им. А. Н. Косыгина.

Прибор конструкции П. Д. Балясова и Ю. И. Розенбаума состоит из цилиндра 1 (рис. V.36) с площадью дна 30 см², поршня 2, груза 3, гибкой связи 4, рейки 5, шестерни 6, счетчиков 8, датчиков 7, редукторов 10, электродвигателей 11 и валов управления 9. В нем автоматизировано: приложение нагрузки к волокнам в массе, рыхловолокнистым материалам (например, нетканым); снятие нагрузки; измерение высоты образца до приложения нагрузки, непосредственно после ее снятия и после заданного отдыха (обычно 90 мин). Отметим, что коробки прямоугольного сечения, применявшиеся в других конструкциях, позволяют легче укладывать образцы, не сообщая им дополнительных деформаций. Однако принятый в описываемом приборе цилиндр имеет то преимущество, что его можно изготовить с большей точностью.

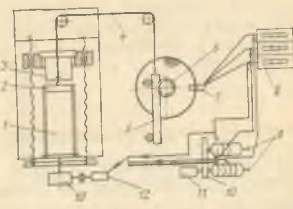


Рис. V.36. Схема прибора для определения деформаций при сжатии волокон в массе

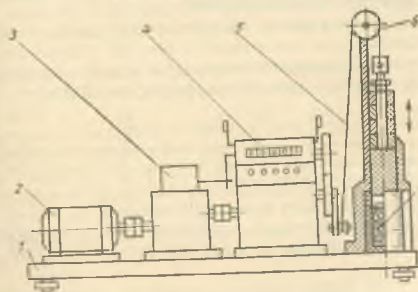


Рис. V.37. Схема прибора УМС для многократного сжатия:

1 — платформа; 2 — электродвигатель; 3 — редуктор; 4 — регистрирующее устройство; 5 — гибкая связь; 6 — измерительный блок; 7 — испытательный образец

¹ Отметим, что сжатие волокон и нитей в массе часто осуществляется одновременно с изгибом и сдвигом, так как перекрещивающиеся волокна и нити, лежащие рядом друг с другом, совместно испытывают все перечисленные виды деформаций, однако сжатие превалирует.

Для детального изучения компонентов деформации при сжатии и для многократного сжатия используют прибор УМС конструкции Г. Н. Кукина, Т. С. Богомолловой и Ю. И. Розенбаума (рис. V. 37) ¹.

ПОЛУЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖАТИЯ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

При сжатии волокон в массе для получения полудикловых и других характеристик на одном из описанных приборов содержащийся в образце воздух выходит или через неплотности между стенками и поршнем, или через специальную перфорацию, которая делается в стенках цилиндра для размещения образцов.

При исследованиях отмечают давления $\sigma_{сж}$, сообщаемые сжимаемым образцам волокон. Обычно считают, что давление равномерно передается на всю массу волокон образца. Фактически же волокна, расположенные по краям образца, испытывают несколько меньшее давление из-за зазоров между поршнем и стенками и невозможности уложить их у стенок так же плотно, как в середине. Об этом свидетельствуют картины разрушения сжимаемых образцов. Характерные линии разрыва слоя волокон обычно проходят в середине образца.

Деформация сжатия образца волокон в массе определяется по изменению его объема или высоты слоя материала.

Абсолютная деформация сжатия, см^3 или мм^3 ,

$$b = V_0 - V_k,$$

где V_0 — начальный объем образца перед сжатием; V_k — конечный объем образца при достижении заданного давления.

Если давление является разрушающим, то V_k — объем к началу разрушения.

Относительная деформация сжатия может определяться как по объемам, так и по высотам образцов, поскольку

$$\epsilon = \frac{V_0 - V_k}{V_0} = \frac{Sh_0 - Sh_k}{Sh_0} = \frac{h_0 - h_k}{h_0} = 1 - \frac{h_k}{h_0}, \quad (\text{V. 42})$$

где S — площадь поперечного сечения образца; h_0 — начальная высота образца до сжатия; h_k — конечная высота.

Величину ϵ часто выражают в процентах.

Другой характеристикой, определяющей деформацию сжатия, является увеличение средней плотности, δ , г/см^3 , по мере роста давлений.

На рис. V. 38 представлены типичные кривые зависимости деформации сжатия от малых давлений, полученные в ЛИТМ

¹ А. с. 807123 СССР, МКИ G 01 3/08. Устройство для испытания образцов высокоэластичных материалов на сжатие/Г. Н. Кукин, Т. С. Богомоллова, Ю. И. Розенбаум. № 2664513. Заявлено 22.09.78. Оpubл. Бюл. № 7, 1981.

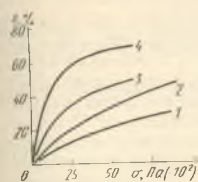


Рис. V. 38. Кривые зависимости деформации сжатия различных волокон от малых давлений (по П. Д. Баясову и В. Н. Бабичевой):

1 — шерсть 64K; 2 — хлопок 108-Ф; 3 — вискозное штапельное волокно 0,17 текс; 4 — капроновое штапельное волокно 1,1 текс

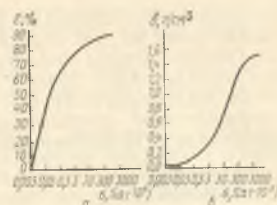


Рис. V. 39. Кривые зависимости деформации сжатия (а) и средней плотности (б) хлопкового волокна от давления (по П. Д. Баясову)

МТИ им. А. Н. Косыгина, а на рис. V. 39 представлены кривые изменений относительной деформации и средней плотности хлопкового волокна в широком диапазоне давлений (шкала давлений логарифмическая). Вначале при малых давлениях происходят значительные деформации сжатия образцов; в основном из образцов удаляется воздух и волокна располагаются более плотно (характерно, что извитые волокна шерсти и жесткие целлюлозные волокна в данном случае больше сопротивляются сжатию, чем капроновые). В это время наблюдаются значительные деформации изгиба. По мере увеличения давления деформация или средняя плотность нарастает медленнее, причем средняя плотность стремится к своему естественному пределу — к средней плотности.

При высоких давлениях и непараллельном расположении волокон возникает деформация сдвига, иногда приводящая к перерезанию одних волокон другими.

Ряд авторов предлагали математические выражения зависимости средней плотности от давлений. Например, П. В. Байдюк, В. П. Климанов, Б. П. Комаров использовали зависимость

$$\delta = A\sigma^a, \quad (\text{V. 43})$$

где A и a — постоянные (у П. В. Байдюка для хлопкового волокна соответственно 192 и 0,33, у Б. П. Комарова для чесаного льняного — 480 и 0,17).

Формула (V. 43) хорошо выражает зависимость в известных пределах, но, являясь чисто эмпирической, имеет тот существенный недостаток, что, если следовать ей, при неограниченном

росте давлений беспредельно увеличивается и средняя плотность. На самом же деле ее рост ограничен.

Зарубежные авторы предлагали формулы, в которые входил объем в той или иной степени; эти формулы имели тот же недостаток, что и формула (V.43).

Принципиально наиболее правильной является формула, предложенная В. И. Будниковым,

$$\delta = \frac{A}{1 + B/(C + \sigma)}, \quad (V.44)$$

где A , B и C — константы.

Из этой формулы следует, что при неограниченном росте напряжения δ стремится к A .

Объем воздуха, содержащегося в массе волокон, испытывающих разное давление, зависит от их природы. Так, американский исследователь И. Готтлиб и др. установили, что в массе стеклянных волокон, свободно лежащих при давлении 2000 Па, содержится более 40 см³ воздуха на 1 см³ вещества волокна, тогда как при давлении 20 000 Па — 17 см³; волокна хлопка, шелка, полиэфирные соответственно при тех же давлениях — 23 и 8 см³, а шерсть, вискозные и полиамидные — 12 и 5 см³. Таким образом, при повышении давления в 10 раз содержание воздуха в массе волокон падает примерно в 2,5—3 раза.

Рассматривая действие сжатия на волокна, необходимо отметить, что при больших давлениях на них появляются характерные вмятины, после чего возникают трещины, надрывы и расщепления; при этом, естественно, снижается прочность волокон на растяжение. При дальнейшем сжатии волокна разрушаются — дробятся на фибриллы и их части. При очень высоких давлениях они дробятся в порошок.

По данным У. Ф. Басси вмятины на тонковолокнистом хлопке возникают при давлениях 70·10⁵ Па (средняя плотность при этом составляет 0,65 г/см³)¹.

По данным Е. Н. Чернова, П. Д. Балясова и других, небольшие (на 5—10 %) снижения прочности на растяжение хлопкового волокна, подвергнувшегося сжатию, наступают после воздействия давлений порядка 200·10⁵ Па (средняя плотность при этом составляет 1 г/см³).

По данным Б. П. Комарова, падение прочности льняного трепаного и чесаного волокна, более жесткого, чем хлопковое, начинается с более низких давлений — (50 ... 75) 10⁵ Па.

Давления, разрушающие хлопковые волокна, как показал П. Д. Балясов, сильно зависят от характера взаимного расположения последних и длительности действия этих давлений. Легче

¹ При прессовании хлопкового волокна на заводах первичной обработки обычно достигают средней плотности 0,4—0,8 г/см³.

всего разрушаются перекрестно расположенные волокна. Например, при перекрестном расположении волокон разрушение происходит при давлении 600·10⁵ Па, при хаотическом — при 1000·10⁵ Па, параллельном — лишь при 3300·10⁵ Па. При длительности давления 2 ч разрушение наступает при давлении на 20—30 % ниже указанного.

Сопоставление этих данных с данными о растяжении (см. табл. V.1) показывает, что волокна при сжатии выдерживают меньшие напряжения, нежели при растяжении, так как при растяжении разрыв происходит поперек волокна, а значит, и поперек молекул, а при сжатии — вдоль оси волокна, т. е. вдоль молекул. В первом случае в основном разрушаются более прочные химические связи, во втором — более слабые межмолекулярные.

Полуцикловые характеристики, получаемые при сжатии одиночных волокон или нитей, изучались в немногих работах. Однако некоторые данные по этому вопросу имеются. В качестве основной характеристики обычно принимается относительная деформация сжатия:

$$\epsilon_{сж} = (d_0 - d_k)/d_0, \quad (V.45)$$

где d_0 , d_k — соответственно начальный и конечный размер поперечного сечения сжимаемых волокон или нитей в направлении действия сжимающей силы.

В работах по качеству иногда величину ϵ называют коэффициентом смятия.

Площадь поперечного сечения одиночного волокна или нити, на которые действует сжимающая сила, установить трудно вследствие изменчивости их форм и размеров. Поэтому обычно определяют общую сжимающую нагрузку, действующую одновременно на все сжимаемые волокна в образце. При сравнительных испытаниях различных волокон и нитей число и длину их отрезков (а по возможности и их поперечные размеры) подбирают одинаковыми.

На рис. V.40, а представлены полученные В. Бобетом и Л. Фоллратом кривые сжатия 4-миллиметровых отрезков различных волокон диаметром около 20 мкм, имеющих сечение, близкое к круглому. Площадь поперечного сечения измеряли с помощью микроскопа.

Для одиночных нитей интересные данные получены Г. Зоммером. Нити сжимались между пластинами, для чего были заложены в сделанный на краях этих пластин вырез квадратной формы, диагональ которого направлена по линии действия сжимающей нагрузки. Данные представлены на рис. V.40, б (начальный замер площади поперечного сечения был сделан при давлении 100 Па).

Сопоставление кривых на рис. V.40, а и V.40, б показывает, что для одинакового сжатия компактных одиночных волокон

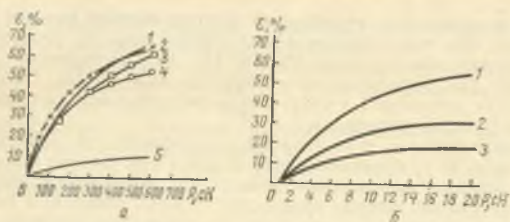


Рис. V.40. Кривые зависимости деформации ϵ поперечного сечения волокон и нитей от нагрузки P

требуется приложить усилия, во много раз превышающие усилия для сжатия рыхлой пряжи (например, для шерстяного волокна примерно в 8 раз больше, чем для шерстяной пряжи).

ОДНОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖАТИЯ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

Исследования сжатия волокон в массе при определении полного цикла нагрузка — разгрузка — отдых проводились несколькими исследователями. Наиболее полные данные по этому вопросу получены П. Д. Балясовым применительно к хлопковому волокну.

Кривые изменения средней плотности во времени под различными давлениями и после быстрой разгрузки при отдыхе представлены на рис. V.41. Они напоминают по своему характеру кривые изменения деформации растяжения, т. е. также имеют релаксационный характер.

Существенной особенностью кривых изменения деформации сжатия хлопкового волокна во времени является быстрый приход их к состоянию технического равновесия. Если при растяжении такое состояние достигалось за несколько часов, то при сжатии для него достаточно нескольких десятков минут.

Как и при растяжении, при сжатии целесообразно выявлять условные значения составных частей деформации (компонентов) волокон в массе:

быстрообратимая часть деформации (условное значение упругого компонента) $h_y = h_1 - h_2$;

медленнообратимая часть деформации (условное значение эластического компонента) $h_z = h_2 - h_3$;

остаточная часть деформации (условное значение пластического компонента) $h_n = h_3 - h_0$.

При этом высоты образца: h_0 — начальная, h_1 — в сжатом состоянии, h_2 — непосредственно после освобождения от давле-

ния, $h_3 = h_k$ — после отдыха. Компоненты относительной деформации ϵ_y , ϵ_z и ϵ_n определяются делением соответствующих высот на h_0 .

Деление деформации на компоненты показывает, что условные значения упругой деформации растут при повышении давлений от $0,2 \times 10^5$, а эластической — до $(2 \dots 10) 10^5$ Па (в зависимости от расположения волокон), после чего начинается интенсивное падение. Условные же значения пластических деформаций нарастают непрерывно (рис. V.42).

Работы В. Ф. Басси, П. Д. Балясова по изучению изменений объема и остаточной деформации после сжатия волокон в массе и последующего отдыха показали большое влияние подобных воздействий на шерсть. Так, после кратковременного сжатия (в течение 15 мин) при давлении $700 \cdot 10^5$ Па объем ее уменьшился на 70 %, а через сутки остался уменьшенным примерно на 50 %.

В тех же условиях объем полиамидных волокон уменьшается всего лишь на 10 %, а через сутки остается только 4 %. У большинства других синтетических волокон объем быстро уменьшается на 80 %, а за сутки почти не изменяется.

По данным П. Д. Балясова волокна, имевшие большую пластическую деформацию сжатия, дают и большую обрывность в прядении. Подобные результаты получены в хлопкопрядении и аппаратном прядении шерсти.

МНОГОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖАТИЯ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

Многоцикловые характеристики изучены мало. Исследователи обычно ограничивались 5—10-кратным сжатием образцов. Резкое сокращение объема при многократном сжатии по сравнению с однократным наблюдается при приложении малых давлений.

По данным итальянских исследователей, объем шерстяного и вискозного волокон после 8 циклов сжатия с последующей разгрузкой сокращается вдвое, а полиамидного и полиакрило-

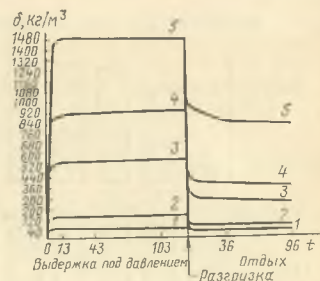


Рис. V.41. Кривые изменения (по П. Д. Балясову) средней плотности хлопкового волокна во времени под давлением, Па ($\cdot 10^5$), и при отдыхе от него:
1—0,03; 2—6; 3—300; 4—1500; 5—30 000

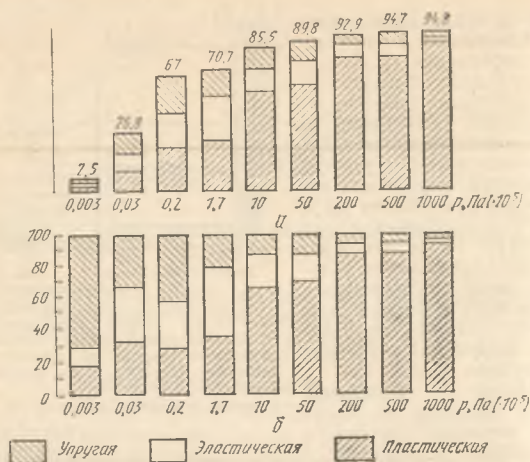


Рис. V.42. Составные части деформации сжатия хлопкового волокна (по П. Д. Балясову):

n — относительные деформации, % начальной высоты (объема); δ — доли составных частей деформации, % полной

нитрильного — на 40 % по сравнению с объемом после первого сжатия.

По данным американских исследователей Э. Шварца и К. Фокса, после 5—6 циклов сжатия гистерезисные кривые изменения объема практически накладываются друг на друга и достигнутый объем при последующих циклах существенно не изменяется.

При больших давлениях разница в объемах после первого и последующих циклов сжатия незначительна.

Представляет интерес многократное сжатие волокон, используемых в качестве набивочного материала, так как в этом случае волокна подвергаются подобной деформации. Американские исследователи Венберг и Петерсон предложили для этой цели прибор с наклонной плоскостью. На каретке прибора закреплен в лежачем положении цилиндр, а на наклонной плоскости — входящий в него поршень; при каждом наклоне плоскости поршень входит в цилиндр и сжимает помещенную в него пробу.

КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Как известно, коэффициентом Пуассона μ называется отношение относительной деформации поперечного сжатия к относительной деформации продольного растяжения:

$$\mu = \epsilon_{\text{сж}} / \epsilon_{\text{р}} \quad (\text{V. 46})$$

Подставив значения $\epsilon_{\text{сж}}$ из формулы (V. 45) и $\epsilon_{\text{р}}$ из формулы (V. 2), получим

$$\mu = (d_0 - d_{\text{к}}) L_0 / [d_0 (L_0 - L_{\text{к}})] \quad (\text{V. 47})$$

Для изотропных тел в теории упругости доказывается, что значения μ должны быть в пределах 0—0,5. Для металлов и стекол они находятся в пределах 0,25—0,4.

Если при растяжении объем тела увеличивается, то коэффициент Пуассона растет. Это типично для тел, обладающих упругой деформацией, у которых, как указывалось выше, объем при растяжении возрастает, или для сильно застеклованных полимерных тел, например из природной целлюлозы.

Так как текстильным волокнам свойственны наряду с упругими значительные эластические и пластические деформации, их коэффициент Пуассона с увеличением растяжения обычно не растет, а падает. Это наглядно показали Ф. Х. Садыкова и Л. М. Вакс, измерявшие под микроскопом поперечное сечение волокон, которым давались различные растяжения.

Как следует из положений теории упругости, коэффициенты Пуассона определяются для тел, обладающих упругими деформациями растяжения и сдвига. Поскольку деформации текстильных волокон нитей состоят из трех компонентов, значения коэффициентов Пуассона для них можно рассматривать лишь как условные. Наиболее правильным было бы определять коэффициенты Пуассона подобно модулям 1-го рода для незначительного растяжения, когда в общей деформации преобладает упругая составляющая. Однако для этих условий они мало устойчивы и дают большие коэффициенты вариации. Средние значения коэффициентов Пуассона для разных величин растяжений определяли многие исследователи: Ф. Х. Садыкова и Л. М. Вакс — для различных волокон; Ф. Фрэнк и А. Рауф, а также В. Бобет — для полиамидных волокон, Е. Бенки и С. Слен — для шерсти. Средние значения условных коэффициентов Пуассона для средневолокнистого хлопка сорта 100 Ф — 0,3, тонкой шерсти — 0,42—0,63, вискозного волокна — 0,56, полиамидных волокон (нейлон, капрон, перлон) — 0,39—0,48, полиэфирных волокон (лавсан) — 0,49.

На характеристики деформации сжатия, как и на характеристики при растяжении, существенно влияют окружающие условия — температура и влажность. В частности, волокна в мокром состоянии сжимаются сильнее.

3. КРУЧЕНИЕ [15, 16, 19]

Волокнам и нитям нередко приходится испытывать деформации кручения, в основном при формировании первичных и вторичных нитей. Этот вид деформации редко возникает в чистом виде, так как волокна и нити, не будучи монолитными и изотропными, при приложении крутящего момента располагаются по винтовым линиям, вследствие чего одновременно испытывают значительное растяжение, особенно в наружных слоях, где радиусы винтовых линий больше. Таким образом, испытание на кручение волокон и нитей представляет собой испытание на сложное сопротивление — на кручение и растяжение.

ПОЛУЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

Полуцикловые характеристики волокон и нитей иногда определяют с разрушением образцов.

За характеристику прочности нити к скручиванию принимают дополнительное число кручений на единицу длины K_d , которое необходимо сообщить ей, чтобы закрутить ее до обрыва в ту же сторону, в которую дана начальная крутка K_n .

По данным Я. А. Фрейдлина, для нитей 18 текс из различных волокон, имевших $K_n = 500 \dots 550$ кр./м, значения K_d , кр./м, оказались следующими: для хлопчатобумажной пряжи — 1824, вискозной штательной пряжи — 1691, простой вискозной нити — 1921 и упроченной вискозной нити — 1288.

Однако такая характеристика становится неудобной, если сопоставляются показатели прочности подвергающихся кручению нитей, имеющих различные линейные плотности и начальную крутку. В этом случае целесообразнее вычислять по заданной линейной плотности и разрывной крутке ($K_p = K_n + K_d$) разрывной коэффициент крутки α_p .

Наконец, некоторые исследователи (П. А. Кох и др.) определяют угол кручения β , при котором происходит разрушение волокон. Для большинства волокон (кроме наиболее прочных — льняного, стеклянного) он находится в пределах $45 \dots 60^\circ$.

Характеристикой, определяемой без доведения образцов до разрушения, является крутящий момент. Он зависит от материала волокна или нити, их поперечного сечения и числа кручений.

Согласно теории упругости крутящий момент для цилиндрических круглых тел, сН·см,

$$M_k = \phi G I_p / L, \quad (V. 48)$$

где ϕ — угол закручивания, рад; G — модуль сдвига, Па; I_p — полярный момент инерции, см⁴; L — длина образца, см.

Число кручений на 1 см связано с углом закручивания соотношением

$$\phi = 2\pi k L, \quad (V. 49)$$

где k — число кручений на 1 см; L — длина образца, см.

Полярный момент инерции, см⁴,

$$I_p \approx 0,1 d^4, \quad (V. 50)$$

где d — диаметр волокна или нити.

Принимая за диаметр волокна или нити их расчетный диаметр $d_{расч}$, мм, и подставляя значения ϕ и I_p в формулу (V. 48), получим

$$M_k = 2\pi K L G \cdot 0,1 d_{расч}^4 / L = 0,628 K G d_{расч}^4. \quad (V. 51)$$

Достаточно обоснованное использование формулы (V. 51) возможно при малых крутках, когда деформации сдвига в основном упруги и использование модуля сдвига целесообразно.

Поскольку при кручении, как и при растяжении, возникают упругие, эластические и пластические деформации сдвига (при достаточном развитии двух последних) формула (V. 51) становится весьма приближенной, так как крутящий момент перестает быть прямо пропорциональным модулю 2-го рода.

Г. Пернер (ГДР) экспериментально изучал зависимость между крутящим моментом, линейной плотностью и числом кручений различных текстильных нитей. Полученные им данные приводятся на рис. V. 43. Из этих данных видно, что значительными крутящими моментами обладают наиболее упругие и толстые нити.

Для изучения крутящего момента волокон и нитей предложен ряд приборов. Опишем один из них — прибор конструкции УзНИИШП (авторы Л. Е. Осипова и С. З. Пашинский). Один конец упругой стальной проволоки 1 (рис. V. 44) закреплен неподвижно, другой несет указательную стрелку 2 неподвижной шкалы 3, рамку 4 демфера 5 и крючок 6 для закрепления

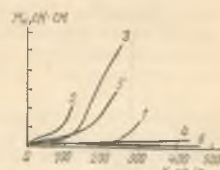


Рис. V. 43. Кривые зависимости между круткой и крутящим моментом различных нитей (по Г. Пернеру):

1 — хлопчатобумажная пряжа 36 текс; 2 — льняная пряжа 100 текс; 3 — шерстяная гребенная пряжа 110 текс; 4 — вискозная комплексная нить 22 текс; 5 — полиамидная комплексная нить 29 текс; 6 — перхлорвиниловая комплексная нить 22 текс

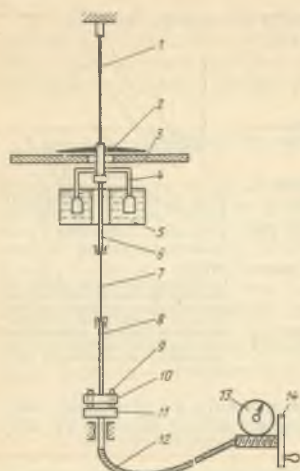


Рис. V.44. Прибор для определения крутящего момента

Приборы, сходные с описанным, были предложены американскими исследователями (И. Саксом и др.).

ОДНОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ [1, 6]

Среди вопросов о поведении волокон или нитей в циклах закручивания — раскручивания — отдаленнее всего изучен вопрос об их равновесности — величине раскручивающего момента, которым они обладают. Как уже указывалось, деформация сдвига аналогично рассмотренной выше деформации растяжения включает в себя три составные части — упругую, эластическую и пластическую. Поскольку две первые обратимы, закрученное волокно или нить стремится раскрутиться; при этом возникает раскручивающий момент.

В ряде случаев, например для выработки трикотажных изделий, стремятся получить равновесную нить, т. е. такую, у которой раскручивающий момент отсутствует вовсе или невелик. У такой нити при переработке не возникает сукрутин и она меньше обрывается. Для крученых нитей удается добиться рав-

новесности, давая направление второй крутке, обратное тому, которое нить получила при первой. Возникающие от двух круток два противоположно направленных раскручивающих момента взаимно уравниваются и вырабатывается равновесная нить.

Другим способом получения равновесных нитей является их влажно-термическая обработка. Под действием влаги и нагрева, достигаемым запариванием (чаще всего под давлением) или другими методами, обеспечивается ускоренное протекание в нити релаксации эластической деформации сдвига; молекулы приходят в равновесное состояние, крутящий момент резко уменьшается, и нить теряет способность раскручиваться.

Наоборот, в других случаях, например при выработке креповых нитей, добиваются того, чтобы они обладали значительным раскручивающим моментом. Благодаря раскручиванию креповой нити создается своеобразный волнистый эффект на поверхности выработанной из нее ткани.

Простейшим методом определения равновесности нити является следующий. От мотка отматывают отрезок длиной 1 м и складывают его пополам в виде петли. Если нить равновесна, петля не скручивается вовсе или дает не более 6 витков; в противном случае число витков получится большим.

А. Н. Соловьев предложил определять равновесность нитей с помощью круткомеров. Испытуемую нить заправляют в закреплённые зажимы круткомера под предварительным натяжением. Расстояние между зажимами устанавливают равным 250 мм. Счетчик круткомера предварительно ставят на нуль.

Далее нить берут левой рукой около удаленного от счетчика зажима и, освободив конец, складывают ее петлей так, чтобы крайние точки ее совпали и она в этом месте оказалась зажатой. При складывании петли на середину нити накладывают препарировавшую иглу.

После удаления иглы и освобождения второго конца нити из зажима, нить, сложенную петлей, перехватывают двумя пальцами правой руки так, чтобы петля имела длину ≈ 125 мм. Расположив петлю вертикально, дают ей полностью закрутиться и, взяв левой рукой, заправляют концами в зажим у счетчика. Продев в петлю препарировавшую иглу левой рукой, открывают зажим и начинают его вращать так, чтобы петля полностью раскрутилась.

Средняя неравновесность, кр./м, вычисляется с точностью до целых единиц умножением показаний счетчика на 8. Если при испытании одного образца неравновесность нити имеет разные направления, то при нахождении алгебраической суммы неравновесности с направлением Z считается положительной, а с направлением S — отрицательной. Средняя неравновесность в этом

случае находится делением алгебраической суммы на общее число испытаний.

Для сильно неуравновешенных нитей (более 100 кр./м) оценивать неравновесность данным методом не рекомендуется.

Иногда для определения неравновесности используют вертикальные круткомеры.

Для нахождения раскручивающего момента применяют также приборы, описанные выше (см. рис. V.44). В этом случае, определив крутящий момент после заданного числа кручений, наблюдают некоторое время за обратным движением стрелки прибора и определяют, насколько она раскрутится.

Так, для нити шелка-сырца 10 текс при крутке 500 кр./м раскручивающий момент составил, по данным Л. Е. Осиповой, $15 \cdot 10^{-5}$ Н·см, при крутке 2000 кр./м — $40 \cdot 10^{-5}$ Н·см, при крутке 3000 кр./м — $129 \cdot 10^{-5}$ Н·см, а для вискозной нити примерно той же линейной плотности при крутке 2000 кр./м он составил, по данным Р. Штейнбергера, $26 \cdot 10^{-5}$ Н·см.

Из этих данных следует, что шелк-сырец, обладающий большей обратимой деформацией, при одинаковом закручивании дает и больший раскручивающий момент.

Для того чтобы определить, как при деформации кручения (например, в процессах переработки) нить сопротивляется изменению своей формы, изучают ее жесткость при кручении. Жесткость при кручении C , Н·м/рад, является физической характеристикой, представляющей собой коэффициент пропорциональности между крутящим моментом и относительным углом закручивания, равный, если форму нити считать цилиндром, произведению модуля сдвига G (модуля упругости второго рода) на полярный момент инерции I_p .

$$C = GI_p. \quad (V.52)$$

Подставив значение I_p из формулы (V.50) в формулу (V.52), получим

$$C = 1,63T^2 \cdot 10^{-11} G/\sigma^2. \quad (V.53)$$

Как показали Г. Л. Слонимский и Л. Е. Осипова, для нити, имеющей в сечении n не взаимодействующих между собой элементарных нитей (т. е. когда между ними отсутствует трение или склеивание) с жесткостью каждой C_0 , жесткость

$$C_{\min} = nC_0. \quad (V.54)$$

Для монолитно связанных элементарных нитей

$$C_{\max} = n^2 C_0. \quad (V.55)$$

Для реальных нитей, составленных из взаимодействующих между собой элементарных нитей (или волокон), характерны

промежуточные случаи, при которых справедливо равенство

$$C = \alpha n C_0 + (1 - \alpha) n^2 C_0, \quad (V.56)$$

или приближенно

$$C \approx n^{\beta} C_0. \quad (V.57)$$

Например, для нитей шелка-сырца $\beta = 1,5$. Это следует иметь в виду при определении модуля сдвига G : для нитей его значения ниже, чем для волокон или элементарных нитей.

Так как жесткость элементарных нитей падает пропорционально квадрату их линейной плотности, а жесткость комплексной нити, составленной из элементарных, растет пропорционально числу последних в степени β , где $\beta < 1,5$, то искусственные комплексные нити, составленные из большего числа элементарных, имеют меньшую жесткость, чем нити той же линейной плотности, но составленные из меньшего числа элементарных.

Поскольку в выражение жесткости входит модуль сдвига, следует еще раз указать, при каких условиях целесообразно пользоваться этой характеристикой. Как и модуль продольной упругости, модуль сдвига можно применять для текстильных волокон и нитей в том случае, если к ним на короткое время прилагаются малые внешние растягивающие силы. Аналогично этому модулю сдвига и, следовательно, понятием жесткости при кручении текстильных нитей можно пользоваться тогда, когда на короткое время, исчисляемое долями или максимум единицами секунд, даются малые относительные углы закручивания (для нитей наиболее распространенных линейных плотностей обычно не более 2 кр./см).

Если сообщить нити большие углы закручивания, то она наряду с упругой и быстро обратимой частью эластической деформации сдвига получит медленно обратимые эластические и необратимые пластические деформации; тогда применение понятия «модуль сдвига» и, следовательно, вычисление жесткости при кручении теряют смысл.

Для определения жесткости на кручение чаще всего применяется крутильный маятник. Для нитей метод испытания и соответствующий прибор — крутильный маятник — разработаны И. С. Павловым.

Нить 1 (рис. V.45), сложенную в виде петли, закрепляют в зажиме 2 и перекидывают через крючок 4, расположенный на перекладине П-образной стойки 5. На петлю с помощью крючка подвешивают легкий круглый диск 3, который и представляет собой крутильный маятник. Он начинает раскручиваться в противоположную сторону под действием обратимых

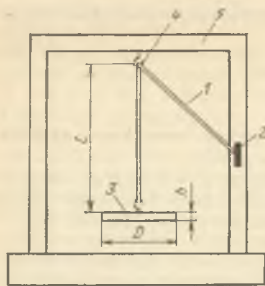


Рис. V. 45. Крутильный маятник для нитей конструкции И. С. Павлова

ускорении силы тяжести g , длине подвеса l , диаметре диска D , его толщине h и плотности его материала γ :

$$C = GI_p = 0,4\pi^2 l D^4 h \gamma / (t^2 g), \quad (V. 58)$$

где t — время испытания, с.

Так как в процессе испытания на определенном приборе все величины, кроме t , остаются постоянными, формулу можно написать в таком виде

$$C = GI_p = K/t^2. \quad (V. 59)$$

Для прибора И. С. Павлова при $D = 6,3$ см, $G = 24,3$ г и $l = 15$ см величина K для нитей примерно равна 72. Часто жесткость C выражают в условных единицах, принимая за единицу жесткости жесткость нити с периодом колебания 100 с. Тогда $C = 10\,000/t^2$. (V. 60)

Данные о жесткости волокон некоторых видов (по П. А. Рогову) сведены в табл. V. 12.

Т а б л. V. 12. Жесткость при кручении для различных волокон и элементарной нити

Волокно, нить	Диаметр, мкм	Жесткость при кручении, г·см ² (·10 ⁻⁸)
Хлопковое	18,1	426—578
Шерстяное	35	47
Вискозное штапельное	6,4	1872
Капроновая элементарная нить	35	6900

деформаций нити, затем повторно закручивается и раскручивается. Кручения постепенно затухают. Длительность второго периода раскручивания замеряют по секундомеру. При испытании волокон дисковый маятник подвешивается не на петлю, а на распрямленное одиночное волокно и закрепляется.

Принимая поперечное сечение нити за круг, для которого полярный момент инерции I_p , как известно, приближенно равен $0,1d^4$, и пользуясь обычными формулами теории колебаний, можно получить выражение жесткости через период колебания при

Т а б л. V. 13. Жесткость при кручении для различных нитей

Нить	Линейная плотность, текс	Жесткость при кручении	
		г·см ² (·10 ⁻²)	условные единицы
Хлопчатобумажная кардная пряжа	25	2,27	3,15
Льняная пряжа сухого прядения	72	12,4	17,22
Шерстяная гребенная пряжа	42	6,42	8,25
Шелк-сырец	2,5	0,05	0,75
Вискозная комплексная нить	9	0,07	0,99

Данные о жесткости нитей (по П. А. Рогову) сведены в табл. V. 13.

Жесткость волокон и нитей при кручении существенно зависит от их влажности, она резко снижается с увеличением влажности.

Определив жесткость при кручении по формуле (V. 58) и вычислив по расчетному диаметру нити по формуле (V. 50) полярный момент инерции, можно по формуле (V. 52) вычислить модуль второго рода G .

Ниже приведены модули второго рода, г·см² (·10⁻⁸), для различных волокон (по данным Р. Мередиса):

Хлопковое	251	Ацетатное	82
Льняное	132	Полиамидное	51
Шерстяное	111	Полиэфирное	90
Шелк-сырец	225	Полиакрилонитрильное	118
Вискозное	110	Стеклоанное	4100

Так как волокна и нити являются телами анизотропными и обладающими деформациями, состоящими из трех компонентов, определяемые для этих тел модули 1-го и 2-го рода и коэффициенты Пуассона условны, то простое соотношение между модулем сдвига и модулем упругости для них отсутствует, т. е. $G \neq E/2(1+\mu)$. Значения G должны находиться самостоятельно, а не вычислением по известным E и μ . Отношения $E:G$ изменяются значительно (от 2 для стеклянного волокна до 28 для упрочненного вискозного).

Многочисленное закручивание — раскручивание волокон и нитей изучено мало, как и деформация их сдвига в чистом виде, поэтому они здесь подробно не рассматриваются.

4. ИЗГИБ [12, 20]

Волокна и нити постоянно претерпевают деформации изгиба. Их сравнительно малое сопротивление этому виду деформации приводит к тому, что изгибаются они очень легко. Гибкость, как

характерная особенность волокон и нитей, отмечается даже в их определениях. Вследствие гибкости они обычно располагаются не прямолинейно, а изогнуто. В ряде случаев (например, в процессах прядения, при изучении геометрических свойств волокон и нитей и др.) их приходится специально распрямлять. В то же время различные волокна и нити при приложении изгибающих сил деформируются весьма по-разному.

ПОЛУЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

На практике изгиб волокон и нитей с доведением их до разрушения представляет собой весьма редкое явление. Рассмотрим волокно (или нить) AB (рис. V.46), изогнутое вокруг цилиндра с радиусом ρ_c . Длина осевой линии волокна, лежащей на радиусе ρ_0 , не изменяется; части волокна, лежащие к центру на расстояниях, меньших ρ_0 , сжаты, а на расстояниях, больших ρ_0 (вплоть до наружного радиуса волокна ρ_p), растянуты.

Проведем две радиальные линии — OM и ON ; угол, заключенный между ними, обозначим через φ . Точки пересечения радиальных линий с окружностями радиусов ρ_c , ρ_0 и ρ_p обозначим соответственно a и b , c и d , e и f . Соединим их отрезками прямыми, длины которых соответственно радиусам окружностей обозначим x_c , x_0 и x_p . Если угол φ мал, то эти отрезки можно с небольшой погрешностью считать равными соответствующим дугам между OM и ON .

Наиболее напряженными частями волокна будут его наружные растянутые части, лежащие на расстоянии радиуса ρ_p от центра изгиба, и его внутренние (сжатые), лежащие на расстоянии радиуса ρ_c . Поскольку разрушение начинается с образования трещин при удалении наружных частиц тела друг от друга, наиболее опасно напряженной является именно растянутая наружная часть.

Изгиб приведет к началу разрушения волокна тогда, когда деформация его наиболее напряженных наружных частей достигнет разрывной ϵ_p .

