

УДК 677. 677.21.022.3/5 (075)

д.т.н., проф. Коган А.Г., лаб. Калиновская И.Н.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования «Витебский государственный технологический  
университет»

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

Методические указания к лабораторной работе  
«Технология и оборудование для производства химических волокон»  
по дисциплине «Переработка химических волокон и нитей»  
для студентов специальности 1-50 01 01  
«Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов»

Витебск  
2009

## Содержание

1	Классификация химических волокон	4
2	Свойства химических волокон	6
3	Способы формования нитей	11
3.1	Получение штапельного волокна	16
4	Модификация волокон	17
5	Производство вискозных волокон и нитей	18
5.1	Способы получения вискозных нитей	19
6	Получение поликапроамидных волокон и нитей	23
6.1	Формование поликапроамидных нитей	25
6.2	Формование поликапроамидного волокна	26
7	Формование полиэфирных волокон	28
8	Формование полиакрилонитрильного волокна	29
9	Формование хлориновой нити	31
10	Производство стеклянных волокон и нитей	32
	Литература	36

# 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Химические волокна – волокна (нити), получаемые промышленными способами в заводских условиях.

По химическому составу волокна подразделяются на органические и неорганические.

Органические волокна образуются из полимеров, имеющих в своем составе атомы углерода, непосредственно соединённые друг с другом, или включающие наряду с углеродом атомы других элементов.

Неорганические волокна образуются из неорганических соединений (соединения из химических элементов кроме соединений углерода).

В зависимости от природы применяемых для переработки высокомолекулярных соединений химические волокна делятся на три класса: искусственные, синтетические и минеральные.

Искусственные волокна вырабатываются на основе природных полимеров и подразделяются на гидратцеллюлозные, ацетатные и белковые. Самыми многотоннажными являются гидратцеллюлозные волокна, получаемые вискозным или медно-аммиачным способом. Ацетатные волокна получают на основе уксуснокислых эфиров (ацетатов) целлюлозы с различным содержанием ацетатных групп. Волокна на основе белков растительного и животного происхождения вырабатываются в весьма ограниченном количестве вследствие их низкого качества и использования для их производства пищевого сырья.

Синтетические волокна вырабатываются из полимеров, синтезируемых в промышленности из простых веществ (капролактама, акрилонитрила, пропилена и др.).

Минеральные волокна получают из неорганических соединений.

Классификация химических волокон представлена на рис. 1.



**Рисунок 1 – Классификация химических волокон**

В зависимости от химического строения макромолекул исходного волоконобразующего полимера они подразделяются на две группы:

- карбоцепные;
- гетероцепные.

Наибольшее применение из группы карбоцепных волокон получили полиакрилонитрильные (ПАН) и полиолефиновые (ПО) волокна, волокна на основе поливинилхлорида (ПВХ) и поливинилового спирта (ПВС). В ограниченном количестве вырабатываются фторсодержащие волокна.

К гетероцепным волокнам относятся волокна, полученные из полимеров, основные молекулярные цепи которых кроме атома углерода содержат атомы кислорода, азота или других элементов. Волокна этой группы — полиэтилентерефталатные и полиамидные — являются самыми многотоннажными из всех химических волокон.

Существует группа высокопрочных высокомодульных волокон технического назначения. К ним относятся углеродные, получаемые из графитизированных или обугленных полимеров, стеклянные, металлические волокна или волокна, получаемые из нитридов или карбидов металлов. Эти волокна применяются в основном для изготовления армированных пластиков и других конструкционных материалов.

В зависимости от назначения химические волокна вырабатываются в виде *волокна, жгута, комплексных нитей и мононитей*.

Мононити — одиночные нити большой длины, не делящиеся в продольном направлении и пригодные для непосредственного изготовления текстильных и технических изделий. Мононити чаще всего используются в виде лески, а также для изготовления рыболовных сетей и мукомольных сит. Мононити могут быть использованы также в различных измерительных приборах.

Комплексные нити — это нити, состоящие из двух или более элементарных нитей, соединенных между собой скручиванием, пневмоперепутыванием, текстурированием или склеиванием. Комплексные нити пригодны для непосредственного изготовления изделий и подразделяются на две группы: текстильные и технические. К текстильным нитям относятся тонкие нити, предназначенные преимущественно для изготовления изделий широкого потребления. К техническим нитям относятся нити большой линейной плотности, используемые для изготовления технических и кордных изделий (авто- и авиашин, транспортерных лент, приводных ремней и др.).

Волокно – протяженное гибкое и прочное тело с малыми поперечными размерами, ограниченной длины, пригодное для изготовления пряжи, текстильных и технических изделий.

Жгут представляет собой комплекс большого числа продольно сложенных элементарных нитей (одиночных нитей большой протяженности, не делящихся в продольном направлении без разрушения). Из жгута путем его разрезания или разрыва на участки ограниченной длины получают волокно.

Для производства химических волокон применяют волокнообразующие полимеры, которые состоят из гибких и длинных макромолекул, имеют достаточно высокую молекулярную массу и обладают способностью плавиться без разложения или растворяться в доступных растворителях.

## 2 СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Химические волокна обладают высокой разрывной прочностью, значительным разрывным удлинением, хорошей формоустойчивостью, несминаемостью, высокой устойчивостью к многократным и знакопеременным нагрузкам, стойкостью к действиям света, влаги, плесени, бактерий, хемо- и термостойкостью. Физико-механические и физико-химические свойства химических волокон можно изменять путём модификации, как исходного сырья (полимера), так и самого волокна. Это позволяет создавать даже из одного исходного волокнообразующего полимера волокна, обладающие разнообразными свойствами. Химические волокна можно использовать в смесях с природными волокнами или другими химическими волокнами при изготовлении новых ассортиментов текстильных изделий.

В табл. 1 приведены физико-механические свойства поликапроамидных волокон и нитей.

Таблица 1 – Физико-механические свойства поликапроамидных волокон и нитей

Показатель	Текстильная нить	Техническая нить	Волокно
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	40—50	60—75	30—35
Удлинение при разрыве, %	25—35	12—18	40—100
Потеря разрывной нагрузки в мокром состоянии, %	5—10	5—10	5—10
Равновесная влажность при 65% влажности воздуха, %	3,4—3,9	3,4—3,5	3,7—4
Модуль упругости, мПа	2500—3500	4000—5500	2000—3000

Стойкость к истиранию (износостойкость) определяется числом циклов, выдерживаемых нитью до разрыва. По стойкости к истиранию поликапроамидное волокно превосходит все другие волокна. Если стойкость поликапроамидных нитей и волокна к истиранию принять за 100 %, то для хлопкового волокна она составит (при испытании в таких же условиях) всего 10 %, шерстяного — 5, а вискозного — 2 %.

Вследствие высокой стойкости к истиранию поликапроамидного волокна его целесообразно добавлять к смеси других волокон, например к смеси шерстяного и вискозного волокон. Установлено, что при добавлении в такую смесь 15 % поликапроамидного волокна стойкость тканей к истиранию повышается в 2-4 раза.

Температура плавления и размягчения. Для поликапроамидных волокон и нитей она составляет соответственно 215 и 170 °С.

Устойчивость к действию химических реагентов. Органические растворители (бензин, спирт, ацетон, скипидар, серный эфир, бензол, четыреххлористый углерод и др.), используемые для сухой чистки, совершенно не оказывают

воздействия на нити и волокно. Поликапроамидные волокна и нити достаточно стойки к щелочам, к воде также стойки при температуре ниже 100 °С, при температуре 150 °С (под давлением) наблюдается частичный гидролиз, а при 200 °С — полный гидролиз полимера.

Растворимость. Поликапроамидные нити и волокна растворяются в концентрированной серной и муравьиной, в холодной соляной кислоте, нерастворимы в ацетоне.

При температуре 20 °С и выше поликапроамидные волокна и нити растворяются в феноле, трихлорэтиловом спирте, в 8 %-м растворе хлорида кальция в метаноле,  $\alpha$ - и  $\beta$ -нафтоле, хлороформе, ксилоле, гидрохиноне.

Окрашиваемость. Поликапроамидные волокна и нити окрашиваются красителями почти всех классов.

Светостойкость. Как и большинство натуральных и химических нитей и волокон, поликапроамидные волокна и нити под действием солнечного света разрушаются и теряют прочность.

Диэлектрические свойства. Поликапроамидные волокна и нити являются диэлектриками (изоляторами). При трении нитей и волокон друг о друга или о нитепроводящие детали на них возникает сильный электростатический заряд (статическое электричество).

Устойчивость к микроорганизмам. Поликапроамидные волокна и нити не плесневеют и не подвергаются гниению, не поддаются личинкам моли. Ткань из этих волокон и нитей не оказывает вредного воздействия на кожу человека.

Горючесть. Подоженная нить горит медленно и плавится. Если от большой горячей массы нитей или волокна отделить небольшие расплавленные куски, то они сразу же гаснут.

Устойчивость к низким и высоким температурам. Поликапроамидные волокна и нити практически сохраняют свои свойства до температуры — 30 °С. На эластичность нитей температура от — 70 °С до 105 °С практически не влияет. Однако разрывная нагрузка их в нагретом состоянии (теплостойкость) и после прогрева (термостойкость) невысокая.

При тепловой обработке мокрых изделий из этих волокон и нитей форма и размеры изделий стабилизируются.

Эластичность. Высокие эластические свойства поликапроамидных волокон и нитей являются одной из отличительных особенностей. При нагрузке до 30 % разрывная доля их полностью обратимых удлинений составляет 90-95 % общего удлинения.

Устойчивость к многократному изгибу. Поликапроамидные волокна и нити обладают высокой устойчивостью к многократным деформациям при изгибе — примерно в 100 раз большей, чем вискозные волокна и нити, и в 10 раз большей, чем хлопковое и шерстяное волокна. По этому показателю поликапроамидные волокна и нити превосходят натуральные и большинство других синтетических волокон и нитей.

В табл. 2 приведены физико-механические свойства полиэфирных волокон и нитей.

Таблица 2 – Физико-механические свойства полиэфирных волокон и нитей

Показатель	Текстильная нить	Техническая нить	Волокно
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	35—45	65—80	30—40
Удлинение при разрыве, %	15—30	8—15	40—60
Потеря разрывной нагрузки в мокром состоянии, %	0	0	0
Равновесная влажность при 65 %-й влажности воздуха, %	0,4—0,5	0,4—0,5	0,4—0,5
Модуль упругости, МПа	10000—12000	14000—16000	5000—8000
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1380	1380—1400	1380

Термо- и светостойкость. Полиэфирные волокна превосходят по термостойкости все широко доступные натуральные и химические волокна.

При нагревании на воздухе до температуры 150°C в течение 500 и 1000 ч разрывная нагрузка сохраняется соответственно на 30 и 20 % (поликапроамидные и гидратцеллюлозные волокна в этих условиях полностью разрушаются). При температуре — 40 °С наблюдается увеличение разрывной нагрузки на 5-10%, уменьшение удлинения на 30%, а при — 100 °С разрывная нагрузка возрастает приблизительно на 50, а удлинение снижается примерно на 35 % (при этом волокно становится хрупким).

Химическая и биологическая устойчивость. Полиэфирные волокна частично растворяются, разрушаясь в концентрированных серной (выше 83%-й) и азотной кислотах. Снижение прочности при действии горячих концентрированных органических кислот (уксусной, щавелевой, муравьиной и др.) в течение 100 ч не превышает 10—15 %.

Формостойкость. У изделий из полиэфирных волокон исключительная способность сохранять форму после тепловой обработки при высоких температурах. Складки устойчивы при носке и стирке.

Эластичность. Волокно лавсан по эластичности близко к натуральной шерсти, а во влажном состоянии превосходит ее. Мокрая ткань из полиэфирного волокна через 15 с после сминания возвращается в прежнее состояние на 85 %, а шерстяная — только на 20 %.

Стойкость к истиранию. Этот показатель полиэфирного волокна к истиранию ниже, чем у поликапроамидных волокон. Сопrotивляемость к многократным изгибам (динамическая выносливость) ниже, чем у поликапроамидных, но в 2,5 раза выше, чем у гидратцеллюлозных волокон.

Электрические свойства. Полиэфирное волокно является хорошим изолятором, что обусловило широкое его применение в электротехнической промышленности.

В табл. 3 приведены свойства полипропиленовых нитей.

Таблица 3 – Свойства полипропиленовых нитей

Полипропиленовая нить	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Равновесная влажность при 65 %-й влажности воздуха, %	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Потеря разрывной нагрузки в мокром состоянии, %	Модуль упругости, МПа
Жгутовая	910	0	35—40	25—30	0	3000—4000
Пленочная	910	0	35—80	8—13	0	5000—13000

Полипропиленовые волокна обладают комплексом ценных эксплуатационных свойств. Они легче воды, их плотность (910 кг/м<sup>3</sup>) меньше плотности других химических и натуральных волокон. Полипропиленовые волокна стойки к действию щелочей и кислот.

Полипропиленовые волокна отличаются специфическими положительными и отрицательными свойствами. Среди положительных свойств необходимо отметить самую низкую плотность, хорошую устойчивость к щелочам и кислотам, мягкий и теплый гриф, наименьшее раздражение кожи, отрицательный электростатический заряд, высокие теплоизоляционные свойства, наименьшее поглощение воды (жидкостей), наивысшую капиллярность. Среди отрицательных свойств — плохую поверхностную окрашиваемость и низкую устойчивость к деформации.

Полипропиленовое волокно применяется в мебельных тканях, коврах с прошивным ворсом и иглопробивных напольных покрытиях. Это волокно хлопко- и шерстоподобного типа применяется для выработки смешанной пряжи с натуральными волокнами (обычно в соотношении 1:1). Специальные типы полипропиленового волокна используют для производства синтетической кожи, фильтровальных материалов, гигиенических целей и др.

Полипропиленовый жгут применяют в основном в производстве ковров (тканевых и иглопробивных) в 100%-м виде и в смеси с поликапроамидными волокнами. Ковровый жгут с меньшей линейной плотностью используют для выработки мебельных тканей и трикотажа для верхней одежды.

Полипропиленовые нити применяются для производства бельевых тканей и верхней одежды, носочных изделий, чулок. Нити малой линейной плотности используют в качестве основы мебельной ткани, а также вместо хлопковой пряжи.

Для мебельных тканей и спортивных костюмов является пригодным сопряженный тип потенциально извитого, или объемного, жгута, пригодного для ткацкой и трикотажной отраслей промышленности.

Полипропиленовые нити вместе с целлюлозными волокнами используются для выработки так называемых двухслойных трикотажных изделий (на-



пример, детских пеленок, спортивных костюмов и др.). Слой из полипропиленовых нитей соприкасается с кожей и обеспечивает удаление влаги и жидкостей, а слой из искусственных нитей на поверхности принимает влагу и жидкости.

Новыми изделиями из полипропилена являются волокнистые нетканые материалы, получаемые совмещенным способом.

Благодаря высокой химической стойкости полиолефиновых волокон их целесообразно применять при изготовлении фильтровальных материалов и спецодежды.

В табл. 4 приведены свойства ПВХ волокон.

Таблица 4 – Свойства ПВХ волокон

Показатель	Волокна		
	из обычного поливинилхлорида (ПВХ)	из теплостойкого поливинилхлорида (ТПВХ)	из перхлорвиниловой смолы (хлорин)
Линейная плотность волокна, текс	0,1—0,6	0,2—0,5	0,2—0,5
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1380	1390	1430
Равновесная влажность при 65 %-й влажности воздуха, %	0,1	0,1	0,1—0,2
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	22—27	25—35	15—17
Удлинение при разрыве, %	25—35	40—60	55—60
Потеря разрывной нагрузки в мокром состоянии, %	0	0	0
Модуль упругости, МПа	3500—4000	3000—3500	-

Благодаря высокой химической стойкости ПВХ волокна используют для изготовления фильтровальных и диафрагменных тканей, применяемых в производствах основной химии, электрохимии и металлургии. Из ПВХ волокон вырабатывают фильтровальные материалы в широком ассортименте — от сеток различной плотности до тканей с начесом.

Высокая температура воспламенения волокон из ПВХ (выше 1000 °С) обуславливает широкое применение этих волокон при изготовлении тканей для обивки мебели и отделки общественных зданий, самолетов и пароходов.

Способность ПВХ волокон приобретать при трении высокий отрицательный заряд наряду с хорошими теплоизоляционными свойствами этих волокон используется для изготовления лечебного белья и чулок, применяемых при заболеваниях радикулитом, ревматизмом, артритом и т. д. Низкая теплопроводность, хорошая упругость, гидрофобность, устойчивость к гниению и, что в данном случае особенно важно, низкая стоимость обуславливают возможность использования ПВХ волокон в качестве теплоизоляционного материала.