Таким образом, опасным будет соотношение

$$(x_p - x_0)/x_0 \geq \epsilon_p, \quad (V.61)$$

или

$$x_p/x_0 \geq 1 + \epsilon_p.$$

Исходя из подобия треугольников Oab , Ocd и Oef , можно произвести следующую замену в формуле (V.61):

$$\rho_p/\rho_0 \geq 1 + \epsilon_p. \quad (V.62)$$

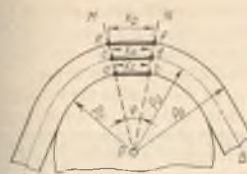


Рис. V.46. Схема изгиба волокна или нити вокруг цилиндра

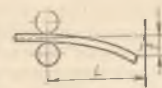


Рис. V.47. Схема изгиба волокна или нити, зажатых одним концом

Обозначив диаметр поперечного сечения волокна через d и заметив, что $\rho_p = \rho_c + d$, а $\rho_0 = \rho_c + d/2$, подставим эти значения в формулу (V.62):

$$(\rho_c + d)/(\rho_c + d/2) \geq 1 + \epsilon_p.$$

Решая это неравенство относительно ρ_c , получим

$$\rho_c \leq d/2(1/\epsilon_p - 1). \quad (V.63)$$

Данная формула определяет соотношение диаметра поперечного сечения волокна (или нити) и радиуса цилиндра, изгиб по которому может привести к разрушению тела. Если учесть размеры и разрывное удлинение, например, хлопкового волокна, разрушение его произойдет при изгибе по радиусу в 80—90 мкм.

Соответственно для хлопчатобумажной пряжи 25 текс опасным будет радиус, равный примерно 1 мм. Однако в нитях не все составляющие их волокна или элементарные нити оказываются хорошо зажатыми силами трения; при больших напряжениях менее зажатые волокна имеют некоторую, хотя бы и минимальную свободу продольного перемещения. В силу этого опасный радиус делается еще меньше.

Волокна и нити практически почти никогда не изгибаются по столь малым радиусам, и потому разрушение их от однократного изгиба почти не происходит. Поэтому полуцикловые разрывные характеристики при изгибе обычно не изучаются.

Из полуцикловых характеристик, получаемых без доведения волокон или нитей до разрушения, следует отметить гибкость (деформацию изгиба конца консольного образца), выражаемую стрелой прогиба. Для определения последней берут образец постоянной длины L в виде одиночного волокна или пучка волокон, отрезка нити или петли из нее. Образец зажимают одним концом в горизонтальном зажиме или между выпускными валиками. По отклонению незажатого конца консоли под действием ее веса или дополнительной нагрузки определяют стрелу прогиба f (рис. V.47). Для отсчета применяют различные

устройства (так называемые гибкомеры с опускающимися пластинками, легкие стрелки, опирающиеся о конец консоли, и др.).

Иногда определяют усилие, которое необходимо приложить к концу консоли, для стрелы прогиба заданной величины.

Эти методы оценки гибкости многие исследователи предлагали в различных вариантах. Так, для образца в виде петли, зажатой в вертикальном зажиме, определяли прогиб под действием подвешенной к ней сосредоточенной нагрузки; суммарный прогиб отрезка нити — между рядом чередующихся подвижных и неподвижных пластин и др.

Описанные методы характеризуют поведение нити при петлеобразовании в трикотажном производстве.

ОДНОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

Из одноцикловых характеристик, определяемых при приложении полного цикла изгибающая нагрузка — разгрузка — отдых, отметим угол сминаемости нитей (а иногда и волокон) при изгибе.

Под сминаемостью понимают способность нити сохранять деформированное состояние, т. е. расположение участков, соседних с местом изгиба, под некоторым углом. Сминаемость является следствием возникновения в нити остаточной деформации, состоящей из замедленно исчезающей эластической и пластической частей.

Для определения сминаемости нитей отрезки их длиной 50 м наматывают правильными витками на гладкую картонную пластинку, сохраняя при этом постоянное натяжение 0,5 Н (для нитей средних линейных плотностей). Пластинки с намотанными нитями закладывают между стеклами и на несколько часов нагружают. После этого нагрузку снимают, а нити по одному краю пластинки разрезают и оставляют на несколько часов для отдыха. Затем пинцетом осторожно снимают их с картона и с помощью транспортира определяют углы между их участками, соседними с местом изгиба.

В табл. V.14 приведены сведения о сминаемости нитей различных видов по данным Н. А. Гозенлуда (время нагрузки 6 ч, отдыха 24 ч, нагрузка 5 даН). Шерстяная пряжа, обладающая наибольшими упругими и эластическими составляющими полной деформации, наименее сминаема: она дает наибольший угол и, наоборот, вискозная комплексная нить, состоящая из небольшого числа элементарных нитей, сильно сминаема.

Для того чтобы знать, как при деформации изгиба нить сопротивляется изменению своей формы, изучают ее жесткость при изгибе, которая является физической характеристикой и представляет собой коэффициент пропорциональности между изгибающим моментом и кривизной оси нити.

Табл. V.14. Углы, образуемые различными нитями после снятия при изгибе и отдыха

Нить	Линейная плотность, текс	Число элементарных нитей	Углы смятия, град		
			средний	минимальный	максимальный
Хлопчатобумажная гребенная пряжа	14	—	53	47	59
Шерстяная пряжа	14 × 2	—	118	112	124
Вискозная нить	16,5	90	62	53	71
»	16,5	40	40	32	58
Ацетатная нить	16,5	60	67	64	70

Жесткость при изгибе, Н·м/рад, выражается произведением модуля продольной упругости E на момент инерции I сечения нити относительно нейтральной оси:

$$B = EI. \quad (V.64)$$

Характеристика эта важна для технолога, так как при изготовлении различных изделий, в особенности трикотажных, нити сильно изгибаются. Жесткие, неподатливые нити сопротивляются изгибу, плохо перерабатываются, легче рвутся.

Если сечение нити условно считать кругом, то момент инерции, см⁴,

$$I \approx 0,05d^4.$$

Тогда жесткость

$$B = 0,05Ed^4. \quad (V.65)$$

Используя d и подставляя его значение в формулу (V.65), получим с учетом размерности величин, входящих в эту формулу:

$$B = 8,15 \cdot 10^{-12} Et^2/\sigma^2. \quad (V.66)$$

Использование формулы (V.66) целесообразно в тех же пределах, в которых выше рекомендовалось применение модуля упругости, т. е. для малых деформаций, осуществляемых за короткое время, так как иначе развиваются значительные замедленные эластические и пластические деформации и расчет по данной формуле дает грубо приближенные результаты.

Модуль E для вычислений по формуле (V.66) целесообразно определять при деформации изгиба, так как его значения вследствие неоднородности строения волокон и нитей расходятся с получаемыми при растяжении (по данным В. Мортон и других, модуль при изгибе для большинства волокон ниже, чем при растяжении, на 20—40 %).

П. Карлен предложил определять модуль E при изгибе отрезка нити или волокна по схеме балки, лежащей на двух опорах, при малых прогибах и нагрузке в середине отрезка и вычислять модуль по известной формуле сопротивления материалов:

$$E_{изг} = PL^3/(48If), \quad (V.67)$$

где P — нагрузка; L — длина отрезка волокна; I — момент инерции относительно нейтральной оси; f — стрела прогиба.

На жесткость волокон и нитей очень большое влияние оказывает их форма. Выше они условно рассматривались как круглые цилиндры. Если же формы их поперечных сечений отличаются от круга, то соответственно изменяется момент инерции. Так, Де Витт Смисом показано, что для одного и того же ацетатного волокна 0,6 текс при круглом сечении момент инерции равен $1,42 \cdot 10^{-8} \text{ мм}^4$, при эллиптическом — $1,17 \cdot 10^{-8} \text{ мм}^4$, а при сплюсненном — только $0,21 \cdot 10^{-8} \text{ мм}^4$, т. е. в последнем случае в 6,8 раза меньше, нежели в первом. Соответственно уменьшается и жесткость на изгиб.

МНОГОЦИКЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ

Эти деформации при изгибе представляют существенный интерес, так как практически волокна и нити их часто испытывают (например, в одежде), вследствие чего возникает утомление.

Многократный изгиб дает более интенсивное расшатывание структуры и притом обычно на малом конкретном участке образца, где он осуществляется. Этим он отличается от многократного растяжения, при котором это расшатывание идет более медленно и концентрируется в тех местах по длине образца, где имеются дефекты структуры. Кроме того, как будет показано ниже, многократный изгиб чаще всего осуществляется при знакопеременном (вибрирующем) деформировании, вследствие чего усталостные явления при нем развиваются быстрее, чем при многократном растяжении.

Таким образом, нельзя рассматривать эти два испытания как аналогичные и взаимозаменяемые. Многократный изгиб хорошо выявляет ослабление меж- и внутриволоконных связей. Например, при небольших химических повреждениях волокон прочность их может изменяться мало или совсем не изменяться, выносливость же к многократным изгибам всегда падает довольно значительно.

Испытания на многократный изгиб обычно проводят по одному из следующих трех методов:

- 1) с односторонним изгибом петлей без растяжения;

- 2) с изгибом в две стороны с одновременным растяжением;
- 3) с изгибом в две стороны с одновременным растяжением и истиранием.

Испытание по первому методу было детально разработано И. П. Индюнасом (Каунасский политехнический институт им. А. Снечкуса). Образец 1 (см. рис. V.48, а) зажимают в неподвижном зажиме 2 и подвижном 3. Последний совершает горизонтальные возвратно-поступательные движения: то приближаясь к зажиму 2 (положение 3'), то удаляясь от него. При этом образец получает петлеобразный односторонний изгиб (ничтожно малым двусторонним изгибом у зажимов можно пренебречь). Испытания осуществляются на приборе с шатунно-кривошипным приводом к зажиму 2 (прибор Вива, позволяющий вести испытания с частотами 10—50 Гц).

И. П. Индюнас установил, что минимальные числа изгибов волокон тонкой шерсти до разрыва при испытании по описанному методу составляют примерно 100 млн раз. Поэтому такие испытания даже в случае применения больших частот (порядка 50 Гц) требуют значительного времени. Однако они хорошо коррелируют с процессом утомления волокон в изделиях (например, волокна ворса суконных тканей).

Испытания по второму методу, который обычно называют методом «двойных изгибов», осуществляются по схеме, представленной на рис. V.48, б. Образец получает вибрирующий (знакопеременный) изгиб и одновременно растяжение.

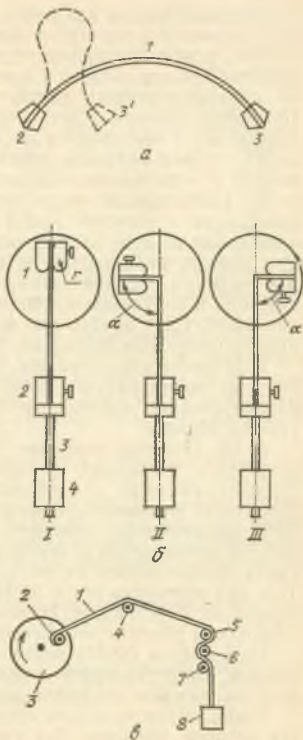


Рис. V.48. Методы испытания волокон и нитей на многократный изгиб:

а — односторонний изгиб петлей без растяжения; б — двусторонний изгиб при одновременном растяжении; в — двусторонний изгиб при одновременном растяжении и истирании

Образец волокон или нитей (одиночных или в виде их прядки) зажимают в верхний зажим 1 и в нижний 2. С последним связана рамка 3, несущая груз 4, создающий необходимое натяжение волокна. Зажим 2 с рамкой во время испытания висит на образце, создавая растягивающую статическую нагрузку. При пуске прибора верхний зажим 1 начинает поворачиваться поочередно в обе стороны на желаемый угол α (обычно от 10 до 90°) и таким образом переходит из положения II в положение III (I — начальное положение). Прибор имеет счетчик оборотов, указывающий число двойных изгибов. Образцы обычно изгибаются с частотой 1—2 Гц по профилю губок зажима 1, очерченных по дуге тем или иным радиусом r .

Приборы, работающие по описанному принципу, выпускаемые разными предприятиями, отличаются лишь деталями конструкции и назначением (например, прибор DP5/3 для испытания нитей, ГДР; прибор для испытания прядок волокон, СССР; прибор Синус для испытания одиночных волокон, ВНР).

В качестве характеристик, обычно получаемых при испытаниях на многократный изгиб, отметим выносливость — число циклов двойных изгибов, требующихся для разрушения испытуемого образца.

А. Д. Платова подробно изучила факторы, влияющие на результаты испытания на многократный изгиб. Исследования хлопчатобумажной и вискозной нитей показали, что уже при увеличении натяжения образца с 20 % (разрывная нагрузка) до 30 % долговечность снижается вдвое. Нагрузку более 30 % давать не рекомендуется, так как она искажает результаты испытания. Сильно влияет на результаты испытаний и угол изгиба α . Так, при изменении его с 29 на 15° выносливость тех же нитей падала на 30 % и более. Наконец, особенно резко влияет на эти результаты радиус r изгибающего органа.

Из формулы (V. 63) видна зависимость между радиусом цилиндра, вокруг которого совершается изгиб, диаметром образца и получаемым относительным удлинением.

Таким образом, нельзя сопоставлять результаты выносливости волокон или нитей без учета размеров их поперечного сечения и радиуса, по которому они изгибаются. Поэтому в приборах новейших конструкций зажимы делают съемными с набором губок, закругленных по разным радиусам. Образцы же волокон и нитей испытывают обычно одной суммарной линейной плотности, подбирая различное число их в прядке. А. Г. Архангельский предложил испытывать волокна пучком линейной плотности 1200 текс. При этом уменьшается влияние неровноты по поперечному сечению и тем снижается неровнота по выносливости на изгиб, искажающая правильную оценку изгибоустойчивости. Испытания заканчивают при обрыве 20 % волокон или нитей, так как иначе резко повышается нагрузка на оставшиеся.

Табл. V. 15. Выносливость различных нитей при многократных двойных изгибах (по данным А. Д. Платовой и др.)

Нить	Линейная плотность нити, текс	Выносливость (число циклов двойных изгибов)
Хлопчатобумажная кардная пряжа	25	3 793
Льняная пряжа сухого прядения	68	336
Шерстяная гребенная пряжа	42	20 610
Вискозная комплексная нить	13	1 183
Штапельная вискозная пряжа	25	1 273
Капроновая комплексная нить	5	Более 50 000

Примечание. При испытании соблюдались следующие условия: величина растягивающей нагрузки — 30 % разрывной; число нитей в прядке выбрано таким, что суммарная линейная плотность нити составляла примерно 16 текс; угол изгиба $\pm 15^\circ$; радиус изгиба 0,5 мм.

При испытании по третьему методу, примененному А. Шпрингером для нитей, образец — нить 1 (см. рис. V. 48, а) закрепляют одним концом в зажиме 2, свободно посаженном на вращающемся диске 3. Через направляющий ролик 4 нить 1 заправляют на ролики 5, 6 и 7; на втором ее конце подвешивают груз 8, дающий статическое растяжение.

При вращении диска нить изгибается и трется о ролики 5, 6 и 7. Испытание продолжается до обрыва нити. При испытании по третьему методу, как и во всех случаях, когда осуществляется сложное сопротивление, остается неясным, какой из факторов (натяжение, изгиб или истирание) повлиял на выносливость нити (табл. V. 15). Вследствие этого описанный метод не получил широкого распространения.

Ниже приведена выносливость одиночных волокон при многократных изгибах¹ (по данным ЛИТМ МТИ им. А. Н. Косыгина):

Положение	Хлопчатобумажное	Шерстяное	Вискозное	Ацетатное	Капроновое	Нитроновое
Число циклов, тыс.	70	300	30	10	500	200

5. ТРЕНИЕ И ЦЕПКОСТЬ [8, 20]

Значение трения и цепкости в текстильных материалах и в технологических процессах их переработки очень велико. Благодаря трению и цепкости удерживаются друг около друга отдельные волокна, из которых состоят пряжа и различные текстильные изделия. Трением называют сопротивление, возникающее при относительном перемещении в плоскости касания двух

¹ Угол изгиба $\pm 90^\circ$, радиус губок 0,4 мм, растягивающее усилие 1 сН.

соприкасающихся тел, находящихся под действием нормального давления (нагрузки). Если нагрузка равна нулю, то сила трения также равна нулю.

Применительно к текстильным материалам кроме трения приходится учитывать еще цепкость — сопротивление, возникающее при относительном перемещении двух соприкасающихся тел при нулевом нормальном давлении. Таким образом, когда нагрузка равна нулю, цепкость не равна нулю, а представляет собой конечную величину.

При совместном проявлении трения и цепкости все сопротивление в целом следует именовать тангенциальным. Для текстильных материалов наиболее типичны трение скольжения сухих тел (сухое трение) и граничное трение. Законы трения этих двух видов одинаковы. Трением сухих тел называется такое, при котором между трущимися телами отсутствует слой смазки, граничным — такое, при котором на поверхности имеется тончайшая пленка в виде моно- или полимолекулярного слоя (толщиной 0,1 мкм). Для текстильных материалов, которые в большинстве своем сорбируют водяные пары и подвергаются замасливанню, типичен второй вид трения.

Необходимо подчеркнуть, что здесь рассматривается внешнее трение, которое не следует смешивать с внутренним, представляющим собой сопротивление смещению частиц одного и того же тела.

Еще Леонардо да Винчи (1508 г.) сформулировал основные положения, определяющие явление трения. Французский ученый Амонтон сформулировал (1699 г.) простейший закон трения, согласно которому сила трения T прямо пропорциональна нормальному давлению N :

$$T = fN, \quad (V. 68)$$

где f — коэффициент трения.

Этот закон в литературе часто называют законом Кулона, что неправильно, так как французский физик Ш. Кулон в 1779 г. выразил силу трения более сложной двучленной зависимостью.

О природе трения длительное время не было единого мнения. По представлениям некоторых ученых трение обуславливалось механическим зацеплением микрошероховатостей соприкасающихся тел (механические теории трения). Заметим, что с этими микрошероховатостями не следует путать грубые макрошероховатости текстильных волокон, обуславливающие их цепкость.

Подобная точка зрения на явление трения безраздельно господствовала в науке в течение почти двух столетий. В конце XIX века было установлено, что очень гладкие трущиеся поверхности, неровности которых минимальны, имеют значительно

большее трение, чем шероховатые. Позднее была сформулирована новая молекулярная теория трения, по которой его причиной является преодоление молекулярного взаимодействия между тесно сближенными поверхностями. Наиболее строгое обоснование молекулярная теория трения получила в работах советского ученого Б. В. Дерягина (1934 г.).

Ясность в этот спорный вопрос была внесена И. В. Крагельским, опубликовавшим в 1946 г. молекулярно-механическую теорию трения, по которой трение обусловлено как молекулярным, так и механическим воздействием. По И. В. Крагельскому, трение может возникать лишь в точках фактически соприкасающихся или тесно сближенных поверхностей. Микроскопические выступы и углубления на поверхности тел мешают тесному соприкосновению последних. Поэтому две наложенные друг на друга поверхности соприкасаются лишь своими выступами, образуя отдельные пятна касания, на которых возникают единичные фрикционные связи, причем площадь этих пятен составляет лишь малую долю (обычно менее 1 %) общей площади соприкасающихся тел, если эту площадь брать по их контуру (так называемую номинальную площадь контакта). Очевидно, площадь пятен касания (фактическая площадь контакта S_f) возрастает при увеличении нормального (т. е. перпендикулярного площади касания) давления.

Под влиянием давления выступы поверхностей взаимно внедряются и на прижатых друг к другу элементах поверхностей возникают силы молекулярного взаимодействия. Внедрившиеся выступы взаимно зацепляются.

Трение представляет собой явление, обусловленное двумя факторами: преодолением механического зацепления и молекулярного взаимодействия.

Так как непрерывность контакта двух тел только кажущаяся, то силы трения возникают не сплошь по всей поверхности контакта, а только в отдельных контактных зонах. Равнодействующая этих элементарных сил трения и является силой трения, а при наличии цепкости — силой тангенциального сопротивления.

Единичные фрикционные связи вследствие двойственной природы трения и наличия цепкости могут осуществляться тремя способами:

1) взаимным внедрением контактирующих поверхностей (см. рис. V. 49, а);

2) молекулярным сцеплением поверхностей (рис. V. 49, б);

3) взаимным зацеплением макронеровностей (рис. V. 49, в).

Очевидно, прочность на сдвиг, т. е. удельная сила трения первых двух видов фрикционных связей, будет зависеть от сжимающих, вертикально направленных сил — от нагружения, тогда как для третьей связи такой зависимости не будет.

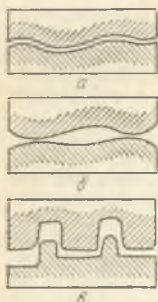


Рис. V. 49. Виды одиночных фрикционных связей:
а — с взаимным внедрением контактирующих поверхностей;
б — с их молекулярным сцеплением; в — с зацеплением макро-неровностями

Поэтому, рассматривая некую «обобщенную связь», можно полагать, что элементарная сила тангенциального сопротивления

$$\tau = \alpha + \beta q, \quad (V. 69)$$

где α и β — коэффициенты, зависящие от природы соприкасающихся тел; q — элементарная нормальная сила.

Таким образом, удельная сила трения представляет собой бином, в котором первый член не зависит от нагрузок, а второй линейно возрастает с нагрузкой. Эта биномиальная зависимость учитывает как трение, так и цепкость. Данное положение подтверждает тот факт, что во фрикционном контакте могут участвовать в некотором соотношении все три вида связи.

Суммируя элементарные силы, получим силу тангенциального сопротивления на всей площади фактического контакта:

$$T = \Sigma \tau = \alpha S_{\phi} + \beta N, \quad (V. 70)$$

где N — общая сила нормального давления ($N = \Sigma q$).

Зависимость (V. 70) является обобщенным законом тангенциального сопротивления, а при отсутствии цепкости — трения сухих тел. Основной характеристикой, определяющей тангенциальное сопротивление при сухом или граничном трении, является коэффициент тангенциального сопротивления (или трения), представляющий отношение силы тангенциального сопротивления (или трения) к нормальному давлению.

В дальнейшем, когда нет основания говорить о наличии цепкости (например, при трении текстильных материалов по металлу), говорится только о коэффициенте трения, когда же такое основание имеется (например, при трении текстильных материалов по ним же), — о коэффициенте тангенциального сопротивления (КТС). Этот коэффициент выражается формулой

$$f = T/N = \alpha S_{\phi}/N + \beta. \quad (V. 71)$$

Таким образом, константы α и β , связанные с механическими и физическими характеристиками трущейся пары, следует отличать от КТС (от f).

В формуле (V. 71) первый член, представляющий собой поправку к простейшему закону Амонтона, зависит от отношения S_{ϕ}/N , которое обусловлено геометрической формой контактируемых тел, волнистостью, шероховатостью, упругими свойствами.

Второй член формулы неизменен.

Выражать коэффициент трения через фактическую площадь контакта практически неудобно. Его выражают через другие параметры.

При контакте тел, обладающих только пластическими свойствами («пластический контакт»),

$$S_{\phi}/N = \text{const}. \quad (V. 72)$$

В этом случае соблюдается закон Амонтона. При контакте тел, обладающих упругоэластическими свойствами («упругий контакт»), отношение S_{ϕ}/N непостоянно и выражается сложнее.

Для волокон и нитей, обладающих тремя механизмами деформирования, площадь фактического контакта зависит от их поперечного сечения, условий контактирования и др.

Общая теория контактирования твердых тел, разрабатываемая Н. Б. Демкиным и другими, располагает расчетными формулами для определения площади контакта различных поверхностей.

В общем виде эти зависимости могут быть представлены формулой

$$S_{\phi} = K \varphi(N), \quad (V. 73)$$

где K — коэффициент, зависящий от геометрических и механических характеристик контактирующих тел, а также от номинальной площади контакта.

В общем виде

$$\varphi(N) = N^x, \quad (V. 74)$$

где x — величина, зависящая от шероховатости.

Н. Б. Демкин показал в своих работах, что, например, для случая касания упругой шероховатой поверхности с жесткой гладкой $x = 1/9 \dots 1/21$.

Сходные значения показателя x были получены рядом зарубежных исследователей (Г. Хоуэллом и Д. Мазуром, Р. Финчем, Б. Линкольном и др.).

Таким образом, КТС получает значения от $f = \alpha K/N^{1/9} + \beta$ до $f = \alpha K/N^{1/21} + \beta$. Это приводит к резкому падению КТС при росте нагрузок, пока они остаются малыми, и к практической его неизменности при больших нагрузках. Для иллюстрации сказанного на рис. V. 50 приведены данные Г. Хоуэлла для

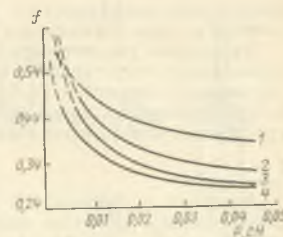


Рис. V. 50. Изменение коэффициентов тангенциального сопротивления различных волокон по стали:
1 — ацетатное; 2 — медно-аммиачное;
3 — полиамидное; 4 — вискозное

зависимости коэффициентов трения различных искусственных волокон от силы нормального давления.

Заканчивая рассмотрение вопроса о зависимостях силы тангенциального сопротивления от нормального давления, отметим, что наряду с формулой (V.74) советскими и зарубежными учеными предлагалось много других различных формул. В частности, нередко используется зависимость вида

$$T = KP^n. \quad (V.75)$$

Величина n , связанная с характером поверхности, обычно менее единицы. Нетрудно видеть, что по существу речь идет об упрощенной формуле (V.74), где $n \approx x$.

Отметим, что усилие, необходимое для разрушения связи взаимно внедрившихся элементов двух соприкасающихся поверхностей, зависит от скорости приложения нагрузки и скорости скольжения. Кроме того, вследствие пластичности происходит как бы искусственное выравнивание неровностей поверхности тела. В связи с этим при упругоэластопластическом контакте величина силы трения при повышении скорости скольжения переходит через максимум.

Зависимость f от скорости скольжения v выражается формулой

$$f = (a + bv)e^{cv} + d, \quad (V.76)$$

где a , b , c , d — константы, зависящие от природы тел и давления.

Положение максимума на кривой зависит от давления на трущуюся пару и от твердости каждого из трущихся тел; чем больше давление и тверже поверхность тела, тем ближе к началу координат располагается максимум.

Трение скольжения всегда сопровождается возникновением колебаний, выделением тепла и явлениями трибоэлектричества.

Для экспериментального изучения тангенциального сопротивления (трения) волокон и нитей предложено много различных методов и приборов. Не приводя их полную классификацию, опишем некоторые наиболее распространенные из них.

Одним из простейших является метод наклонной плоскости. Поверхность плоскости 1 (рис. V.51, а) покрывается материалом, по которому хотят изучить трение волокон или нитей. Волокна или нити 2 в распрямленном состоянии располагают параллельно друг другу без промежутков, закрепляя их на поверхности пластины 3. Изменяя угол наклона α поверхности, замечают, при каком его значении пластина начинает смещаться по плоскости.

Из разложения сил, показанного на рис. V.51, а, следует, что сила тангенциального сопротивления T , представляющая собой реакцию составляющей силы S , которая заставляет пла-

стину сползать по плоскости, будет равна произведению $G \sin \alpha$, а составляющая, равная нормальному давлению на плоскость $N = G \cos \alpha$.

В результате получаем, что

$$f = T/N \operatorname{tg} \alpha. \quad (V.77)$$

Вторым распространенным методом является определение силы тангенциального сопротивления как силы, требующейся для выдергивания пучка волокон или нитей из зажима. Этот метод, впервые предложенный английским исследователем А. Эдерлеем (1922 г.), затем неоднократно использовался в различных модификациях. В СССР он был усовершенствован В. В. Талепоровской, предложившей специальный зажим в виде насадки к разрывной машине.

В верхние тиски разрывной машины устанавливают специальный зажим 1 (рис. V.51, б), в котором винтом 2 закрепляют пучок волокон или нитей 3. В нижних тисках разрывной машины с помощью стержня 13 закрепляют пластину 10, оканчивающуюся рычагом 7 с винтами 5. Этими винтами на щеке рычага 7 закрепляют материал, по которому хотят изучить трение волокон или нитей. На аналогичной щеке рычага 6 тот же материал крепят винтами 4. Изогнутое плечо 8 второго рычага опирается на опору 11, прикрепленную к пластине 10, и несет на конце рычага 9 груз 12 весом Q . Определяя на шкале разрывной машины усилие P , при котором пучок вытягивается из щечек, КТС подсчитывают по формуле

$$f = P/(2Q). \quad (V.78)$$

Цифра 2 входит в формулу, так как две щечки.

Немецкий исследователь В. Крумме (1929 г.) предложил определять трение нити, перекинутой в виде петли 1 (рис. V.51, в) через вращающийся ролик 2 с радиусом r , изготовленный из материала, по которому хотят изучить тангенциальное сопротивление нити. На петлю надевают груз 3

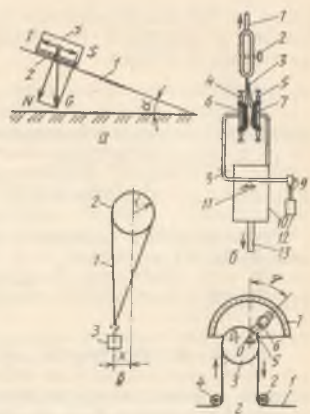


Рис. V.51. Методы определения тангенциального сопротивления волокон и нитей:

а — с помощью наклонной плоскости; б — в специальном зажиме на разрывной машине; в — с помощью петли; г — на эксцентрично закрепленном шкиве

весом G . Так как натяжение в ветвях петли различно, груз смещается от вертикали на расстояние x . Тогда по известному уравнению Л. Эйлера

$$P_2 = P_1 e^{f\alpha}, \quad (V. 79)$$

где P_1 и P_2 — натяжение в ветвях нити; α — угол обхвата шкива.

В устройстве В. Кrumme

$$P_1 + G(r - x); \quad P_2 = G(r + x).$$

Подставляя эти значения в уравнение (V. 79) и решая его относительно f , получим

$$f = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{r+x}{r-x}. \quad (V. 80)$$

Другим видоизменением метода является перематывание нити через тот же, но уже неподвижный ролик; замер производится с помощью пружинных или электротензометрических датчиков натяжения P_1 и P_2 . Этот метод широко использовали в своих работах Т. Жилинский и его сотрудники, П. Кассенбек и др. В настоящее время разнообразную аппаратуру для изучения трения с применением электронных устройств выпускает швейцарская фирма «Ротшильд».

При определении f по методу английского исследователя Д. Морроу перематывающаяся нить 1 (рис. V.51, а), пройдя направляющий ролик 2, огибает шкив 3 и поступает на ролик 4. Поверхность шкива 3 изготавливают из материала, по которому хотят изучить тангенциальное сопротивление нити. Шкив вращается на оси, помещенной не в его центре, а эксцентрично — в точке O_1 , величина эксцентриситета $OO_1 = a$. На шкиве радиально закреплен стержень 5, несущий груз противовеса 6, который уравнивает всю систему. Угол ϕ отклонения стержня 5 определяют по шкале 7. При перематывании нити между роликом 2 и шкивом 3 она испытывает натяжение P_1 , а между шкивом 3 и роликом 4 — натяжение P_2 . Уравнение равновесия моментов относительно точки O_1

$$P_2(1 - a \sin \phi) = P_1(1 + a \sin \phi). \quad (V. 81)$$

Откуда

$$P_2/P_1 = (1 + a \sin \phi)/(1 - a \sin \phi).$$

Учитывая уравнение (V. 79), можем написать

$$e^{f\alpha} = (1 + a \sin \phi)/(1 - a \sin \phi).$$

Тогда

$$f = \frac{1}{\alpha} [\ln(1 + a \sin \phi) - \ln(1 - a \sin \phi)]. \quad (V. 82)$$

Описанные методы имеют следующий недостаток. В используемой при их применении формуле Л. Эйлера принято, что f не зависит от нормального давления, тогда как такая зависимость имеется, причем нормальное давление изменяется по периметру огибаемых нитью цилиндров (стержня в методе В. Кrumme и шкива — в методе Д. Морроу).

Однако оба метода обеспечивают точности, удовлетворяющие практике, а простота применяемых приборов способствует их широкому распространению. Для уменьшения влияния жесткости нити при изгибе, ухудшающей прилегание ее к цилиндрам, необходимо при определении f стремиться к увеличению их диаметра.

В заключение приведем некоторые опытные данные о тангенциальном сопротивлении — трении (табл. V. 16 и V. 17).

Табл. V. 16. Коэффициент трения различных волокон и нитей по стали

Исследователь	Материал	Скорость скольжения, м/с	Сила прижима, сН	Коэффициент трения
В. Е. Зотиков	Хлопковое волокно	0,01	9	0,32
		0,2	16	0,28
		0,2	40	0,28
		0,2	165	0,29
И. В. Крагельский	Хлопок-сырец	0,01	11	0,26
		0,06	11	0,28
		2,51	11	0,36
		8,37	11	0,36
И. П. Агапова	Шелк-сырец	10	20	0,2
Г. Бакли и Д. Поллит	Льняная нить	75	25	0,27
	Вискозная нить	75	25	0,37
	Полиамидная нить	75	25	0,32

Табл. V. 17. Коэффициент тангенциального сопротивления различных волокон и нитей по ним же

Исследователь	Материал	Коэффициент тангенциального сопротивления
Э. Мерцер и К. Мэкинсон	Хлопковое волокно	0,29
	Шерсть по чешуйкам	0,15
Н. Грален и Б. Олофссон	» против чешуек	0,73
	Вискозная комплексная нить	0,19
Э. Мерцер и К. Мэкинсон	Полиамидная нить	0,23

6. ИЗНАШИВАНИЕ ВОЛОКОН И НИТЕЙ [2, 5, 13]

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ЕЕ КРИТЕРИИ

Изнашивание представляет собой процесс ухудшения показателей свойств, вызываемый постепенным разрушением структуры материала под действием различных факторов.

Для многих материалов, в первую очередь для металлов, проведено значительное число исследований, в которых отмечается большое число разрушающих факторов, связанных как с особенностями строения материалов, так и с их взаимодействием с другими телами и различными видами энергий.

Для текстильных материалов принято делить изнашивание на три вида: истирание, утомление, старение. Такое деление связано с особенностями использования этих материалов и видами испытываемых ими воздействий.

Истирание представляет собой изнашивание под действием трения, возникающего при соприкосновении с другими твердыми телами; обычно это материалы более жесткие, нежели текстильные. По отношению к текстильным они являются абразивами¹. Однако волокна и нити, одинаковые с изучаемыми, могут играть роль абразива по отношению друг к другу, если они контактируют между собой при относительном перемещении. Примером может служить взаимное смещение двух контактирующих элементарных нитей в комплексной. Истирание обычно сопровождается некоторым уменьшением массы материалов, что зависит от длительности изнашивания и возникает в связи с отделением частиц изнашиваемого материала.

Утомление является результатом многократного деформирования. При наиболее часто встречающихся типах последнего — при растяжении и изгибе — оно происходит без контакта с другими телами, при сжатии — при его наличии. Существенных потерь массы при утомлении обычно не наблюдается, так как откалывания почти не происходит.

Старение возникает в результате деструкции материалов под действием физико-химических процессов, связанных с воздействием газов (например, кислорода воздуха), изменений температуры (нагрев или охлаждение), световых лучей, различных видов излучений.

Комплексное воздействие нескольких из числа перечисленных выше факторов также нередко имеет место. Типичным примером может служить действие трех факторов, входящих в по-

нятие о старении, которое возникает в атмосферных условиях. Это — совместное действие кислорода, температуры и света. Такой комплекс носит название «светопогода».

Износостойкость (износоустойчивость, носкость) характеризует способность материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях эксплуатации или при испытаниях.

Результат изнашивания часто называют условным термином «износ». Он проявляется в видимых невооруженным глазом, а тем более при осмотре с помощью лупы или микроскопа (при малом увеличении) разрушениях в виде скоплений поверхностных трещин, надрывов нитей или составляющих их волокон и сказывается в ухудшении показателей свойств, особенно механических. Износ может быть общим или местным. Общим называется такой, который распространяется по большой поверхности материала (например, широких участках плоских изделий) и захватывает несколько лежащих рядом составляющих его нитей, местным — такой, который проявляется на малых участках. Износ или снижает качество материалов (сортность), или делает их вовсе непригодными к использованию.

Основные факторы износа. Перечисленные выше причины (факторы) износа можно разбить на следующие группы:

физико-химические — действие света, атмосферы, воды, пота, моющей жидкости, высоких и низких температур и др.;

механические — истирание, утомление от многократных деформаций и др.;

биологические — разрушение микроорганизмами и повреждение насекомыми;

комбинированные — действие светопогоды, стирки, истирания с утомлением и пр.

Для различных текстильных материалов причины износа неодинаковы. Например, основным фактором износа занавесей является свет, волокон хлопка в раскрытых коробочках — светопогода, белья — стирка и истирание, нитей основы на ткацком станке и подкладочных тканей — истирание и усталость. При переработке и эксплуатации текстильных материалов особое значение имеют истирание и комбинированные факторы износа. Истирание происходит почти во всех случаях изнашивания, а иногда является основной причиной износа материала при незначительном воздействии других факторов. Поэтому чаще оценивают стойкость текстильных материалов к истиранию, чем к другим видам изнашивания.

Износ волокон и нитей от истирания. Изнашивание волокон и нитей исследуют реже, чем изделий, и ограничивают обычно только истиранием. В ряде случаев необходимо знать, чем обеспечивается высокая стойкость изделий к износу, их строением или износостойкостью волокон и нитей. Преимущество испытаний

¹ Термин «абразив» происходит от латинского глагола *abradere* — соскабливать, соскребать.

на истирание волокон и нитей, а не изделий, состоит в том, что исключается необходимость изготовления изделий и имеется возможность оценки износостойкости на малом количестве материала.

В современных исследованиях трения в работах И. В. Крагельского и других советских ученых показано, что явления трения протекают в микрообъемах в зонах касания твердых тел. Изнашивание происходит в тех же микрообъемах. Под действием сжимающей нагрузки число их увеличивается. Места (пятна) касания, которые образуются при действии сжимающей нагрузки и разрушаются после ее снятия, дают фрикционную связь. Между поверхностями происходит межмолекулярное взаимодействие, и в местах фактического контакта возникает механическое взаимное внедрение элементов сжатых поверхностей. Вначале деформирование осуществляется на основе упругого и эластического компонентов; в дальнейшем при росте сжимающей силы и длительности контакта, что способствует внедрению контактирующих тел друг в друга, появляется и пластический компонент. Когда при истирании разрушение материала происходит только в результате нарушения фрикционных связей, его называют идеальным. Реальное же истирание — это смешанный процесс, в котором происходит идеальное истирание (разрушение от многократного нарушения фрикционных связей), срезание материала и идеальное трение, т. е. сопротивление, обусловленное преодолением фрикционных связей без потерь материала.