Пряжа из смесей ПВХ волокон с вискозным волокном или хлопковым успешно используется для производства теплого белья. Смесь ПВХ волокон с

шерстяным применяется для получения более дешевых одеял и шерстяных тканей, обладающих при этом лучшими эксплуатационными свойствами. Для указанных изделий в основном применяются волокна, подвергнутые термофиксации перед изготовлением пряжи. Соответственно температура обработки (стирка, глажение и т.п.) при эксплуатации изделий не должна превышать 60-70°C, что, естественно, является существенным недостатком.

В то же время благодаря усадочным свойствам ПВХ волокна находят все большее применение для изготовления тканей и трикотажа повышенной плотности, объемного трикотажа, рельефных тканей и ковров.

Основным недостатком хлориновой нити является ее малая термостойкость. При температуре 80-90°C нить начинает деформироваться. Плотность нити 1430 кг/м<sup>3</sup>. Из хлориновой нити изготавливают фильтровальные материалы для химической и горнорудной отраслей промышленности, а также спецодежду.

Ряд основных характеристик нитей из фторполимеров приведен в табл. 5.

Таблица 5 – Основные характеристики нитей из фторполимеров

Показатель	Полифеновая нить	Фторлоновая нить
Линейная плотность нити, текс	20—200	16,6
Число элементарных нитей	40—300	300
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2200	1960
Равновесная влажность при 65 %-й влажности воздуха, %	0	0
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	10—16	46—55
Удлинение при разрыве, %	15—25	8—10
Потеря разрывной нагрузки в мокром состоянии, %	0	0
Модуль упругости, МПа	1200—3300	6000—6600
Температура плавления, °С	327	132—136

### 3. СПОСОБЫ ФОРМОВАНИЯ НИТЕЙ

Современные способы формования нитей заключаются в продавливании исходных растворов или расплавов полимеров через тончайшие отверстия фильер. Несмотря на некоторые различия в получении химических волокон и нитей разных видов, общая схема их производства состоит из следующих основных этапов:

- 1) получение сырья и его предварительная обработка
- 2) приготовление прядильного расплава (раствора)
- 3) формование волокна
- 4) вытягивание и термообработка волокна
- 5) отделка сформированного волокна

Благодаря техническому прогрессу в области производства химических волокон, наряду с «классическими» видами волокон, созданы их модифицированные виды с оптимизированными характеристиками – высокотехнологичные

химические волокна нового поколения со специальными функциями (пониженной горючести, антимикробные, антиаллергические, изменяющие цвет в зависимости от температуры и освещения, терморегулирующие, защищающие от статического электричества и ультрафиолетовых лучей, и т. д.).

Из растворов или расплавов полимеров формируют:

мононити - одиночные нити

комплексные нити, состоящие из ограниченного числа элементарных нитей (от 3 до 200), используются для выработки тканей и трикотажных изделий

жгуты, состоящие из очень большого количества элементарных нитей (сотни тысяч), используются для получения штапельных волокон определенной длины (от 30 до 200 мм), из которых вырабатывается пряжа

пленочные материалы

штампованные изделия (детали одежды, обуви)

Полимеризация – процесс получения полимеров путём последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активному центру на конце растущей цепи. Молекула мономера, входя в состав цепи, образует её мономерное зерно. Число таких звеньев в макромолекуле называется степенью полимеризации.

Поликонденсация – процесс получения полимеров из би- или полифункциональных соединений (мономеров), сопровождающийся выделением побочного низкомолекулярного вещества (воды, спирта, галогеноводорода и др.).

Раствор или расплав полимера, из которого формируются нити, называется *прядильным раствором*.

При изготовлении химических волокон необходимо из исходного твердого полимера получить длинные тонкие нити с продольной ориентацией макромолекул, т.е. нужно переориентировать макромолекулы полимера. Для этого переводят исходный полимер в вязкотекучее состояние (раствор или расплав). В жидком (раствор) или размягченном (расплав) состоянии нарушается межмолекулярное взаимодействие, увеличивается расстояние между молекулами и появляется возможность их свободного перемещения относительно друг друга.

Растворение полимера осуществляют для полимеров, имеющих дешевый и доступный растворитель. Растворы используются для искусственных и некоторых синтетических (полиакрилонитрильных, поливинилспиртовых, поливинилхлоридных) волокон.

Расплавление полимера применяют для полимеров с температурой плавления ниже температуры разложения. Расплавы готовят для полиамидных, полиэфирных и полиолефиновых волокон.

Для приготовления прядильного раствора также выполняют следующие операции:

Смешивание полимеров из различных партий. Выполняют для повышения однородности раствора, чтобы получить волокна, равномерные по своим свойствам на всем протяжении. Смешивание возможно как после получения раствора, так и в сухом виде до растворения (расплавления) полимера.

Фильтрация раствора. Заключается в удалении механических примесей и нерастворившихся частиц полимера путем многократного прохождения раствора через фильтры. Фильтрация необходима для предотвращения засорения фильер и улучшения качества нитей.

Обезвоздушивание раствора. Выполняется для удаления из пузырьков воздуха, которые, попадая в отверстия фильер, обрывают образующиеся волокна. Обезвоздушивание осуществляется путем выдерживания раствора в вакууме. Расплав обезвоздушиванию не подвергается, так как в расплавленной массе воздуха практически нет.

Введение различных добавок. Добавление небольшого количества низкомолекулярных веществ, обладающих специфическими свойствами, позволяет изменить свойства получаемых волокон. Например, для повышения степени белизны вводятся оптические отбеливатели, для приобретения матовости добавляют двуокись титана. Введение добавок можно придать волокнам бактерицидные, огнестойкие и другие свойства. Добавки, не вступая в химическое взаимодействие с полимером, располагаются между его молекулами.

Процесс формования волокон состоит из следующих этапов:

- продавливание прядильного раствора через отверстия фильер,
- затвердевание вытекающих струек,
- наматывание полученных нитей на приемные устройства.

Прядильный раствор подаётся на прядильную машину для формования волокон. Рабочими органами, непосредственно осуществляющими процесс формования химических волокон на прядильных машинах, являются фильеры. Изготавливаются фильеры из тугоплавких металлов – платины, нержавеющей стали и др. – в форме цилиндрического колпачка или диска с отверстиями.

В зависимости от назначения и свойств формируемого волокна количество отверстий в фильере, их диаметр и форма могут быть различными. Виды фильерных отверстий представлены на рис. 2.



**Рисунок 2 – Виды фильерных отверстий**

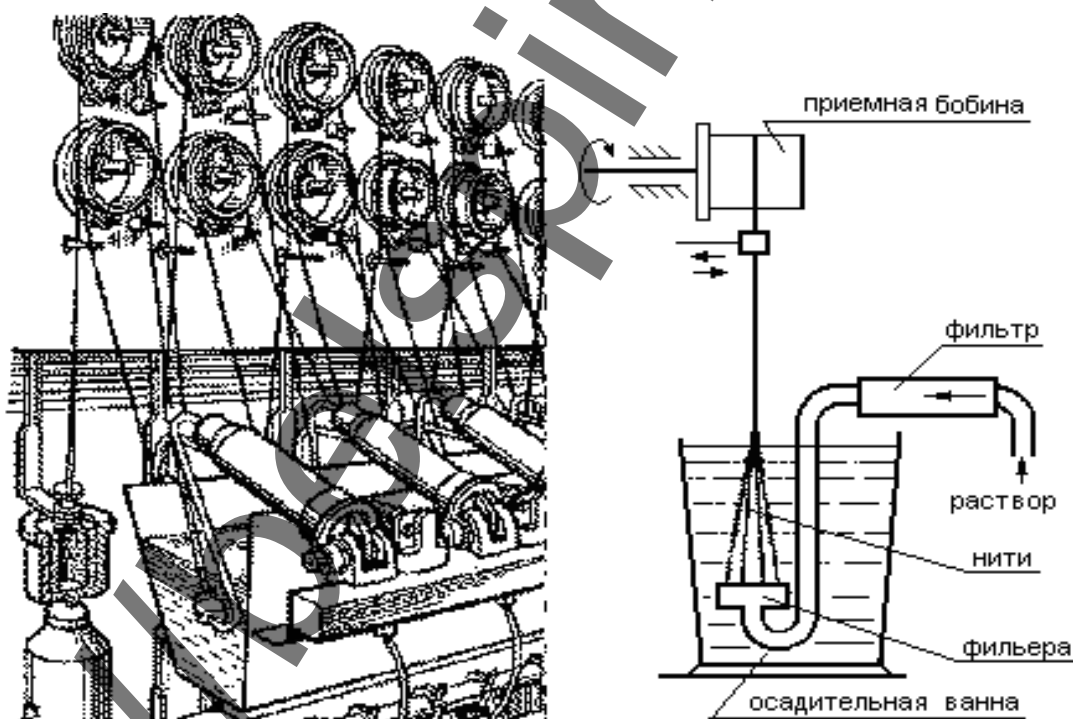
При использовании фильер с отверстиями фигурного сечения получают профилированные нити с различной конфигурацией поперечного сечения или же с внутренними каналами. Для формирования бикомпонентных (из двух и более полимеров) нитей отверстия фильер разделены перегородкой на несколь-

ко (две или более) частей, к каждой из которых подаётся свой прядильный раствор.

При формировании комплексных нитей используют фильеры с небольшим числом отверстий: от 12 до 100. Сформованные из одной фильеры элементарные нити соединяются в одну комплексную (филаментную) нить и наматываются на бобину. При получении штапельных волокон применяют фильеры с количеством отверстий в несколько десятков тысяч. Собранные вместе с нескольких фильер нити образуют жгут, который затем разрезается на штапельные волокна определенной длины.

Прядильный раствор дозированно продавливается через отверстия фильер. Вытекающие струйки попадают в среду, вызывающую затвердевание полимера в виде тонких волокон. В зависимости от среды, в которой происходит затвердевание полимера, различают мокрый и сухой способы формования.

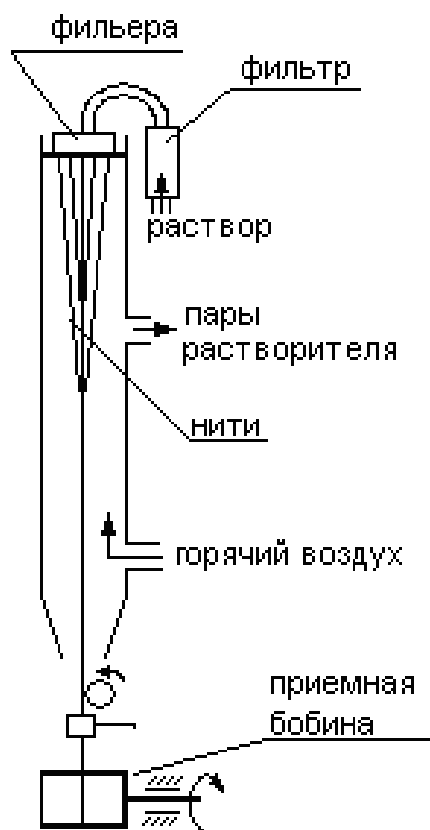
При формировании волокон из раствора полимера в нелетучем растворителе (например, вязкозных, медно-аммиачных, поливинилпиррольных волокон) нити затвердевают, попадая в осадительную ванну, где происходит их химическое или физико-химическое взаимодействие со специальным раствором, содержащим различные реагенты. Это «мокрый» способ формования (рис. 3).



**Рисунок 3 – Мокрый способ формования нитей**

Если формирование проводят из раствора полимера в летучем растворителе (например, для ацетатных и триацетатных волокон), средой затвердевания является горячий воздух, в котором растворитель испаряется. Это «сухой» способ формования (рис. 4).

При формировании из расплава полимера (например, полиамидных, полиэфирных, полиолефиновых волокон) средой, вызывающей затвердевание полимера, служит холодный воздух или инертный газ (рис. 5).



**Рисунок 4 – Сухой способ Формования нитей**



**Рисунок 5 – Формование нитей из расплава полимера**

Скорость формования зависит от толщины и назначения волокон, а также от метода формования.

Прядильный раствор в процессе превращения струек вязкой жидкости в тонкие волокна одновременно вытягивается, этот процесс называется фильерной вытяжкой.

В процессе формования образуется первичная структура нити. В растворе или расплаве макромолекулы имеют сильно изогнутую форму. Так как при формовании степень вытягивания нити невелика, то макромолекулы в нити расположены с малой долей распрямленности и ориентации вдоль оси нити.

Для распрямления и переориентации макромолекул в осевом направлении нити выполняется пластификационная вытяжка, в результате которой ослабляются межмолекулярные связи, и образуется более упорядоченная структура нити. Вытягивание приводит к увеличению прочности и улучшению текстильных свойств нити.

Но в результате большой распрямленности макромолекул нити становятся менее растяжимыми. Такие волокна и изделия из них подвержены последующей усадке во время сухих и мокрых обработок при повышенных темпера-

турах. Поэтому возникает необходимость подвергнуть нити термофиксации – тепловой обработке в натянутом состоянии. В результате термофиксации происходит частичная усадка нитей из-за приобретения макромолекулами изогнутой формы при сохранении их ориентации. Форма пряжи стабилизируется, последующая усадка как самих волокон, так и изделий из них снижается.

Отделка волокна после формования включает следующие операции:

1. Удаление примесей и загрязнений. Данная операция необходима при получении нитей мокрым способом. Она осуществляется путем промывки нитей в воде или различных растворах.

2. Беление нитей или волокон путем обработки оптическими отбеливателями для последующего окрашивания волокон в светлые и яркие цвета.

3. Поверхностная обработка (авиваж, аппретирование, замасливание) необходима для придания нитям способности к последующим текстильным переработкам. При такой обработке повышаются скольжение и мягкость, и уменьшается их обрывистость, снижается электризуемость и т.п.

4. Сушка нитей после мокрого формования и обработки различными жидкостями в специальных сушилках.

5. Текстильная переработка – скручивание и фиксация крутки (для соединения нитей и повышения их прочности); перематывание (для увеличения объема паковок нитей); сортировка (для оценки качества нитей).

### 3.1 Получение штапельного волокна

Штапельное волокно – химическое волокно, получаемое разрезанием или разрыванием жгута продольно сложенных элементарных нитей на отрезки длиной 40—70 мм.

Для получения штапельного волокна применяются фильеры с большим числом отверстий. Если для получения комплексных нитей применяются фильеры на 24 - 100 отверстий, то при получении штапельного волокна число отверстий в фильере доходит до 2000 - 12000, что обуславливает значительное увеличение производительности прядильной машины.

Собранные вместе с нескольких фильер нити образуют жгут. Жгуты состоят из очень большого количества элементарных нитей (сотни тысяч) и штапелируются на специальных машинах на отдельные отрезки – волокна длиной в зависимости от назначения.

Штапелирование производят разрезанием или разрывом нитей в жгуте. Длина штапельного волокна подравнивается к длине хлопкового, льняного или шерстяного волокна, если оно будет использоваться в смеси.

Штапельное волокно используется для получения пряжи и нетканых полотен. Пряжа из штапельных волокон идёт на изготовление тканей и трикотажа. Материалы, выработанные из штапельной пряжи, обладают меньшим блеском, лучшими теплозащитными и гигиеническими свойствами, более приятные на ощупь за счет своей мягкости и пушистости, чем материалы, выработанные из комплексных нитей того же происхождения.

Прядение штапельных волокон может осуществляться с использованием оборудования хлопкопрядильного производства по кардной системе прядения или по штапельной системе из жгута элементарных химических нитей.

Пряжа из штапельных волокон отличается большей равномерностью, чем пряжа из натуральных волокон.

#### 4 МОДИФИКАЦИЯ ВОЛОКОН

Модификация волокон – направленное изменение текстильных волокон и нитей с целью придания им новых заранее заданных свойств.

Благодаря техническому прогрессу в области производства химических волокон, наряду с «классическими» видами волокон, созданы их модифицированные виды с оптимизированными характеристиками. Появились высокотехнологичные химические волокна нового поколения со специальными функциями: пониженной горючести, антимикробные, антиаллергические, изменяющие цвет в зависимости от температуры и освещения, терморегулирующие, защищающие от статического электричества и ультрафиолетовых лучей, и т. д.