В первом приближении можно принять, что истирание волокон и нитей разными абразивами происходит в результате поверхностного истирания, микросрезания и выдергивания волокон из пряжи или частей элементарных нитей из комплексной нити. Перечисленные воздействия проявляются в разной степени в зависимости от вида абразива, состава и структуры волокон и нитей, причем первые два воздействия иногда вызывают расщепление волокон и сопровождаются механической деструкцией (разрывом макромолекул) полимера.

На основании исследований можно считать, что высокой стойкостью к истиранию обладают нити, имеющие большие прочность на разрыв и эластичность, но низкий модуль жесткости и низкий коэффициент трения. При малых нагрузках на нить сильнее улучшается стойкость ее к истиранию.

Критерии износостойкости. Износостойкость обычно оценивается числом воздействий того или иного вида, приводящих к разрушению материала (выносливостью к изнашиванию) или временем, в течение которого эти воздействия осуществлялись (долговечностью).

Критериями износа текстильных материалов после определенного числа циклов изнашивания являются следующие:

изменение структуры нитей, в частности пряжи, проявляющееся в уменьшении распрямленности составляющих ее волокон, а также их «заработанности», т. е. их смещения друг относительно друга и выхода их концов на поверхность пряжи; число видимых повреждений;

ухудшение механических свойств (прочности при растяжении, работы разрыва, выносливости при многократном растяжении и изгибе, жесткости и др.);

уменьшение вязкости растворов материала; потеря массы материала, уменьшение кондиционной массы; увеличение показателей различных физических свойств (воздухопроницаемости, водопроницаемости, проницаемости радиоактивными излучениями и др.).

Из перечисленных критериев чаще используются первые три. Уменьшение вязкости раствора изношенного материала связано с деструкцией (укорочением) макромолекул и позволяет обнаруживать даже небольшой износ вещества, возникающий при старении или при нарушении нормального режима химических обработок материала. Исследования А. Д. Платовой показали, что по сравнению с уменьшением прочности после изнашивания уменьшение выносливости нитей к многократным изгибам позволяет выявить изменение свойств изделий при воздействии на них светопогоды и стирок, что особенно важно, когда повреждения изделий незначительны. Уменьшение массы и увеличение проницаемости материала являются менее чувствительными критериями износа, поэтому они применяются реже.

Перечисленные критерии износа часто выражают одним числом, показывающим процент изменения начального значения свойства после одного определенного числа циклов изнашивания.

Исследования А. Ф. Давыдова показали, что вошедшие в первый критерий характеристики структуры пряжи позволяют технологам правильно выбирать режимы прядения и ткачества, устанавливать оптимальные крутку пряжи, натяжение в производственных процессах, размеры поперечных сечений нитей и др.

В работах Б. А. Бузова, В. А. Никитина и других подробно изучен вопрос о влиянии на износостойкость многократных воздействий циклов нагревание — охлаждение. При охлаждении в нитях из сорбированной ими воды образуются кристаллики льда, которые вызывают трещины и разрывы фибрилл. Многократное повторение таких воздействий (до 100 раз) приводит к потере эластичности, а при больших — потере прочности.

По стойкости к истиранию волокна и нити располагаются от наиболее стойких к менее стойким ориентировочно в следующем порядке: полиамидные, полиэфирные, полиакрилонитрильные, хлопчатобумажные, вискозные, ацетатные, шерстяные,

Табл. V. 18. Стойкость нитей к истиранию при нагрузке на нить 50 сН

Нить	Линейная плотность T , текс	Разрывное удлинение, %	Обратимая деформация, %	Число циклов истирания до разрыва $n_{р.и}$	Отношение $n_{р.и}/T$	Модуль жесткости, кг/мм ²
Капроновая	16,1	21	3,9	20 000	1 240	4,5
Лавсановая	12	19	1,8	1 600	134	8
Полиэтиленовая	7,2	11	3,1	480	66	3,7
Полипропиленовая	5,9	20	1,5	190	32	3,1
Вискозная	17,3	19	2,1	2 000	150	5,8
Ацетатная	11,6	21	2,4	2 100	180	2
Триацетатная	12	15	1,3	800	67	2
Стеклопластиковая	6,5	1	0,7	10 300	1 580	12,5
Металлическая	56	1	0,2	14 100	250	14,5
Пряжа						
хлопчатобумажная	24	18	2,5	800	33	0,5
нитроновая	29	11	2	64	2	2,5
поливинилспиртовая	34	17	0,9	710	26	0,7

Табл. V. 19. Стойкость нитей к истиранию при различной нагрузке на нить

Нить и натяжение P при истирании	Линейная плотность T , текс	Коэффициент крутки	Разрывное удлинение, %	Число циклов истирания до разрыва $n_{р.и}$	Относительная стойкость к истиранию $n_{р.и}/T$
Хлопчатобумажная пряжа, $P = 30$ сН	15,6 19,6 25,7 33,4 52,6	147 143 134 126 119	6,9 6,9 7,5 7,8 8,1	840 940 1 360 1 820 2 580	54 48 53 54 49
Хлопчатобумажная пряжа, $P = 30$ сН	32,8 32,4 32,6 31,8	101 130 165 203	7,7 8,6 8,8 9,4	620 1 060 1 100 1 190	19 33 34 37
Вискозная нить, $P = 40$ сН	13,3 16,7 22,2 28,6	12 12 15 15	19,8 22,4 25,3 18,6	1 450 1 840 2 490 3 060	109 110 112 107
Вискозная нить, $P = 20$ сН	10,9 11,4 11,6 11,8	28 64 113 154	13,3 18,2 17,7 17,4	3 960 1 510 1 070 700	364 132 92 59
Ацетатная нить, $P = 20$ сН	11,1 11,1 11,1 11,3 11,7 12,4	13 32 53 80 119 179	22,2 21,9 25,1 23,4 22,6 20,6	6 720 4 950 2 800 1 500 1 220 1 150	605 450 252 133 104 93
Комплексная нить капроновая	6,7	15	28,4	10 170	1 520
вискозная	6,7	8	21	2 280	340
ацетатная	6,7	16	23,6	570	85

казеиновые, фортизановые. В отдельных случаях указанный порядок изменяется в зависимости от линейной плотности волокон и условий истирания.

В табл. V. 18 приведены данные о стойкости к истиранию нитей различных видов, полученные на приборе Московского текстильного института им. А. Н. Косыгина (см. рис. V. 53) с наждачным камнем при нагрузке на нить 50 сН, а в табл. V. 19 — данные, полученные на том же приборе при частоте 400 циклов в 1 мин.

Характер зависимости числа $n_{р.и}$ циклов истирания до разрыва нити от ее линейной плотности и крутки, показанный в табл. V. 19, при других условиях истирания может изменяться.

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ВОЛОКОН И НИТЕЙ К ИСТИРАНИЮ [5]

В зависимости от характера движения контактных поверхностей (абразива и образца) приборы можно разбить на следующие классы:

- 1) с односторонним вращающимся абразивом (прибор МТИ);
- 2) с реверсивно-вращающимся абразивом;
- 3) с возвратно-поступательным движением абразива вдоль оси нити (прибор FУ-37, ВНР);
- 4) с возвратно-поступательным движением абразива под углом к оси нити (прибор типа Аахен, ФРГ; изгибатель типа Фальцера);
- 5) с комбинированным движением контактных поверхностей (прибор с односторонним вращением и возвратно-поступательным движением абразива и др.).

Такая классификация приборов представляется наиболее целесообразной, поскольку в ней подчеркивается характер смещения тел контактирующей пары, т. е. указывается, при каком типе деформации (растяжения, изгиба и пр.) происходит смещение. А это характеризует условия возникновения и прерывания контактов, происходящих при изнашивании, легкость осуществления истирания и его особенности.

Различный характер движения абразива относительно образца определяет и разный характер изнашивания. Так, на приборах 1-го класса происходит истирание, идущее в одном направлении. Таким практически может быть истирание при перематывании нитей, если они касаются какого-либо твердого тела, играющего в данном случае роль абразива на приборах 2, 3 и 5-го классов. На этих приборах истирание сопряжено с многократным растяжением, а на приборах 4-го класса с многократным изгибом.

Следует учитывать, что характер и результаты истирания во многом зависят от абразива. При выборе желательно иметь



Рис. V.52. Схема прибора ТКИ 4-27-1 с вращающимся абразивом

минимальное изменение и истирание его поверхности и достаточно сильное воздействие на исследуемый материал, это обеспечивает быстроту испытаний и постоянство их результатов.

В СССР наиболее распространены приборы 1-го и 3-го классов. В разных странах предложено значительное число приборов для определения стойкости волокон и нитей к истиранию. В основном в них используется несколько принципов.

В приборах с абразивными дисками проба, находящаяся под натяжением, обхватывает часть поверхности абразивного цилиндра. Один конец пробы закреплен в неподвижном зажиме, а другой несет натягивающий ее грузик. Цилиндр имеет или рифленую поверхность, или обтянут наждачной бумагой, или другим абразивным материалом. Предложен ряд вариантов таких приборов:

- с диском, вращающимся в одну сторону;
- с диском, поочередно вращающимся в обе стороны;
- с образцом, погруженным в различные растворы, и т. д.;
- с нитью, перематывающейся с одной паковки на другую под натяжением и при этом контактирующей с неподвижным абразивным диском.

Рассмотрим работу некоторых приборов.

Прибор для истирания волокон ТКИ 4-27-1 (ВНР) используют для одновременного истирания десяти волокон длиной не менее 30 мм. Каждое волокно 1 (рис. V.52) закрепляют в зажиме 2, расположенном на рычаге 3. К нижнему концу волокна подвешивают груз 6. Истирающий валик 4 имеет на поверхности мелкий корундовый абразивный слой и вращается с постоянной частотой 1000—5000 мин⁻¹. Он соединен со счетчиком числа оборотов. При обрыве волокна груз 6 падает и замыкает контакты 5 и 7, что вызывает сигнал зуммера. Услышав его, лаборант записывает показания счетчика и вычисляет число оборотов абразива, вызвавшее обрыв волокна. Поворотом рычага 3 можно изменять угол обхвата нитью валика 4 от 0 до 80°С.

На приборе МТИ (макет этого прибора был разработан Фань-Дешинем в Московском текстильном институте им. А. Н. Косыгина) испытываемая нить 2 (рис. V.53), закрепленная в неподвижных зажимах 1 и 4, обхватывает истираю-

щий барабан 3. Нить натянута одним или двумя грузами 5. При обрыве нити груз 5 во втулке 6 падает и выключает прибор.

На барабане 3 можно закреплять разные абразивы — серошинельное сукно, капроновую ткань, наждачную бумагу, стальные пластинки, а вместо барабана устанавливать круглый наждачный камень. Это позволяет изучать влияние разных абразивов на характер истирания и устойчивость к истиранию.

Прибор для истирания нитей ТКИ 5-27-1 (ВНР) предназначен для одновременного испытания 10 нитей. Один конец нити 1 (рис. V.54, а) зажимают в неподвижном зажиме 2, другой продевают через отверстие металлического галева в ремизке 3 или отверстие иглы, закрепленной в игольнице, и нагружают грузом 4. Галева или иглы, являющиеся абразивами, совершают вертикальные возвратно-поступательные движения с постоянной частотой, которую можно изменять от 50 до 1000 циклов в 1 мин, и истирают нити. С увеличением частоты качаний абразива, а также с увеличением нагрузки P на образец стойкость нити к истиранию уменьшается.



Рис. V.53. Схема прибора конструкции МТИ им. А. Н. Косыгина:

1 — первый неподвижный зажим; 2 — испытываемая нить; 3 — истирающий барабан; 4 — второй неподвижный зажим; 5 — груз; 6 — втулка

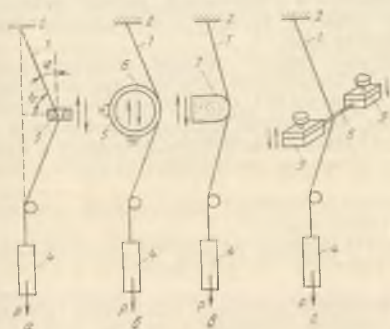


Рис. V.54. Схема прибора ТКИ 5-27-1 для истирания нитей с различными качающимися абразивами:

а — галевая ремизка или отверстие иглы; б — цилиндр, обтянутый тканью или наждачной бумагой; в — наждачный камень; г — натянутая нить

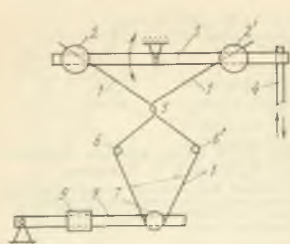


Рис. V.55. Схема прибора для самоистирания нити

На этом приборе вместо ремизки 3 можно устанавливать деревянный валик 5 (рис. V.54, б) и покрывать его истирающим материалом 6 разного вида — наждачной бумагой, серошинельным сукном, капроновой или другой тканью. Иногда в качестве абразива применяют наждачный камень 7 (рис. V.54, в) или нить 8 (рис. V.54, г), зажатую в зажимах 9 рамки, установленной вместо ремизки 3.

Приборы с самоистирающейся пробой используются для элементарных и комплексных нитей. Их удобно применять для исследования нитей, перематывающихся с одной паковки на другую в различных производственных процессах.

В приборе для самоистирания нити (тип Лахен) испытуемая нить 1 (рис. V.55) истирается различными своими участками друг по другу в месте перехвата 5. Для этого отрезок нити закрепляется в зажимах 2 и 2', расположенных на рычаге 3, который через тягу 4 получает возвратно-качательное движение.

При заправке нить пропускают через блок 6, 6' и 7 для образования перехвата 5 и натяжения, которое меняют, передвигая груз 9 на рычаге 8. Износ обычно оценивают числом циклов до разрушения нити.

Преимуществом данного прибора является использование вместо абразива испытуемого образца, что исключает изменение результатов оценки вследствие изменения состояния поверхности абразива. Недостаток метода заключается в трудности относительного сравнения истираемости волокон и нитей разных видов, так как истирание производится не одним и тем же абразивом.

Из многообразия приборов предпочтение следует отдавать тем, которые обеспечивают:

соответствие характера разрушения исследуемых образцов на приборе характеру их разрушения в условиях эксплуатации;

быстрое получение итоговых результатов испытаний (это требование обычно не совпадает с первым, поэтому ускорения испытаний лучше добиваться увеличением числа одновременно испытуемых проб);

хорошую воспроизводимость и стабильность результатов испытаний;

истирание возможно большей длины образца без значитель-

ного увеличения размеров прибора, место обрыва образца должно быть одинаково вероятным в любой точке истираемого участка (невыполнение последнего требования вызывает неравномерным натяжением образца по его длине).

Удовлетворение перечисленных требований зависит не только от конструкции прибора и вида абразива, но и от параметров испытаний — натяжения образца, скорости истирающего органа и др.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ВОЛОКОН И НИТЕЙ К ИСТИРАНИЮ

В настоящее время нет единых стандартных методов испытаний. Поэтому при сравнительной оценке стойкости к истиранию волокон и нитей следует иметь в виду, что с повышением натяжения образца увеличивается его давление на абразив, а это понижает стойкость к истиранию. Оценка стойкости к истиранию для нитей разных видов и линейной плотности должна даваться при одинаковых абсолютных, но не относительных нагрузках на образец и выражаться числом циклов истирания до разрушения, приходящихся на единицу массы или единицу площади поперечного сечения.

Учитывая большое рассеивание результатов испытаний при истирании неравномерных натуральных волокон, последние иногда отбирают не по принципу случайной выборки, а испытывают только волокна модальной группы. Для этого волокна, наклеенные в бумажные рамки (для удобства заправки в прибор), предварительно исследуют под микроскопом и выбирают из них волокна модальной тонины (шерсть) или определенной зрелости (хлопок). Такая методика позволяет лучше выявить влияние различных поверхностных обработок на стойкость одних и тех же волокон к истиранию.

При выборе абразива следует учитывать, во-первых, малую его истираемость и, во-вторых, соответствие характера истирания в лабораторных условиях характеру истирания в производственных условиях. Последнее можно установить после микроскопического исследования мест разрушения истертых волокон и нитей.

Срок смены абразива может быть определен из графика зависимости числа циклов до разрушения образцов одного вида от суммарного числа циклов работы абразива. Из рис. V.56 видно, что в зоне АВ состояние абразива примерно одинаково, а затем в результате пришлифовки его истирающее действие становится менее интенсивным. Поэтому число циклов n_i до разрушения образцов возрастает (зона ВС), вследствие чего абразив должен быть сменен.

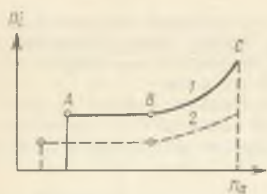


Рис. V.56. График зависимости числа циклов до разрушения испытуемых образцов от суммарного числа циклов работы образца: 1 — исследуемый образец; 2 — эталонный образец

Иногда определяют относительную стойкость к истиранию

$$i_o = n_i / n_a, \quad (V.83)$$

где n_i — число циклов до разрушения исследуемого образца; n_a — число циклов до разрушения эталонного образца

Сравнительная оценка износостойкости по величине основана на предположении, что при износе самого работающего образца величины n_i и n_a увеличиваются пропорционально без изменения величины i_o . Хорошо отражают износ и износостойкость кинетические характеристики свойств, которые дают представление не только о начальном значении свойства, но и о его изменении в процессе эксплуатации, при истирании на приборе и т. п.

Просто и наглядно кинетические характеристики выражаются графически в виде кривых зависимости их прочности P_p от числа циклов истирания n_i . По кривым определяют важнейшие критерии износостойкости: теоретический срок службы материалов при $P_p = 0$, а также практический срок службы, если известна минимальная допустимая в эксплуатации прочность $P_{p. \min}$. Интересно отметить, что возможны случаи, когда материал с более высокой начальной прочностью имеет меньший срок службы, так как является менее стойким к истиранию. Это подтверждает ценность кинетических характеристик, дающих более полную оценку материала, однако их практическое использование затрудняется длительностью их определения. В некоторых случаях зависимость P_p от n_i выражают аналитически в виде эмпирического уравнения $P_p = f(n_i)$.

* * *

При испытаниях результаты, полученные по отдельным пробам, в целях их обобщения подвергаются математической обработке — нахождению средних, ошибок опыта и т. п. В этих случаях рекомендуется вести обработку на ЭВМ «Искра-226», используя алгоритмы, приведенные в приложении. Алгоритмы, приведенные в приложении, разработаны Н. Б. Митрохиным и А. М. Пиотровским.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему механические свойства имеют большое значение для оценки качества волокон и нитей?
2. Принципы классификации механических свойств волокон и нитей.
3. Что такое испытательный цикл, используемый при изучении механических свойств волокон и нитей?
4. В чем заключается различие полу-, одно- и многоцикловых характеристик механических свойств волокон и нитей?
5. Какие факторы влияют на величины показателей характеристик механических свойств волокон и нитей?
6. Почему при оценке механических свойств волокон и нитей большое внимание уделяется тем из них, которые определяются в процессе их растяжения?
7. Основные положения кинетической теории прочности.
8. Что характеризует работа разрыва?
9. Из каких компонентов складается деформация текстильных волокон и нитей?
10. Из каких основных узлов состоят разрывные машины и как эти машины (приборы) классифицируют?
11. Устройство разрывных машин (приборов) с маятниковыми силовыми измерителями, положительные и отрицательные стороны их конструкции.
12. Новые направления в конструкции разрывных машин (приборов) с маятниковыми силовыми измерителями.
13. Какие положительные и отрицательные особенности имеются в приборах типа маятниковых копров?
14. Устройство и работа различных релаксметров.
15. Моделирование механических свойств волокон и нитей.
16. Какие изменения в структуре волокон и нитей происходят при их многократном растяжении? Почему эти изменения называют «усталостью» материала?
17. Почему испытания на пульсаторах хорошо отражают поведение нитей и волокон в технологических процессах и при использовании в изделиях?
18. Влияние различных факторов на показатели механических свойств, выражающих «усталость материала» (его усталость).
19. Почему необходимо изучать сжатие текстильных волокон в массе? Где используются полученные при этом показатели?
20. Какова зависимость между круткой и крутящим моментом? С помощью каких приборов определяют показатели этих характеристик?
21. Почему имеют практическую ценность показатели многократного изгиба волокон и нитей, а не однократного?
22. Какие методы испытаний волокон и нитей применяются при изучении выносливости к многократному изгибу? С какими видами деформирования они часто осуществляются одновременно?
23. Что такое тангенциальное сопротивление? Какие два явления его составляют? Для всех ли тел они действуют совместно?
24. Какие приборы применяют для изучения тангенциального сопротивления текстильных волокон и нитей?

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. V

1. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение (исходные материалы). М., 1985.
2. Бартенев Г. М. Физика полимеров. М., 1979.
3. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон. М., 1985.

4. Аскадский А. А. Деформация полимеров. М., 1973.
5. Берестнев В. А., Флексер А. А., Лукьянова М. М. Микроструктура волокон, элементарных нитей и особенности их разрушения. М., 1982.
6. Давыдов А. Ф. Изменение качества хлопчатобумажной пряжи по ее механическим характеристикам//Сб. тез. докл. VIII конф. по текстильному материаловедению. Л., 1971.
7. Балясов П. Д. Сжатие волокон в массе и технология текстильного производства. М., 1975.
8. Крагельский И. В. Трение и износ. М., 1968.
9. Журков С. Н., Томашевский Э. Е. Исследование прочности твердых тел. М., 1959.
10. Севастьянов А. Г., Севастьянов П. А. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности). М., 1984.
11. Каргин В. А., Слонимский Г. Л. Краткие очерки физико-химии полимеров. М., 1967.
12. Шенс Г. Я. Электронная техника в текстильном материаловедении. М., 1981.
13. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение. Ч. II. М., 1964.
14. Носов М. П., Теплицкий С. С. Усталость нитей (методы испытаний и приборы). К., 1975.
15. Филатов В. Н. Структурная обусловленность изменения жесткости эластомерных нитей//Сб. тез. докл. X Всесоюзной науч. конф. по текстильному материаловедению. Львов, 1980.
16. Матуковис А. В. Производство, свойства и применение неоднородных нитей. М., 1987.
17. Кукин Г. Н. Оценка механических свойств текстильных нитей//Текст. пром-сть. 1987. № 2. С. 59.
18. Бузов Б. А., Никитин А. В. Исследование материалов для одежды в условиях пониженных температур. М., 1985.
19. Смирнов Л. С., Шавлюк В. Н. Текстирированные нити. М., 1979.
20. Хвалковский Н. В. Трение текстильных нитей. М., 1966.

Глава VI. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ

1. ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Сорбция и десорбция водяных паров и воды. Способность текстильных волокон и нитей поглощать (сорбировать) водяные пары и воду и отдавать их в окружающую среду (десорбция) характеризует их гигроскопические свойства. Физическая сорбция, как и десорбция, — явление сложное, представляет собой несколько процессов, при которых удержание влаги сорбента осуществляется за счет межмолекулярных сил взаимодействия. Она включает адсорбцию, абсорбцию и капиллярную конденсацию.

Адсорбция (поверхностная сорбция) обусловлена наличием энергии некомпенсированных сил межмолекулярного взаимодействия, за счет которой удерживаются молекулы влаги на поверхности волокон, нитей. Величина водяных паров при адсорбции зависит от многих факторов: прежде всего от струк-

туры и свойств веществ, составляющих волокна и нити, от поверхности сорбента, давления, температуры, относительной влажности окружающей среды. Адсорбция влаги протекает быстро, и равновесное состояние достигается за доли или несколько секунд. При этом чем больше поверхность сорбента, чем выше давление и относительная влажность окружающей среды и ниже температура, тем выше адсорбция влаги.

Диффузионный процесс проникновения паров в межмолекулярное пространство волокон, нитей (абсорбция) протекает медленно и достигает равновесия за длительное время (до нескольких часов). Наличие внутри волокон или нитей неуравновешенных межмолекулярных сил удерживает глубоко проникшие молекулы влаги; при десорбции обратное их движение также медленное.

Капиллярная конденсация заключается в сжижении паров воды в стенках капилляров волокон. Она возникает при смачивании стенок капилляра водой, при этом мениск влаги оказывается вогнутым. В результате пар, еще не достигший давления насыщения по отношению к плоской поверхности, становится насыщенным или даже перенасыщенным по отношению к жидкой фазе в капилляре. Этот процесс происходит при высокой относительной влажности и длителен, может продолжаться десятки минут и даже несколько часов.

Для характеристики гигроскопических свойств волокон, нитей целесообразно определять кинетику сорбции водяных паров, изотермы поверхностной сорбции и десорбции. При десорбции равновесие устанавливается при большей влаге, чем при сорбции. Такое явление называется сорбционным равновесием. Оно связано с изменением структуры сорбента нитей: увеличением межмолекулярного расстояния, изменением расположения фибрилл и микрофибрилл и их ориентации. Восстановление структуры до сорбции возможно при нагреве волокон (нитей).

Влажность волокон (нитей), соответствующая сорбционному равновесию, называется равновесной влажностью. Равновесная влажность волокон и нитей зависит не только от их структуры и свойств, но и от температуры, давления и относительной влажности. При изменении этих условий меняется равновесная влажность волокон и нитей.

Изменение равновесной влажности волокон некоторых видов от относительной влажности воздуха и давления (изотерм сорбции) показано на рис. VI.1 [1]. Как видно из рисунка, равновесная влажность волокон колеблется в больших пределах.

Целлюлозные, белковые и некоторые другие волокна имеют в своем составе сильнополярные группы, благодаря которым создается высокое силовое поле, притягивающее и удерживаю-

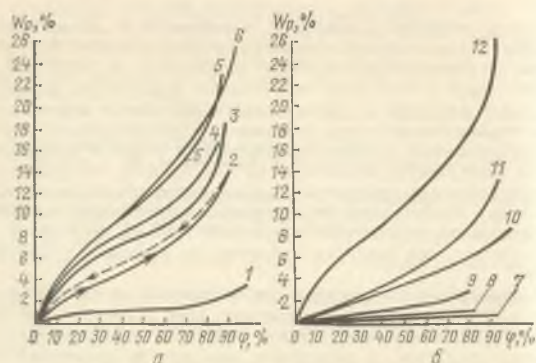


Рис. VI.1. Изогтермы сорбции натуральными (а) и химическими (б) волокнами водяных паров (при температуре 25 °С):

1—асбестовое; 2—хлопковое; 3—шелк-сырец; 4—льняное; 5—джутовое; 6—тонкая шерсть; 7—хлоринное; 8—лавсановое; 9—нитроновое; 10—нейлоновое; 11—ацетатное; 12—вискозное

щес молекулы воды, поэтому они больше других сорбируют влагу. В табл. VI.1 приведены данные по гигроскопичности волокон и нитей, из которых видно, что наиболее гигроскопичны волокна шерсти, шелка, льна, джута, хлопка, вискозные, полинозные и др. Стекланные, поливинилхлоридные, полипропиленовые и некоторые другие волокна практически негигроскопичны.

Табл. VI.1. Равновесная влажность волокон и нитей при разной относительной влажности воздуха φ [2]

Волокно и нить	Равновесная влажность, %, при		Волокно и нить	Равновесная влажность, %, при	
	φ=65%	φ=95%		φ=65%	φ=95%
Стекланные, поливинилхлоридные, полипропиленовые	0	0	Анидные	3,4—3,8	5,8—6,1
Полиэтиленовые	0,01	0,12	Капроновые	3,5—4,5	7—8
Хлоринные	0,2—0,3	0,7—0,9	Триацетатные	4,5—5,2	10—11,6
Лавсановые	0,4—0,5	0,5—0,7	Диацетатные	6—6,5	10—14,2
Нитроновые	0,8—1	1,5—1,6	Полинозные	13,1—14,6	27—33
нить	1,6—1,7	3,2—4	Хлопковое	7—8	18—20
волокно	0,8—0,9	2,3—2,5	Льняное	10—11,7	19—21
Ацетохлоринные	2,2—2,4	2,6—2,8	Вискозное	12,8—13,9	27—33
Энантовые			Джутовое	13	35—36
			Шелк-сырец	10,5	37—39
			Шерстяное	13—16	38—40

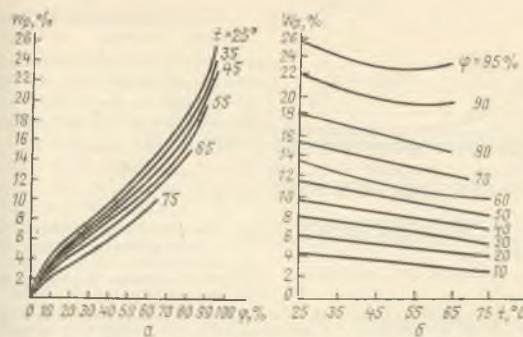


Рис. VI.2. Кривые сорбции тонкой шерстью водяных паров (по Т. Спикмену и К. Куперу):

а—изотермы для различной температуры; б—изотермы для различной относительной влажности воздуха

Равновесная влажность в условиях, когда относительная влажность очень высокая (близкая к 100 %), существенно увеличивается (в 2 раза и более) по сравнению с равновесной влажностью φ = 65 %.

Температура также существенно влияет на равновесную влажность: с ее повышением уровень равновесной влажности уменьшается, так как увеличивается испарение воды. Это наглядно видно по кривым сорбции для тонкой шерсти при разной температуре (рис. VI.2), когда уровни равновесной влажности шерсти существенно уменьшаются с увеличением температуры.

Кривые кинетики сорбции и десорбции нитями, показывающие изменение влажности во времени, дают наглядные представления о характере поглощения и отдачи влаги.

Процессы сорбции и десорбции продолжительны, и равновесное состояние их достигается за длительное время (рис. VI.3), при этом скорость процесса замедляется при приближении к равновесию. Достижение равновесного состояния зависит также от состояния, в котором находятся волокна и нити. Чем толще слой волокон, чем плотнее намотаны нити, тем медленнее достигается равновесная влажность. Процессы сорбции и достижения равновесной влажности могут продолжаться дни и месяцы. При хорошем же доступе воздуха к волокнам, нитям, одиночным или в виде тонкого рыхлого слоя, равновесное состояние достигается за 12—24 ч.

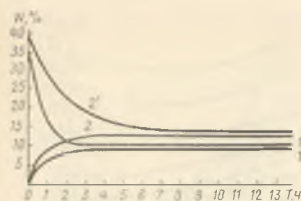


Рис. VI.3. Кривые кинетики сорбции и десорбции текстильными нитями водяных паров:
1, 1' — вискозная нить; 2, 2' — шелк-сырец

константа адсорбции, зависящая от теплоты сорбции, абсолютной температуры и других параметров; P — давление пара, при котором происходит абсорбция; P_0 — давление насыщенного пара при данной температуре.

Для нахождения постоянной C уравнение (VI.1) преобразуем к виду

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m C} \frac{P}{P_0}. \quad (\text{VI.2})$$

Это уравнение прямой

$$y = ax + b, \quad (\text{VI.3})$$

где

$$y = P/[(P_0 - P)V]; \quad (\text{VI.4})$$

$$a = \frac{1}{V_m C} = (C-1)/(V_m C); \quad (\text{VI.5})$$

$$x = P/P_0; \quad (\text{VI.6})$$

$$b = 1/(V_m C). \quad (\text{VI.7})$$

Для расчета коэффициентов a и b необходимы данные о влажности волокон в зависимости от относительной влажности воздуха. Для этого используется, например, высоковакуумная сорбционная установка с весами Мак-Бена.

По экспериментальным данным, используя метод наименьших квадратов, находим

$$a = \frac{n \sum \varphi_i y_i - \sum \varphi_i \sum y_i}{n \sum \varphi_i^2 - (\sum \varphi_i)^2};$$

$$b = \frac{\sum y_i \sum \varphi_i^2 - \sum \varphi_i \sum y_i \varphi_i}{n \sum \varphi_i^2 - (\sum \varphi_i)^2},$$

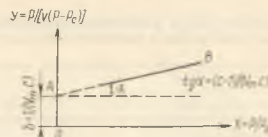
где φ_i , y_i — координаты экспериментальных точек; n — число точек измерений, по которым производится расчет изотерм.

Для описания кинетических кривых изотерм сорбции водяных паров (адсорбции) нередко используют известное уравнение С. Брунауэра, Н. Эммета и Э. Теллера (уравнение БЭТ):

$$V = V_m C P / [(P_0 - P) + (C-1) P / P_0], \quad (\text{VI.1})$$

где V — объем сорбированной влаги; V_m — предельное значение объема адсорбированной влаги, когда вся поверхность волокон (сорбента) покрыта мономолекулярным слоем; C —

Рис. VI.4. Схема для определения постоянных уравнения БЭТ



Постоянные a и b уравнения (VI.3) могут быть определены также графическим путем. Прямая AB (рис. VI.4), построенная по эмпирическим точкам, на ординате y отсекает отрезок OA , равный постоянной b , а тангенс угла наклона прямой AB равен a . По расчетным точкам строится изотерма сорбции для исследуемого материала.

По полученным данным можно рассчитать также удельную поверхность сорбента

$$S = V_m S_m,$$

где V_m — емкость мономолекулярного слоя; S_m — площадь, занимаемая молекулой воды (1,14 нм).

Величина V_m , моль/г, определяется из выражений (VI.5) и (VI.7), когда

$$C = a/b + 1, \quad (\text{VI.8})$$

$$V_m = 1/(a + b). \quad (\text{VI.9})$$

Учитывая, что молекулярная масса воды $M = 18$, находим

$$V_m = 18/(a + b). \quad (\text{VI.10})$$

Поглощение воды и набухание волокон и нитей. Текстильные волокна и нити многих видов поглощают воду. При погружении в воду они впитывают ее и частично механически захватывают. После стекания воды в волокнах остается еще достаточно большое количество, она остается даже после отжима в центрифуге. При поглощении воды у некоторых волокон и нитей возникает явление гидратации, заключающееся в том, что происходит связывание воды с химическим веществом волокон. При испарении (сушке) удаляется свободная вода, захваченная механически и диффузией, сорбированная или связанная вода и для некоторых волокон и нитей — гидратационная вода.

При поглощении паров волокнами (нитями) происходит их набухание, увеличение объема. При этом продольный размер практически не изменяется, а в некоторых случаях, когда волокна были зафиксированы в растянутом неравновесном состоянии, длина уменьшается.

В табл. VI.2 приводятся данные, характеризующие примерные изменения размеров волокон (нитей) при погружении их в воду. При сорбции водяных паров, по данным Г. Н. Кукина [1], при относительной влажности воздуха 60—70 % размеры

Табл. VI.2. Увеличение размеров волокон при набухании в воде ($T=25^{\circ}\text{C}$) по отношению к соответствующим размерам в сухом состоянии, %

Волокно	Площадь поперечного сечения	Длина
Хлопковое	22—34	1
Тонкая шерсть	22—26	1,2
Шелк-сырец	20	1,5
Вискозное	40—65	4—7
Нейлоновое	5	2—3

сухих волокон увеличиваются и составляют 1/3—1/4 значений, приведенных в табл. VI.2.

Кондиционная влажность и кондиционная масса. Фактическая влажность, а следовательно, и масса волокон, нитей изменяются в зависимости от атмосферных условий, что важно при приемке и сдаче волокон, нитей и других текстильных материалов.

Для упорядочения было введено понятие «кондиционная (условная) масса», определяемая при постоянной (независимо от атмосферных условий) влажности, названной кондиционной. Кондиционную влажность обычно устанавливают близкой к нормальной влажности материала. Кондиционная влажность впервые была установлена для шелка-сырца (в середине XIX в.). Кондиционная влажность волокон, %, принятая в отечественных стандартах, приведена ниже (данные 1985 г.).

Хлопковое волокно (отборный и I сорт)	8
Хлопчатобумажная пряжа	7
Хлопчатобумажная мерсеризованная пряжа	9
Трепанный лен и короткое волокно	12
Трепанная пенька	13
Волокно кенафа	14
Тонкая, полутонкая, мытая шерсть	17
Пряжа из тонкой шерсти	18, 25
Мытая неоднородная шерсть	15
Заводская шерсть	15
Шелк-сырец и шелк крученый	11
Шелковая пряжа	8,5
Асбестовая крученая нить	0
Вискозное волокно	12
Вискозные нити, пряжа	11
Ацетатная нить	7
Капроновая нить	5
Лавсановое волокно	1
Стекловолокно	0,1—0,4
Хлоринное волокно	0,5
Нитроновое волокно	2
Триацетатные волокна и нити	4,5
Полинозное волокно	12

Для смешанной пряжи из волокон разных видов кондиционная влажность

$$W_{\text{к.с}} = \sum W_{\text{к}i} d_i,$$

где $W_{\text{к.с}}$ — кондиционная влажность, %, волокон отдельных видов, входящих в состав пряжи в долях d_i общей массы, принятой за единицу.

Кондиционная масса и линейная плотность подсчитываются соответственно по формулам

$$m_{\text{к}} = m_{\text{ф}} \frac{100 + W_{\text{к}}}{100 + W_{\text{ф}}}; \quad T_{\text{к}} = T_{\text{ф}} \frac{100 + W_{\text{к}}}{100 + W_{\text{ф}}},$$

где $m_{\text{ф}}$ — фактическая масса; $T_{\text{ф}}$ — фактическая линейная плотность.

Характеристики гигроскопических свойств и методы их определения. Наиболее распространенной характеристикой гигроскопических свойств является влажность. Влажность различают фактическую, равновесную, или нормальную, максимальную и кондиционную, или нормированную.

Влажностью называют процентное отношение массы воды, удаленной при определенной температуре, к массе сухого материала. Ее вычисляют по формуле, %

$$W = (m_0 - m_c) 100 / m_c,$$

где m_0 — начальная масса пробы, г; m_c — постоянная масса пробы после высушивания, г.

Фактическая влажность $W_{\text{ф}}$ — влажность, которую имеют волокна или нити в момент измерения начальной массы m_0 . За нормальную принимают влажность, которую приобретают волокна (нити) после выдержки в нормальных (стандартных) атмосферных условиях.

Кроме того, определяют еще максимальную влажность, измеряемую после выдержки при относительной влажности воздуха 95 или 100 % и температуре воздуха 20°C .

Иногда в качестве характеристики используют влагосодержание, определяемое как процентное отношение количества воды в материале к массе невысушенного материала m :

$$W_a = (m - m_c) 100 / m.$$

Между влагосодержанием и влажностью имеется следующая взаимосвязь:

$$W_a = 100W / (100 + W).$$

За показатель гигроскопичности волокон и нитей принимают обычно нормальную влажность $W_{\text{н}}$.