Выделяют физическую, композитную и химическую модификацию. Применяются комбинированные методы модификации. Часто используется сочетание физического с композитным или химическим модифицированием. Комбинация методов композитного и химического модифицирования применяется редко, потому что в обоих методах изменяется химический (или композитный) состав волокон.

Физическая модификация заключается в направленном изменении надмолекулярного строения, формы и внешней поверхности нитей (без изменения химического состава). Физические методы используются на стадии формования и/или последующей обработки волокон.

Изменение условий вытягивания и термообработки в технологическом процессе получения волокон способствует улучшению физико-механических свойств волокон. Вытягивание химических нитей выполняется для перестройки их первичной структуры. В растворе или расплаве макромолекулы имеют сильно изогнутую форму и расположены хаотически. При формовании степень вытягивания нитей невелика, поэтому молекулы в нити также располагаются хаотически и сильно изогнуты. Для распрямления и переориентации макромолекул проводят вытягивание нитей. В результате нити становятся более прочными. Сверхвысокоскоростное формование волокон из расплава изменяет условия структурообразования нити, в результате получают принципиально новые виды волокон.

К физически модифицированным волокнам и нитям относятся: профилированные, полые, бикомпонентные, сверхтонкие (микроволокна и микронити), текстурированные, пористые и др.

Композитная модификация заключается в добавлении к основному волоконобразующему полимеру мелкодисперсных или растворимых компонентов — носителей новых свойств.



Модифицирование путем введения добавок осуществляется на стадии подготовки исходного расплава (раствора) к формованию или непосредственно перед формованием волокон. Этот метод широко применяется при получении синтетических, а также вискозных волокон. В полимерный расплав (раствор) могут вводиться красящие пигменты, антипирены (замедлители горения), биологически активные вещества и другие добавки.

К композитно-модифицированным волокнам относятся интерактивные волокна (откликающиеся на внешние воздействия): преобразующие свет в тепловую энергию («греющие» волокна), люминесцирующие, изменяющие яркость окраски или цвет в зависимости от температуры окружающей среды.

Химическая модификация заключается в направленном изменении химического состава волокнообразующего полимера.

При химической модификации изменение химического строения волокнообразующего полимера осуществляется введением в полимер новых активных групп путем сополимеризации (в структуру основного полимера вводятся звенья сополимера на стадии подготовки прядильного раствора и формования нити) или последующей химической обработкой уже сформованных волокон или текстильных полотен (изделий).

Химическое модифицирование предпочтительнее на стадии отделки текстильных полотен. При этом происходит модификация именно волокон. Химическое модифицирование полотен широко используется на практике как для полотен на основе химических волокон, так и из природных волокон или их смесок. Оно производится с применением самых разных реагентов и методов.

Введение в полимер новых активных групп позволяет улучшить потребительские свойства текстильных материалов и изделий: повысить окрашиваемость, гигроскопичность, снизить сминаемость и загрязняемость, а также придать антистатичность, огнезащитность, бактерицидность и другие новые функциональные характеристики.

Большинство выпускаемых в настоящее время химических волокон и нитей являются модифицированными волокнами.

## **5 ПРОИЗВОДСТВО ВИСКОЗНЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ**

Древесная целлюлоза является основным видом исходного материала для получения вискозного волокна. Она представляет собой природное высокомолекулярное органическое соединение, относящееся к классу углеводов. Для выделения целлюлозы принципиально может быть использована древесина любого вида, однако на практике используется в основном хвойная древесина.

Целлюлоза относится к группе полужесткоцепных полимеров. Основной причиной повышенной жесткости является циклическое строение элементарных звеньев и наличие большого числа сильнополярных гидроксильных групп. Вследствие высокой жесткости цепей и сильного межмолекулярного взаимодействия целлюлоза не плавится. Целлюлоза растворяется в медно-аммиачном

растворе, концентрированных минеральных кислотах и некоторых органических растворителях.

Древесная целлюлоза с приведенными выше компонентами не может быть использована для получения прядильного раствора и дальнейшего формирования из него волокна. Поэтому ее подвергают предварительной обработке, заключающейся в варке целлюлозы в присутствии специальных реагентов, отбелке и сушке.

Для производства вискозной текстильной нити и волокна обычно применяют сульфитную целлюлозу с содержанием  $\alpha$ -целлюлозы 92-93%. В сульфатной целлюлозе содержание  $\alpha$ -целлюлозы достигает 96-98%, и, несмотря на высокую стоимость, ее применение экономически оправдано для производства высокопрочных кордных нитей, где особенно большое значение придается даже небольшому приросту разрывной нагрузки.

#### Приготовление прядильного раствора и подготовка его к формированию

Приготовление прядильного раствора осуществляется в несколько этапов:

- мерсеризация целлюлозы и отжим щелочной целлюлозы (мерсеризацией называется процесс обработки целлюлозы 18%-м раствором гидроксида натрия с образованием щелочной целлюлозы);

- измельчение щелочной целлюлозы для предварительного созревания и ксантогенирования;

- предварительное созревание щелочной целлюлозы – выдерживание в течение определенного времени при повышенной температуре и влажности окружающего воздуха. В процессе предварительного созревания щелочная целлюлоза подвергается дополнительной окислительной деструкции для понижения средней молекулярной массы, что необходимо для получения вискозного раствора определенной вязкости.

- ксантогенирование щелочной целлюлозы – комплекс химических и физико-химических процессов, протекающих при взаимодействии щелочной целлюлозы с сероуглеродом. После окончания предсозревания щелочную целлюлозу обрабатывают сероуглеродом. При этом образуется натриевая соль сложного кислого эфира дитиоугольной кислоты и целлюлозы, называемая ксантогенатом целлюлозы, и различные побочные продукты.

В зависимости от условий проведения формирования поперечный срез волокна может быть круглым, бобовидным или с зазубренными краями.

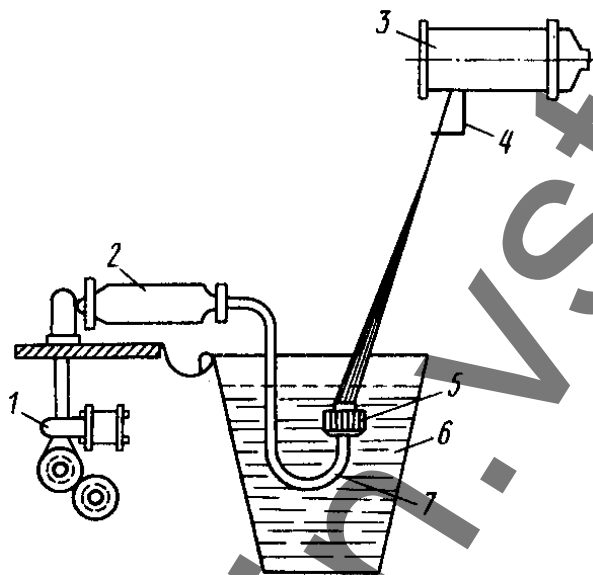
### **5.1 Способы получения вискозных нитей**

По вискозному методу в широком промышленном масштабе выпускаются текстильные нити, нити технического назначения (в основном для корда), а также вискозные волокна различного типа.

#### Бобинный способ

Для формирования применяют вискозу с содержанием целлюлозы 7,5-8,5 %, щелочи 6-6,5 % (вязкость 5-6,2 Па·с). Состав осадительной ванны, г/л: 130-140 серной кислоты, 270-280 сульфата натрия и 15-17 сульфата цинка. Технологи-

ческая схема формования нити бобинным способом приведена на рис. 6. Вискоза подается зубчатым насосом 1 через свечевой фильтр 2 и червяк 7 к фильере 5. Вытекающие из отверстий фильеры струйки вискозы коагулируют в осадительной ванне 6, и образующаяся нить наматывается в бобину 3. Вдоль оси бобины нить раскладывается с помощью нитераскладчика 4.



**Рисунок 6 – Технологическая схема формования нитей бобинным способом**

Температура осадительной ванны составляет 45-50 °С. Фильерная вытяжка нити осуществляется за счет разности скоростей приема сформованной нити  $V_1$  и истечения вискозы из отверстий фильеры  $V_2$  и определяется по формуле, %,

$$B = (v_1 - v_2)100 / v_2. \quad (1)$$

При одних и тех же условиях скорость истечения вискозы зависит от числа отверстий в фильере и их диаметра:

$$v_2 = a / (n\pi r^2), \quad (2)$$

где  $a$  — количество вискозы, подаваемой в фильеру за 1 мин, см<sup>3</sup>;

$n$  — число отверстий в фильере;

$r$  — радиус отверстий, см.

Вискозные нити обычно формируют на фильерах с диаметром отверстий 0,07—0,08 мм в зависимости от линейной плотности формируемой нити.

Производительность формовочных машин, кг/сут:

$$P = vK_y K_{И.М} KnT \cdot 24 \cdot 60 / (1000 \cdot 1000), \quad (3)$$

где  $v$  — скорость формования, м/мин;

$K_y$  — коэффициент усадки и скольжения нити 0,95 (для центрифугального способа - 0,88);

$K_{И.М}$  — коэффициент использования машины (0,95—0,98);

$K$  — коэффициент, учитывающий отходы при последующей обработке (0,95—0,97);

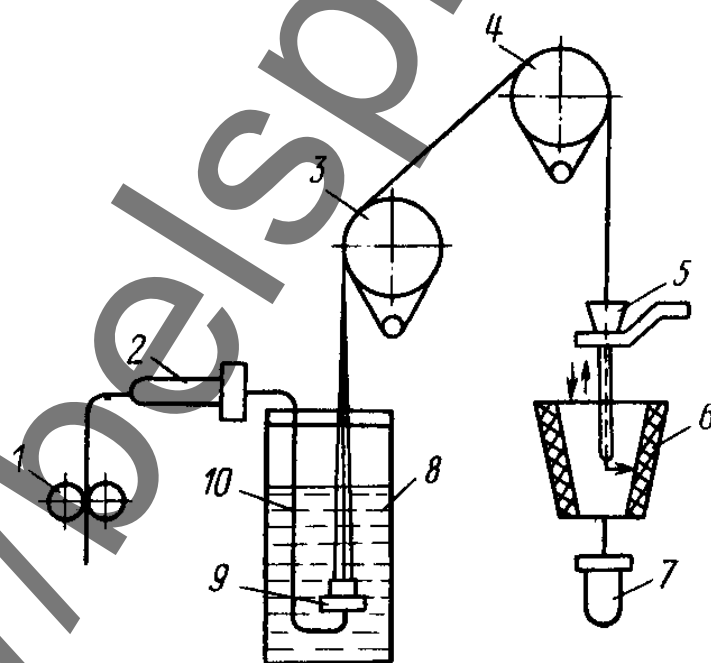
$n$  — число фильер на машине;

$T$  — линейная плотность вырабатываемой нити, текс.

### Центрифугальный способ

Для формования применяют вискозу с содержанием целлюлозы 8-8,5 %, щелочи 6-6,5% (вязкость 5-6,2 Па·с). Состав осадительной ванны, г/л: 130-140 серной кислоты, 260-280 сульфата натрия и 12-14 сульфата цинка. Формование производят через золотоплатиновые фильеры с числом отверстий от 18 до 52 в зависимости от линейной плотности нити.

Технологическая схема формования нити центрифугальным способом приведена на рис. 7.



**Рисунок 7 – Технологическая схема формования нити центрифугальным способом**

Вискоза подается зубчатым насосом 1 через свечевой фильтр 2 и червяк 10 к фильере 9. Перед фильерой создается давление 0,3-0,5 МПа. Вытекающие из отверстий фильеры струйки вискозы коагулируют в осадительной ванне 8, и

образующаяся нить принимается на прядильный диск 3. Далее сформованная нить передается на второй прядильный диск 4 и заправляется в прядильную воронку 5. Между прядильными дисками за счет разности их скоростей осуществляется ориентационная вытяжка (до 10-30 %), которую определяют по формуле, %,

$$B = (v_2 - v_1)100 / v_1 \quad (4)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — скорость соответственно первого и второго прядильного диска.

Движение нити через прядильную воронку осуществляется за счет центробежной силы, которая начинает действовать на нить после попадания ее в центрифугальную кружку 6, вращающуюся от электроверетена 7 (частота вращения 8000 - 9000 мин-1). Центрифуга обеспечивает отвод и приемку нити, одновременно нити сообщается крутка 80-120 кр./м. С целью обеспечения равномерной раскладки нити в кружке прядильная воронка совершает возвратно-поступательное движение с помощью раскладочного механизма, имеющего 20-50 качаний в 1 мин. Нить укладывается в кружке равномерными слоями, образуя так называемый кулич массой от 600 до 1000 г (по сухой нити).

Время наработки кулича, мин

$$t = M \cdot 1000 / (Tv), \quad (5)$$

где  $M$  — масса сухого кулича, г;

$T$  — линейная плотность нити, текс;

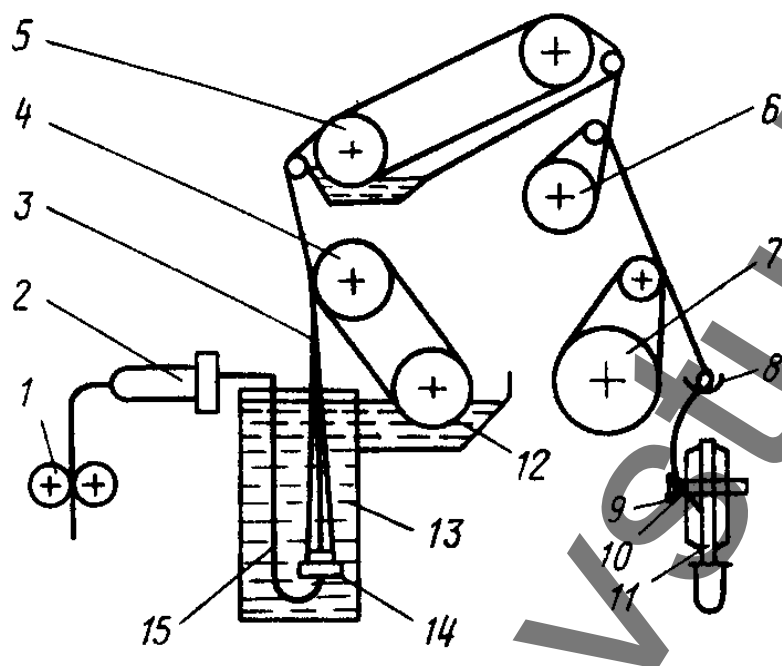
$V$  — скорость формования с учетом усадки (12 %), м/мин.

Для получения товарной нити куличи подвергаются отделке, отжиму, сушке, кондиционированию. Затем куличи поступают в текстильный цех, где нити перематывают в бобины либо подвергают снованию.

### **Непрерывный способ**

Машины непрерывного способа получения текстильной нити (условно названного ПНШ) обеспечивают формование, отделку и сушку, а также образование паковок массой 2-3 кг с помощью кольцевого крутильного веретена, сообщаящего нити крутку 80-100 кр./м.

Технологическая схема формования непрерывным способом приведена на рис. 8.



**Рисунок 8 – Технологическая схема формования непрерывным способом**

Вискоза зубчатым насосом 1 подается через свечевой фильтр 2, червяк 15 к фильере 14, погруженной в осадительную ванну 13. Сформованная нить 3 поступает на парные цилиндры 4, один из которых погружен в довосстановительный раствор 12, близкий по своему составу к осадительной ванне.

Регенерированная нить подвергается промывке горячей водой на цилиндрах 5. Одновременно происходит десульфурация нити. Пройдя цилиндры, нить практически не содержит поверхностной серы, что в значительной мере облегчает ее переработку на текстильных предприятиях. Отмытая нить поступает в механизм 6 авиважной обработки, подвергается сушке с помощью парных цилиндров 7, один из которых обогревается паром. Пройдя крючок 8 баллоноограничителя, нить направляется через бегунок 9, вращающийся по кольцу 10, и наматывается на патрон 11.

## **6 ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКАПРОАМИДНЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ**

Поликапроамидными (ПКА) называют синтетические волокна, получаемые из полимеров, у которых отдельные звенья макромолекулы соединены между собой амидными группами.

Основным видом сырья для получения поликапроамида является капролактam, который вырабатывается в большом количестве. Капролактam может быть синтезирован из фенола, бензола, анилина, толуола и других веществ.

Получение капролактама из фенола — один из первых способов получения капролактама, освоенных промышленностью еще в сороковые годы. Способ получения капролактама из бензола стал применяться сравнительно недавно, однако уже нашел широкое применение вследствие своей экономичности.