Десорбцию водяных паров характеризуют показателем влагоотдачи, иногда временем высыхания материала. Влагоотдача подсчитывается по формуле

$$B_0 = (m_{100} - m_0) 100 / (m_{100} - m_c),$$

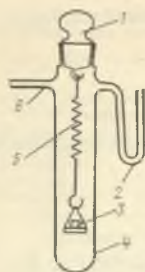


Рис. VI.5. Схема сорбционных весов

где m_{100} и m_0 — масса материала после выдерживания при относительной влажности воздуха 100 и 0 %; m_c — постоянная масса материала после высушивания.

Методы измерения влажности можно разделить на прямые и косвенные. К прямым относятся тепловые (в сушильных аппаратах), дистилляционные и экстракционные, ко второй группе — электрические.

Элементарные пробы массой 8—10 г обычно высушивают в сушильных шкафах, массой 100—150 г — в кондиционных (сушильных) аппаратах. В сушильном аппарате пробы волокон, нитей высушиваются в потоке подогретого (обычно до температуры 100—110°C) воздуха.

Сушка заканчивается, когда результаты двух замеров (интервалы между замерами 10—15 мин) повторяются или отличаются друг от друга не более чем на нормированную величину (0,01—0,05 г). Последний результат измерения принимается за постоянную массу высушенного материала.

В ряде случаев для ускорения сушки небольших навесок (8—10 г) применяются инфракрасные лампы. Подробное описание методики определения влажности волокон и нитей приведено в учебном пособии [3].

Электровлагомеры — приборы для косвенного измерения влажности волокон, нитей, главным образом хлопковых и шерстяных. Для химических волокон и нитей их используют довольно редко, так как на показания прибора влияют авиажные или замасливающие вещества, нанесенные на волокна. Электровлагомеры также описаны в учебном пособии [3].

Сорбционные весы применяются при определении влажности для построения изотерм и кинетики сорбции — десорбции водяных паров [4]. Они входят в высоковакуумную стеклянную установку. Основной частью весов является спиральная пружина 5 (рис. VI.5), выполненная из плавленого кварца. Она крепится либо на верхнем конце сосуда, либо на конце притертой пробки 1, как показано на рис. VI.5. На нижнем конце пружины 5 на подвеске размещается элементарная проба 3. Обычно сосуд 4 разъемный и при отделении нижней части сосуда на весы укладывается проба, после чего соединяются верхняя и нижняя части сосуда. Проба с пружиной должна опуститься в сосуд вместе с пробкой. В сорбционных установках часто монтируют не один, а несколько сосудов с весами.

Сосуд 4 соединяется с манометром 2 и через трубку 6 — с системой вакуумирования (на схеме не показана). Этой системой (из форвакуумного и диффузионного насоса) в трубке со-

здается высокое разрежение (до $9,8 \cdot 10^{-4}$ — $9,8 \cdot 10^{-5}$ Па). В результате исследуемая проба высушивается до массы m_c . При этом длина пружины сокращается до L_c . Изменение длины пружины фиксируется катетометром (на схеме не показан). Затем в сосуд 4 через трубку 6 выпускается водяной пар под определенным давлением (9,8 Па). Проба материала 3 сорбирует водяные пары, масса ее увеличивается, пружина 5 удлиняется и ее длина фиксируется. После того как установится сорбционное равновесие ($L_1 = \text{const}$), вводится новая порция водяного пара. Фиксируется также давление паров в системе (манометром 2). Подача пара в сосуд 4 продолжается до тех пор, пока его давление не станет равным давлению насыщения при заданной температуре опыта. По известным коэффициентам упругости пружины, определяемым при предварительной их градуировке, рассчитывается равновесное влагосодержание проб, соответствующее различным давлениям паров воды при постоянной температуре, и строится изотерма сорбции.

Десорбция происходит путем вымораживания (высушивания) водяных паров из сосуда 4 и пробы 3 в замороженную ампулу (на схеме не показана). Для построения полного цикла сорбции — десорбции равновесная влажность определяется по изменению массы пробы при разном давлении водяного пара в сосудах 4 и постоянной температуре.

2. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА

Тепловые свойства (теплопроводность, теплостойкость и огнестойкость и др.) характеризуют отношение волокон и нитей к действию на них тепловой энергии.

Теплопроводность. Теплопроводность оценивается коэффициентом теплопередачи K , Вт/(м²·с), или коэффициентом теплопроводности λ , Вт·м/(м²·с).

$$K = \frac{Q}{F(T_1 - T_2)}; \quad \lambda = \frac{Qb}{F(T_1 - T_2)},$$

где Q — мощность теплового потока, проходящего через слой волокон или нитей, Вт; b — толщина слоя волокон, м; F — площадь слоя волокон, м²; $T_1 - T_2$ — разность температур поверхностей слоя волокон, °C.

Для текстильных волокон и нитей более важны обратные показатели теплопроводности: тепловое сопротивление, теплозащита. К таким показателям относятся тепловое сопротивление R , м²·°C/Вт, или удельное тепловое сопротивление ρ , м²·°C/Вт.

$$R = F(T_1 - T_2)/Q = 1/K; \quad \rho = R/b = F(T_1 - T_2)/(bQ) = 1/\lambda.$$

На практике получила распространение оценка тепловых свойств по суммарному тепловому сопротивлению:

$$R_0 = R_m + 1/\alpha = \rho_m b + 1/\alpha,$$

где R_m — внутреннее тепловое сопротивление материала, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$; ρ_m — удельное тепловое сопротивление материала, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$; b — толщина материала, м ; α — коэффициент теплоотдачи с поверхности материала, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

При переменном во времени (не стационарном) режиме теплопередачи тепловые свойства волокон и нитей оцениваются также коэффициентом температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$,

$$a = 1/(\rho C_0 \rho_1),$$

где ρ — удельное тепловое сопротивление, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$; ρ_1 — плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Показатель температуропроводности характеризует способность к выравниванию температуры в разных точках материала. По П. А. Колесникову [5] удельная теплоемкость для различных волокон следующая:

Волокно	Шелк-сырец, капроновое, шерстяное	Хлопковое, льняное, орлон, вискозное	Лавсановое, локрон	Стекловолокно
Удельная теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$	1,67—1,88	1,38—1,63	1,09—1,13	0,88

Методика определения показателей теплопроводности приведена в учебном пособии [3].

Теплостойкость. Теплостойкость характеризует способность волокон и нитей сохранять свойства при повышенных температурах.

Показатели теплостойкости при нагревании волокон и нитей приведены в табл. VI.3 [4].

В некоторых случаях теплостойкость характеризуют показателем «нулевая прочность», за которую принимается время разрушения в термокамере нити, подвешенной под небольшой (нулевой) нагрузкой (0,9 $\text{сН}/\text{текс}$) и подвергаемой нагреву при постоянной температуре без контакта с нагревающим элементом. Данные по этому показателю нитей, а также по тепловой усадке приведены в табл. VI.4.

Теплостойкость (термостойкость) характеризует стойкость волокон и нитей к термической деструкции. Термостойкость волокон и нитей оценивается по изменению свойств после нагрева и выдержки в нормальных условиях.

По термостойкости волокна и нити разделяются на термостойкие и жаростойкие. К термостойким относятся волокна, предназначенные для эксплуатации в условиях, которые выше области разложения обычных волокон и нитей при $T = 250 \dots 400^\circ\text{С}$. К этим волокнам и нитям относятся кевлар,

Табл. VI.3. Показатели теплостойкости при нагревании волокон и нитей [4]

Волокно и нить	Температура, $^\circ\text{С}$			
	размягчения (липкости)	плавления (разложения)	начала снижения прочности	воспламенения
Вискозное	—	—	150	400—475
Диацетатное	204—245	230—260	93—105	450
Триацетатное	230—250	290—300	—	—
Капроновое	170—200	214—218	90—100	500
Анидное	235	245—260	150	532
Полиэфирное	230—249	248—256	160—170	560
Полиакрилонитрильное	235	—	180—200	530
Полиэтиленовое	90—127	110—149	100	—
Полипропиленовое	140—165	165—177	100	—
Виниловое	200	200—235	180	—
Полифеновое (тефлон)	327	—	205	—
Хлоринное	80—110	—	70—80	—
Стеклоанное	500—838	1200—1600	300—250	—
Хлопковое	—	—	150	390
Шерстяное	—	—	—	590

Табл. VI.4. Нулевая прочность и термоусадка нитей [4]

Нить	Нулевая прочность		Термоусадка, %	
	Температура разрушения нити, $^\circ\text{С}$	Продолжительность нагрева перед разрушением нити, мин	в начале нагрева	при разрушении нити
Хлоринная	175	1,25	65	65
Капроновая				
обычная	225	0,4	5	31
	250	0,08	41	41
термостойкая	225	2,47	3	60
Лавсановая	275	0,05	41	41
Нитроновая				
обычная	350	0,47	70	70
термостойкая	375	0,08	63	63
Вискозная	400	19,3	2	44
	425	16,63	4	58
	450	2,67	28	46
	475	0,1	22	22

внивлон, X-500, СВМ и другие из ароматических, гетероциклических и лестничных полимеров [6].

Жаростойкие волокна и нити сохраняют свои эксплуатационные показатели при температуре 2000—2500 $^\circ\text{С}$. К таким волокнам и нитям относятся углеродные, борные и др. Их наименование: торнел (США), мандор (Англия) и т. д.

Огнестойкость определяет стойкость волокон и нитей к воздействию пламени огня. По стойкости к огню волокна разделяются на негорючие (стеклянное, хлориновое, ацетохлориновое и др.), загорающиеся, но прекращающие гореть и тлеть после удаления из пламени (полиамидное, полиэфирное и др.), горючие, продолжающие гореть и тлеть после удаления из пламени (хлопковое, льняное, гидратцеллюлозное и др.).

3. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Оптические свойства — это свойства, воспринимаемые в зрительных ощущениях. К основным оптическим свойствам волокон и нитей относятся поглощение, преломление, отражение и рассеяние ими света. Известно [7], что при поглощении света волокнами (нитьями) часть энергии электромагнитных волн преобразуется в энергию вторичного излучения или превращается в различные формы внутренней энергии. Наиболее важные оптические свойства волокон (нитей): поляризованная люминесценция, радиотермолюминесценция, блеск, цвет, равномерность окраски, ее устойчивость и др.

Оптические свойства волокон (нитей) определяются строением электронных оболочек атомов, из которых состоят молекулы. Спектральный диапазон электромагнитного излучения света разделяют на диапазоны: ультрафиолетовый ($3 \cdot 10^{-9}$ — $4 \cdot 10^{-7}$ м), видимый ($4 \cdot 10^{-7}$ — $8 \cdot 10^{-7}$ м) и инфракрасный ($8 \cdot 10^{-7}$ — 10^{-4} м).

Излучение может проходить через волокна (нити), отражаться, поглощаться, преломляться и рассеиваться в них. Практически для волокон (нитей) многих видов имеет место сочетание этих явлений.

Коэффициент пропускания τ характеризует отношение потока излучения, пропущенного волокном, к потоку излучения, упавшему на него. При этом коэффициент пропускания при различных частотах излучения имеет разные значения и зависит от строения волокон (нитей), температуры, окраски, состояния поверхности и других факторов. Отметим, что коэффициент пропускания волокон (нитей) при низких температурах значительно больше, чем при высоких.

От поверхности волокон свет отражается. Отражательная способность зависит от свойств поверхности. Гладкая или металлизированная поверхность волокон имеет высокую отражательную способность, наблюдается появление блеска.

Преломление света на границе сред разной оптической плотности принято характеризовать коэффициентом (показателем) преломления n . Он определяется отношением скорости света в вакууме к скорости света в веществе волокон (нитей). Зна-

чение этого показателя зависит также от частоты падающего света. При увеличении частоты коэффициент преломления уменьшается.

При прохождении света через волокна (нити) происходит поглощение излучения за счет затраты энергии на возбуждение атомов и молекул. По закону Ламберта интенсивность I света, проходящего через волокна, ослабляется:

$$I = I_0 \exp(-\kappa l),$$

где I_0 и I — соответственно интенсивности света, входящего в вещество волокна (нить) и прошедшего его; l — толщина волокон (нитей), κ — линейный показатель поглощения.

Одно из важных световых явлений — цвет волокон (нитей). Цветовое ощущение возникает в результате воздействия на глаз потоков электромагнитного излучения из диапазона видимого спектра с длиной волн от 380 до 760 нм. Известно, что в состав белого дневного света входят монохроматические составляющие света (с длинами волн, нм): красный 620—760, оранжевый 590—620, желтый 530—590, зеленый 490—530, голубой 470—490, синий 430—470, фиолетовый 390—430.

Цвет волокон и нитей и методы его оценки. Волокна (нити) могут быть бесцветными — ахроматического цвета — или могут иметь хроматические цвета. Ахроматические цвета получаются при отражении телом лучей всех длин волн спектра в одинаковом соотношении. Известно, что при полном отражении будет белый цвет, при полном поглощении — черный, при неполном — серый.

Основной характеристикой цвета является коэффициент отражения:

$$\kappa_0 = S_0/S,$$

где S_0 — количество отраженного света; S — количество падающего света.

Ахроматические цвета различают также по светлоте, определяемой коэффициентом отражения, последний не зависит от интенсивности освещения исследуемого объекта.

Оценка цвета может быть органолептической и с помощью приборов — фотометров. При органолептической оценке ахроматические цвета разделяют на ярко-белый, светло-серый, темно-серый, черный, глубоко-черный. Точнее оценка по ахроматической шкале, представляющей набор образцов ахроматического цвета, коэффициент отражения которых заранее измерен.

У волокон и нитей преобладают природные цвета: белый, кремовый, светло-серый, желтый и серый. Яркая окраска, как правило, искусственная.

Хроматические цвета отличаются один от другого по светлоте и цветовому тону, зависящему от длины волн света, отраженного волокнами, нитями. Естественной шкалой является

спектр красно-фиолетовый. Могут быть переходные цветовые тона. Хроматические цвета имеют в основном крашенные волокна и нити.

Хроматические цвета определяются следующими показателями: длиной волны (цветовой тон), коэффициентом отражения (светлотой), чистотой, насыщенностью (степенью различия хроматического цвета от серого, одинакового с ним по светлоте).

Методы определения хроматического цвета волокон и нитей: органолептический (по атласу цветов) и с использованием колориметров различных конструкций.

Для оценки равномерности окрашивания нитей определяют коэффициент отражения света на разных участках трубок, связанных на чулочной трикотажной машине из исследуемых нитей. Трубки подвергают отварке для удаления замасливателя и окрашивают в голубой цвет. После промывки, сушки и глаженья на фотоэлементном приборе определяют коэффициент отражения света на разных участках трубок и его неравномерность (коэффициент вариации).

Блеск волокон и нитей связан с отражательной способностью их поверхности. Отражательная способность поверхности волокон и нитей находится между зеркальной и абсолютно шероховатой и воспринимается глазом как различная степень блеска. Большинство текстильных волокон, за исключением стеклянных, оптически анизотропны. Для уменьшения блеска химических волокон и нитей их матируют. Блеск пряжи, комплексных и крученых нитей значительно меньше блеска волокон, элементарных нитей, так как скручивание существенно увеличивает рассеяние света.

Блеск оценивают по относительному коэффициенту отражения, показывающему отношение интенсивности света I_0 , отраженного и рассеянного под заданным углом ($45-80^\circ$) к нормали от пробы, к интенсивности света I_s , отраженного и рассеянного в том же направлении от эталона.

$$\kappa = I_0/I_s.$$

Для оценки блеска волокон и нитей обычно применяют фотометры.

Двойное лучепреломление. Явление двулучепреломления связано с анизотропией волокон как на молекулярном, так и надмолекулярном уровне. Пучок света, пройдя через оптически анизотропную среду, распадается на два луча (обыкновенный и необыкновенный), поляризованных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и распространяющихся с различными скоростями.

Фибриллярность волокон приводит к тому, что перпендикулярно оси волокон поляризуется обыкновенный луч n_o , а па-

раллельно оси — необыкновенный n_n . Чем больше анизотропия, тем больше разность $n_n - n_o$, тем больше двойное лучепреломление. Ниже приведена разность $n_n - n_o$ основных групп волокон:

Волокно	Полиэфирное	Гидрат-целлюлозное	Полиамидное	Лубяное	Шерстяное	Стекло-ное
$n_n - n_o$	0,2—0,25	0,02—0,3	0,04—0,06	0,05—0,06	0,01	0

Триацетатные и полиакрилонитрильные волокна имеют отрицательные значения разности $n_n - n_o$.

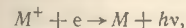
Двойное лучепреломление используется для оценки ориентации элементов структуры волокон и нитей одного химического состава.

Из известных методов определения двулучепреломления наиболее точным является метод Сенармона с использованием компенсационной пластинки $\lambda/4$. Высокая точность определения двулучепреломления этим методом достигается путем определения порядка интерференции, величина которого соответствует числу целых длин волн N , укладывающихся в оптической разности хода $n_n - n_o$.

Дихроизм волокон и нитей. Дихроизм — явление, отражающее изменение окраски в проходящем свете у анизотропных тел в зависимости от направления световых лучей. Оно тесно связано с двойным лучепреломлением. Дихроизм волокон, нитей зависит также от красителя.

Радиотермолуминесценция волокон и нитей. Явление радиотермолуминесценции связано с испусканием света атомами и молекулами высокомолекулярных веществ, в том числе волокон, нитей, возбужденных действием проникающей радиации при низких температурах, и последующем плавном нагревании. При облучении волокон, нитей происходит захват электронов «ловушками» вещества, в качестве которых могут быть дефекты структуры, а также примесные атомы (наиболее глубокие «ловушки»). При разогреве заряды из «ловушек» высвобождаются и происходит свечение (радиотермолуминесценция).

Схема процесса рекомбинации зарядов, приводящей к радиотермолуминесценции (РТЛ), может быть изображена как



где M^+ — ион основного вещества; e — электрон, захваченный в «ловушки»; $h\nu$ — квант.

Это свечение волокон (нитей) регистрируется.

Характерной особенностью радиотермолуминесценции волокон, нитей из органических веществ является наличие максимумов свечения на кривой РТЛ в интервалах температур, где имеют место кинетические и структурные переходы, обусловленные размораживанием подвижности отдельных звеньев и сег-

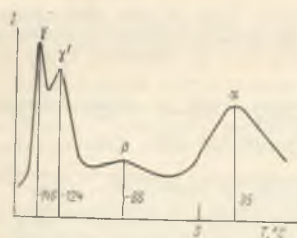


Рис. VI. 6. Кривая термолюминесценции:

α — релаксация, связанная с подвижностью основной цепи; β — релаксация, связанная с размораживанием сегментальной подвижности; γ, γ' — релаксация, связанная с размораживанием движения боковых привесков и концевых групп макромолекул

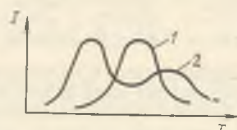


Рис. VI. 7. Кривые высвечивания волокон:

1 — однокомпонентной структуры; 2 — двухкомпонентной структуры

ментов макромолекул, а также молекулярным движением в некристаллических и кристаллических областях волокон.

Г. М. Бартеневым и Ю. В. Зеленым [7] отмечается, что в некристаллических полимерах может быть от 1 до 5 переходов, обусловленных движением отдельных групп в звеньях цепи, движением боковых групп или ответвлений, движением участков цепи (состоящих из 2—4 атомов углерода), движением сегментов цепи (содержащих примерно 50—100 атомов основной цепи), всей цепи как целого (рис. VI. 6).

Максимальная интенсивность свечения происходит при температуре стеклования. При этом увеличение скорости разогрева приводит к смещению максимума интенсивности свечения волокон.

Для бикомпонентных волокон, нитей обнаруживают два максимума интенсивности, характерных для температуры стеклования полимерных веществ, составляющих волокна (рис. VI. 7). При однородном смешивании веществ высвечивается один максимум при температуре стеклования, промежуточной между составляющими полимерными веществами.

Радиотермолюминесценция волокон, нитей позволяет также определить энергию активации. При изменении скорости разогрева облученных волокон, нитей максимум интенсивности свечения смещается.

Взаимосвязь между энергией активации U_a и температурой максимума интенсивности свечения $T_{\max}$ при разной скорости разогрева ω выражается уравнением

$$\frac{U_a}{RT_{\max}^2} \omega = \exp\left(-\frac{U_a}{RT_{\max}}\right).$$

Рис. VI. 8. Корреляционная связь температуры максимумов интенсивности высвечивания и скорости разогрева волокон (нитей)



где R — газовая постоянная; v_0 — предельная скорость при весьма высоких температурах ($T \rightarrow \infty$).

$$v_0 = v/\exp[-U_a/RT],$$

где v — скорость размораживания молекулярной подвижности в 1 моль вещества.

Практически энергия активации вещества может быть определена на основе экспериментальных данных, получаемых при разной скорости разогрева исследуемых волокон и нитей, используя при этом корреляционную связь показателей обратных температур при максимуме интенсивности и логарифма скорости разогрева (рис. VI. 8):

$$1/T_{\max} = C_1 - C_2 \lg \omega.$$

В этом уравнении постоянная $C_1 = 1/T_{\max}$ при $\lg \omega = 0$, постоянная $C_2 = \lg \alpha = 2,3K/U_a$, откуда энергия активации

$$U_a = 2,3K/C = 2,3K/\lg \alpha,$$

где K — постоянная Больцмана.

Для изучения радиотермолюминесценции используется радиотермолюминограф РТД-4, разработанный Институтом химической физики АН СССР, Московским текстильным институтом им. А. Н. Косыгина и Орловским ПО «Научприбор». В установку входят источник рентгеновского излучения, блоки вакуумирования и охлаждения проб, облучения и термолюминесценции. В камере вакуумирования и охлаждения проб происходит предварительная подготовка волокон (нитей) к радиотермолюминесцентному исследованию, цель которой уменьшить содержание молекулярного кислорода.

В блоке облучения охлажденные жидким азотом пробы волокон (нитей) подвергаются действию рентгеновского излучения. В блоке термолюминесценции при нагревании выделяемая веществом исследуемых волокон (нитей) энергия люминесценции преобразуется в электрическую и сигнал передается на потенциометр для регистрации интенсивности радиотермолюминесценции в зависимости от температуры разогрева.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К электрическим свойствам волокон и нитей относятся их электризуемость, диэлектрические потери, проникаемость, электропроводность, электрическая прочность и др. [8].

Электризуемость волокон и нитей. Ее характеризует способность волокон и нитей к генерации и накоплению зарядов статического электричества. В процессах механической технологии волокон, нитей, когда они трутся между собой, об органы машины, может проявиться сильная электризуемость и возникают условия, при которых волокна и нити, имея одноименные заряды, пушатся, отталкиваются друг от друга, технологический процесс нарушается, возникают повышенная обрывность и другие нежелательные явления.

Наиболее сильно электризуются химические волокна и нити (хлориновые, ацетатные, капроновые и др.). Электризуются и натуральные волокна (шерсть, шелк), но значительно меньше.

Снижению электризуемости волокон и нитей способствует повышение относительной влажности воздуха, покрытие их масляной пленкой или антистатическими препаратами в виде гигроскопических солей, полиалкоголей, мыла, катионоактивных и других веществ. Кроме того, используются ионизационные установки на пути движения волокон, нитей для разноименной их электризации.

Электризуемость оценивают следующими параметрами: напряженностью электрического поля

$$E = f/q = U/H,$$

где f — сила, которую испытывает заряд q , внесенный в электростатическое поле; U — потенциал; H — расстояние до заряженного тела;

поверхностной плотностью

$$\sigma = q/S,$$

где S — поверхность волокон или нитей;

линейной плотностью

$$\tau = q/L,$$

где L — длина волокна или нити.

В табл. VI.5 приведена поверхностная плотность зарядов волокон при их относительной влажности 44 и 64 %. Из этих данных следует, что наибольшую электризуемость имеют хлориновые, ацетохлориновые и анидные нити. При повышении относительной влажности воздуха с 44 до 64 % поверхностная плотность нитроновых, ацетатных нитей снижается почти в 32 раза. Также существенно снижается электризуемость других нитей.

Кроме того, необходимо знать знак заряда. Для определения величины и знака заряда используют прибор ИВЗ-1 и др.

Диэлектрические потери и проницаемость волокон, нитей. Для волокон и нитей как полимерных материалов возможны

Табл. VI.5. Поверхностная плотность зарядов σ волокон и нитей при разной их относительной влажности Φ [9]

Нить (волокно)	$\sigma, \text{ Кл/см}^2 (\times 10^{11})$		Нить (волокно)	$\sigma, \text{ Кл/см}^2 (\times 10^{11})$	
	$\Phi=44\%$	$\Phi=64\%$		$\Phi=44\%$	$\Phi=64\%$
Хлориновые	111,2	27,4	Энантовые	83,8	16,2
Ацетохлориновые	111,2	17,1	Нитроновые	61,6	2
Капроновые			Ацетатные	61,6	2
блестящие	92,3	17,1	Вискозные блестящие	56,4	—
матированные	88,9	16,2	Лавсановые	35,9	7,7
Анидные	85,5	25,6			

два типа диэлектрических потерь: дипольно-сегментальные и дипольно-групповые. Дипольно-сегментальные потери связаны с ориентационным поворотом полярных звеньев макромолекул и возможны при температуре, которая выше температуры стеклования, т. е. когда волокна находятся в высокоэластическом состоянии. В стеклообразном состоянии в волокнах и нитях могут иметь место лишь дипольно-групповые потери, обусловленные ориентацией полярных групп.

За характеристику диэлектрических потерь в волокнах или нитях принят тангенс угла потерь, выражающий потерю электрической мощности переменного тока за счет превращения ее в тепловую.

Тангенс угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{ctg} \varphi = 1/(\omega CR) = G/(2\pi fC),$$

где δ — угол потерь ($\delta = 90^\circ - \varphi$); φ — угол сдвига между током и напряжением для реального конденсатора с потерями; ω — круговая частота; C — емкость конденсатора; R — активное сопротивление; G — активная проводимость; f — частота переменного тока, Гц.

Тангенс угла потерь для различных нитей существенно различен и зависит от частоты переменного тока. Данные, приведенные в табл. VI.6, подтверждают это.

Табл. VI.6. Тангенс угла потерь нитей [10]

Нить	$W_a, \%$	$\operatorname{tg} \delta$ при частоте, мГц		
		0,1	1	10
Хлопчатобумажная пряжа	7,2	0,121	0,075	0,061
Вискозная штательная пряжа	11,9	0,031	0,026	0,037
Нейлоновая нить	4	0,053	0,04	0,032
Терилоновая нить	0,5	0,03	0,022	0,017
Стеклоанная нить	0	0,009	0,003	0,004

Одной из важнейших характеристик электрических свойств волокон и нитей является их диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая постоянная):

$$\epsilon = c/c_0,$$

где c — емкость конденсатора, заполненного волокнами (нитьями); c_0 — емкость конденсатора с воздушным диэлектриком.

Диэлектрическая проницаемость, как и тангенс угла потерь, зависит от структуры волокон, их влажности и частоты переменного тока. Приведенные в табл. VI.7 данные наглядно иллюстрируют эту взаимосвязь [10].

Так, с увеличением частоты переменного тока диэлектрическая проницаемость уменьшается. Однако изменения диэлектрической проницаемости нитей более существенны при увеличении их влажности.

Относительную диэлектрическую проницаемость и тангенс угла потерь измеряют с помощью электроизмерительных автоматизированных установок с использованием моста Шерринга. Описание установок и методики по определению диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь приведены в учебном пособии [3].

Табл. VI.7. Расчетная относительная диэлектрическая проницаемость ϵ при различной относительной влажности воздуха ϕ , влагосодержании нитей W_a и частоте тока f [10]

Нить или пряжа	ϕ , %	W_a , %	ϵ при частоте тока, кГц.			
			0,1	1	10	100
Хлопчатобумажная пряжа	0	0	3,3	3,2	3,1	3
	45	5	11,7	7,1	5,3	4,4
	65	6,5	51	18	9,4	6
Вискозная пряжа	0	0	3,8	3,6	3,6	3,5
	45	9	6,9	5,4	5	4,7
	65	11,5	17	8,4	6	5,3
Ацетатная пряжа	0	0	2,6	2,6	2,5	2,5
	45	4	3,1	3	3	2,9
	65	6	3,7	3,5	3,4	3,3
Нейлоновая пряжа	0	0	2,6	2,5	2,5	2,4
	45	3,5	3	2,9	2,8	2,6
	65	4,5	4,3	3,7	3,3	2,9
Шерстяная пряжа	0	0	2,8	2,7	2,7	2,6
	45	9	3,8	3,5	3,4	3,3
	65	12	7,4	5,5	4,9	4,6
Орлоновая пряжа	0	0	3,4	2,8	2,5	2,3
	45	1,5	4	3,3	2,8	2,5
	65	2	5,7	4,2	3,3	2,8
Стекланная нить	0	0	2,8	2,7	2,7	2,6

Табл. VII.8. Показатели свойств элементарных и комплексных (технических) волокон [8]

Вид сырья	Содержание, %		Элементарное волокно				Техническое волокно	
	целлюлозы	лигнина	Длина, мм		Средний поперечник, мкм	Разрывное напряжение, Па ($\cdot 10^9$)	Длина, см	Линейная плотность, текс
			средняя	максимальная				
Лен	70—80	2—4	10—26	130	12—17	80—120	40—125	1,25—5
Пенька	77—78	4—8	10—14	65	14—17	90	50—250	7,7—40
Джут	64—74	11—16	2—4	25	15—20	33	120—300	2,25—5
Кенаф	70—72	13—18	2—5	11	14—32	40—46	120—300	4—6,65
Канатник	55—57	16—20	1—2	7	13—30	33—45	100—250	5,5—14,3
Манилла	64—65	30	2—6	12	16—32	47	80—220	4,35—33
Сизаль	70—72	14—15	2—3	8	12—26	44	80—220	4,75—33
Рами	78—79	1—2	50—65	450	30—35	70—95	60—160	0,63—0,72

Характеристики их свойств по разным источникам иногда значительно отличаются. Ориентировочные данные о свойствах элементарных и комплексных (технических) лубяных волокон приведены в табл. VII.8.

Свойства технического волокна зависят не только от свойств и размеров элементарных волокон, но и от связей их между собой. С повышением содержания лигнина эта связь увеличивается, но вместе с тем повышается одревеснелость, жесткость и хрупкость и одревеснелость технических волокон. На их свойства влияют также условия выращивания лубоволокнистых растений, сроки их уборки и способы первичной обработки [2].

Льняное волокно обладает высокой прядильной способностью, обусловленной малой линейной плотностью элементарных волокон и малым содержанием лигнина. Из льняного волокна, а также смеси с химическими и другими лубяными волокнами получают пряжу сухого и мокрого прядения. Вследствие малого содержания лигнина льняное волокно в процессе мокрого прядения делится на более тонкие комплексы элементарных волокон, что позволяет вырабатывать более тонкую пряжу.

Пеньковое волокно содержит 70—90 % первичных волокон; они лучше по качеству более коротких вторичных, которые в основном выпадают при трепании в отходы [2, 8]. Из пеньки обычно вырабатывают пряжу сухого прядения 300—5500 текс, из которой изготавливают канаты, шпагат и веревки. Пеньковое волокно более грубое и гнилостойкое, чем льняное; поэтому из пеньки вырабатывают рыболовные снасти и морские канаты. Некоторые сорта конопли, убираемые до созревания (на зеленце), дают более тонкое и мягкое волокно, которое может быть

использовано для получения более тонкой пряжи (100—200 текс) мокрым и сухим способами прядения. Из нее вырабатывают нитки и ткани (мешочные, обивочные, парусины). За рубежом из пеньки изготовляют преимущественно пряжу для тканей, а канатные изделия вырабатывают из сизаля, маниллы и химических волокон [8].

Волокно кенафа, джута и канатника состоит из коротких элементарных волокон (1—5 мм) с высоким содержанием лигнина (11—20 %), что обеспечивает прочное соединение их в пучки, но делает техническое волокно одревесневшим и хрупким, особенно канатника. В кенафе и джуте содержание вторичных волокон выше, чем первичных — более прочных, но одревесневших и грубых [2]. Из этих грубостебельных волокон в основном вырабатывают пряжу сухого прядения 300—700 текс для мешков. Хотя волокна имеют большую гигроскопичность, но изготовленные из них мешки не передают влагу хранящимся в них продуктам. Поэтому эти мешки пригодны для сахара, соли и других пищевых продуктов, сильно реагирующих на повышенную влажность. Благодаря небольшой заостренности волокон джута и отсутствию выделения из изделий короткого волокна хранящаяся в джутовых мешках продукция не засоряется. Волокна кенафа и джута хорошо окрашиваются, поэтому из них вырабатывают пряжу для ковров, дорожек, обивочных и декоративных тканей. Их также используют для производства ткани под линолеум.

Волокно рами относится к тонким стебельным волокнам [2]. Волокно прочное, гнилостойкое с небольшим содержанием лигнина. В зависимости от степени обесклеивания луба получают расщепленные элементарные или технические волокна, из последних вырабатывают рыболовные сети, канаты, веревки и ткани в смеси с льняным волокном. Элементарные волокна перерабатывают на специальном оборудовании для получения более тонкой пряжи [8].

Листовые волокна (манилла, сизаль и др.) расположены в листьях растений изолированно, без боковых ответвлений (анастомоза). Технические волокна гладкие, толстые и жесткие с большим содержанием лигнина (14—30 %), они обладают высокой прочностью и гнилостойкостью. В основном их используют для производства канатов, веревок, шпагата [2, 8].

Ассортимент и оценка качества лубяных волокон по стандартам. Требования к показателям качества лубяных волокон основных видов зафиксированы в государственных стандартах (ГОСТ) или в отраслевых стандартах (ОСТ).

Лен трепаный, поступающий на прядильную фабрику с заводов первичной обработки, оценивают по ГОСТ 10330—76** и подразделяют по качеству на 13 номеров с учетом содержания недоработки, костры и сорных примесей (табл. VII.9).

Табл. VII.9. Нормы для оценки номера трепаного льна [9, 10]

Номер трепаного льна	Содержание недоработки, %, не более	Содержание костры и сорных примесей, %		Пределы значений процентнономеров (100 N_T)
		нормированное	предельное	
8	7	7	13	701—850
9	4	6	10	851—950
10	4	5	9	951—1050
11	2	5	9	1051—1150
12	2	4	8	1151—1250
13	2	4	7	1251—1350
14	1	3	6	1351—1450
15	1	3	6	1451—1550
16	1	2	5	1551—1700
18	1	1	4	1701—1900
20	—	—	1	1901—2100
22	—	—	1	2101—2300
24	—	—	1	2301—2500

Номер льна определяют огранолептически сравнением со стандартными образцами. При несоответствии волокна по содержанию недоработки образцу определяют ее содержание, %, и устанавливают номер волокна в соответствии с табл. VII.9. Недоработкой считают волокно, на котором сплошь или с небольшими промежутками на длине не менее 5 см имеется плотно скрепленная с ним древесина. Недоработку, костру и сорные примеси отбирают от волокна вручную пинцетом и определяют их содержание (массовую долю), % начальной массы пробы.

При возникновении разногласий в оценке качества трепаного льна по образцам проводят контрольный гребенной прочес горстей льна, в результате которого из M_T килограммов трепаного льна получают M_d килограммов чесаного льна и M_o килограммов очеса, для которых по ОСТ 17-255—78 и ОСТ 17-166—78 определяют номера (сорта) соответственно N_d и N_o (см. табл. VII.10, VII.11).

Выход чесаного льна, %,

$$B_d = 100M_d/M_T. \quad (\text{VII. 6})$$

Выход очеса, %,

$$B_o = 100M_o/M_T. \quad (\text{VII. 7})$$

Номер трепаного льна

$$N_T = (N_d B_d + N_o B_o) / (B_d + B_o) = (N_d B_d + N_o B_o) / 100. \quad (\text{VII. 8})$$

Значения $100N_T = (N_d B_d + N_o B_o)$, называемые процентнономерами, приведены в табл. VII.9 [9, 10].

Трепанный лен принимают по кондиционной массе m_k , которую подсчитывают по формуле (VII.2), с учетом фактического

содержания костры и сорных примесей Z_f , фактической влажности W_f , нормированного содержания костры и сорных примесей Z_p согласно табл. VII.9, а также нормированной влажности $W_n=12\%$.

Трепанный лен, поставляемый на экспорт, оценивают по ГОСТ 10.30—70** и подразделяют по качеству на 13 номеров (см. табл. VII.9). Для льна, кроме номеров 20, 22 и 24, нормируется предельное содержание, %, недоработки и костры, несколько меньшее, чем указанное в табл. VII.9. Условия оценки качества льна аналогичны условиям, приведенным в ГОСТ 10330—76** [9, 10].

Чесаный лен в горстях оценивают по ОСТ 17-255—78 и подразделяют на 10 сортов, обозначаемых номерами: 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 и 36. Качество (номер) льна определяют органолептически сравнением со стандартными образцами, а в спорных случаях чесаный лен стланцевый и холодноводной мочки оценивают по результатам лабораторного анализа и норм, приведенных в табл. VII.10.

Расчетный номер N_p чесаного льна определяют в зависимости от разрывной нагрузки и гибкости пряток по таблицам стандарта с учетом разрывной нагрузки в мокром виде, а также содержания инкрустов, недоработки, костры, числа шишек на 20 г и общей неровноты по разрывной нагрузке H_p и гибкости H_g (см. табл. VII.10).

Разрывную нагрузку определяют разрывом сухих пряток на разрывной машине ДКВ-60 или РТ 250-М3 при зажимной длине 10 см, а мокрых пряток (мацерационную способность) — на ДКВ-60 с приспособлением УСВ для смачивания волокон [11, 12]. Гибкость волокна определяют по стреле прогиба обоих концов сухих пряток волокна на гибкомере ГО-2 [5]. Неров-

Табл. VII. 10. Нормы показателей качества чесаного льна

Номер чесаного льна	Расчетный номер N_p	Содержание инкрустов, %, не более	Содержание пороков, не более			Общая неровнота $H_p H_g$, %, не более
			недоработки, %	костры, %	шишек, 1/20 г	
14	До 15	4,5	2,5	3,5	2	700
16	15,1—17	3,75	1,5	2,5	1,4	500
18	17,1—19	3,25	0,2	1	1	400
			0,1	1,1—1,7		
20	19,1—21	3	0,05	1	0,6	350
22	21,1—23	2,75	0	0,6	0,2	270
24	23,1—25	2,5	0	0,4	0,2	270
26	25,1—27	2,5	0	0,4	0,2	270
28	27,1—29	2,25	0	0,3	0	200
30	29,1—33	2,25	0	0,3	0	200
36	33,1 и выше	2	0	0,3	0	200

ноту по разрывной нагрузке H_p , %, и гибкости H_g , % подсчитывают раздельно по формуле

$$H_p = H_g = 200 \left(n_{\min} / n - \sum_{i=1}^n x_i \right), \quad (\text{VII. 9})$$

где $n_{\min}$ — число результатов разрывной нагрузки или гибкости ниже среднего; n — общее число испытаний (30 при определении разрывной нагрузки и 60 при определении гибкости); $\sum x_{\min}$ — сумма результатов $x_{\min}$ ниже среднего; $\sum x_i$ — сумма всех n результатов.