Капролактамы представляют собой белое кристаллическое вещество, маслянистое на ощупь. Оно адсорбирует влагу из воздуха. При воздействии кислорода воздуха и солнечной радиации капролактамы желтеют. Капролактамы хорошо растворимы в воде (5,25 кг на 1 л воды), спирте, бензоле и плохо — в алифатических углеводородах.

При воздействии водных растворов кислот и щелочей капролактамы гидролизуются до  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты.

Капролактамы, предназначенный для получения поликапроамида (ПКА), поступает на заводы в виде расплава в обогреваемых цистернах или в твердом виде.

Синтез поликапроамида (ПКА) осуществляется в аппаратах непрерывной полимеризации. Основное требование к конструкции этих аппаратов — обеспечение необходимой продолжительности нахождения реакционной массы в аппарате с учетом, что общая продолжительность гидролитического полиамидирования капролактама достаточно велика.

При полиамидировании капролактама устанавливается равновесие мономер — полимер, и в полученном поликапроамиде содержится значительное (9-12 %) количество мономера и его водорастворимых низкомолекулярных соединений, которые интенсивно испаряются из тончайших струек расплава, вытекающих из отверстий фильеры. Расход мономера увеличивается, качество получаемого волокна и условия труда ухудшаются. Поэтому при подготовке полимера к формованию обязательной технологической операцией является удаление мономера и низкомолекулярных соединений (НМС). Удаление НМС из расплава поликапроамида называют демомеризацией поликапроамида. Для удаления НМС гранулы полимера промывают горячей водой либо расплав ПКА подвергают вакуумированию или обработке острым паром. На стадии формования за счет плавления ПКА и пребывания расплава при повышенной температуре содержание НМС несколько повышается и в готовых волокнах составляет 2-4 %.

Для получения волокон высокого качества в прядильный цех должен подаваться полимер, содержащий не более 0,03-0,05 % влаги. Поэтому после окончания экстракции гранулят, содержащий 12-14% влаги, направляется на сушку. Примерно 3% влаги, сорбированной поверхностью гранул, испаряется довольно быстро, но чтобы удалить влагу, находящуюся внутри гранул, требуется длительное время.

Обычные методы сушки сыпучих материалов горячим воздухом неприемлемы для сушки гранулята поликапроамида, так как при температуре окисления полимера. Во избежание окисления полимера сушка гранулята проводится в токе азота или глубоким вакуумом.

## 6.1 Формование поликапроамидных нитей

Одним из прогрессивных технологических процессов производства поликапроамидных нитей является непрерывный способ получения ПКА.

Существует два принципиально отличающихся непрерывных способа:

1) полиамидирование капролактама, демономеризация поликапроамида под вакуумом, подача его непосредственно на формование и формование (в рамках единой технологической линии осуществляется непрерывный процесс получения полимера и нити);

2) полиамидирование капролактама с получением гранулята, экстракция низкомолекулярных соединений, сушка гранулята с последующим экструдерным формованием.

Создание непрерывных технологических линий получения поликапроамида позволяет автоматизировать технологический процесс и повысить качество полимера.

Поликапроамидные нити получают продавливанием расплава ПКА через отверстия фильеры. Вытекающие из этих отверстий струйки расплава застывают на воздухе, образуя тонкие непрерывные нити. ПКА нити формируют из расплава полимера, используя гранулят полимера, или получают их путем прямого формования из расплава.

В случае применения непрерывной схемы синтеза полимера и формования нити расплав подается непосредственно в формовочную головку, при этом конструкция машины упрощается, так как отпадает необходимость в установке бункеров и плавильных головок.

Равномерная толщина нити обеспечивается постоянным соотношением между количеством расплавленной массы, продавливаемой через отверстия фильеры в единицу времени, и скоростью наматывания нити. Если за 1 мин через фильеру равномерно продавливается 20 г расплава и нить наматывается с постоянной скоростью 800 м/мин, то линейная плотность нити  $T = 20 \cdot 1000 / 800 = 25$  текс. Изменяя это соотношение, можно изменять линейную плотность нити.

Производительность машины, кг/сут, вычисляют по формуле:

$$P = vTnt / (1000 \cdot 1000), \quad (6)$$

где  $v$  — скорость формования нити, м/мин;

$T$  — линейная плотность нити, текс;

$n$  — число рабочих мест на машине;

$t$  — продолжительность работы, мин.



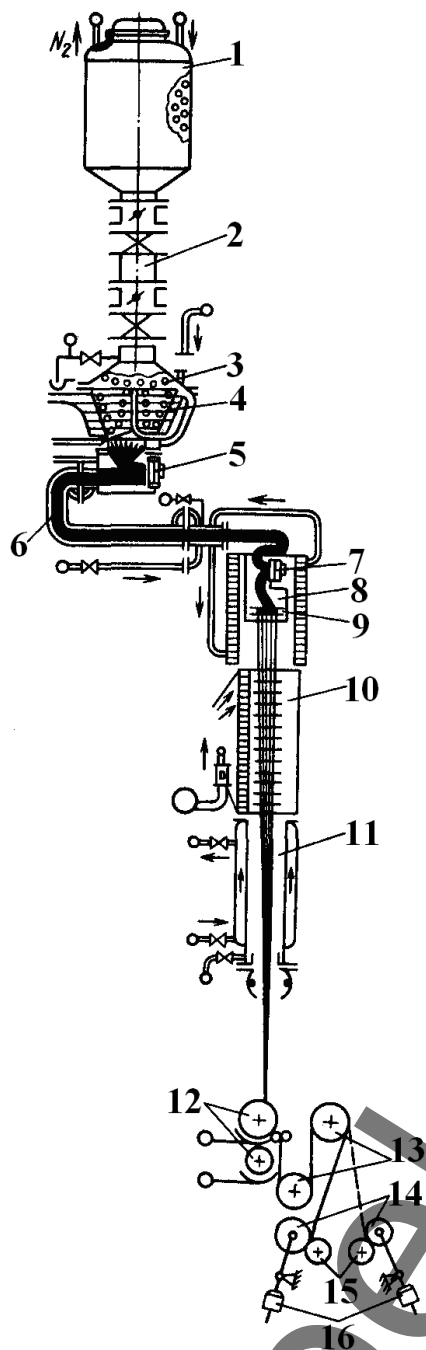


Рисунок 9 – Схема машины для формирования из расплава

## 6.2 Формование поликапроамидного волокна

Расплавленный поликапроамид из аппарата непрерывного полиамидирования напорным насосом нагнетается в расплавопровод с отводами к парожетторным эвакуаторам для удаления низкомолекулярных соединений. Каждый эвакуатор АОМ-10 соединен с четырехфильерной прядильной головкой машины для формования. Дозирующие насосы, связанные с каждой фильерой, забирают из расплавопровода полимер и продавливают его через фильеры. Сфор-

Схема машины для формования нити из расплава с использованием гранулята полимера приведена на рис. 9. Высушенные гранулы полимера пневмотранспортом загружаются в бункер 1, расположенный над несколькими рабочими местами формовочной машины. Из бункера гранулы самотеком по трубопроводу 2 поступают в плавильную головку 3, в которой расплавляются на плавильном устройстве 4. Расплавленный полимер напорным насосом 5 по расплавопроводу 6 подается в формовочную головку 8, в которой расположен дозирующий насос 7 и фильерный комплект 9. Вытекающие из отверстий фильеры струйки расплава проходят последовательно обдувочную 10 и сопроводительную 11 шахты. Полученный пучок элементарных нитей замасливается на замасливающих валиках 12, принимается последовательно на два диска 13 и наматывается в бобину 14 с помощью фрикционного цилиндра 15. Грузы-противовесы 16 отводят бобины по мере увеличения ее диаметра намотки.

Производительность формовочной машины зависит от скорости формования и линейной плотности вырабатываемой нити.

мованные нити собираются в жгут, состоящий примерно из 900-1500 элементарных нитей. Жгут скользит по замасливающей шайбе и проходит через пару роликов, обеспечивающих требуемое прилегание жгута к замасливающей шайбе. Затем жгут поступает в контейнер, куда собираются и укладываются жгуты, образованные примерно из 6000-10 000 невытянутых элементарных нитей с 6 или 8 рабочих мест формовочной машины.