Содержание инкрустов определяют сравнением с натуральными эталонами цвета волокна, характеризующими степень его загрязненности остатками покровных и сопутствующих тканей и отчасти толщину волокна. Для определения недоработки и костры их отделяют от волокна вручную. Число шишек подсчитывают, располагая пробу волокна на матовом стекле, освещенном снизу.

Чесаный лен сдают и принимают при фактической влажности 10—16 % по кондиционной массе при нормированной влажности 12 %; при влажности менее 10 % — по фактической массе. При влажности выше 16 % лен не принимают [9, 11].

Льняной очес согласно ОСТ 17-166—78 подразделяют на девять сортов (номеров): 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 и 20. Сорт (номер) очесов оценивают органолептически, сравнивая их со стандартными образцами. При разногласиях и контрольной оценке сорта стланцевого очеса определяют разрывную нагрузку скрученной ленточки и расщепленность. По этим показателям и таблицам стандарта определяют расчетный номер очеса, в который вносят поправки в зависимости от содержания инкрустов и средней массодлины волокна.

При оценке шишковатости очеса (табл. VII.11) различают грубый очес с содержанием инкрустов $C_n > 2,5\%$ и мягкий

Табл. VII. 11. Нормы показателей качества льняного стланцевого очеса

Сорт (номер) очеса	Расчетный номер очеса	Допускаемое содержание костры, %, не более		Допускаемая нормальная шишковатость, 1/20 г, не более	
		нормированное	предельное	Грубый очес	Мягкий очес
4	≤ 5	10	15	3,4	3,9
6	5,1—7	7	12	3,4	3,9
8	7,1—9	5	8	3,4	3,9
10	9,1—11	4	7	3,4	3,9
12	11,1—13	2	5	2,4	2,4
14	13,1—15	2	5	2,4	2,4
16	15,1—17	2	5	2,4	2,4
18	17,1—19	2	4	2,4	2,4
20	$\geq 19,1$	2	4	2,4	2,4

очес при $C_n < 2,5\%$. При $C_n = 2,5\%$ грубым считают очес с расщепленностью $R \leq 430$ и мягким, если $R > 430$. Шишковатость оценивают в баллах сравнением с эталоном проб массой 2 г на освещенном снизу матовом стекле. Если шишковатость или содержание костры превышает нормальный допуск, но не выше предельного, то из соответствующего расчетного номера вычитают 1,5. При содержании костры и шишковатости более предельного допуска очес относят к тому номеру, которому он соответствует по содержанию дефектов.

Для определения разрывной нагрузки очеса полученные из него на лентообразователе ленточки предварительно скручивают на приборе КВ-3 и разрывают на приборе ДКВ-60. Расщепленность R волокон очеса определяют по среднему числу волокон длиной 10 мм с учетом расщепленности в павеске 10 мг, а также по воздухопроницаемости [9, 11].

Приемка льняного очеса по кондиционной массе одинакова с приемкой чесаного льна.

Короткое льняное волокно, получаемое при заводской обработке отходов трепания, тресты, путаннины и короткостебельной тресты [2, 10], подразделяют согласно ГОСТ 9394—76** на пять номеров (табл. VII. 12).

Номер короткого волокна оценивают органолептически, сравнивая его со стандартными образцами, а при разногласиях номер волокна устанавливают в соответствии с табл. VII. 12.

Содержание костры и сорных примесей в волокне определяют по содержанию отходов в лотке, получаемых на приборе ПК-2М, после пересчета по таблицам стандарта [11, 12]. Волокно принимают по кондиционной массе при нормированной влажности $W_n = 12\%$, как и трепанный лен.

Короткое льняное волокно, поставляемое на экспорт, оценивают по ГОСТ 10.31—70** и нормативам разрывной нагрузки и нормального содержания костры и сорных примесей (см. табл. VII. 12).

Длинный, короткий и чесаный луб [2] оценивают по ТУ 17 РСФСР 4191—77 с разделением на сорта, обозначаемые номерами [9, 10].

Табл. VII. 12. Нормы для оценки номера короткого льняного волокна

Номер волокна	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, даН, не менее	Содержание костры и сорных примесей, %, не более	
		нормальное	предельное
8	17,7	11	13
6	15,8	15	16
4	13,8	19	23
3	10,9	22	26
2	5,4	24	29

Трепаная пенька согласно ГОСТ 10379—76** подразделяется на моченцовую и паренцовую отборного, 1, 2 и 3-го сортов, стланцевую 1, 2, 3 и 4-го сортов. Пенька, поставляемая на экспорт, в соответствии с ГОСТ 23406—78** подразделяется на моченцовую отборного, 1, 2 и 3-го сортов, стланцевую 1, 2 и 3-го сортов.

Сорт пеньки оценивают органолептически, сравнивая ее со стандартными образцами. При разногласиях в оценке сорта проводят лабораторные испытания. В этом случае сорт пеньки оценивают по наихудшему показателю разрывной нагрузки точечной пробы (пряди) волокон, линейной плотности, содержанию костры, лапы и наличию недомоченных прядей. В стандарте приведены нормы перечисленных показателей и характеристики внешнего вида волокна каждого сорта отдельно для моченцовой, паренцовой и стланцевой пеньки. В стандарте для волокна отборного, 1 и 2-го сортов нормируется длина горстей пеньки не менее 80 см.

Линейную плотность определяют с учетом расщепленности волокон [11]. Кондиционную массу подсчитывают по формуле (VII. 2) при нормированной влажности $W_n = 13\%$ с учетом нормированного содержания костры Z_n и фактического Z_f .

Чесаная пенька по ОСТ 17-776—78 подразделяется на моченцовую и паренцовую сортов отборного, 1, 2 и 3-го, стланцевую 1, 2 и 3-го сортов. Для каждого сорта в стандарте нормируется балл B , определяемый по эмпирической формуле (VII. 10), максимальное содержание костры, минимальная длина горстей и характеристика внешнего вида (цвет, недомоченные пряди, шишки — пучки коротких волокон, присушенная костра и др.).

$$B = 0,35P_p + 40/T - 0,01P - 0,016C_p + 4,78, \quad (\text{VII. 10})$$

где P_p — разрывная нагрузка пряди волокон, даН; T — линейная плотность с учетом расщепленности волокон, текс; P — содержание (массовая доля) коротких волокон в средней части горсти, %; C_p — коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %.

Кондиционную массу подсчитывают по формуле (VII. 2) при нормированной влажности $W_n = 13\%$ с учетом фактического Z_f и нормированного Z_n содержания костры.

Очес пеньки по ОСТ 17-477—75 подразделяется на 1, 2 и 3-й сорта. Сорт очеса устанавливают по наихудшему показателю — разрывной нагрузке, содержанию костры, лапы, лыкообразных (широколистистых) грубых прядей и характеристике внешнего вида. Очес принимают по кондиционной массе при нормированной влажности $W_n = 13\%$.

Короткая пенька по ГОСТ 9993—74** подразделяется на 1, 2 и 3-й сорта. Сорт пеньки оценивают органолептически, сравнивая ее со стандартными образцами, а при разногласиях про-

Табл. VII. 13. Нормы для оценки сорта короткой пеньки

Сорт короткой пеньки	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, Н, не менее	Содержание костры, %		Содержание лапы, %, не более
		нормированное	предельное, не более	
1	304	10	12	4
2	245	13	17	5
3	167	16	21	7

Табл. VII. 14. Нормы для оценки сорта длинного волокна кенафа

Сорт волокна	Разрывная нагрузка, Н, не менее	Гибкость, мм, не менее	Содержание лапы и лубообразных прядей, %, не более	Содержание костры, %, не более	
				расчетное Z_n	предельное
1	235 216	22 30	0,5	1	3
2	196 186 176	20 23 30			
3	157	21	7	2,5	6
4	137	18	15	3,5	7

водят лабораторные испытания и сорт устанавливают в соответствии с табл. VII. 13.

Волокно принимают по кондиционной массе m_k , определяемой при нормированной влажности $W_n = 13\%$ по формуле (VII. 2), для фактического содержания костры Z_f и нормированного Z_n . Величину Z_f определяют вручную или на приборе ПКП [11].

Длинное волокно кенафа подразделяют по ГОСТ 11191—77** на 1, 2, 3 и 4-й сорта. Потребитель принимает волокно по внешнему виду, а изготовитель проверяет качество волокна по показателям разрывной нагрузки, гибкости, содержания костры, лапы и лубообразных прядей (табл. VII. 14).

Оценка сорта производится по наихудшему показателю. При отклонении одного из показателей внешнего вида (цвета, чистоты, наличия лапы и др.), установленных для каждого сорта, в сторону ухудшения волокно оценивают сортом ниже. Для 1-го и 2-го сорта допускаются различные сочетания норм разрывной нагрузки и гибкости волокна.

Кондиционную массу m_k подсчитывают при нормированной влажности $W_n = 14\%$ с учетом расчетного Z_n и фактического Z_f содержания костры по формуле (VII. 2).

Короткое волокно кенафа подразделяют по ГОСТ 9992—79** на 1 и 2-й сорта (табл. VII. 15).

Табл. VII. 15. Нормы для оценки сорта короткого волокна кенафа

Сорт	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, Н, не менее	Содержание костры, остатков коробочек и листьев, %, не более		Содержание лапы и лькообразных прядей, %, не более	Характеристика внешнего вида
		расчетное	предельное		
1	206	10	15	8	Перечень показателей цвета, чистоты и дефектов
2	147	15	18	16	

Изготовитель проверяет качество волокна по всем показателям стандарта, а потребитель — по внешнему виду, сравнивая со стандартными образцами.

Короткое волокно кенафа принимают так же, как и длинное.

ПРЯЖА ИЗ ЛУБЯНЫХ ВОЛОКОН

Ассортимент и оценка качества пряжи по стандартам. ГОСТ 11970.2—76* предусматривает следующий ассортимент пряжи из лубяных волокон: однониточная льняная пряжа 17—1200 текс и пряжа той же номинальной линейной плотности из смеси льняного и других волокон, пряжа 320—6900 текс из пеньки, кенафа и смеси их с другими лубяными волокнами.

Льняная пряжа по сырьевому составу подразделяется согласно ОСТ 17-806—79 на чистольняную (ЧЛ), не содержащую химических волокон; льняную (Л), содержащую не более 8% химических волокон, и льняную с химическими волокнами (ЛХ), имеющую не менее 30% льняных волокон.

ГОСТ 10078—85 классифицирует пряжу по способу прядения на льняную (Л), оческовую (О), сухого (Сух) и мокрого (М) прядения, а по способу обработки — на суровую (С), вареную (В), беленую (Б) и крашеную (К). По показателям качества пряжа подразделяется (по мере ухудшения) на группы: СЛ — специальная льняная; ВЛ — высокая льняная; СрЛ — средняя льняная; ОЛ — обыкновенная льняная; СО — специальная оческовая; ВО — высокая оческовая; СрО — средняя оческовая и ОО — обыкновенная оческовая.

У пряжи отдельных групп установлены нормы удельной разрывной нагрузки P_o только для 1-го сорта, а у пряжи СрЛ, СрО и ОО сухого прядения и ОЛ и ОО мокрого прядения установлены нормы для 1 и 2-го сортов. Нормы коэффициента вариации по линейной плотности C_T и разрывной нагрузке C_P установлены по всем группам для 1 и 2-го сортов. Устанавливают сорт по наихудшему показателю P_o , C_T или C_P . Для сравнения в табл. VII. 16 приведены нормы качества пряжи 83 текс разных способов прядения и обработки (ГОСТ 10078—85).

Табл. VII.16. Нормы качества пряжи ЧЛ и Л линейной плотности 83 текс

Пряжа	Группа	Сорт	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс, пряжи ЧЛ, Л		Коэффициент вариации, %, не более	
			нормированная	допуск	по линейной плотности	по разрывной нагрузке
					ЧЛ, Л	ЧЛ, Л
Суровая мокрого прядения	СЛ	1	18,8	-0,9	6,2	19
	ВЛ	1	17,2	-0,9	6,2	19
	СрЛ	1	15,9	-0,8	6,2	19
	ОЛ	1	14,8	-0,8	6,2	19
	ОЛ	2	14,8	-1,8	13	29
Суровая сухого прядения	СрО	1	13	-0,7	6,2	19
	СрЛ	1	13,5	-0,7	8	23
	СрЛ	2	13,5	-1,6	13	33
	СрО	1	8,9	-0,4	9	19
	СрО	2	8,9	-1,1	15	30
Вареная и беленая	СрЛ	1	16,3	-0,8	6,9	21,5
	СрО	1	13,5	-0,7	7,2	21,5
Крашенная	СрЛ	1	15,5	-0,8	7,5	22
	СрО	1	12,6	-0,6	7,8	22

К нормам удельной разрывной нагрузки P_0 для пряжи с химическими волокнами даются отклонения ΔP_0 , приведенные в табл. VII.17. При повышении удельной разрывной нагрузки P_0 выше номинальных норм на 5, 10 или 15 % норма коэффициента вариации по разрывной нагрузке C_p может быть увеличена соответственно на 1, 2 или 3 % (абсолютных).

Для льняной пряжи с синтетическими волокнами мокрого прядения, используемой в костюмно-плательевых тканях, нормируется коэффициент вариации разрывного удлинения не более 43, 68 и 58 % при доле лавсанового волокна соответственно 33, 50 и 62 %.

По внешнему виду в зависимости от среднего класса чистоты K пряжу относят при $K \leq 2$ к 1-му сорту и при $K < 3$ — ко 2-му сорту. Класс чистоты определяют сравнением пряжи, намотанной на доску контрастного цвета, с фотоэталоном.

При возникновении разногласий между изготовителем и потребителем в оценке качества пряжи по коэффициенту вариации разрывной нагрузки C_p и по разрывной нагрузке P_p пряжу принимают по вероятностным оценкам $P(C_p \leq C_n)$ и $P(P_p \geq P_n)$.

Для определения вероятности $P(C_p \leq C_n)$ вычисляют по формуле

$$q = P_n C_n / (P_p C_p), \quad (VII.11)$$

где P_n и P_p — норма и фактическая разрывная нагрузка пряжи, Н; C_n и C_p — норма и фактический коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %.

Табл. VII.17. Отклонения, %, удельной разрывной нагрузки для пряжи суровой льняной (Л) и оческовой (О) с химическими волокнами

Вложение химических волокон в пряжу, %	Синтетические волокна				Искусственные волокна			
	Мокрое прядение		Сухое прядение		Мокрое прядение		Сухое прядение	
	Л	О	Л	О	Л	О	Л	О
<10	-12	-6	-4	-2	-12	-10	-10	-8
10-15	-15	-9	-6	-5	-17	-11	-13	-9
15-20	-20	-12	-8	-7	-22	-14	-16	-12
20-25	-25	-20	-9	-9	-28	-18	-20	-15
25-30	-30	-25	-10	-10	—	—	—	—
30-35	-35	-14	-5	0	—	—	—	—
35-40	-37,5	-7	0	+10	—	—	—	—
40-45	-39	0	+10	+20	—	—	—	—
45-50	-37,5	+5	+17	+30	—	—	—	—
50-55	-35	+10	+25	+40	—	—	—	—
55-60	-32,5	+15	+32	+48	—	—	—	—
60-65	-25	+20	+39	+55	—	—	—	—
65-70	-23	+25	+46	+60	—	—	—	—

По q определяют вероятность приемки $P(C_p)$ пряжи при числе испытаний $n = 50$ (числитель) или $n = 100$ (знаменатель):

q	$\leq 0,8$	$\leq 0,85$	$\leq 0,9$	≤ 1	$\leq 1,1$	$\leq 1,15$	$\leq 1,2$	$\geq 1,25$
$P(C_p)$	$\leq 0,02/0$	$\leq 0,07/0,02$	$\leq 0,16/0,08$	$\leq 0,5/0,5$	$\leq 0,84/0,92$	$\leq 0,93/0,98$	$\leq 0,98/1$	$\geq 0,99/1$

По ГОСТ 10078—85 пряжу принимают 1-м сортом при вероятности $P(C_p) \geq 0,9$.

Для определения вероятности $P(P_p \geq P_n)$ приемки партии пряжи по разрывной нагрузке вначале подсчитывают величину I :

$$I = K(P_p - P_n)/(P_p C_p), \quad (VII.12)$$

где P_n — предельная минимальная норма разрывной нагрузки, Н.

Здесь $K = 320$ при $n = 50$ и $K = 890$ при $n = 100$.

Согласно ГОСТ 10078—85** вероятность приемки пряжи оценивают по наихудшему показателю. При $I \geq 0$ определяют вероятность приемки $P(P_p \geq P_n)$, а при $I < 0$ определяют вероятность браковки $P(P_p < P_n)$:

I	0	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,6$	$\pm 1,8$	± 2	$\pm (\geq 2,2)$
$P(P_p \geq P_n)$	0,5	0,66	0,79	0,88	0,9	0,94	0,96	0,98	0,99

При $P(C_p \leq C_n) \geq 0,9$ и $P(P_p \geq P_n) \geq 0,9$ пряжу принимают той группой и тем сортом, для которых в формулы (VII.11) и (VII.12) были взяты P_n , P_p и C_n . Если $P(C_p \leq C_n) < 0,9$ или

$P(P_r \geq P_n) < 0,9$, то переходят на нормы более низких группы или сорта.

Вероятностная оценка качества партии пряжи для разных нормативов и объемов выборки изложена в гл. II. При оценке возможны три решения: принять партию пряжи, забраковать ее или увеличить объем выборки для повторной оценки качества пряжи.

Льно-джуто-кенафная пряжа согласно ОСТ 17-460—75 вырабатывается линейной плотности 340, 400, 440, 600 и 1600 текс. В стандарте отдельно для пряжи 1 и 2-го сорта даны нормы допускаемого отклонения δ кондиционной линейной плотности от номинальной, разрывной нагрузки P_r , коэффициентов вариации по линейной плотности C_L и разрывной нагрузке C_R . При исключении из смеси джутового волокна допускается снижение P_r до 8 % и повышение C_R на 5 % (абсолютных). При завышении против нормы P_r допускается соответствующее завышение C_R . Установлены нормированная влажность $W_n = 14\%$ и коэффициент крутки $\alpha \geq 28$.

Кабельная пряжа из коротких лубяных волокон вырабатывается линейной плотности 1700, 2200 и 3400 текс. По ГОСТ 905—78* пряжу подразделяют на группы: специальная, повышенная и обыкновенная. Для пряжи этих групп нормируются разрывная нагрузка P_r , коэффициенты вариации C_L и C_R , крутка и содержание костры.

3. ШЕРСТЬ, ШЕРСТЯНАЯ И ПОЛУШЕРСТЯНАЯ ПРЯЖА

ШЕРСТЬ

Шерсть представляет собой сырье с весьма неоднородными свойствами. Неодинаковой бывает шерсть не только с животных разных пород, но и с животных одной породы. Так, полярковая шерсть с впервые остриженных ягнят мягче и тоньше шерсти взрослых овец, шерсть баранов грубее шерсти маток. В пределах одного и того же руна шерсть с боков, лопаток, ляжек и живота отличается по своим свойствам [2].

Для обеспечения стабильного технологического процесса прядения и получения равномерной пряжи сырье должно быть однородным. Поэтому шерсть делят на группы, близкие по свойствам волокна, а затем смешивают шерсть однотипных групп. Для этого используют классировку, т. е. оценку и подбор шерсти по качеству целыми рунами, а затем сортировку — дальнейшее разделение рун шерсти на части, однородные по качеству, которые затем объединяют вместе и получают несколько партий, каждая из которых более однородна. В результате сортировки шерсти после отделения отсортровок и отклассировок

получают рунную шерсть, составляющую основную массу сортированной шерсти.

К отсортировкам относятся нетипичная грубая шерсть, базовая, свалок и тавро. Базовая шерсть — руна или отдельные их части, загрязненные экскрементами; тавро — шерсть, загрязненная красящими веществами; свалок — куски шерсти или целые руна, с трудом поддающиеся разъединению руками.

К отклассировкам относят обор, клок, обножку и клонкер. Обор — мелкие загрязненные экскрементами клочки шерсти, отделенные с краев рун, хвоста, лба и задних ног; клок — мелкие загрязненные экскрементами клочки неоднородной шерсти; обножка — короткая огрубленная шерсть, состригаемая с нижней части ног овец; клонкер — клочки шерсти, сильно загрязненные прилипшими к ним в виде комков экскрементами. Оценку качества шерсти и ее сортировку проводят в соответствии с промышленными стандартами [13—15].

Классификация овечьей шерсти и оценка ее качества по стандартам. Научно-техническая классификация шерсти в нашей стране разработана Центральным научно-исследовательским институтом шерстяной промышленности [14]. По этой классификации шерсть подразделяют на два раздела: А — однородную и Б — неоднородную. Однородная шерсть состоит из волокон пуха или переходного волоса, а неоднородная — из волокон пуха, переходного волоса, ости и мертвого волоса [2, 5]. Однородную шерсть классифицируют по четырем группам: тонкая, полутонкая, полугрубая и грубая; все группы подразделяются в зависимости от тонины (среднего поперечника волокна) и неравномерности по тонине на градации, называемые качествами и обозначаемые в стандартах 80^к, 74^к, 70^к, 64^к и т. д. Числовая величина качества примерно соответствует прядельному номеру шерсти и чем он выше, тем тоньше и равномернее шерсть и тем более тонкая пряжа требуемой прочности из нее вырабатывается. Неоднородную шерсть по тем же показателям подразделяют на две группы — полугрубая и грубая и на шесть сортов: высший, I, II, III, IV и V. Нормы и порядок оценки качества натуральной овечьей шерсти зафиксированы в стандартах.

Тонкая шерсть по ГОСТ 26383—84 подразделяется на мериновосую и помесную, а по состоянию шерстного покрова — на рунную, отсортировки и отклассировки. Рунная шерсть в зависимости от тонины — среднего поперечника d и его среднего квадратического отклонения σ подразделяется на девять качеств согласно табл. VII. 18. Размеры поперечника волокон измеряют оптическими приборами [5] или по воздухопроницаемости.

По длине рунная мериновосая шерсть подразделяется на градации: I длина ($L \geq 70$ мм), I—I длина ($L \geq 55$ мм),

Табл. VII. 18. Нормы показателей качества для мериносовой и помесной шерсти

Показатель	Мериносовая шерсть						Помесная шерсть		
	80°K	70°K	64—70°K	64°K	64—60°K	60°K	64°K	60°K	64—60°K
Средняя тонина d , мкм	До 18	18,1—20,5	19,5—20,5	20,6—23	20,6—25	23,1—25	До 23	23,1—25	До 25
Среднее квадратическое отклонение δ , мкм, не более	3,6	4,51	5,43	5,43	6,4	6,4	5,75	7	7,25

II длина ($L \geq 55$ мм), III длина ($L \geq 40$ мм) и IV длина ($L \geq 25$ мм), а помесная шерсть — на гребенную ($L \geq 55$ мм) и аппаратную ($L \geq 40$ мм). По цвету шерсть делят на белую, светло-серую и цветную. По состоянию шерсть бывает нормальной, пожелтевшая, сорная, репейная, сорно-пожелтевшая, репейно-пожелтевшая и сорно-репейно-дефектная. В стандарте нормируется максимальное содержание подстриги (коротких закатанных волокон) и свободной щелочи.

Длину штапелей (косиц) шерсти измеряют согласно ГОСТ 21244—75* миллиметровой линейкой в распрямленном состоянии, но с сохранением извитости волокон. Содержание растительных примесей, репья-пилки и подстриги определяют разбором вручную по ГОСТ 20270—84, а содержание щелочи — по ГОСТ 18082—72*. Степень пожелтения шерсти устанавливают согласно ГОСТ 26225—84.

Торговую массу мытой шерсти определяют в соответствии с ГОСТ 20576—82 и ГОСТ 25590—83 по формуле

$$m_T = [m_\phi (100 + W_n) / (100 + W_\phi)] [1 - K (P - P_n) / 100], \quad (\text{VII. 13})$$

где m_T — торговая масса мытой шерсти, кг, при нормированной влажности W_n , %; m_ϕ — фактическая масса шерсти, кг, при влажности W_ϕ , %; P — фактическая потеря массы шерсти при обеспыливании, %; P_n — норма потери массы шерсти при обеспыливании, %; K — поправочный коэффициент ($K = 1$ при $P \leq P_n$ и $K = 1,2$ при $P > P_n$).

Потерю массы шерсти при обеспыливании определяют по ГОСТ 17633—72* на приборе ПЗС-60 с вращающимся колковым барабаном или на трепальной машине периодического действия и выражают в процентах начальной массы (до трепания).

Для мытой рунной шерсти и отсортровок нормируется содержание остаточного жира, которое определяют экстрагированием эфиром по ГОСТ 21008—75 [14].

Полутонкая и полугрубая однородная мытая шерсть оценивается и сортируется по ГОСТ 6614—84 на рунную, отсортровки и отклассировки. По тонине шерсть подразделяют на две группы и четыре качества: полутонкую — 58—56°, 50° и полугрубую — 48—46°, 44°. В стандарте нормируются (аналогично табл. VII. 18) средняя тонина d и среднее квадратическое отклонение δ для шерсти всех перечисленных качеств.

Рунная шерсть по средней длине L подразделяется на гребенную ($L \geq 55$ мм), аппаратную ($L = 45 \dots 55$ мм); I длины ($L > 110$ мм); II длины ($L = 70 \dots 110$ мм) и III длины ($L = 40 \dots 70$ мм).

В зависимости от содержания растительных примесей и пожелтения шерсть может быть следующих состояний: нормальная, пожелтевшая, сорная, репейная, сорно-пожелтевшая, репейно-пожелтевшая и сорно-репейно-дефектная. По цвету рунную шерсть подразделяют на белую, светло-серую и цветную. Для расчета торговой массы шерсти по формуле (VII. 13) применяют нормы ГОСТ 25590—83*. При определении показателей качества используют те же методы, что и для тонкой шерсти.

Грубая неоднородная весенняя шерсть классифицируется и оценивается по ГОСТ 8488—73*. В зависимости от породы и разновидности овец шерсть подразделяют на виды: русская северная, среднерусская, украинская, ордовая, каракульская, гиссарская и др. По состоянию шерсть подразделяют на рунную, отсортровки (базовая, свалок, тавро) и отклассировки (клок, клюнкер). Рунную шерсть по тонине делят на сорта I, II, III и IV в зависимости от среднего поперечника волокон, среднего квадратического отклонения и соотношения волокон различных типов (пуховых, переходных и остевых). Сорт устанавливают по наилучшему показателю. В стандарте нормируется длина L пуховых волокон в распрямленном, но не растянутом виде; для аппаратной шерсти $L \leq 55$ мм, а для гребенной шерсти $L > 55$ мм. Торговую массу рассчитывают по формуле (VII. 13). Методы определения показателей качества те же, что и для тонкой шерсти. Сортированная шерсть должна по виду, тонине и цвету соответствовать образцам (эталонам) [14].

Овечья заводская шерсть снимается разными способами (кроме стрижки) с овец различных грубошерстных овец в процессе выработки кож [2]. В зависимости от пород овец, с которых сняты шкуры овец, шерсть по ГОСТ 7737—79 классифицируют на виды: русская, каракульская, ордовая и завказская. Шерсть каждого вида по методу съема и степени сохранности волокна подразделяют на группы: ферментативную, неповрежденную, поврежденную и сборную, а по состоянию — на нормальную и сорно-репейную. Шерсть относят к сборной группе при наличии в ферментативной, неповрежденной или поврежденной шерсти более 5 % закатанной и свальной шерсти.

По длине косиц L_k различается шерсть I длины ($L_k \geq 60$ мм), II длины ($L_k = 25..60$ мм) и III длины ($L_k < 25$ мм).

Торговую массу партии шерсти подсчитывают при содержании растительных примесей $P_r \leq 2\%$ по формуле

$$m_T = m_\Phi (100 + W_n) m_2 / (100 m_1), \quad (\text{VII. 14})$$

где m_T — торговая масса партии шерсти, кг, при нормированной влажности $W_n = 15\%$; m_Φ — фактическая масса партии шерсти, кг; m_1 — масса пробы шерсти до промывки при фактической влажности, г; m_2 — масса промытой пробы шерсти, высушенной до постоянной массы, г;

при $2\% < P_r \leq 5\%$ определяют торговую массу по формуле

$$m_{T_1} = m_T (100 - x) / 100, \quad (\text{VII. 15})$$

а при $P_r > 5\%$ — по формуле

$$m_{T_2} = m_T (100 - 2x) / 100, \quad (\text{VII. 16})$$

где x — величина превышения нормы содержания растительных примесей, % ($x = P_r - 2$).

Шерсть с влажностью более 18% должна быть просушена до упаковки, а с влажностью менее 10% подлежит вылеживанию [14].

Восстановленная шерсть получается разделением на волокна мерного лоскута ткацкого и отделочного производств, кромок и различных обрезков при раскрое и изготовлении швейных, трикотажных и других подобных изделий, которые относят к вторичным материальным ресурсам (ВМР). К ним также относят изношенные и бывшие в употреблении текстильные материалы, непригодные для применения по назначению, но годные после соответствующей обработки для изготовления пряжи, ваты, войлоков, нетканых материалов [14].

Восстановленная шерсть по ГОСТ 10376—77* из шерстяного и полшерстяного мытого тряпья классифицируется по виду исходного материала на 12 групп, а из новых обрезков тканей, трикотажа и войлочных изделий — на 14 групп. Для каждой группы установлены нормы средней длины волокна (14—28 мм), нормированной влажности (15—17%) и содержания (массовая доля, %) шерстяного волокна, минеральных примесей, коротких волокон, жира, неразработанных клочков тканей и нитей. По цвету различают следующие группы шерсти: а — черная, б — коричневая, в — синяя, г — зеленая, д — красная, е — серая, ж — светлая, з — пестрая (меланжевая). Методы испытаний перечисленных показателей приведены в ГОСТ 10376—77*, а приемка по количеству — в ГОСТ 20576—82.

Козья шерсть и козий пух оцениваются и принимаются по отраслевым стандартам ОСТ 17-640—76 (шерсть ангорская), ОСТ 17-194—72 (шерсть помесная), ОСТ 17-195—72 (шерсть

Табл. VII. 19. Свойства козьего пуха и грубой шерсти

Вид шерсти	Средняя тонина, мкм	Коэффициент вариации, %, не более	Содержание пуха, %
Козий пух чесаный			
первой чески	15—20	52	90 и более
второй чески	20,1—23	55	80—90
Козий пух стриженный			
I тонкий	23,1—25	65	60—80
II средний	25,1—30	73	40—60
Козья грубая шерсть			
пуховая	27—35	85	25—40
гребенная	41—80	91	10—25
аппаратная	45—80	71	10—25
остевая	Более 80	Менее 71	Менее 10

грубая), ОСТ 17-252—73 (шерсть заводская), а также по заготовительным стандартам — ГОСТ 2259—78 (шерсть козья немывтая) и ГОСТ 2260—78* (пух козий немывтый). Сравнение свойств козьего пуха и грубой шерсти дано в табл. VII. 19.

Однородную козью шерсть используют в гребенном и аппаратном прядении и применяют для изготовления шарфов, пледов, одеял, тканей и трикотажных изделий; неоднородную — для технических и грубошерстных валяных изделий. Из козьего пуха изготавливают фетровые и трикотажные изделия [13, 14].

Верблюжья немывтая шерсть по заготовительному стандарту (ГОСТ 5108—77) подразделяется по качеству на четыре класса — I, II, III (грива) и свалок, которым в ОСТ 17-111—71 соответствуют сорта тех же наименований [4]. Высший сорт (тайлак) состоит из очень тонкого пуха с небольшим количеством переходного волоса, грубое волокно отсутствует. Сравнение тонины шерсти высшего, I и II сортов дано в табл. VII. 20.

Грива (III сорт) состоит из длинных (150—350 мм) грубых косиц ости с небольшим количеством пуха и переходного волоса. Свалок — прочно сваливавшаяся шерсть в виде отдельных войлокообразных кусков. По состоянию шерсть разделяют на нормальную с допуском растительных примесей не более 1% (в том числе репья-пилки не более 0,05%) и на сорно-репейную при превышении указанных допусков.

Табл. VII. 20. Характеристики тонины верблюжьей шерсти по ОСТ 17-111—71 [14]

Показатель тонины	Сорта шерсти		
	Высший	I	II
Средняя тонина d , мкм	Не более 20	20,1—28	28,1—35
Среднее квадратическое отклонение σ , мкм, не более	10,5	15	22

В суконном производстве из верблюжьей шерсти вырабатывают одеяла, бобрин, ее добавляют в смеси при изготовлении серошнелиных сукон. Верблюжья шерсть обладает плохой свойлачиваемостью. Поэтому при выработке суконных тканей ее добавляют в смеси в небольшом количестве, а в валяльно-войлочных изделиях не используют [13].

ШЕРСТЯНАЯ И ПОЛУШЕРСТЯНАЯ ПРЯЖА

Гребенная шерстяная и полушерстяная пряжа для ткацкого производства оценивается ГОСТ 10290—72*. В стандарте нормирована номинальная линейная плотность T_n для чистошерстяной суровой и крашеной однострунчатой пряжи $T_n = 22 \dots 36$ текс, а для крученой — $T_n = 15,5 \text{ текс} \times 2 \dots 42 \text{ текс} \times 2$. Для смешанной суровой и крашеной однострунчатой пряжи $T_n = 22 \dots 42$ текс, а для крученой $T_n = 21 \text{ текс} \times 2 \dots 42 \text{ текс} \times 2$.

Табл. VII. 21. Нормы качества суровой шерстяной и полушерстяной пряжи

T_n , текс	δ , %	Характеристика сырья	Сорт	P_o , мН/текс, не менее	ϵ_p , %, не более	α
25	—2,5 ... 2,5	Ш 64 ^к (100%), ГОСТ 10290—72 *	I	44,1	5	27
25	—2,5 ... 2,5	Ш 64—60 ^к , (50%) + В (50%), ГОСТ 10290—72 *	II	44,1 53,9	5 6	27 26
25 × 2	—2,5 ... 2,5	Ш 64 ^к (100%), ГОСТ 10290—72 *	I	58,8	7	32
31	—2,5 ... 2,5	Ш 64 ^к (100%), ГОСТ 10290—72 *	II	58,8	7	32
31	—2,5 ... 2,5	Ш 64 ^к (100%), ГОСТ 10290—72 *	I	44,1	5	27
31	—2,5 ... 2,5	Ш 60 ^к (50%) + + В (50%), ГОСТ 10290—72 *	II	44,1 58,8	5 6	27 25
31	—3,5 ... 2,5	Ш 60—64 ^к (100%), ГОСТ 17511—83 *	I	58,8	6	25
31	—4 ... 3	Ш 60 ^к (50%) + + Н (50%), ГОСТ 17511—83 *	II	41 41 64	5 5 7	26,9 26,9 26,9
31 × 2	—3,5 ... 2,5	Ш 60 ^к (50%) + + Н (50%), ГОСТ 17511—83 *	I	64 64	7 7	26,9 26,9
84	—5 ... 4	Ш 60 ^к (50%) + + Н (50%), ГОСТ 17511—83 *	II	73 73	9 9	15,8 15,8
84 × 3	—5 ... 4	Ш 60—64 ^к (100%), ГОСТ 18621—73 *	I	25,5	8	34
84	—5 ... 4	Ш 64—60 ^к (100%), ГОСТ 18621—73 *	II	25,5	8	34
		Ш 64—60 ^к (100%), ГОСТ 18621—73 *	I	39,2	12	20
		Ш 58—56 ^к (≥ 25%) + В (63%) + + обраты (12%), ГОСТ 18621—73 *	II	39,2 47 47	12 5,5 5,5	20 27 27

Примечание. Ш — шерсть, В — вискозное волокно; Н — нитровое волокно.

Раздельно для пряжи каждой линейной плотности T_n и смеси нормируются одинаковые для I и II сортов пряжи: допускаемое отклонение δ линейной плотности (формула VII. 3), относительная разрывная нагрузка одиночной нити P_o ; разрывное удлинение ϵ_p , коэффициент крутки α , коэффициент вариации по линейной плотности C_T , допускаемое отклонение от нормы содержания в пряже шерстяного волокна $P_{ш}$, содержание жира $P_{ж}$, нормированная влажность W_n . В стандарте даются для пряжи I и II сортов две разные нормы коэффициента вариации по разрывной нагрузке одиночной нити C_p и по крутке C_K , а также количества жгутов $K_{ж}$ на 1000 м. По наименьшему показателю из них определяют сорт пряжи. Количество жгутов определяют просмотром 1000 м пряжи, намотанной на мотовило.

Партии пряжи принимают по кондиционной массе с пересчетом на недостающую длину при завышении линейной плотности

для ткацкого и трикотажного производств

C_T , %	C_p , %	C_K , %	$P_{ш}$, %, не более	$K_{ж}$, %, не более	W_n , %	$P_{ж}$, %, не более
3,8	20	22	—0,2	0,2	18,25	2,3
3,8	24	26	—0,2	2	18,25	2,3
3,5	20	21	—4 ^а	0,2	14,6	2,2
3,5	24	25	—4	2	14,6	2,2
3	14	8,5	—0,2	0,1	18,25	2,3
3	17	10	—0,2	2	18,25	2,3
3,8	20	22	—0,2	0,2	18,25	2,3
3,8	24	26	—0,2	2	18,25	2,3
4	19,5	20	—4	0,2	14,6	2,2
4	23	24	—4	2	14,6	2,2
3,1	14,3	25	—0,2	2,3	18,25	—
4,6	17,5	25	—0,2	2,3	18,25	—
3,1	14	24	—2,5	2,3	10,1	—
4,6	17	24	—2,5	2,3	10,1	—
2,5	12	10	—2,5	2,3	10,1	—
3,7	14,5	10	—2,5	2,3	10,1	—
8	18	—	—	—	15	—
10	20	—	—	—	15	—
5	11	—	—	—	15	—
7,5	13	—	—	—	15	—
8	18,5	—	—	—	12	—
10	21	—	—	—	12	—

по сравнению с нормами, приведенными в ГОСТ 6611.0—73* (СТ СЭВ 2462—80).

В табл. VII. 21 приведены нормы суровой одиночной и крученой пряжи некоторых видов. Характеристику сырья (вид, качество и сорт шерсти), указанную в таблице, разрешается изменять по соглашению сторон при условии сохранения всех нормативных требований стандарта.

Чистощерстяная и полущерстяная гребенная пряжа для трикотажного производства вырабатывается как одноплеточная $T_n = 28 \dots 31$ текс, так и крученая $T_n = 19$ текс $\times 2 \dots 42$ текс $\times 2$. Ее оценивают по ГОСТ 17511—83*, выдержки из которого приведены в табл. VII. 21.

Сорт пряжи определяют по наихудшему коэффициенту вариации по линейной плотности C_T или по разрывной нагрузке C_p , нормы которых даны разные для пряжи I и II сортов. В стандарте нормируются также количество недомотанных бобин или початков для пряжи I и II сортов и дается перечень недопустимых пороков намотки и внешнего вида. Пороки, выявленные в процессе переработки (жгуты, непроряды, мушки, заработанный пух, сукрутины и др.), относят к скрытым. Оценку пряжи по скрытым порокам дают при контрольной переработке ее на предприятии-потребителе в присутствии представителя предприятия-изготовителя. При этом пряжу на початках предварительно оценивают по обрывности.

Шерстяная и полущерстяная аппаратная пряжа для трикотажного производства оценивается по ГОСТ 18621—73*. В стандарте для одиночной пряжи $T_n = 64 \dots 125$ текс и для крученой пряжи $T_n = 50$ текс $\times 2 \dots 125$ текс $\times 2$ и 84 текс $\times 3$ даются нормы, выдержки из которых приведены в табл. VII. 21. Порядок оценки сорта пряжи (ГОСТ 17511—83*) аналогичен порядку оценки сорта гребенной пряжи.

Ассортимент всех видов чистощерстяной и полущерстяной одиночной пряжи по номинальной линейной плотности $T_n = 9,6 \dots 1000$ текс зафиксирован в ГОСТ 11970.1—70*.

4. ШЕЛК

Шелк используют преимущественно в виде комплексных нитей. Основным видом их является шелк-сырец¹, получаемый в результате совместной размотки нескольких коконных нитей, на которых каждая состоит из двух шелковин. Поскольку коконная нить несет на себе белковое клеящее вещество — серицин,

¹ По ГОСТ 5618—80 шелк-сырец выпускают пяти линейных плотностей; основным является шелк-сырец 2,33 текс, вторым по объему — шелк-сырец 1,56 текс, шелк-сырец остальных линейных плотностей вырабатывается в малых количествах.

шелковины в нити шелка-сырца достаточно прочно склеены между собой. Значительную часть шелка-сырца подвергают переработке во вторичные нити — крученый шелк.

Большую часть шелковых отходов всех видов, полученных в шелководстве и при переработке шелка, превращают в относительно короткое (штапелированное) шелковое волокно и перерабатывают в шелковую пряжу. Из наиболее длинных волокон (со средней длиной свыше 45 мм), получаемых в виде прочеса на круглочесальных машинах, вырабатывают шелковую пряжу. Из очесов с круглочесальной машины, подвергавшихся гребнечесанию, вырабатывают пряжу пониженного качества (из отходов). В нее перерабатывают еще 15 % штапелированного волокна. Значительную часть коротких очесов после гребнечесания используют в аппаратном прядении [16].

ШЕЛК-СЫРЕЦ

При оценке свойств шелка-сырца наряду с характеристиками, общими для нитей всех видов, такими, как линейная плотность и коэффициент вариации по ней, относительные разрывные нагрузка и удлинение, определяют несколько специфических характеристик, которые важны для шелка-сырца, поскольку они непосредственно влияют на свойства платьевых и других тканей, вырабатываемых из него.

К их числу прежде всего относится *перемоточная способность*, определяемая числом обрывов шелка-сырца с 10 мотков при перемотке их на катушки на мотальных машинах М-210-ШЛ. Другой такой характеристикой является *несогласность*, оцениваемая осмотром внешнего вида 40 панелей (намоток) шелка-сырца, сделанных на специальном станочке, называемом серипланом¹, на черные доски с точным соблюдением расстояния между витками и общей длиной нити, приходящейся на ширину намотки. Осмотр ведется в камере со специальным освещением, при котором хорошо видны колебания в поперечниках нитей. Величины поперечников оцениваются в условных процентах при сравнении реальных намоток с эталонными фотографиями. Несогласованность определяется отдельно по каждой доске. Число баллов по 40 панелям суммируется. Аналогично определяется *чистота* по мелким порокам. Под этим термином понимается наличие на нитях мелких утолщений, небольших узелков и т. п. Число крупных пороков, к которым относятся шишки (комочки из-за скопления спутанных шелковиц), налеты (местные утолщения сплющенного вида), узлы, «усы» (отщепившиеся шелковины) различных размеров, подсчитывается.

¹ Название, введенное американскими исследователями из сокращенных слов *sericum* — шелк (лат.) и *plane* — доска (англ.).

Табл. VII. 22. Нормы показателей шелка-сырца (по ГОСТ 5618—80)

Номинальная линейная плотность, текс	Сорт	Относительное отклонение кондиционной линейной плотности от номинальной, %	Коэффициент вариации по линейной плотности, %, не более	Перемоточная способность, число обрывов на 1 кг, не более	Состояние мотков, баллов, не более
1,56	I	—6,4 ... 7,7	12,8	9,5	3,5
	II		15,9		15
	III		19,7		32
2,33	I	—5,6 ... 6	12	33	3,5
	II		14		15
	III		18		32

Связностью называется степень склеенности серицином шелковин, составляющих нить шелка-сырца. Она определяется на приборе, на котором по параллельно натянутым 10 нитям шелка-сырца совершает возвратно-поступательное движение каретка с лезвиями, расположенными перпендикулярно к испытываемым нитям. При ее воздействиях нити расщепляются. Связность выражают суммой произведений числа ходов каретки на число расщепленных нитей, деленной на общее число испытанных нитей.

Оценка качества нитей производится по табл. VII. 22, в которой приведены для нитей наиболее часто встречающихся линейных плотностей нормы перечисленных показателей. При отклонении от норм по двум или более показателям или отклонении кондиционной линейной плотности от номинальной сортность шелка-сырца снижают на один сорт, а шелк III сорта переводят в нестандартный. Наконец, проводится оценка состояния мотков по их внешнему виду.

Кроме оценки по качеству нитей ГОСТ 5618—80 предусматривает оценку качества массы шелка-сырца, определение кондиционного веса, определение увара — потери массы при отварке, возникающей от растворения серицина, и привеса — содержания замасливателя, полученного нитью в кокономотальном производстве.

КРУЧЕНЫЙ ШЕЛК

Ассортимент крученого шелка разнообразен. В нашей стране в основном вырабатывают крученый шелк для ткацкого производства, швейный шелк и некоторые виды технического. Первый делят на шелк низких и высоких круток. К шелку низких круток относят уток, выработанный путем однократного скручивания 2—6 нитей шелка-сырца с небольшим числом кручений (80—120 кр./м); основу, полученную путем скручивания одиночной

Несоответствие, баллов, не более	Чистота по крупным порокам, %, не менее	Чистота по мелким порокам, %, не менее	Относительная разрывная нагрузка, мН/текс, не менее	Относительное разрывное удлинение, %, не менее	Связность, ходы каретки, не менее
8	95 90 85	83	294	16	25
8	93 88 82	80	294	17	30

нити (обычно 600 кр./м) и совместного вторичного скручивания (обычно 480 кр./м) в обратную сторону 2—4 одиночных крученых нитей. К шелку высоких круток относят креп, выработанный скручиванием 2—6 нитей с большим числом кручений (2200—3200 кр./м) и с круткой как S, так и Z, и некоторые другие виды. Швейный шелк вырабатывают номеров 9—75.

К техническому шелку относят уток и основу для ситоткачества (до 18 сложений), изоляционный слабокрученный однониточный шелк для обмотки тонких проводов, хирургический и др.

Крученый шелк для ткачества по ГОСТ 7052—80 делят на три сорта по наихудшему показателю из числа определяемых следующих характеристик: коэффициента неравномерности по линейной плотности, разрывной длины, разрывного удлинения, допустимого отклонения от средней крутки, коэффициента неравномерности по крутке.

Для крученого шелка всех сортов не допускаются крупные пороки (шишки, налеты, узлы и др.), плохая намотка паковок, неправильная плотность и др.

ШЕЛКОВАЯ ПРЯЖА

Чаще всего шелковую пряжу выпускают линейной плотности 20 текс × 2; 7,2 текс × 2; 5 текс × 2 и др., а также 10 текс в один конец. По ГОСТ 1025—80 ее делят на три сорта в зависимости от коэффициента неравномерности по линейной плотности. Оценку снижают на один сорт, когда по дефектности показатель ниже на два сорта, и переводят в брак, если не выдержаны нормы показателей по следующим характеристикам: коэффициенту неравномерности по разрывной нагрузке и крутке, отклонению от номинальной линейной плотности и крутке, разрывной длине и разрывному удлинению. Нормы показателей перечисленных характеристик установлены единые для шелковой пряжи всех трех сортов.

5. АСБЕСТ И АСБЕСТОВАЯ ПРЯЖА

АСБЕСТ

В Советском Союзе для изготовления асбестовой пряжи и изделий из нее в основном используют в смеси с хлопковым и химическими волокнами хризотилловый асбест, относящийся к серпентиновой группе асбестов. Пряжу можно также вырабатывать и из крокидолита — асбеста амфиболовой группы [2].

Хризотилловый асбест — минерал, обладающий способностью расщепляться на тонкие и гибкие волокна. Обычно асбест состоит из смеси волокон различной длины и толщины и их агрегатов. Агрегатами называют недеформированные волокна толщиной около 1 мм, а кусковым асбестом (АК) — агрегаты толщиной более 2 мм и длиной не менее 18 мм. Частицы сопутствующей породы размерами $a = 0,4 \dots 4,8$ мм называются «галья», а частицы размерами $a < 0,4$ мм — «фракция».

Хризотилловый асбест обладает слабой кислотостойкостью, высокой гнилостойкостью и стойкостью к щелочам, а также термостойкостью, характеризующейся температурой, при превышении которой происходит потеря химически связанной воды и прочности. При длительном нагреве термостойкость составляет 550°C , при кратковременном — 700°C , а при нагреве до температуры $800\text{--}900^\circ\text{C}$ волокно теряет гибкость и легко превращается в порошок. Температура плавления асбеста $1500\text{--}1550^\circ\text{C}$. Плотность $2,4\text{--}2,6$ г/см³. Назначение асбеста зависит от его химического состава. При наличии в нем даже небольшой доли Fe_2O_3 асбест нельзя использовать для электроизоляции, хотя наличие в нем FeO и Fe_2O_3 не нарушает его диэлектрических свойств. Нельзя применять для фильтров асбест с большим содержанием CaO .

Классификация асбеста, определяющая его использование, проводится по ГОСТ 12871—83. В зависимости от длины и фракционного («ситового») состава асбест делится на восемь групп: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7. Фракционный состав показывает процентное содержание (массовую долю) агрегатов асбеста, рассортированных по размерам на четыре фракции. Для их измерения используют аппарат, на качающейся плите которого установлено четыре ящика. Дно трех верхних ящиков сделано в виде сит с размером ячеек $a = 12,7$ мм у верхнего (первого) ящика, $a = 4,8$ мм у второго и $a = 1,4$ мм у третьего ящика. Нижний ящик имеет сплошное дно. Поместив пробу асбеста в верхний ящик, сообщают плите 600 качаний. При встряхивании пробы асбеста более крупные агрегаты ($a > 12,7$ мм) остаются в верхнем ящике, а более мелкие проваливаются через сетчатые днища в нижние. Волокна на сите каждого ящика собирают раздельно, взвешивают и определяют содержание (массовую

Табл. VII. 23. Нормы для асбеста первой категории качества (ГОСТ 12871—83)

Марка асбеста	Средняя длина, мм, не менее	Массовая доля волокна по фракциям, %			Степень распушки, %
		$a > 12,7$ мм, не менее	$a < 5$ мм, не более	$a < 0,5$ мм, не более	
ДВ-0-80	13,7	80	15	9	53—87
ДВ-0-55	13	55	17	11	53—84
ПРЖ-1-75	12,5	75	23	11	57—83
ПРЖ-1-50	10,5	50	29	13	60—83
ПРЖ-2-30	8,5	30	39	17	60—93
ПРЖ-2-15	8	15	44	19	53—93
П-2-30	8	30	44	20	53—91
П-2-15	7,5	15	50	22	53—97

долю, %) волокна каждой фракции [2, 17]. Для определения средней длины волокна используют также анализатор длины асбеста АДА, на котором рассортировывают асбест на пять длин, а пыль выделяется отдельно [17].

Асбест группы 0 подразделяют на три марки: АК (асбест кусковый), ДВ-0-80 и ДВ-0-55, а асбест групп 1 и 2 — на шесть марок (табл. VII. 23).

Асбест 3—6-й групп подразделяют на 29 марок в зависимости от содержания фракций, имеющих $a > 1$ мм и $a < 0,14$ мм; асбест 7-й группы по насыпной (средней) плотности — на четыре марки.

Марки асбеста расшифровываются следующим образом. АК — асбест кусковый, ДВ — асбест длинноволокнистый, ПРЖ — асбест промежуточной длины, П и М — подгруппы асбеста, определяемые по содержанию фракции ($a < 0,14$ мм). Первая цифра марки обозначает группу, а вторая — содержание асбеста на сите с ячейкой $a = 12,7$ мм.

Длина волокна асбеста АК не менее 18 мм и в нем не должно быть просечек, т. е. включений минералов, пересекающих волокна. В асбесте 0—2-й групп не должно быть галей и он не должен быть ломким. Влажность асбеста всех марок не должна превышать 3 %. Степень распушки асбеста определяют по воздухопроницаемости пробы асбеста. При постоянном перепаде давления до и после пробы измеряют разрежение воздуха (кПа) под пробой. Чем оно больше, тем больше распушка. Методы испытаний асбеста зафиксированы в ГОСТ 25984.1 ... 5—83.

АСБЕСТОВАЯ ПРЯЖА

Асбестовая смешанная одиночная пряжа изготавливается в зависимости от назначения при разном содержании в смеси асбеста, хлопкового и химических волокон аппаратным способом пря-

дения. Из асбестовой пряжи вырабатывают ткани, используемые для изоляционных прокладок, транспортных полотен, защитной одежды, асботекстолита, а также ленты, шнуры, тесьму и другие изделия.

В ГОСТ 11970.5—70 предусмотрена для асбестовой одиночной смешанной пряжи линейная плотность в пределах 38—840 текс.

Для большинства изделий используют однокруточную пряжу в 2—4 сложения. Ткани обычно состоят из крученой основы в 2 сложения и крученого утка в 2, 3 или 4 сложения. Крученая пряжа для набивок, шнуров, прокладок скручивается в две и более нити. В зависимости от назначения пряжи для придания ей особой прочности в нее заправляют тонкую латунную проволоку, стеклянную, химическую или шелковую нить, крученую хлопчатобумажную или льняную пряжу. Для тканей, используемых во влажной среде, пряжу повышенной прочности вырабатывают из смеси длинноволокнистого асбеста (ДВ) и высококороткого хлопкового волокна или прочных химических волокон. Ткани для тормозных лент изготавливают из асбестовой пряжи, скрученной с латунной или стальной проволокой. Крученые нити для шнуров и набивок изготавливают из пряжи, выработанной из низкосортного и кислотостойкого асбеста, оборотов и 20—25 % хлопкового или химических волокон. При эксплуатации изделий при высокой температуре необходимо учитывать возможные потери прочности вследствие выгорания содержащегося в пряже хлопкового или химических волокон. Для пряжи, из которой вырабатывают ткани, эксплуатируемые в горячих щелочных средах, количество хлопкового волокна или нестойких к щелочам химических волокон должно быть минимальным. Таким образом, нормативные требования к смешанной асбестовой пряже весьма разнообразны и зависят от ее состава и назначения.

6. ХИМИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА И НИТИ

Химические волокна вырабатывают в виде собственно волокон (так называемых штапельных волокон), элементарных нитей (моноволокон) и комплексных нитей — первичных и вторичных (крученых). Ввиду большого разнообразия групп и видов химических волокон здесь рассматриваются ассортимент, свойства и методы оценки главнейших из них [18, 19].

ВИСКОЗНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

Вискозное штапельное волокно. Это волокно вырабатывают различной линейной плотности (толщины) и разновидностей, что связано с системой прядения и видами изделий, которые

из него вырабатывают. В СССР это волокно в соответствии с ГОСТ 10546—80 выпускается в разрезанном виде, суровое и окрашенное линейной плотности 0,17; 0,31; 0,44; 0,56 текс. На прядильные фабрики, имеющие специальное оборудование, поступает также и жгут.

Для переработки в хлопчатобумажной промышленности в чистоштапельную пряжу и в смеси с хлопковым волокном используют вискозное штапельное волокно 0,17—0,31 текс номинальной длины 34 и 38 мм, в льняной и шерстяной промышленности — волокно 0,17; 0,31; 0,44; 0,56 текс с различной номинальной длиной (не ниже 65 мм), в шелковой промышленности — волокно 0,17 и 0,31 текс номинальной длины 38, 60 и 65 мм.

Оценку качества вискозных волокон производят по ГОСТ 10546—80. В зависимости от показателей свойств и результатов разбраковки по внешним признакам (чистоте и др.) волокно делят на три сорта. Волокно к тому или иному сорту относят по худшему показателю из числа полученных при испытании образцов, отобранных от партии. Кроме того, ГОСТ 10546—80 установлено требование к устойчивости окраски (если волокно поставляется окрашенным в массу) к различным воздействиям: сухому и мокрому трению, раствора едкого натра и дистиллированной воды. Цвет волокна согласовывается организациями-поставщиками и потребителями. Нормировано также содержание замасливателя и серы. Эти показатели, а также отклонения фактической средней длины элементарных волокон, отклонение кондиционной линейной плотности от номинальной, относительные разрывные нагрузки и удлинение проверяются изготовителем периодически — не реже 1 раза в месяц.

Вискозная штапельная пряжа. Она вырабатывается в широком диапазоне линейной плотности — от 12,5 до 100 текс, одиночная и скрученная в 2 конца. Ее выпускают на шпулях, бумажных патронах, катушках, бобинах, в мотках и на сновальных валах, суровую и окрашенную.

В нашей стране вискозную штапельную пряжу получают в основном в хлопкопрядении и в небольших количествах в гребенном прядении шерсти или шелка. Ее качество оценивают так же, как качество пряжи соответствующей отрасли.

Для расчета прочности пряжи из штапельного вискозного волокна, выработанной по кардной системе хлопкопрядения, В. А. Усенко предложена формула, выведенная из тех же принципиальных соображений, что и формула А. Н. Соловьева, но учитывающая ряд характерных особенностей волокна. По этой формуле разрывная нагрузка вискозной штапельной пряжи

$$P_p = \frac{pT}{r_n} \left(1 - 0,0375H_0 - \frac{2,8}{\sqrt{n}} \right) z\beta k, \quad (\text{VII. 17})$$

где ρ — средняя разрывная нагрузка штапельного волокна; T и T_0 — линейная плотность соответственно нити и волокна; H_0 — показатель качества технологического процесса, равный 2,5—3,5; n — число волокон в поперечном сечении пряжи; z — поправка, отражающая влияние штапельной длины $L_{ш}$ волокна, мм ($z = 1 - 7,83/L_{ш}$); β — поправка, учитывающая влияние равномерности волокна по длине (при базе 50 % и более $\beta = 1$); κ — поправка, учитывающая влияние крутки, определяемая по разности между фактическим и критическим коэффициентами крутки (при $\alpha_\phi - \alpha_\kappa = -50$ $\kappa = 0,8$, а при $\alpha_\phi - \alpha_\kappa = 50$ $\kappa = 0,87$).

Вискозные комплексные нити (первичные) делятся на две группы. К первой относятся нити сравнительно малой линейной плотности, перерабатываемые в ткацком, трикотажном и других производствах. Их порой производственники называют неправильным термином «вискозный шелк» (напомним, что термин «шелк» следует применять только к натуральному шелку).

В соответствии с ГОСТ 8871—84 вискозные комплексные нити вырабатывают номинальной линейной плотности (от 8,4 текс до 33,3 текс) с числом элементарных нитей в комплексной от 18 до 65.

В ткацком, трикотажном и галантерейном производствах обычно используют нити до 29 текс. Из наиболее толстых нитей (33,3 текс) вырабатывают корд, число элементарных нитей в них наибольшее (65). Качество этих нитей оценивается тремя категориями: высший, I и II сорт.

Вискозные комплексные нити поставляются в одноконусных бобилах с крестовой намоткой массой 2—2,4 кг. Качество определяется следующими показателями: отклонение кондиционной линейной плотности от номинальной $\pm 1,8$ —2,0 %; коэффициент вариации по линейной плотности 1,8—2,3 %; удельная разрывная нагрузка, составляющая в воздушно-сухом состоянии для первых двух категорий 147 мН/текс и в 2 раза меньшая в мокром состоянии; разрывное удлинение (в зависимости от отраслей потребления) 20—22 %; число кручений на 1 м 100 при направлении крутки S (учитывается также усадка). Часто устанавливают нормы показателей, объединенные для нескольких сортов.

Неокрашенные комплексные нити выпускают на бобилах крестовой намотки массой 1—2 кг для переработки в ткани, трикотаж, галантерейные и другие изделия. Средняя крутка нитей 90—130 кр./м.

Кроме того, установлены нормы на содержание замасливателя и серы, а также на пороки нитей, обнаруживаемые внутри бобины, и равномерность окрашивания.

Внешние пороки определяют просмотром 10 % бобины партии, а внутренние — при наматывании 36 000 м нити.

Крученые (вторичные) вискозные комплексные нити. Эти нити перерабатывают в ткани, трикотаж и галантерейные изделия. Среди них выделяют две основные группы: нити для

изготовления бытовых тканей и технических (в основном кордной ткани). Нити первой группы перерабатывают преимущественно в шелкоткачестве. Среди них можно назвать муслин — скрученную в 1 конец нить от 6,6 до 22,2 текс с круткой 800 кр./м, креп — нить, скрученную в 1 или 2—3 конца той же линейной плотности, с круткой 1200—2200 кр./м. Оценка этих нитей аналогична оценке крученых нитей из натурального шелка. Изготавливают также различные двухкруточные нити, вискозные неоднородные нити (с ацетатной нитью, шелком и др.), фасонные.

Для технических целей вырабатывают вискозный корд, который используют для изготовления шин. Вискозный корд обладает некоторыми преимуществами по сравнению с хлопчатобумажным. При нагреве до температуры 100—120 °С (температура, при которой корд работает в шине) он теряет прочность лишь на 10—15 % по сравнению с прочностью при температуре 20 °С, а хлопчатобумажный — до 30—40 % прочности. Кроме того, при одинаковой прочности поперечник (калибр) вискозного корда меньше. Это позволяет каркас шины делать тоньше. Для более тонкого каркаса требуется меньше резины и он лучше сопротивляется изгибу. В последнее десятилетие вискозный корд вытесняется синтетическим.

Вискозный корд представляет собой двухкруточную нить. Исходные комплексные нити сначала скручивают в 1—4 сложения (в зависимости от их линейной плотности) с круткой 500—600 кр./м, а затем 2—3 нити этой крутки вновь скручивают с круткой 400—500 кр./м. Направления крутки Z/S.

При оценке качества вискозного корда определяют разрывную нагрузку (ее величина порядка 7—12 даН), удлинение при нагрузке 45 Н¹, коэффициент неровноты по разрывной нагрузке, поперечник и другие показатели.

МЕДНО-АММИАЧНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

В СССР медно-аммиачные волокна вырабатывают в ограниченном количестве, преимущественно в виде штапельного волокна, которое используют в аппаратном прядении шерсти для производства смешанной пряжи, идущей в ковровое ткачество, и др. Такое использование объясняется значительным содержанием пороков (склеек, мушек, колючек). Медно-аммиачное штапельное волокно выпускают линейной плотности от 0,4 до 0,66 текс. Оценивают его, используя те же характеристики, что и для вискозного штапельного волокна, однако уровень показателей

¹ Удлинение при нагрузке 45 Н отражает деформацию, которую претерпевает корд во время работы в шине.

другой: разрывная длина ниже (8—10 км), удлинение выше (20—22 %), содержание пороков выше (в 10 раз и более).

Медно-аммиачные комплексные нити из искусственных являются единственными, которые можно получать с очень тонкими элементарными нитями (линейная плотность 0,05 текс). Эти комплексные нити используют в основном для выработки бельевого трикотажа и тонких тканей (шифон, сатин и т. п.); они обладают хорошей износостойкостью.

АЦЕТАТНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

Ацетатные волокна и нити выпускают трех видов: из диацетата, триацетата и омыленного ацетата, т. е. гидратцеллюлозные.

Основным видом ацетилцеллюлозных материалов являются диацетатные; их производят главным образом в виде нитей и в ограниченном количестве в виде волокон.

В СССР комплексные диацетатные нити выпускают линейной плотности от 6,6 до 16,5 текс; наиболее распространенными являются 6,6 текс из 20 элементарных нитей и 11 текс из 25 элементарных нитей с круткой 190—220 кр./м.

Качество нитей оценивается по ГОСТ 26300—84. В соответствии со стандартом их делят на два сорта в зависимости от показателей геометрических и механических характеристик и наличия пороков, определяемых при внешнем осмотре и перемотке или сновке с бобин, на которых эти нити выпускаются для использования в шелкоткачестве, трикотажном и галантерейном производствах.

Основные показатели характеристик приведены в стандартах. Кроме того, нормируют содержание замасливателя (не более 3 %), число оборванных элементарных нитей. Пряжу относят к тому или иному сорту по наихудшему показателю.

Контроль пороков на нитях аналогичен описанному выше для вискозных нитей. Подсчитывают число оборванных элементарных нитей (одиночных и в группах), шишек и налетов, узлов и несвязанных концов.

Ацетатные нити менее прочны, чем вискозные, меньше теряют прочность в мокром состоянии, менее жесткие и легче истираются. Ацетатные нити сравнительно термостойки (разрушаются при нагреве до температуры 230 °С), но в то же время термопластичны — при нагреве размягчаются, теряя прочность и показывая большую пластическую деформацию (в особенности после нагрева до температуры 180—190 °С). Они обладают высокими диэлектрическими свойствами. Со свойствами ацетатных нитей сходны свойства диацетатного штапельного волокна.

Триацетатное волокно в СССР выпускают для смесей с другими химическими волокнами и шерстью. В небольших количествах производят и комплексные нити, используемые благо-

даря высокой термопластичности в основном для получения текстурированных эластичных нитей, применяемых в трикотажном и шелкоткачком производствах.

По сравнению с диацетатным триацетатное волокно выдерживает нагревы до высоких температур (температура разрушения 300 °С), обладает сходными механическими свойствами, более низким поглощением влаги (3,5—4,5 % вместо 6,5 % у диацетатного).

Омыленная высокопрочная ацетилцеллюлозная нить¹ — фортизан выпускается в виде комплексной, состоящей из тонких элементарных нитей линейной плотности 0,11 текс; ее разрывное напряжение достигает до 40·10⁷ Па.

ПОЛИЭФИРНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

Среди синтетических текстильных материалов по объему производства, их качеству и дешевизне одно из первых мест занимают полиэфирные, вырабатываемые из полиэтилентерефталата (ПЭТ); в СССР они получили название лавсан [2].

В общем объеме мирового производства они занимают более 16 % (1980 г.). Текстильные материалы из ПЭТ выпускаются в виде собственно волокон (в производстве под распространенным термином «штапельные»), в виде пряжи из них, комплексных, а также текстурированных нитей, получаемых из последних. Наконец, в последние десятилетия начато производство волокон, получаемых из полиэтиленовой пленки ее фибриллизацией, т. е. дроблением на тонкие малые отрезки, подобные волокнам. Напомним, что лавсановые текстильные материалы имеют сравнительно высокие прочность и термоустойчивость, стойкость к действию минеральных кислот и окислителей, к истиранию и др. Однако характерной их особенностью является низкая способность сорбировать воду, поэтому в изделиях, используемых для одежды, они обычно применяются в смеси с другими волокнами, обладающими хорошей сорбционной способностью.

Лавсановые волокна. В соответствии с ГОСТ 13231—77 лавсановые волокна выпускаются следующих видов: матированное извитое (наиболее тонкое волокно, имеющее линейную плотность 0,17 текс), матированное неизвитое 0,42 текс и блестящее извитое 0,6 и 0,72 текс.

Оценка качества волокон производится по ГОСТ 10213-06—73 по линейной плотности, длине, разрывной нагрузке и удлинению, а также имеющемуся у них числу извитков на 1 см длины, количеству замасливателя и содержанию пороков. Кроме того, требуется соблюдение норм по величине усадки (ГОСТ 13481—76)

¹ О сущности реакции омыления см. [2, с. 172].

Табл. VII. 24. Нормы технических требований для лавсанового волокна 0,17 текс по ГОСТ 13231—77

Показатель	Нормы показателей свойств по сортам		
	I	II	III
Относительная разрывная нагрузка элементарного волокна, сН/текс, не менее	41	38	37
Удлинение элементарного волокна при разрыве, %, не более	40	40	47
Отклонение фактической линейной плотности от номинальной	6	6	6
Отклонение средней фактической длины элементарного волокна от номинальной, %, не более	±2,8	±5,6	±5,6
Число извитков на 1 см длины, не менее	3,5—6	3	3
Усадка волокна, %, не более	6	6	10
Массовая доля замасливателя, %, не более	0,15—0,4	0,1—0,4	0,1—0,4
Белизна, %, не менее	75	75	70
Склейки и роговидные волокна, %, не более	0,001	0,01	0,02
Резко утолщенные волокна, %, не более	0,005	0,02	0,05
Непрорезанные волокна	0,005	0,005	0,02

П р и м е ч а н и е. Для всех сортов требуется хорошая распычатость — способность волокон легко отделяться друг от друга.

и белизне (ГОСТ 22496—77). Нормы для волокон каждого вида установлены по категориям качества. Примеры норм приведены для наиболее массового волокна 0,17 текс в табл. VII. 24. Испытания на растяжения до разрыва проводятся пучками, но для заводов-изготовителей, имеющих разрывные машины для одиночных волокон (типа «Фафеграф»), разрешены испытания и на них, однако нормы по удлинению увеличиваются на 10 %. Во всех случаях общая оценка сорта дается по тому показателю, который оказался наихудшим.

Установлена нормированная влажность 1 %; фактическая не должна превышать 2 %. Содержание грязных, замасленных и смешанных волокон разных видов не допускается.

При возникновении между потребителем и поставщиком разногласий в оценке качества партии лавсанового волокна первый обязан для повторных испытаний вернуть 10 % (но не менее 4) кип, полученных от поставщика.

В Англии, где впервые было организовано производство этого волокна, оно получило название «териден». Выпускаемый териден имеет разрывную нагрузку 320—360 мН/текс, разрыв-

ное удлинение 25—40 %, нормированная влажность их равна 0,4 %.

Лавсановые комплексные нити. Они вырабатываются в СССР различной линейной плотности, в частности, широко используются нити 29 текс. Они должны иметь относительную разрывную нагрузку 40—50 сН/текс, удлинение при разрыве не более 15 %, нормированная влажность их составляет 1 %, привес от замасливателя допускается не более 3 %.

За рубежом комплексные лавсановые нити выпускаются в Англии и ряде других стран с обычной разрывной нагрузкой — 40—50 сН/текс и высокопрочные — 55—63 сН/текс; первые с разрывным удлинением 25—15 %, вторые — 12,5—7,5 %. Плотность для нитей всех видов остается 1,38 г/см³, нормированная влажность — 0,4 %.

Кроме простых лавсановых нитей выпускаются нити, прошедшие различные дополнительные обработки при значительном нагреве, а также скручивание, сообщающее им те или иные особенности (извитость, разную способность к усадке и др.).

Большое значение получают лавсановые кордные нити, используемые при изготовлении разнообразных авиационных и автопокрышек. Лавсановые нити широко применяются для различных технических изделий. Среди них разнообразные канаты, сетчатые изделия, паруса, тенты, фильтровальные ткани, ткани для химической защиты, электроизоляции, конвейеров и т. д.

Новый вид лавсановых волокон и нитей и изделий из них — разрезные (фибриллированные) пленочные. Волокна и нити изготавливают из лавсановых и других пленок, разрезаемых в процессе перематывания на узкие полоски, которые используются как нити, а при дроблении на мелкие отрезки с малыми длинами превращаются в «штапельные» волокна. Из пряжи (особенно 18 текс), выработанной из этих волокон, изготавливают получившие широкое применение технические ткани — брезенты, тарные и им подобные, веревочно-канатные изделия и др. Этот способ производства пряжи для перечисленных изделий обходится примерно на 15 % дешевле, нежели способ производства комплексных нитей.

ПОЛИАМИДНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

В общем объеме мирового производства всех видов волокон полиамидные занимают около 10 % [2]. Они относятся к большой группе волокон и нитей, получаемых из продуктов переработки нефти и растительного сырья некоторых видов, например из масла семян клещевины. Кроме того, к этой же группе волокон относятся волокна из смесей полиамидов и полиимидов.

В СССР в качестве сырья для производства полиамидных материалов применяют поликапролактам (капрон), в меньших

количествах полигексаметиленадипамид (анид), а также поли-энант (энант). За рубежом используются и некоторые другие виды полиамидов.

Перечисленные текстильные материалы выпускаются в виде волокон, комплексных нитей различного назначения и в виде монопилей.

Капроновое волокно. В СССР его выпускают различных марок, блестящее и матированное линейной плотности 0,77; 0,67; 0,5; 0,29 текс и разных длин. Используют капроновое волокно для переработки в смесях с шерстью, хлопком и другими волокнами. Оценивают качество капронового штапельного волокна по стандартам и относят к одному из трех сортов по наихудшему показателю. Разрывное напряжение (не менее $34 \cdot 10^7$ Па) и разрывное удлинение (не более 95 %) предусмотрено для волокон всех сортов одинаковое.

За рубежом выпускают полиамидные волокна от 0,17 до 1,7 текс с длиной от 28 до 160 мм и разрывным напряжением до $45 \cdot 10^7$ Па.

Капроновые комплексные нити и моноволкна. Ассортимент их разнообразен. Первичные комплексные нити выпускают 29 текс $\times$ 80 (для производства кордных нитей), 3,4 текс $\times$ 9; 5 текс $\times$ 12; 6,6 текс $\times$ 12; 15,5 текс $\times$ 40 (для различных назначений со средней круткой до 190 кр./м).

Моноволокно для производства чулок выпускают литейной плотности 1,7; 2,2; 3,4 текс, для рыболовных лесок — диаметром от 0,1 до 0,5 мм и выше, а в качестве заменителя щетины — диаметром 0,3—0,6 мм. Моноволокно обычно упрочнено вытягиванием и имеет пониженное удлинение.

Вторичные крученые нити вырабатывают в виде корда, который скручивают сначала в 4, затем в 2 конца, а также в виде комплексных нитей с повышенной круткой (600—1000 кр./м).

Качество первичных капроновых нитей оценивают по ГОСТ 15897—79, согласно которому их делят на три сорта и по наихудшему показателю относят к одному из них. Капроновые нити для технических тканей выпускают номинальной линейной плотности и с соответствующим числом элементарных нитей: 5 текс (12 элементарных нитей), 15,6 текс (25 или 40 элементарных нитей) и 29 текс (40 или 80 элементарных нитей).

В соответствии с указанным стандартом относительная разрывная нагрузка для нитей 5 текс — не менее 461 мН/текс, а для 29 текс — 657 мН/текс, разрывное удлинение соответственно 24—29 и 15—18 %, а средняя крутка 200 ± 20 и 110 ± 20 кр./м. Установлены и коэффициенты вариации по этим показателям. Учитываются и некоторые другие показатели, например усадка, содержание замасливателя.

При растяжении полиамидные волокна и нити сначала легко удлиняются (имеют малый начальный модуль первого рода),

что порой затрудняет их переработку. Они имеют высокую светостойкость, недостаточно устойчивы к концентрированным кислотам. Сравнивая свойства капрона и анида (нейлона), следует отметить, что анид более термостоек и однороден по своей структуре, благодаря чему иногда прочность его при одинаковой вытяжке выше. Производство капрона несколько дешевле, и он лучше окрашивается.

За последние годы получило развитие производство волокон и нитей, у которых в цепную молекулу составляющего их полиамида входят бензольные кольца [2, с. 189]. В СССР таким волокном является фенилон, в США — номекс, затем кевлар и др. Для них характерна высокая термостойкость (до 350 °C) и прочность, жесткость, малые удлинения. Дальнейшее развитие производства подобных волокон привело к выпуску в СССР волокна вивлон (иначе СВМ — сверхвысокомодульное), полученного из полигетероариленов. Оно обладает большой прочностью (400 сН/текс), высокой термостабильностью (до 700 °C), при нагреве до температуры 400 °C теряет не более половины своей прочности. Нормированная влажность 4 %, плотность 1,43 г/см³.

ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

По своему значению полиакрилонитрильные волокна и нити занимают третье место среди синтетических волокон и нитей, объем их в мировом производстве составляет свыше 2 млн т.

Полиакрилонитрильные текстильные материалы производят из полиакрилонитрила (ПАН), а также из различных сополимеров акрилонитрила с небольшим количеством (до 15 %) других мономеров в основном в виде штапельного волокна. Получаемое волокно называют нитроном. Его вырабатывают линейной плотности 0,5 и 0,67 текс и используют в смесях с шерстью, в небольшом количестве — для переработки в чистом виде в пряжу для фильтровальных материалов. Разрывное напряжение волокон составляет $20 \cdot 10^7$ Па, а разрывное удлинение — 19 %. Для технических целей (фильтровальные ткани) вырабатывают волокно повышенной прочности с разрывным напряжением до $30 \cdot 10^7$ Па.

Комплексные нити выпускают линейной плотности 29 текс из 200 элементарных нитей с разрывным напряжением более $47 \cdot 10^7$ Па и разрывным удлинением 16 %.

Полиакрилонитрильные волокна обладают сравнительно хорошими механическими свойствами, термостабильны (выдерживают длительный нагрев до температуры 120 °C и выше с полным восстановлением свойств после охлаждения), но термопластичны и в нагретом состоянии показывают значительное увеличение деформации за счет ее пластической части. Они недоста-

точно стойки к истиранию (легко расщепляются на крупные фибриллы), устойчивы к кислотам и менее стойки к щелочам, в особенности концентрированным, поглощают малые количества влаги (при нормальных атмосферных условиях — 1,5—2 %) и сравнительно трудно окрашиваются.

Производство их из сополимеров позволяет увеличить сорбционную способность и окрашиваемость. К достоинствам этих волокон относятся высокая светостойкость и хорошая устойчивость к атомным излучениям.

Широкое использование полиакрилонитрильных волокон в смесях с шерстью объясняется тем, что благодаря термопластичности им легко придать извитость, подобную извитости тонкой шерсти, а также некоторым сходством их механических свойств со свойствами шерсти. В чистом виде полиакрилонитрильные волокна перерабатывают в высокообъемную пряжу для трикотажного производства.

ВОЛОКНА ИЗ ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИВИНИЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Волокна из галогенопроизводных поливиниловых соединений имеют ограниченное распространение. Их выпускают для работы технических изделий — фильтровальных и защитных тканей, изоляционных материалов и др. В СССР основным волокном этой группы является хлорин. Его вырабатывают из хлорированного поливинилхлорида в виде комплексных нитей линейной плотности от 16,6 до 100 текс, разрывное напряжение которых до $20 \cdot 10^7$ Па, разрывное удлинение 17—24 %, крутка 140 кр./м, привес от замасливателя 2—4 %. При оценке их качества учитывают отклонение от средней линейной плотности (не более 5 %) и коэффициент неравномерности по нему (6 %) и внешние пороки (узлы, «хорды», бугристость намотки и др.). Кондиционная влажность 2 %. Хлорин выпускают и в виде штапельного волокна, которое перерабатывают в хлопкопрядении.

Поливиниловые хлорсодержащие волокна обладают удовлетворительными механическими свойствами, хорошей термостойкостью, но малотермостабильны и размягчаются при низких температурах (80—90 °C), поглощают малое количество влаги.

В отличие от хлорсодержащих фторсодержащие поливиниловые волокна обладают высокими механическими свойствами и высокой хемостойкостью, их используют в технических целях.

В СССР из фторопласта производят волокно фторлон. Его выпускают в виде комплексных нитей 16 текс из 300 элементарных нитей с разрывным напряжением до $100 \cdot 10^7$ Па, связанным с его высокой плотностью (2,6 мг/мм³), разрывным удлинением

6,5—9,5 %. Вследствие большой тонины элементарных нитей фторлон выпускают с повышенной круткой (240 кр./м). Кондиционная влажность 3 %, привес от замасливателя 4 %.

Кроме рассмотренных в СССР выпускаются синтетические волокна других видов. Начато промышленное производство полиолефиновых волокон из полипропилена и полиэтилена. Представляют интерес поливинилспиртовые волокна. Краткие сведения о свойствах указанных волокон приведены в учебнике [2].

За последние десятилетия развилось производство волокон и нитей из карбоцепных соединений. К ним относятся углеродные и графитные волокна и нити, о которых дается достаточная информация в учебнике [2, с. 190—191]. Необходимо отметить, что в настоящее время волокна и нити из углеродных полимеров (полиолефинов) выпускаются как в виде формуемых из расплавов или растворов, так и в виде разрезных — из пленок (фибриллизованные). Производство первых из них в мировой практике (по неполным данным) превосходит 1 млн т, вторых — доходит до 3,6 млн т (данные 1981 г.).

7. СТЕКЛЯННЫЕ ВОЛОКНА И НИТИ

Ассортимент стеклянных волокон и нитей включает штапельное стекловолокно, первичные нескрученные нити, однонаправленные разрезные волокна и нити, комплексные крученые нити, текстурированные нити и ровинг [20]. Свойства стеклянных волокон и нитей зависят от химического состава и их диаметра. Элементарные волокна и нити по диаметру классифицируют на микротонкие $d < 0,5$ мкм, ультратонкие $d < 1$ мкм, супертонкие $d = 1...3$ мкм, тонкие $d = 4...12$ мкм, утолщенные $d = 13...25$ мкм и толстые $d > 25$ мкм [21]. Волокна и нити огнестойкие, имеют высокую теплостойкость, водостойкость, кислотостойкость. У них высокие диэлектрические свойства и малая адсорбционная способность, что обеспечивает широкое применение изделий из них для электроизоляции. Методы испытаний их зафиксированы в ГОСТ 6943—79.

Стекловолокно штапельное получают, когда струи расплавленного стекла раздувают или разделяют на волокна при соприкосновении их с вращающимся диском или валком за счет центробежной силы. В итоге на сетке конвейера образуется толстый рыхлый слой волокон (ковер), или толкий слой (холст), или очень тонкий слой (вуаль) из перепутанных волокон [2, 21]. Из этих полуфабрикатов изготавливают пористые и легкие тепло-

Табл. VII. 25. Классификация и свойства штапельного стекловолокна [21]

Способ получения	Диаметр, мкм	Длина, мм	Содержание неволоконистых включений, %
Горизонтальный раздув паром или воздухом струй расплава	15—25	20—40	10—40
Вертикальный раздув паром или воздухом струй расплава	6—15	20—50	2—5
Центробежно-дисковый	15—30	50—100	10—20
Центробежно-валковый	5—15	30—80	5—10
Центробежно-дутьевой	5—15	20—70	5—15
Центробежно-фильтрно-дутьевой	2—12	20—80	Нет
Раздув потоком горячих газов	1—3	30—120	Нет
Пневматическое вытягивание воздухом или паром	3—20	500—2000	0—3

звукоизоляционные изделия, а также фильтровальные полотна, электроизоляционные изделия и вату. Их используют как армирующий материал для стеклопластиков [21]. Классификация штапельного волокна по способу получения приведена в табл. VII. 25.

Свойства изделий из стекловолокна зависят от свойств волокон, их взаимного расположения (ориентации), а также от количества и состава связующего.

Первичные нескрученные нити (непрерывное стеклянное волокно) получают при формовании из расплава [2, 22]. Их используют для получения однонаправленных разрезных нитей и волокон, а также крученых нитей.

Номинальные линейные плотности комплексных нитей 1,6...320 текс (ГОСТ 11970.4—70*).

Однонаправленные волокна и нити представляют собой срезы с паковок первичных комплексных или элементарных нитей, вырабатываемых из алюмоборосиликатного стекла. Их используют для фильтров, теплозвукоизоляционных материалов, наполнителей пластмасс и других целей.

Эти волокна и нити классифицируют и оценивают по ГОСТ 10727—73*. В нем для 17 марок волокон и нитей нормированы диаметр элементарной нити и волокна $d_s = 3...10$ мкм, вид замасливателя, содержание веществ, удаляемых при прокаливании, и число элементарных нитей в комплексной $n = 50...800$. Длина нитей и волокна для всех марок $L \leq 88$ см. Ее измеряют линейкой с ценой деления 1 см. Номинальные линейные плотности 1,6—320 текс установлены для комплексных нитей ГОСТ 11970.4—70*. В нитях и волокнах не допускаются посторонние органические и неорганические включения, а также пучки трудноразделяемых нитей.

Комплексные крученые нити классифицируют и оценивают по ГОСТ 8325—78*. Их ассортимент по линейной плотности ($T_n = 1,8...160$ текс) вырабатывается при числе сложений элементарных нитей в первичной нити $n = 50...800$ диаметром $d_s = 3...10$ мкм. Число первичных комплексных нитей в крученой $n_k = 1...4$, а по согласованию с потребителем допускается $n_k = 6...24$. Нити вырабатывают при однократном и двукратном скручивании [22].

В стандарте нормированы относительная разрывная нагрузка P_0 при разных диаметрах элементарной нити, допускаемое отклонение δ_R фактической результирующей линейной плотности от номинальной, массовая доля веществ, удаляемых при прокаливании, и равновесность при разной крутке (6—15 кр./м). Для определения равновесности отматывают с паковки 1 м нити, перегибают пополам и, соединив концы нити вместе, образуют петлю и при ее отвесном положении подсчитывают число витков. В стандарте предусмотрено 44 варианта структуры комплексных крученых нитей и всем им даются условные обозначения.

Крученые нити используют для выработки тканей, лент, электроизоляции проводов, для прошивки теплоизоляционных изделий и других технических изделий [23]. Ткани используют для фильтрации жидкостей и газов, звукоизоляции, гидроизоляции и других целей. Декоративные ткани используют для изготовления портьер, дорожек, абажуров и т. п.

Текстурированные нити получают аэродинамическим способом, при котором турбулентная струя воздуха, действуя на предварительно скрученную комплексную нить, разъединяет элементарные нити, изгибает их в петли и перепутывает между собой, образуя стабильную рыхлую структуру. При этом стеклянная нить укорачивается (на 2,7—4,4 %), а объем увеличивается в несколько раз. Так, для нитей 108—220 текс после текстурирования диаметр увеличивается в 2—2,6 раза, средняя плотность уменьшается в 4,2—6,7 раза, а прочность на разрыв снижается на 30—35 % [20].

Текстурированные нити в основном используют в качестве утка при выработке фильтровальных тканей. Их также используют для изготовления декоративных стеклянных тканей.

Ровинг представляет собой непрерывные пряжи из комплексных нитей (обычно не более 60), намотанные на паковку массой до 15—20 кг. Ровинг обычно характеризуется толщиной пряжи, диаметром элементарных нитей и видом замасливателя при выработке комплексной нити. Для ровинга чаще используют комплексные нити из бесцелочного стекла, а иногда из высокопрочных и высокомодульных стекол. Ровинг применяют для производства стеклопластиков, холстов и тканей [20].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие показатели качества хлопкового волокна определяют при оценке его сорта по стандартам?
2. По каким показателям и как оценивается номер трепаного и чесаного льна?
3. Порядок определения сорта короткой пеньки по стандарту.
4. Чем отличается оценка тонкой, полутонкой и полугрубой однородной шерсти по стандартам?
5. По каким показателям оценивают по стандарту грубую неоднородную шерсть?
6. Где используют штапельное стеклянное волокно и нити?
7. Какие показатели качества определяют при оценке сорта хлопчатобумажной пряжи?
8. Как определяют вероятность приемки или браковки партии льняной пряжи по ГОСТ 10078—85*?
9. По каким показателям и как оценивают шерстяную пряжу для трикотажного производства?

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. VII

1. Соловьев А. Н., Кирюхин С. М. Оценка качества и стандартизации текстильных материалов. М., 1974.
2. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение. (Исходные текстильные материалы.) М., 1985.
3. Справочник по хлопкопрядению/Под ред. В. П. Широкова, Б. М. Владимировца, Д. А. Поляковой. М., 1985.
4. Методы определения свойств хлопчатых волокон/С. С. Иванов, Л. П. Лазарева, А. Н. Соловьев и др. М., 1972.
5. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению/Под ред. А. Н. Коблякова. М., 1986.
6. Соловьев А. Н., Кирюхин С. М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. М., 1984.
7. Кирюхин С. М., Соловьев А. Н. Контроль и управление качеством текстильных материалов. М., 1977.
8. Придание лубяных и химических волокон в производство крученых изделий/Л. Н. Гинзбург, В. Г. Комаров, В. А. Забелин, И. М. Даврицкий. М., 1971.
9. Справочник по прядению льна/Б. Н. Фридман, С. Е. Лазарева, Л. Н. Гинзбург и др. М., 1979.
10. Справочник по заводской первичной обработке льна/Под ред. В. Н. Храпкова. М., 1984.
11. Испытание лубоволокнистых материалов/В. В. Городов, С. Е. Лазарева, И. Я. Лукин и др. М., 1969.
12. Борухсон Б. В., Городов В. В., Скавцов А. Г. Товароведение лубяных волокон. М., 1974.
13. Гусев В. Е. Сырье для шерстяных и нетканых изделий и первичная обработка шерсти. М., 1977.
14. Справочник по шерстопрядению/Под ред. В. К. Афанасьева, Г. О. Лежбруза, И. Г. Рашкована. М., 1983.
15. Первичная обработка шерсти/Л. С. Горбунова, Н. В. Рогачев, Л. Г. Вислюева, В. М. Колдзев. М., 1981.
16. Общая технология шелка/С. А. Тумзин, Н. Н. Арсеньев и др. М., 1978.
17. Поляков А. С. Прядение и качество асбестового волокна. М., 1971.

18. Зазулина З. А., Дружинина Т. В., Конкин А. А. Основы технологии химических волокон. М., 1985.
19. Свойства и особенности переработки химических волокон/Под ред. А. Б. Пакшверы. М., 1975.
20. Стеклянные волокна/М. С. Асланова, Ю. И. Колесов, В. Е. Хазанов и др. М., 1979.
21. Стеклянное штапельное волокно/Я. А. Школьников, Б. М. Полик, Э. П. Кочаров, Э. Р. Нигин. М., 1969.
22. Технология текстильного стекловолокна (Получение и переработка)/В. К. Разумовский, Н. Е. Разумовская, Э. И. Бадалова, С. В. Кондратенкова. М., 1966.
23. Усенко В. А. Переработка химических волокон. М., 1975.

Глава VIII. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Наряду с оценками волокон и нитей по отдельным показателям качества возникает иногда необходимость в обобщенной оценке, когда в одном показателе объединяется комплекс основных наиболее значимых свойств. Такая оценка качества текстильных материалов проводится в промышленности по качественным градациям — сорту, классу, номеру, качеству и др. Их в большинстве случаев определяют по совокупности важнейших качественных характеристик, т. е. применяют комплексную оценку материала.

Комплексная оценка, качественно характеризующая материал одним показателем, несмотря на некоторые преимущества, обладает тем недостатком, что не дает полного представления об отдельных свойствах материала. Кроме того, не зная значения каждого из показателей сырья, нельзя рационально управлять технологическим процессом переработки волокон или нитей и проектировать по свойствам сырья качественные показатели пряжи. Необходимо учитывать, что одно и то же свойство сырья может положительно влиять на качество вырабатываемой пряжи и отрицательно — на ход технологического процесса и наоборот. Например, чем тоньше волокно, тем больше относительная прочность пряжи, меньше ее неравномерность, но тем больше в процессе кардочесания образуется из волокон узелков и больше внешних пороков имеет пряжа. Нельзя забывать также, что одну и ту же комплексную оценку можно получить при разном сочетании отдельных показателей, т. е. для разных материалов. Поэтому комплексные оценки должны лишь дополнять, но не заменять отдельные показатели исследуемого материала.

Смешанный метод оценки уровня качества промышленной продукции основан на совместном использовании единичных и комплексных показателей, т. е. дифференциального и комплексного метода (ГОСТ 15467—79*/СТ СЭВ 3519—81/).

К выбору метода оценки качества следует приступить после того, как установлены цель оценки, номенклатура показателей и базовые (нормативные) образцы или показатели. При оценке качества по стандартам за базовые показатели принимают нормы и требования соответствующего стандарта. Заключительным этапом в оценке качества может быть решение об отнесении продукции к тому или иному сорту, присвоении продукции категории качества, сравнительная оценка качества нескольких материалов одного назначения, решение о приемке или браковке партии материала и т. п. Результаты оценки качества используют для обоснования решений при управлении качеством продукции.

Различают три основных вида комплексных оценок качества материала:

- 1) реальные оценки, имеющие определенный физический смысл;
- 2) условные средние оценки;
- 3) оценки по наихудшему показателю качества из комплекса показателей.

РЕАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Простейшими реальными комплексными характеристиками волокон и нитей являются, например, абсолютная и относительная работа разрыва, а более сложными — прядельный номер волокон и их прядельная способность.

Следует учитывать, что реальные комплексные оценки не всегда лучше условных. Так, суммарное содержание пороков в хлопковом волокне является реальной комплексной характеристикой. Однако хорошо известно, что если при одинаковом содержании пороков в двух партиях волокна в одной будут преобладать вредные пороки (узелки и кожа с волокном), а в другой — волокнистые пороки (небольшие уплотненные жгуты волокон), то при переработке первой партии технологический процесс будет проходить хуже и при повышенной обрывности на прядельной машине. Следовательно, в этом случае условная балловая оценка хлопкового волокна с учетом вредности отдельных пороков будет более правильной.

Прядельный номер волокна. Если из одной партии сырья вырабатывать все более тонкую пряжу, то с повышением номера пряжи N ее относительная разрывная нагрузка будет уменьшаться (рис. VIII.1, а), а неравномерность по прочности C_p и обрывность в прядении p_o будут увеличиваться (рис. VIII.1, б). Прядельным номером волокна (сырья) называется номер N_s пряжи, выработанной из этого волокна (кривая 0—0), при котором относительная прочность P_o , или ее неравномерность C_p , или обрывность в прядении p_o соответствуют

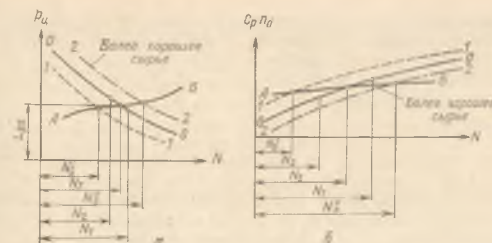


Рис. VIII.1. Схема определения прядельного номера сырья:
а — по относительной прочности; б — по неравномерности пряжи или обрывности в прядении

требованиям нормативов, изображенных на рис. VIII.1 линией AB . Из рис. VIII.1, а видно, что для плохого сырья (кривая 1—1) значение прядельного номера N_s^* будет минимально, а чем лучше комплекс показателей качества сырья (кривая 2—2), тем выше для него значение прядельного номера N_s^* . Очевидно, если вырабатывать пряжу номером $N_1 > N_s$, то ее свойства будут хуже нормативных, а при $N_2 < N_s$ — лучше них.

На практике при определении прядельного номера какого-нибудь сырья из него вырабатывают пряжу нескольких, постепенно повышающихся номеров N и определяют величины P_o , C_p или p_o . Результат эксперимента и нормативные требования фиксируют на графике. Абсциссы точки пересечения фактических данных (линии 0—0, 1—1, 2—2) и нормативной линии AB соответствуют прядельным номерам трех видов сырья.

Прядельный номер можно рассчитать по формулам, предложенным А. Н. Соловьевым для хлопка [1], а В. Г. Комаровым — для льна [2].

Комплексная оценка сырья прядельным номером используется в стандартах на однородную шерсть, где понятие «качество» принципиально совпадает с понятием «прядельный номер». При этом следует учитывать, что числовая величина, обозначающая качество, принятая в брэдфордской классификации шерсти, может не совпадать с прядельным номером (м/г). Кроме того, совершенствование оборудования и технологического процесса прядения повышает экспериментальную оценку прядельного номера одного и того же сырья.

Прядельная способность. Прядельная способность волокна характеризуется максимальной длиной пряжи (км), полученной из 1 кг сырья и обладающей стандартной относительной прочностью.

Допустим, что из M_0 сырья (кг) получено M пряжи (кг) с номером, равным прядельному номеру сырья N_s (км/кг). Такая пряжа имеет стандартные относительную нагрузку P_0 , коэффициент вариации по прочности C_p , обрывность в прядении p_0 и максимальную длину

$$L_{\max} = N_s M. \quad (\text{VIII. 1})$$

Если вырабатывать пряжу более высокого номера $N_1 > N_s$, то ее длина $L_1 = N_1 M > L_{\max} = N_s M$, но значения P_0 , C_p и p_0 будут хуже стандартных (см. рис. VIII. 1). Если же вырабатывать пряжу с номером $N_2 < N_s$, то ее длина будет $L_2 < L_{\max}$, хотя значения P_0 , C_p и p_0 будут лучше стандартных.

Следовательно, прядельная способность сырья

$$L_s = L_{\max}/M_0, \quad (\text{VIII. 2})$$

а с учетом формулы (VIII. 1)

$$L_s = N_s M/M_0. \quad (\text{VIII. 3})$$

Процентное отношение массы пряжи к массе сырья, из которого она получена, называется выходом пряжи B .

$$B = 100M/M_0. \quad (\text{VIII. 4})$$

Подставляя из формулы (VIII. 4) значение $M/M_0 = 0,01B$ в формулу (VIII. 3), получим

$$L_s = 0,01N_s B. \quad (\text{VIII. 5})$$

Здесь L_s — прядельная способность волокна, км на 1 кг сырья; N_s — прядельный номер волокна, км на 1 кг пряжи; B — выход пряжи, %.

По Н. Я. Канарскому, прядельная способность подсчитывается с учетом длины пряжи, полученной из прядомых отходов прядельного производства. Допустим, что из M_0 сырья (кг) выработано M пряжи (кг) с номером N_s , равным прядельному номеру данного сырья, и получено M_1 прядомых и M_2 непрядомых отходов (кг). Из M_1 прядомых отходов (кг) можно выработать M_3 пряжи (кг) стандартной прочности, но более низкого номера $N_{от} < N_s$ и получить еще M_4 непрядомых отходов (кг). Прядельная способность сырья с учетом дополнительной длины пряжи из отходов подсчитывается по формуле

$$L_s = (N_s M + N_{от} M_3)/M_0; \quad (\text{VIII. 6})$$

$$M_0 = M + M_1 + M_2 = M + M_2 + M_3 + M_4.$$

Описанные способы определения прядельной способности волокон предусматривают опытное прядение оцениваемого сырья, а также прядомых отходов. Возможен также расчет прядельной

способности по комплексу свойств волокон. Для хлопкового волокна предложены необходимые для этого формулы [1].

Расчетная относительная прочность пряжи. Для лубяных волокон рекомендуются формулы, позволяющие по комплексу наиболее значимых свойств волокон определять относительную прочность (разрывную длину) пряжи, которая и является комплексной характеристикой качества волокна [2].

УСЛОВНЫЕ СРЕДНИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Условные средние комплексные оценки качества используют для сравнительной оценки качества нескольких материалов по комплексу показателей, объединенных в одном обобщенном показателе. Определение комплексной оценки складывается из следующих этапов:

1) выбор минимального числа наиболее значимых показателей;

2) измерение или экспертная количественная оценка выбранных показателей;

3) пересчет размерных значений отдельных показателей в безразмерные (ранги, относительные показатели, баллы или показатели желательности);

4) вычисление различных средних безразмерных комплексных показателей.

Выбор и оценка значимости (весомости) единичных показателей проводятся чаще экспертным методом, когда отдельным показателям на основе опыта и литературных данных выбираются коэффициенты весомости γ в пределах $0 < \gamma < 1$ при условии, что для всех показателей $\sum \gamma = 1$.

Иногда для оценки весомости показателей эксперты используют ранги R . Для самого значимого показателя $R = 1$, а для наименее значимого $R = n$, где n — число сравниваемых и ранжируемых показателей. По каждому показателю $i = 1, 2, \dots, n$ определяют сумму рангов S_i для всех m экспертов, которую затем пересчитывают в коэффициент весомости по формуле

$$\gamma_i = (100/S_i) / \sum (100/S_i), \quad (\text{VIII. 7})$$

где γ_i — коэффициент весомости i -го показателя.

Значения γ_i определяют при достаточной согласованности их оценок различными экспертами [3].

Измерение наиболее значимых показателей проводится на проверенных, правильно работающих приборах в соответствии с нормативно-технической документацией на методы испытаний этих показателей.

Пересчет размерных показателей в безразмерные (ранги, относительные показатели, баллы и показатели желательности) производят для того, чтобы единичные показатели, измеренные в разных единицах, можно было объединить в один комплексный показатель. При органолептической экспертной оценке единичные показатели сразу оцениваются безразмерными показателями — баллами или рангами.

Показатели качества, имеющие более высокие числовые значения для лучшего материала, называются позитивными, а для худшего — негативными.

Ранговые оценки показателей. Они бывают дискретными и непрерывными. Дискретные ранги показывают порядковое место одного и того же показателя качества для сравниваемых m материалов. Лучший показатель оценивают рангом $R=1$, а худший — рангом $R=m$, где m — число сравниваемых материалов. Одинаковым по уровню показателям присваивают одинаковые ранги, но так, чтобы сумма рангов соответствовала равенству $\sum_{i=1}^m R_i = 0,5m(m+1)$.

Ранговые оценки не требуют норм для разных уровней показателя качества. Поэтому может оказаться, что лучший показатель с $R=1$ не соответствует нормативным требованиям. Первичные ранговые оценки дискретны, но их можно пересчитать на непрерывные по формулам:

для позитивных показателей качества

$$R_{ni} = R_{\max} - (R_{\max} - R_{\min})(x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}); \quad (\text{VIII. 8})$$

для негативных показателей качества

$$R'_{ni} = R_{\min} + (R_{\max} - R_{\min})(x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (\text{VIII. 9})$$

где R_{ni} и R'_{ni} — непрерывный ранг i -го материала; $R_{\max}$ и $R_{\min}$ — максимальный и минимальный ранг соответственно для худшего и лучшего материала; x_i — фактическая величина показателя качества i -го материала; $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — максимальная и минимальная величины показателей качества сравниваемых материалов.

Относительные показатели качества. Рекомендуется пересчитывать размерные показатели в безразмерные относительные показатели по формулам:

для позитивных показателей

$$q_i = x_i / x_b; \quad (\text{VIII. 10})$$

для негативных показателей

$$q_i = x_b / x_i, \quad (\text{VIII. 11})$$

где x_i — значение i -го фактического показателя; x_b — значение i -го базового показателя качества (нормы).

При отсутствии норм вместо базового показателя используют фактический показатель лучшего из сравниваемых материалов.

При наличии кроме базовой нормы x_b еще предельно допустимого значения показателей качества x_{ld} относительные (двухнормативные) показатели

$$Q_i = (x_i - x_{ld}) / (x_b - x_{ld}), \quad (\text{VIII. 12})$$

где $x_{ld} < x_b$ — для позитивных показателей; $x_{ld} > x_b$ — для негативных показателей.

При $x_i \geq x_b$ для позитивных показателей или при $x_i \leq x_b$ для негативных имеем $Q_i \geq 1$; при $x_{ld} < x_i < x_b$ для позитивных показателей или при $x_{ld} > x_i > x_b$ для негативных показателей $0 < Q_i < 1$; если $x_i = x_{ld}$, то $Q_i = 0$. Если же для позитивных показателей $x_i < x_{ld}$, а для негативных $x_i > x_{ld}$, то $Q_i < 0$ и его условно обозначают знаком «минус» или «ноль». При подсчете комплексных оценок обычно $Q_i < 0$ принимают за $Q_i = 0$.

В табл. VIII.1 приведены для $m=6$ вариантов хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс значения относительной разрывной нагрузки $P_0 = x_1$ и коэффициента вариации по прочности $C_p = x_2$, а также соответствующие им дискретные и непрерывные ранговые оценки R_1, R_2, R_{n1} и R_{n2} и относительные показатели качества q_1, q_2, Q_1 и Q_2 . Для подсчета последних были приняты по ГОСТ 1119—80 значения $q_{1b} = 11,9$ сН/текс, $q_{1d} = 10,5$ сН/текс, $q_{2b} = 13,8\%$ и $q_{2d} = 18,8\%$.

Балловые оценки показателей. Размерные фактические показатели качества пересчитывают в дискретные баллы 5, 4, 3 и 0, сравнивая показатели с тремя нормами. Для основной кардной хлопчатобумажной пряжи 25 текс в соответствии с ГОСТ 1119—80 была принята шкала оценок по четырем градациям качества (табл. VIII.2).

В табл. VIII.1 в соответствии с нормами табл. VIII.2 приведены оценки в дискретных баллах, а также подсчитанные по ним и формулам непрерывные балловые оценки:

для позитивных показателей

$$B_{ni} = B_{\min} + (B_{\max} - B_{\min})(x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (\text{VIII. 13})$$

для негативных показателей

$$B'_{ni} = B_{\max} - (B_{\max} - B_{\min})(x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (\text{VIII. 14})$$

где B_{ni} , B'_{ni} — непрерывный балл для i -го материала; $B_{\max}$ и $B_{\min}$ — максимальный и минимальный балл соответственно для лучшего и худшего материала; x_i — фактическая величина показателя качества i -го материала; $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — максимальная и минимальная величины показателей качества сравниваемых материалов.

Табл. VIII. 1. Сравнение показателей качества пряжи

Показатель	Вариант пряжи					
	1	2	3	4	5	6
Относительная разрывная нагрузка x_1 , сН/текс	11,9	12,5	10,4	10,9	11,3	10,6
Коэффициент вариации по прочности x_2 , %	13	15	12	19	16	18
Дискретные ранги						
R_1	2	1	6	4	3	5
R_2	2	3	1	6	4	5
Непрерывные ранги						
R_{n1}	2,43	1	6	4,81	3,86	5,52
R_{n2}	2,07	3,14	1	6	3,86	5,29
Относительные показатели						
q_1	1	1,05	0,87	0,92	0,95	0,89
q_2	1,06	0,92	1,15	0,73	0,86	0,77
Q_1	1,02	1,43	0	0,29	0,57	0,07
Q_2	1,16	0,76	1,36	0	0,56	0,16
Баллы дискретные						
B_1	5	5	0	3	4	3
B_2	5	4	5	0	4	3
Баллы непрерывные						
B_{n1}	3,57	5	0	1,19	2,14	0,48
B_{n2}	4,29	2,87	5	0	2,14	0,72
Кодовые баллы	5/5	5/4	0/5	3/0	4/4	3/3
Показатели желательности						
d_1	0,8	0,88	0	0,15	0,61	0,01
d_2	0,85	0,72	0,9	0	0,62	0,05

Табл. VIII. 2. Нормы показателей качества хлопчатобумажной пряжи

Сорт пряжи	Градация качества	Баллы	Нормы	
			относительной прочности, сН/текс (x_1)	коэффициента вариации по прочности, % (x_2)
I	Отличное	5	$x_{s1} \geq 11,9$	$x_{s2} \leq 13,8$
II	Хорошее	4	$x_{s2} \geq 11,2$	$x_{s2} \leq 16,2$
III	Удовлетворительное	3	$x_{s3} \geq 10,5$	$x_{s3} \leq 18,8$
Несортная	Плохое	0	$x_{sn} < 10,5$	$x_{sn} > 18,8$

Непрерывные балловые оценки нагляднее, чем дискретные, отражают относительную разницу размерных показателей, особенно для лучших, чем базовая норма, и худших по сравнению с допуском. Однако при наличии значений $x_{\max}$ или $x_{\min}$, сильно отличающихся от остальных и от самой лучшей и худшей нормы, оценки по непрерывным баллам являются относительными и могут не соответствовать промежуточным качественным гра-

дациям, определяемым по дискретным баллам и соответствующим им нормам.

Преимуществом оценки в баллах является наличие нулевой оценки для показателей, не удовлетворяющих значениям предельно допустимой нормы. Целесообразно также использование для двух-трех показателей объединенной кодовой балловой оценки вместо комплексной (см. табл. VIII. 1).

Показатели желательности [3]. Эти показатели являются непрерывными, трехнормативными, изменяющимися от 0 до 1 даже при очень большом и неограниченном диапазоне изменения размерных показателей.

Вычисляют показатели желательности d с помощью вспомогательных безразмерных величин y , которые определяют по первичным размерным показателям x с учетом их норм.

Для разных натуральных значений x нагляднее и проще определять величины y и d по трехосным номограммам xyd (рис. VIII. 2). Для этого можно использовать следующую функцию желательности

$$d = \exp(-\exp - y) = 1/e^{1/e^y}, \quad (\text{VIII. 15})$$

где $-\infty < d < \infty$.

В соответствии с формулой (VIII. 15) составлена табл. VIII. 3, по которой строят в осях xyd кривую зависимости d от y (см. рис. VIII. 2).

Вертикальная ось размерных показателей x является продолжением вниз оси d и составляет ось y нижнюю часть номограммы. Масштаб по оси x намечается каждый раз в соответствии с предельными значениями размерного показателя x (см. табл. VIII. 1).

Для пересчета значений относительной прочности x_1 намечают в осях xyd три нормативные точки с координатами: $A_1(x_{s1}; 1,53)$, $B_1(x_{s2}; 0,67)$, $C_1(x_{s3}; -2)$. Нормы x_{s1} , x_{s2} и x_{s3} берут из табл. VIII. 2, а значения 1,53; 0,67 и -2 соответствуют граничным нормам величины y в табл. VIII. 3 для различных градаций качества.

Через намеченные точки проводят прямые A_1B_1 и B_1C_1 .

Для пересчета значений коэффициента вариации x_2 аналогично предыдущему намечают точки A_2 , B_2 и C_2 и проводят прямые A_2B_2 и B_2C_2 .

Для пересчета любого размерного показателя x в безразмерный показатель желательности, например для 1-го варианта

Табл. VIII. 3. Градации показателей желательности

y	-2	-1	-0,5	0	0,5	0,67	1	1,53	2	3	5
d	0	0,07	0,19	0,37	0,54	0,6	0,69	0,8	0,87	0,95	0,99
Градация качества	Плохое	Удовлетворительно					Хорошо		Отлично		

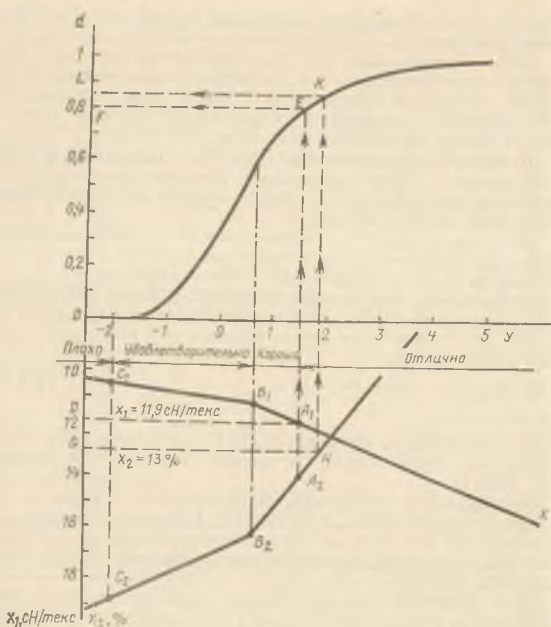


Рис. VIII.2. Номограмма для определения показателей желательности

табл. VIII.1 $x_1 = 11,9$ сН/текс и $x_2 = 13\%$, проводим соответственно через точки D и G на совмещенной оси $0x_1$ и $0x_2$ горизонталы DA_1 и GH до пересечения с прямыми A_1B_1 и A_2B_2 . Из точек пересечения A_1 и H опускаем перпендикуляры на ось Oy и продолжаем их до точек E и K пересечения с кривой в осях dOy . Опустив затем из этих точек перпендикуляры EF и KL на ось Od , находим на последней искомые показатели желательности d . В рассматриваемом примере значению $x_1 = 11,9$ сН/текс соответствует $d_1 = 0,8$, а значению $x_2 = 13\%$ — $d_2 = 0,85$.

Следует отметить зависимость оценки показателя желательности не только от величины x , но также от выбора нормативных значений y для разных категорий качества (см. табл. VIII.3) и уровня соответствующих им норм x_s для натуральных показа-

Табл. VIII.4. Обозначения единичных и комплексных показателей качества

Материал	Единичные показатели						Комплексные показатели			
	1	2	...	l	...	n				
1	z_{11}	z_{12}	...	z_{1l}	...	z_{1n}	K_1	G_1	H_1	K_{G1}
2	z_{21}	z_{22}	...	z_{2l}	...	z_{2n}	K_2	G_2	H_2	K_{G2}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
j	z_{j1}	z_{j2}	...	z_{jl}	...	z_{jn}	K_j	G_j	H_j	K_{Gj}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
m	z_{m1}	z_{m2}	...	z_{ml}	...	z_{mn}	K_m	G_m	H_m	K_{Gm}
Коэффициент весомости	γ_1	γ_2	...	γ_l	...	γ_n	$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$			

телей качества (см. табл. VIII.2). Преимущество показателей желательности заключается в том, что они при любых значениях x и y изменяются всегда в пределах $0 \leq d \leq 1$. При этом показатель x плохой градации качества имеет оценку $d = 0$.

Различные способы подсчета комплексных показателей. Предположим, что для $j = 1, 2, \dots, m$ материалов определены одинаковые безразмерные оценки z_{ji} по n показателям качества, имеющим разные коэффициенты весомости γ_i (см. табл. VIII.4). Величина оценок z_{ji} может быть выражена рангами R_{ji} , относительными показателями q_{ji} и Q_{ji} , баллами дискретными B_{ji} или непрерывными B_{nji} , а также показателями желательности d_{ji} .

Для подсчета средних комплексных показателей K_j , G_j , H_j и K_{Gj} используют различные формулы, приводимые ниже.

Средний (арифметический) показатель

$$K_j = \sum_{i=1}^n (z_{ji} \gamma_i). \quad (\text{VIII.16})$$

Обозначения в формуле (VIII.16) соответствуют табл. VIII.4.

Если коэффициенты весомости γ_i отдельных показателей не определялись, их принимают одинаковыми для всех показателей $\gamma_i = 1/n$ и тогда формула (VIII.16) принимает вид

$$K_j = \sum_{i=1}^n z_{ji} / n. \quad (\text{VIII.17})$$

Недостатком формул (VIII.16) и (VIII.17) является то, что при наличии плохих единичных оценок ($Q_{ji} = 0$, $B_{ji} = 0$ или $d_{ji} = 0$) комплексная оценка качества материала может ока-

Табл. VIII. 5. Сравнение комплексных показателей качества пряжи

Комплексный показатель	Вариант пряжи					
	1	2	3	4	5	6
Дискретные ранги						
K_I	2	2	3,5	5	3,5	5
G_I	2	1,73	2,45	4,9	3,46	5
H_I	2	1,52	1,71	4,8	3,43	5
K_{OI}	2	2,45	4,58	5,48	3,74	5
Непрерывные ранги						
K_I	2,25	2,7	3,5	5,4	3,86	5,4
G_I	2,24	1,77	2,45	5,37	3,86	5,4
H_I	2,23	1,52	1,71	5,33	3,86	5,4
K_{OI}	2,34	2,55	4,58	5,69	3,86	5,46
Относительные показатели q						
K_I	1,03	0,98	1,01	0,82	0,9	0,83
G_I	1,03	0,98	1	0,82	0,9	0,83
H_I	1,03	0,98	0,99	0,81	0,9	0,83
K_{OI}	1,01	0,93	0,94	0,77	0,88	0,8
Относительные показатели Q						
K_I	1,09	1,1	0,68	0,14	0,56	0,12
G_I	1,09	1,04	0	0	0,56	0,11
H_I	1,08	0,99	0	0	0,56	0,1
K_{OI}	1,05	0,96	0	0	0,56	0,09
Дискретные баллы						
K_I	5	4,5	2,5	1,5	4	3
G_I	5	4,48	0	0	4	3
H_I	5	4,45	0	0	4	3
K_{OI}	5	4,24	0	0	4	3
Кодовые баллы B_1/B_2	5/5	5/4	0/5	3/0	4/4	3/3
Непрерывные баллы						
K_I	3,93	4,44	2,5	0,6	2,15	0,61
G_I	3,92	4,4	0	0	2,15	0,6
H_I	3,9	4,37	0	0	2,15	0,58
K_{OI}	3,75	4,14	0	0	2,15	0,54
Показатели желательности						
K_I	0,82	0,8	0,45	0,08	0,62	0,03
G_I	0,82	0,8	0	0	0,61	0,02
H_I	0,82	0,79	0	0	0,61	0,02
K_{OI}	0,81	0,76	0	0	0,61	0,02

заться достаточно высокой из-за достаточно высокой оценки остальных единичных показателей (см. вариант 3 табл. VIII. 5).

Средний геометрический показатель

$$G_I = z_{I1}^{y_1} z_{I2}^{y_2} \dots z_{In}^{y_n} = \prod_{i=1}^n z_{Ii}^{y_i}, \quad (\text{VIII. 18})$$

а при $y_i = 1/n$

$$G_I = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n z_{Ii}}. \quad (\text{VIII. 19})$$

При таком способе подсчета, если хотя бы одна единичная оценка $z_{ji} = 0$, комплексная оценка также равна нулю.

Средний гармонический показатель

$$H_I = 1 / \sum_{i=1}^n (y_i / z_{Ii}). \quad (\text{VIII. 20})$$

а при $y_i = 1/n$

$$H_I = n / \sum_{i=1}^n (1 / z_{Ii}). \quad (\text{VIII. 21})$$

При наличии $z_{ji} = 0$ комплексный показатель $H_I = 0$.

Средний комбинированный комплексный показатель определяется как среднее геометрическое из среднего показателя K_I и наихудшего показателя z_x :

$$K_{OI} = \sqrt{K_I z_x}. \quad (\text{VIII. 22})$$

Его значение при $z_x = 0$ также равно нулю.

Сравнение различных комплексных показателей (K_I , G_I , H_I и K_{OI}), подсчитанных по формулам (VIII. 17), (VIII. 19), (VIII. 21) и (VIII. 22) по первичным данным табл. VIII. 1 и при одинаковой значимости $y_1 = y_2 = 0,5$ обоих показателей x_1 и x_2 , проведено в табл. VIII. 5. Из нее следует, что нестандартная пряжа вариантов 3 и 4, не удовлетворяющая требованиям ГОСТ 1119—80, правильно получила худшую — плохую оценку при использовании единичных безразмерных показателей Q , B , B_n и d и комплексных показателей G_I , H_I и K_{OI} . Таким образом, эти показатели являются предпочтительными. По этим же показателям лучшую оценку получает пряжа вариантов 1 и 2. При использовании рангов сравнительная оценка качества разных вариантов пряжи менее определена.

Оценка качества пряжи по однонормативным показателям q получилась лучше для вариантов 1, 3 и 2 и несколько хуже для вариантов 5, 6 и 4, но не отражает плохое качество пряжи вариантов 3 и 4. При использовании двухнормативных относительных показателей Q их отрицательные значения для нестандартной пряжи условно принимались равными нулю.

По дискретным баллам лучшую комплексную оценку G_I получает пряжа варианта 1, а по непрерывным — варианта 2. Это объясняется значительным завышением относительной прочности пряжи варианта 2 по сравнению с нормой. Более заметна разница в оценках пряжи худших вариантов 5 и 6, а также пряжи варианта 2 при использовании непрерывных баллов. Кодовая оценка по баллам B_1/B_2 дает наглядное представление о прочности и неравномерности сравниваемых вариантов пряжи.

Величины G_I , H_I и K_{aI} по показателям желательности дают примерно одинаковую относительную оценку пряжи разных вариантов и выделяют как лучшие варианты 1 и 2, а как плохие — варианты 3 и 4. В соответствии с табл. VIII.3 пряжа варианта 1 имеет отличную оценку, варианта 5 — хорошую, а варианта 6 — удовлетворительную оценку.

ОЦЕНКА ПО НАИХУДШЕМУ ПОКАЗАТЕЛЮ КАЧЕСТВА

В этом случае материал оценивают также по комплексу наиболее значимых показателей, но итоговая оценка дается по одному наихудшему показателю качества. Это позволяет обеспечить необходимый уровень качества по всем основным свойствам и исключает возможность одинаковой средней оценки в одном случае при сочетании всех отдельных показателей среднего качества, а в другом — при сочетании хороших и плохих показателей.

Такая оценка используется в ГОСТ 8871—84, ГОСТ 9299—73*, ГОСТ 10063—83, ГОСТ 10435—83, ГОСТ 10546—80*, ГОСТ 16008—83 и др. Например, в ГОСТ 10546—80* на вискозное волокно нормированы показатели: относительная разрывная нагрузка, удлинение при разрыве, отклонение средней фактической длины и линейной плотности от номинальной, содержание длинных волокон, серы и замасливателя. Для извитого волокна дополнительно оценивают число извитков на 1 см и степень извитости, а для окрашенного в массе волокна — устойчивость окраски к сухому трению и действию мыльного раствора. Качество партии волокна устанавливают по наихудшему показателю свойств и внешнего вида. При оценке последнего учитывают склеенные и непрорезанные волокна, разнооттеночность и рассыпчатость.

СМЕШАННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Смешанные оценки базируются на том принципе, что комплексные показатели должны дополнять единичные, а не заменять их.

При смешанном методе оценки уровня качества продукции рекомендуется вначале часть единичных показателей объединять в группы и для каждой группы определять комплексный (групповой) показатель. Отдельные, наиболее значимые, показатели допускаются не объединять в группы, а учитывать их дополнительно как единичные. Уровень качества продукции оценивают по совокупности комплексных и единичных показателей.

Примером простой смешанной оценки качества является сочетание среднегеометрического дискретного балла и кодовых баллов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяют прядельный номер волокон?
2. Порядок определения и расчета прядельной способности волокон.
3. Преимущества и недостатки ранговых оценок показателей качества.
4. Порядок определения балловых оценок показателей качества.
5. Как определяют относительные показатели качества при отсутствии базовых показателей?
6. Порядок пересчета дискретных балловых оценок в непрерывные.
7. Как определяют показатель желательности по номограмме?
8. Преимущества и недостатки различных средних комплексных оценок качества материалов.
9. Какие существуют способы подсчета комплексных показателей?

ЛИТЕРАТУРА К ГЛ. VIII

1. Соловьев А. Н. Проектирование свойств пряжи в хлопчатобумажном производстве. М., 1951.
2. Испытание лубоволокнистых материалов/В. В. Городов, С. Е. Лазарева, И. Я. Лукев и др. М., 1969.
3. Соловьев А. Н., Кирюхин С. М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. М., 1984.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Алгоритм

программы по общей статистической обработке наблюдений

```
10 REM Общая обработка данных самая удобная
20 INPUT "Ввести номер варианта", J
40 DIM M(500)
50 INPUT "Ввести число результатов", E
60 FOR I=1 TO E
70 INPUT "Ввести результаты", M(I)
80 NEXT I
90 A=0
100 FOR I=1 TO E
110 A=A+M(I)
120 NEXT I
130 W=A/E
140 R=0
150 FOR I=1 TO E
160 R=R+(W-M(I))^2
170 NEXT I
180 Y1=SQR(R/E)
190 C=100*(Y1/W)
200 O=2*Y1/SQR(E)
210 Y2=100*O/W
220 PRINT "Вариант"; J
230 PRINT "Среднее значение W="; W
240 PRINT "Ср. квадр. отклонение Y1="; Y1
250 PRINT "Кэфф. вариации C="; C
260 PRINT "Ошибка O="; O
270 PRINT "Относит. ошибка M0="; Y2:PRINT
280 STOP
290 GOTO 10
```

Вариант K—1
Исходные данные

20	25	30	22	24
27	26	20	23	22
21	25	21	29	27
26	25	22	33	28

Среднее значение W=24.7
Ср. квадр. отклонение Y1=2.830194339617
Кэфф. вариации C=11.45827667861
Ошибка O=1.265701386584
Относит. ошибка M0=5.124297111676

Алгоритм программы линейной корреляции

```
10 REM Линейная корреляция: PRINT HEX(03); "Линейная корреляция"
20 INPUT "Количество заданных точек, N", N
30 PRINT/05, "Ввести заданные точки по I в строке ввода (X1, Y1)"
40 S1, S2, S3, S4, S5=0
50 FOR I=1 TO N
60 INPUT X, Y
70 S1=S1+X
80 S2=S2+Y
90 S3=S3+X*X
100 S4=S4+Y*Y
110 S5=S5+X*Y
115 PRINT X, Y
120 NEXT I
130 R=(N*S5-S1*S2)/SQR((N*S3-S1^2)*(N*S4-S2^2))
140 PRINT
150 PRINT "Коэффициент корреляции =" ; R
160 END
```

Линейная корреляция

1	2
5	7
8	20
10	19
9	23
12	30
17	40
15	32
19	35
20	44

Коэффициент корреляции = .9680192714316

Блок-схема корреляционной матрицы

```
10 REM Корреляционная матрица: PRINT/05, HEX(03); "Корреляционная матрица"
20 DIM R(9,9), X(10), A(9), B(9)
30 PRINT/05, "Ввести N, M"
40 INPUT N, M
50 PRINT/05, "Ввести матрицу"
60 FOR K=1 TO N
70 PRINT/05, "Строка"; K: MAT INPUT X(M)
80 FOR I=1 TO M
90 FOR J=1 TO M
100 R(I,J)=R(I,J)+X(I)*X(J)
110 NEXT J
120 A(I)=A(I)+X(I)
130 B(I)=B(I)+X(I)^2
140 NEXT I
150 NEXT K
160 FOR I=1 TO M
170 S=N*B(I)-A(I)^2
180 FOR J=1 TO M
190 R(I,J), R(J,I)=(N*R(I,J)-A(I)*A(J))/SQR(S*(N*B(J)-A(J)^2))
```

```

200 NEXT J
210 R(I,I) = 1
220 NEXT I
230 PRINT
240 PRINT "Корреляционная матрица"
250 FOR I = 1 TO M
260 PRINT
270 PRINT
280 FOR J = 1 TO M
290 IF R(I,J) <= 1 THEN 310
300 R(I,J) = 1
310 PRINT R(I,J)
320 NEXT J
330 NEXT I
340 END

```

Корреляционная матрица

```

1 .7821378034706 .8889477287365 .7839590695129 .80362
.7330850411155
.7821378034706 .8762847448376 .8663760305792 .86229
.8385523584956
.8889477287365 .8762847448376 1 .9808856035207 .98381
.9603721537622
.7839590695129 .8663760305792 .9808856035207 1 .99624
.9943123037534
.8036271568544 .8622984088223 .9838190072827 .9962458523111 1
.9937107479643
.7330850411155 .8385523584956 .9603721537622 .9943123037534 .99371
1

```

Блок-схема
однофакторного дисперсионного анализа

```

10 REM Однофакторный дисперсионный анализ: PRINT/05,HEX(03);
PRINT/05,"Однофакторный дисперсионный анализ";
PRINT/05," ";
20 INPUT "Если вы хотите получить результат на экране, нажмите
0 CR/LF; Если вы хотите получить результат на печати, нажмите
1 CR/LF"; E
30 IF E = 0 THEN 40: SELECT PRINT 0C(60): GOTO 50
40 SELECT PRINT/05
50 DIM N(100): DIM U 100: PRINT/05,HEX(03)
60 INPUT "Введите к-во уровней фактора A", K
70 PRINT/05,HEX(03)
80 PRINT/05,"Введите к-во наблюдений на данном уровне
CR/LF": PRINT/05,"И величины всех наблюдений на этом уровне"
90 PRINT/05,"(Столбец таблицы наблюдений)": PRINT/05," ";
PRINT/05,"После ввода очередного наблюдения нажмите клавишу
CR/LF"
100 M = 0
110 FOR J = 1 TO K
120 S = 0
130 PRINT/05," ": PRINT/05,"K-во наблюдений на "; J; "уровне"
140 R = 1
150 INPUT N(J): IF R >= N(J) THEN 180
160 R = N(J): MAT REDIM U 100 (R,K)
170 PRINT/05,"Введите столбец"; J

```

```

180 FOR L = 1 TO N(J): INPUT X: 10 PACK A 10, Z1 FROM X: IF X < 0
THE N190: U 10 (L,J) = STR (A 10, 5, Z1 - 4): S = S + X: S2 =
= S2 + X 10: NEXT L: GOTO 200
190 U 10 (L,J) = STR(A 10, 4, Z1 - 3): S = S + X: S2 = S2 + X 10: NEXT L
200 S1 = S1 + S
210 S3 = S3 + S 10 / N(J)
220 M = M + N(J)
230 NEXT J: STOP "1": Q1 = S2: Q2 = S3
240 FOR I = 1 TO TOR: FOR J = 1 TO TOK: IF U 10 (I,J) = " "
THEN 250: NEXT J: NEXT I: GOTO 2 60
250 U 10 (I,J) = " ": NEXT J: NEXT I
260 PRINT HEX(03): PRINT "Результаты наблюдений на "; K;
"уровнях фактора A": PRINT: MAT PRINT U 10: STOP "2"
270 S1 = S1 10 / M: Q3 = S1
280 S = S3 - S1
290 S3 = S2 - S3
300 S2 = S2 - S1
310 J = M - K
320 K = K - 1
330 PRINT: PRINT/05,HEX(03)
340 PRINT "Результаты вычислений": PRINT
350 PRINT "Q1 = "; Q1: PRINT "Q2 = "; Q2: PRINT "Q3 = "; Q3
360 PRINT: PRINT "SA 10 2 = "; (Q2 - Q3) / K: PRINT "S0 10 2 = ";
(Q1 - Q2) / J: PRINT: PRINT "F = "; (Q2 - Q3) / K / (Q1 - Q2) * J
370 REM Объем памяти 18388
380 END

```

Результаты наблюдений на 3 уровнях фактора A

2	3	3
4	4	5
5	2	3
3	—	2

Результаты вычислений:

```

01 = 130
02 = 118.25
03 = 117.8181818182
SA 10 2 = .2159090909
S0 10 2 = 1.46875
F = .1470019342298

```

Блок-схема
программы определения деформации по уравнению Кольрауша

```

10 REM Уравнение Кольрауша
20 INPUT "Коэф. альфа", G: PRINT "Коэф. альфа"; G
30 INPUT "Точки отсчета", G1, G2, G3: PRINT "Точки отсчета", G1, G2, G3
40 Y1 = G * G1: Y2 = G 10 2 * G1
50 IF Y1 ( ) G2 THEN 900: IF Y2 ( ) G3 THEN N 900
60 INPUT "Ввести деформации", E1, E2, E3: PRINT "Деформации",
E1, E2, E3
65 IF (E2 - E1) < (E3 - E2) THEN 895
70 E0 = E3: INPUT "Начальный шаг приближения", A5
80 E0 = E0 + A5
90 A = (LOG(E0 - E1) - LOG(E0)) / (LOG(E0 - E2) - LOG(E0))
100 B = (LOG(E0 - E2) - LOG(E0)) / (LOG(E0 - E3) - LOG(E0))
110 A = INT(A * 1000)
120 B = INT(B * 1000)

```

```

130 IF A = B THEN 160
135 IF A < B THEN 160
140 GOTO 80
150 E0 = E0 - A5: A5 = A5/10: GOTO 80
160 PRINT/05, "Деформация"; E0: PRINT/05, "Приближение"; A5
170 INPUT "Для окончания приближения нажмите 0 и CR/LF,
      для продолжения - 1 и CR/LF", Q2: IF Q2 = 1 THEN 150
180 PRINT "Конечная деформация"; E0, "Точность"; A5
190 M1 = LOG((E0 - E1)/E0)
200 M2 = LOG((E0 - E2)/E0)
210 M3 = M1/M2
220 M = -LOG(M3)/LOG(G)
230 PRINT "M="; M
240 INPUT "T1", T1
250 B1 = -(LOG((E0 - E1)/E0))/(T1 * M)
260 PRINT "B1="; B1
270 D = 1/M
280 PRINT "D="; D
290 V = B1 * D
300 Q = 1/V
310 PRINT "Q="; Q
320 DIM E(256): I = 0
330 STOP "3"
340 INPUT "Время начала, время окончания проц., шаг графика",
      T3, T4, C1
350 PRINT "Шаг графика"; C1
360 FOR J1 = T3 TO T4 STEP C1
370 I = I + 1
380 E(I) = E0 - (E0 * EXP(-B1 * (J1 * M)))
390 PRINT I, "E="; E(I), "T="; J1
400 NEXT J1
410 Z = 1: DIM H(256)
420 FOR I = 1 TO Z
430 H(I) = E(I)
440 NEXT I
450 STOP "4"
460 GOSUB 910
465 STOP "Отдых"
470 INPUT "Остаточные деформации", X1, X2, X3: PRINT
      "Остаточные деформации", X1, X2, X3
480 INPUT "EH", E0: PRINT "Начальная деформация", E0
485 IF (X1 - X2) < (X2 - X3) THEN 895
490 E5 = E0: INPUT "Начальный шаг приближения", A6
500 A1 = E5 - X1: A2 = E5 - X2: A3 = E5 - X3
510 E0 = E0 - A6
520 REM Продолжение
530 C = LOG(E0/(E0 - A1))/LOG(E0/(E0 - A2))
540 J = LOG(E0/(E0 - A2))/LOG(E0/(E0 - A3))
550 C = INT(C * 1000)
560 J = INT(J * 1000)
570 IF C = J THEN 600
575 IF C > J THEN 600
580 GOTO 510
590 E0 = E0 + A6: A6 = A6/10: GOTO 510
600 PRINT/05, "Остаток деформации"; E0: PRINT/05, "Приближение"; A6
610 INPUT "Окончить приближение - 0, продолжить - 1", Q2: IF
      Q2 = 1 THEN 590

```

```

620 PRINT "Остаточная деформация"; E0, "Точность", A6
630 INPUT "Коэффициент", U: PRINT "Коэф. альфа", U
640 M4 = LOG((E0 - A1)/E0)
650 M5 = LOG((E0 - A2)/E0)
660 M6 = LOG(M4/M5)
670 N = -M6/LOG(U)
680 PRINT "N="; N
690 INPUT "Время", T1: PRINT "Начало отсчета", T1
700 K = -(LOG((E0 - A1)/E0))/(T1 * N)
710 PRINT "C="; K
720 H = 1/(K * (1/(N)))
730 PRINT "H="; H
740 STOP "8"
750 E8 = E5 - E0
760 INPUT "Начальное, конечное время, шаг графика", T5, T6, C2
770 PRINT "Шаг графика"; C1
780 DIM E9(256): I = 0
790 FOR J2 = T5 TO T6 STEP C2
800 I = I + 1
810 E9(I) = E0 * EXP(-(K) * (J2 * N)) + E8
820 PRINT I, "E="; E9(I), "T="; J2
830 NEXT J2
840 Z = 1
850 FOR I = 1 TO Z
860 H(I) = E9(I)
870 NEXT I
880 STOP "9"
890 GOSUB 910
894 GOTO 900
895 STOP "Проверьте исходные данные"
900 END
910 REM График
920 FOR I = 1 TO Z
930 H(I) = H(I)
940 NEXT I
950 I = 1
960 H = H(I)
970 D = H(I)
980 I = I + 1
990 IF I > Z THEN 1050
1000 IF H(I) <= D THEN 1040
1010 IF H(I) >= H THEN 1030
1020 GOTO 980
1030 H = H(I): GOTO 980
1040 D = H(I): GOTO 980
1050 PRINT: PRINT "YMIN="; D, "YMAX="; H: PRINT
1060 IF H > 0 THEN 1100
1070 IF W = ABS(D) THEN 1110
1080 IF D >= 0 THEN 1100
1090 W = H - D: GOTO 1110
1100 W = H
1110 F = W/60
1120 IF D >= 0 THEN 1150
1130 K = ABS(D/F)
1140 K = INT(K): GOTO 1160
1150 K = 0
1160 I = 1

```

Продолжение

1170 J=0
1180 PRINT"

1190 IF I > Z THEN 1330
1200 J=J+1
1210 Y=INT(H(I)/F)
1220 IF J=S THEN 1320
1230 IF Y>0 THEN 1270
1240 IF Y=0 THEN 1290
1250 PRINT TAB(Y+K); "α"; PRINT TAB(K); "I"
1260 I=I+1: GOTO 1190
1270 PRINT TAB(K); "I"; PRINT TAB(Y+K); "α"
1280 I=I+1: GOTO 1190
1290 PRINT TAB(K); "α"
1300 I=I+1: GOTO 1190
1310 PRINT T: J=0: GOTO 1200
1320 END
1330 RETURN

Коефф. альфа 4.2 точки отсчета 10 42
Деформации 3.35 3.54 3.73

176.4

Конечная деформация 5.443 Точность.001

M=.0661449516327

B1=.8207126863174

D=15.11831175796

Q=19.82827786792

Шаг графика 10

1	E=1.33996245785	T=.0000001
2	E=3.350000001323	T=10.0000001
3	E=3.44177431244	T=20.0000001
4	E=3.495469851442	T=30.0000001
5	E=3.5335454866419	T=40.0000001
6	E=3.563056276676	T=50.0000001
7	E=3.587148251657	T=60.0000001
8	E=3.607500676825	T=70.0000001
9	E=3.625116232618	T=80.0000001
10	E=3.640641824446	T=90.0000001
11	E=3.654519188436	T=100.0000001
12	E=3.667063403375	T=110.0000001
13	E=3.67857104687	T=120.0000001
14	E=3.689026946337	T=130.0000001
15	E=3.698760231177	T=140.0000001
16	E=3.70781579125	T=150.0000001
17	E=3.716281350144	T=160.0000001
18	E=3.724228649712	T=170.0000001
19	E=3.731717109333	T=180.0000001

YMIN=1.33996245785

YMAX=3.731717109333

Продолжение

Остаточные деформации

2.62

2.56

2.5

Начальная деформация

3.73

Остаточная деформация 1.988

Точность

.001

Коефф. альфа 4.2

N=.0578826288389

Начало отсчета 10

C=.7152630886857

H=326.8121121081

Шаг графика 10

1	E=3.242431712045	T=.0000001
2	E=2.619999999585	T=10.0000001
3	E=2.591112260891	T=20.0000001
4	E=2.574131125963	T=30.0000001
5	E=2.562051107287	T=40.0000001
6	E=2.552655904085	T=50.0000001
7	E=2.54498682829	T=60.0000001
8	E=2.538489005841	T=70.0000001
9	E=2.532856318999	T=80.0000001
10	E=2.527885099279	T=90.0000001
11	E=2.523436119337	T=100.0000001
12	E=2.5194099745	T=110.0000001
13	E=2.515733204485	T=120.0000001
14	E=2.512349980425	T=130.0000001
15	E=2.509216876498	T=140.0000001
16	E=2.506299446888	T=150.0000001
17	E=2.503569903004	T=160.0000001
18	E=2.501005523519	T=170.0000001
19	E=2.498587451004	T=180.0000001

YMIN=2.498587451004

YMAX=3.242431712045

программы определения кинетики износа

342

$$\begin{aligned} Y(I) &= 2\theta \\ Y(I) &= 3\theta \\ Y(I) &= 4\theta \\ Y(I) &= 6\theta \end{aligned}$$

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абсорбция 247
Адсорбция 246, 250
Алметр 94
Амплитуда 186
Асбест 302

База 85
Баллы 285, 325

Влагосодержание 253
Влажность 253
— равновесная 248
Ворсистость пряжи 44
Выборка 73
Выносливость 122, 190, 225

Генеральная совокупность 73
Геометрические свойства 81
Градиент неровноты 115

Двойное лучепреломление 260
Денье 100
Десорбция 247
Деформация упругая 157
— эластическая 157
— пластическая 159
— остаточная 164
Деформирование 120
Диаграмма распределения 85
— растяжения 128
— удлинение — нагрузка 124
— штапельная 85
Диаметр расчетный 101
— условный 101
Дисперсия 62
Дифрактометрия 22
Дихроизм 261
Диэлектрическая проницаемость 266
Диэлектрические потери 256
Длина волокон 81
— модальная 83
— номинальная 84
— средняя 82
— условная средняя 83
— эффективная 90
Доверительные границы 63
Долговечность 122

Единица продукции 73

Жаростойкость 256
Жесткость 134, 221
— при изгибе 217
— при кручении 216

Извитость 48
Изгиб 218
— многократный 223
Износостойкость 234
Индекс неровноты 117
Истирание 235

Капиллярная конденсация 246
Качество материала 60, 67
Квантиль 63
Кенаф 286
Кинетические кривые сорбции 251
Классификация механических свойств 122, 123
Комплексная оценка качества 319
Компоненты удлинения 167, 170, 171
Кондиционная влажность 252
— масса 253, 274
Коррелограмма 114
Коэффициент вариации 62
— зрелости 271
— крутки 37
— неровноты 61
— полноты диаграммы растяжения 129
— Пуассона 209
— тангенциального сопротивления 228
— трения 233
Кривые растяжения 132
Критерии износостойкости 236
Кроющая способность 102
Крутка 37
Кручение 210

Лен 280
— трепаный 280
— чесаный 282
Лубяные волокна 278
Льняное короткое волокно 284
Льняной очес 283

Массодлина модальная 83
— средняя 84
— штапельная 83
Межплоскостное расстояние 24
Методы определения ворсистости 46
— извитости 50
— чистоты 55
Механические модели свойств текстильных материалов 177
Механическое кондиционирование 176
Микрокалориметрия 28
Микроскопия поляризованная 18
— световая 16
— электронная 18

Многоцикловые характеристики изгиба 222, 225
— — растяжения 182, 190
— — сжатия 207
Модели процессов релаксации 177
Модуль изгиба 221
— продольной упругости 172
Момент инерции полярный 211
— крутящий 212

Набухание 252
Направление крутки 39
Неравномерность (неровнота) 61, 109
Номер волокон и нитей 99
— льна 281
— прядильный 320

Образец 73
Огнестойкость 258
Одноцикловые характеристики 158
— — изгиба 220
— — кручения 212
— — растяжения 168
— — сжатия 206
Определение крутки 42
Оптические свойства 258
Отбор проб вслепую 74
— — систематический 74
— — случайный 74
Оценки качества комплексные 319
— — реальные 320
— — смешанные 332

Партия материала 72
Пенька короткая 285
— трепаная 285
— чесаная 285
Плотность линейная 98
— средняя 101
Поглощение воды 251
Показатели ворсистости 45
— извитости 49
— качества безразмерные 323
— — единичные 323
— — комплексные 319
— — негативные 67
— — относительные 324
— — позитивные 67
Показатель желательности 327
— равномерности 90
— толщины 99
— тонины 99
Полуцикловые характеристики изгиба 218
— — кручения 210
— — растяжения 126, 133
— — сжатия 202
Предел выносливости 192

Приборы на истирание 239
Проба 73
— лабораторная 79
— объединенная 76
— точечная 76
— элементарная 79
Прядильная способность 321
Пряжа асбестовая 303
— из лубяных волокон 287
— шелковая 301
— шерстяная 296
Пульсаторы 197

Работа разрыва 128
Радиотермолюминесценция 261
Размах варьирования 62
Размер кристаллита 25
Разрушение 120
Разрыв пучка и пасмы 126
Разрывные машины 135
— — Инстрон 142
— — с маятниковым силоизмерителем 138
— — наклонной плоскостью 140
Ранги 323
Растяжение 62
Релаксометр 163
Рентгенография 21
Рентгено-структурный анализ 21
Реология 120

Сводные характеристики 61
Сервофиброграф 96
Сжатие 200
Сорбция 247, 250
Спектрограмма 117
Спектроскопия 26
— — инфракрасная 26
Среднее квадратическое отклонение 61
Степень кристалличности 25
Структура волокон асбестовых 12
— — ацетатных 14
— — вискозных 12
— — галогеносодержащих 16
— — полиакрилонитрильных 15
— — полиамидных 14
— — полиолефиновых 15
— — полиуретановых 15
— — углеродных 16
Структура нитей 28
— — комплексных 33
— — крученных 32
— — текстурированных 34
— — фасонных 36
— — пряжи 29, 30
Структурный анализ 16

Тангенс угла потерь 265
Текс 98
Температуропроводность 256
Тепловое сопротивление 256
Теплопроводность 255
Теплостойкость 256, 257
Титр 100
Толщина 98
Тонина 99
Трение 226, 233

Удельная поверхность 101
Угол кручения 37
— разориентации 24
Укрутка 41
Усталость статическая 124
— динамическая 184

Фазы утомления 183
Фиброграмма 86

Характеристики механических свойств
при растяжении 182
— — — сжатии 206

Химические волокна и нити 304
Хлопок 270

Цепкость 225

Чистота волокон 51
— нитей 52—54

Шелк 298
Шерсть верблюжья 290
— восстановленная 294
— заводская 293
— козья 294
— овечья 291
Штапель 91
Штапель-бородка 86, 88

Экстензометр 162
Электризуемость 263
Электрическая проводимость 267
— прочность 267
Электрические свойства 263
Электрический пробой 268

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. СТРОЕНИЕ ВОЛОКОН И НИТЕЙ (А. И. Кобляков) 3

1. Строение волокон и элементарных нитей 3
2. Структурный анализ волокон и нитей 16
Световая микроскопия 16
Электронная микроскопия 18
Рентгеноструктурный анализ 21
Методы спектроскопии 26
3. Строение нитей 28
4. Скрученность и укрутка нитей 36
Характеристики скрученности нитей 36
Влияние крутки на свойства нитей 39
Укрутка нитей 41
Методы определения крутки и укрутки нитей 42
5. Ворсистость пряжи 44
Характеристики ворсистости 45
Методы определения ворсистости пряжи 46
6. Извитость волокон и нитей 48
Характеристики извитости 49
Методы определения извитости 50
7. Дефекты и засоренность текстильных материалов 51
Пороки и засоренность волокон 51
Методы определения чистоты волокон 51
Чистота нитей 52
Методы определения чистоты нитей 55
Контрольные вопросы и задания 58
Литература к гл. I 59

Глава II. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ (А. Н. Соловьев) 60

1. Определение сводных характеристик одноступенчатой выборки и для всей партии материала 61
Сводные выборочные характеристики 61
Доверительные границы генерального среднего для партии материала 63
Доверительные границы среднего квадратического отклонения σ и коэффициента вариации V для партии материала 64
2. Определение среднего показателя m для партии материала по двухступенчатой выборке 65
3. Вероятностная оценка качества партии материала при сравнении выборочных показателей с нормативами 67
Контрольные вопросы и задания 72
Литература к гл. II 72

Глава III. ОТБОР ПРОБ (ВЫБОРОК) ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ (А. Н. Соловьев) 72

1. Методы отбора проб 74
2. Особенности отбора и приготовления проб волокон 75
3. Особенности отбора проб нитей 79
Контрольные вопросы и задания 80
Литература к гл. III 80

Глава IV. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ
(А. Н. Соловьев) 81

1. Длина волокон 81
Характеристики длины волокон и их неравномерности по длине 81
Методы измерения длины волокон 90
2. Толщина (тонина) и линейная плотность волокон и нитей 98
Характеристики толщины и тонины 98
Значение толщины волокон и нитей 102
Методы измерения толщины 103
Определение неравномерности волокон и нитей по толщине 109
Контрольные вопросы и задания 119
Литература к гл. IV 119

Глава V. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ
(Г. Н. Кукин) 119

1. Растяжение 123
Полуцикловые разрывные характеристики 124
Полуцикловые неразрывные характеристики 133
Приборы для испытания волокон и нитей на растяжение 135
Влияние различных факторов на полуцикловые характеристики 149
Одноцикловые характеристики и их получение 156
Методы определения компонентов деформации 161
Виды одноцикловых характеристик 168
Влияние различных факторов на одноцикловые характеристики 173
Зависимость между напряжением и деформацией при растяжении текстильных волокон и нитей 176
Многоцикловые характеристики при растяжении и их получение 182
Методы определения усталостных характеристик 186
Виды многоцикловых характеристик 190
Влияние различных факторов на многоцикловые характеристики 195
2. Сжатие 200
Полуцикловые характеристики сжатия и их получение 202
Одноцикловые характеристики сжатия и их получение 206
Многоцикловые характеристики сжатия и их получение 207
Коэффициент Пуассона для текстильных волокон 209
3. Кручение 210
Полуцикловые характеристики и их получение 210
Одноцикловые характеристики и их получение 212
4. Изгиб 217
Полуцикловые характеристики и их получение 218
Одноцикловые характеристики и их получение 220
Многоцикловые характеристики и их получение 222
5. Трение и цепкость 225
6. Изнашивание волокон и нитей 234
Износостойкость и ее критерии 234
Приборы и методы для оценки стойкости волокон и нитей к истиранию 239
Основные принципы построения методик определения стойкости волокон и нитей к истиранию 243
Контрольные вопросы и задания 245
Литература к гл. V 245

Глава VI. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ (А. И. Кобляков) 246

1. Гигроскопические свойства 246
2. Тепловые свойства 255
3. Оптические свойства 258
4. Электрические свойства 263
Контрольные вопросы и задания 269
Литература к гл. VI 269

Глава VII. АССОРТИМЕНТ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ ПО СТАНДАРТАМ 270

1. Хлопок и хлопчатобумажная пряжа (А. Н. Соловьев) 271
Хлопок 271
Хлопчатобумажная пряжа 275
2. Лубяные волокна и пряжа (А. Н. Соловьев) 278
Лубяные волокна 278
Пряжа из лубяных волокон 287
3. Шерсть, шерстяная и полушерстяная пряжа (А. Н. Соловьев) 290
Шерсть 290
Шерстяная и полушерстяная пряжа 296
4. Шелк (Г. Н. Кукин) 298
Шелк-сырец 299
Крученный шелк 300
Шелковая пряжа 301
5. Асбест и асбестовая пряжа (А. Н. Соловьев) 302
Асбест 302
Асбестовая пряжа 303
6. Химические волокна и нити (Г. Н. Кукин) 304
Вискозные волокна и нити 304
Медно-аммиачные волокна и нити 307
Ацетатные волокна и нити 308
Полиэфирные волокна и нити 309
Полиамидные волокна и нити 311
Полиакрилонитрильные волокна и нити 313
Волокна из галогенопроизводных поливиниловых соединений 314
7. Стекланые волокна и нити (А. Н. Соловьев) 315
Контрольные вопросы и задания 318
Литература к гл. VII 318

Глава VIII. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЛОКОН И НИТЕЙ (А. Н. Соловьев) 319

- Реальные комплексные оценки качества 320
Условные средние комплексные оценки качества 323
Оценка по наилучшему показателю качества 332
Смешанные оценки качества 332
Контрольные вопросы и задания 333
Литература к гл. VIII 333
Приложение (Г. Н. Кукин) 334
Предметный указатель 344

Учебное издание

**ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ КУКИН,
АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ СОЛОВЬЕВ,
АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ КОБЛЯКОВ**

**Текстильное материаловедение
(волокна и нити)**

Редактор Н. М. Нешатаева
Художественный редактор Л. К. Овчинникова
Технический редактор М. Е. Черенкова
Корректор В. Д. Четверикова
ИБ № 139

Сдано в набор 26.04.88. Подписано в печать 20.12.88. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 22,0 п. л. Усл. п. л. 22,0. Усл. кр.-отт. 22,0. Уч.-изд. л. 22,03. Тираж 15 000 экз. Заказ 360. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Легкая промышленность и бытовое обслуживание» 113035, Москва, 1-я Кадашевский пер., д. 12. Отпечатано с набора Ленинградской типографии № 2 государственного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29 в Ленинградской типографии № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

**ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ
ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Магазин № 153 Москниги предлагает литературу издательства «Легкая промышленность и бытовое обслуживание»:

АЛЛЕНОВА А. П. Автоматические ткацкие станки СТБ: Учебник для кадров массовых профессий. — 1985. — 20 л. — 65 к.

БЕРКОВИЧ Н. Ю., ЛЮБИМОВ В. А., ПАНКОВ Н. П. Шерстоткачество: Учебник для техникумов. — 4-е изд., перераб. и доп. — 1985. — 28 л. — 1 р.

ГАСКАРОВА И. Н., ФИЛАТОВ В. Т., ЧЕМЕРИЦКИЙ Л. К. Хозрасчет в текстильной и легкой промышленности: Справ. пособие. — 1985. — 18 л. — 1 р. 10 к.

КОРОТЕЕВА Л. И., ОЗЕРСКИЙ О. Н., ЯСКИН А. П. Технологическое оборудование заводов химических нитей и волокон: Учебник для вузов. — 1987. — 35 л. — 1 р. 50 к.

КРИЧЕВСКИЙ Г. Е., КОРЧАГИН М. В., СЕНАХОВ А. В. Химическая технология текстильных материалов: Учебник для вузов. — 1985. — 45 л. — 1 р. 80 к.

Льноткачество: Справочник/Дружнина Р. Д., Брут-Бруляко А. Б., Иванникова И. М. и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — 1985. — 33 л. — 2 р.

Отделка и крашение шерстяных тканей: Справочник/Моделов В. Л., Александрова Т. М., Абрамова Э. Н. и др. — 1985. — 25 л. — 1 р. 60 к.

УСЕНКО В. А. Производство крученых и текстурированных химических нитей: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — 1987. — 27 л. — 1 р. 20 к.

Адрес магазина № 153: ул. Костякова, 9; тел. для справок: 211—13—77.

Изгородским покупателям магазин высылает литературу наложенным платежом. Почтовый адрес: 125422, Москва, ул. Костякова, 9, книжный магазин № 153 им. Ивана Федорова, отдел «Книга — почтой».

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛИ

В первом полугодии во все книжные магазины страны, распространяющие научно-техническую литературу, ежегодно поступает аннотированный план выпуска литературы различных издательств на будущий год, в том числе издательства «Легкая промышленность и бытовое обслуживание».

Если Вы посетите книжный магазин, ознакомитесь с планом и оформите предварительный заказ на заинтересовавшие Вас книги или плакаты, то в будущем году сможете приобрести их без промедления. О поступлении товара в магазин Вы будете извещены почтовой открыткой.

Предварительный заказ можно оформить и через специализированный книжный магазин № 153 им. Ивана Федорова, направив открытку по адресу: 125422, Москва, ул. Костякова, 9, отдел «Книга — почтой».

Учреждения, предприятия или библиотеки должны составить гарантийное письмо с гербовой печатью, заверенное подписью распорядителя кредита и главного бухгалтера.