Поликапроамидное волокно обрабатывается на агрегате ША-5-К (рис. 10), на котором жгут формируется из контейнеров. На агрегате осуществляется непрерывный процесс, состоящий из вытягивания, гофрирования, термофиксации, обработки антистатическим замасливателем, укладки жгута в мягкую тару или резки жгута, пневмотранспортировки и упаковки резаного волокна в кипы.

Агрегат односторонний, на нем предусмотрена отделка одного жгута линейной плотности  $80 \pm 5$  ктекс.

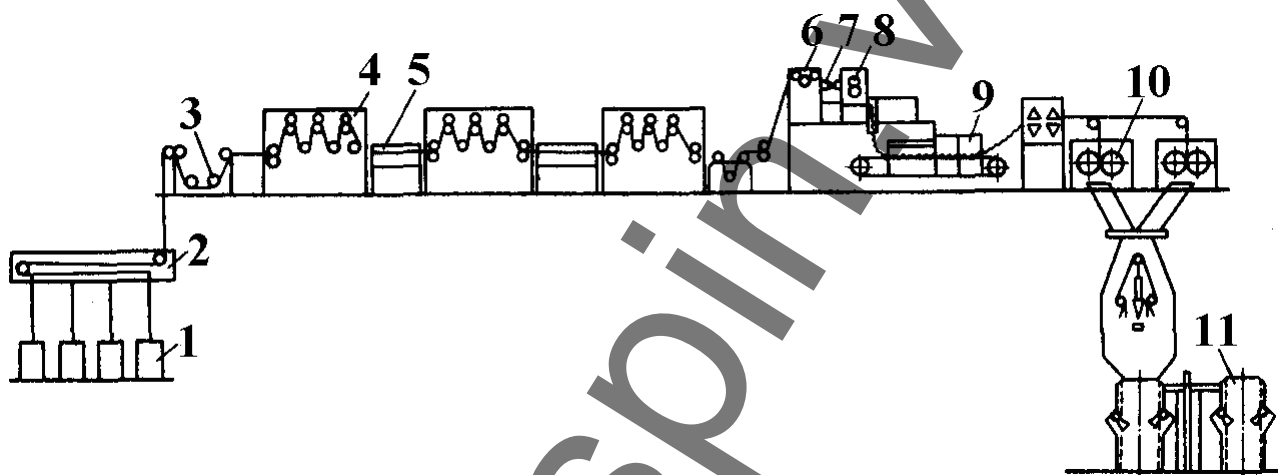


Рисунок 10 — Схема агрегата ША-5-К

Жгут, состоящий из невытянутых нитей, поступает из контейнеров 1, проходит систему нитепроводников 2 и направляется в ванну с горячей водой 3, где производится смачивание нитей и частичная отмывка из них низкомолекулярных соединений.

Вытягивание жгута осуществляется между тремя семивальцовыми станами 4. Нагрев жгута происходит в зоне вытягивания — паровой камере 5. Кратность вытяжки на первой ступени составляет 2,5-4, на второй 1,1-1,5.

Пройдя компенсирующее устройство 6 и пропарочный канал 7, жгут поступает на гофрирующую машину 8. Гофрировка производится путем прессования нагретого жгута в щелевидную камеру, где нити, составляющие жгут, приобретают извитость.

Гофрированный жгут раскладчиком укладывается на конвейер аппарата фиксации 9 (см. рис. 10), где происходит сушка жгута и термофиксация извитости потоком горячего воздуха температурой  $100-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ).

Затем жгут поступает в установку для охлаждения, снабженную устройством, предотвращающим попадание узлов и запутанных участков жгута в ре-

зальную машину. После охлаждения на жгут форсунками наносится эмульсия антистатического замасливателя.

Для получения волокна жгут заправляется в резальную машину 10 и режется на отрезки определенной длины (35-150 мм), полученное волокно упаковывается в кипы прессом 11.

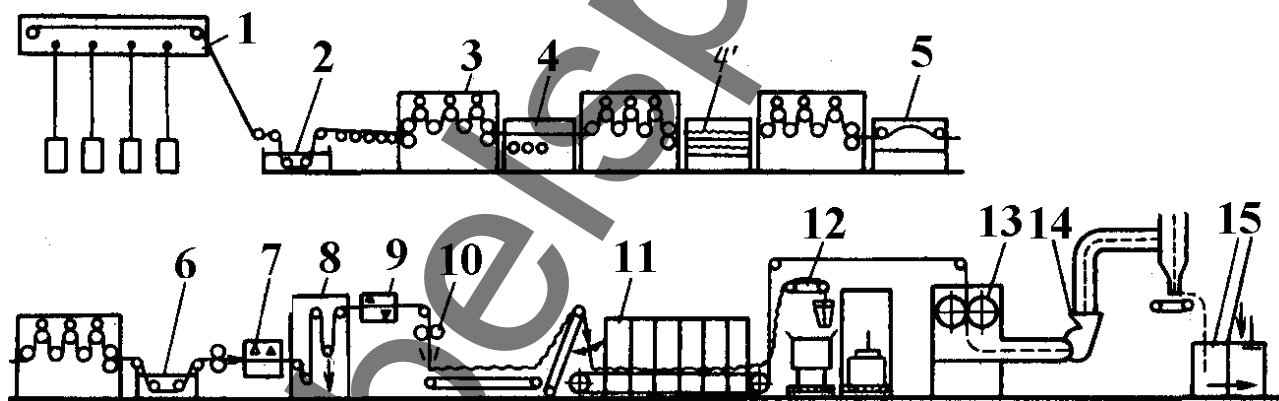
## 7 ФОРМОВАНИЕ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН

При формировании волокна элементарные нити собираются со всех прядильных мест машины или с половины в один жгут и укладываются в металлический контейнер (таз). Жгуты от прядильных мест транспортируются с помощью тянущих вращающихся вальцов.

Масса свежесформованного волокна в контейнере составляет 360 кг (см. рис. 11).

Для формования полиэфирных волокон используют машины отечественного производства МФ-300-ЛШ24 и МФ-40-ЛШ. После формования все технологические операции проводят непрерывно на штапельном агрегате, включающем различные машины и аппараты.

Технологическая схема обработки полиэфирного волокна на отделочном агрегате приведена на рис. 11. Первой технологической операцией является комплектование жгута 1 с помощью шпулярника из жгутов, находящихся в контейнерах.



**Рисунок 11 – Технологическая схема обработки полиэфирного волокна на отделочном агрегате**

Жгут 1 проходит через ванну 2, где отмывается от прядильной подготовки и поступает на вытяжной стан 3. Вытягивают жгутовое полиэфирное волокно между вытяжными станами, каждый из которых представляет собой семь вращающихся с одинаковой скоростью металлических цилиндров. На вытяжных станах обеспечиваются равномерность натяжения большого числа элементарных нитей, составляющих жгут, и необходимое усилие для вытягивания

жгута, линейная плотность которого по невытянутому волокну достигает 400 ктекс. Иногда вытяжные станы осуществляют одновременно вытяжку двух жгутов. Для волокна в основном применяют двухступенчатое вытягивание. Между первым и вторым вытяжным станом установлена паровая камера 4 для нагрева волокна до температуры 95-100 °С, между вторым и третьим — камера 4' с нагретой металлической пластиной, которая обеспечивает нагрев волокна до температуры 130-150 °С, т.е. на 30-50 °С выше, чем в первой камере.

Вытяжные машины современных штапельных агрегатов достаточно производительны. Они вытягивают от 2 до 4 жгутов линейной плотности соответственно 100 и 50 ктекс по вытянутому волокну при скорости 120-170 м/мин. Антистатический препарат наносится на жгут в устройствах 6 и 7, а затем жгут, пройдя компенсирующие вальцы 8, поступает в пропарочную камеру 9.

После вытягивания жгут подается в гофрировочную машину 10 для придания волокну извитости (4-6 извитков на 1 см).

Для фиксации извитка на волокне, снятия/внутренних напряжений, возникающих в волокне при ориентационном вытягивании, и снижения последующей усадки волокна жгут поступает в аппарат термофиксации 11 (см. рис. 11). Этот секционный аппарат имеет калорифер и камеру охлаждения. Жгутораскладчик равномерно раскладывает жгут на металлическую сетчатую ленту, которая проходит через аппарат термофиксации. Длина аппарата 10-20 м, температура в аппарате термофиксации 120-140 °С.

После термофиксации волокно обрабатывают эмульсией для снижения электризации, затем оно поступает в устройство 12 для укладки жгута в коробки (если выпускается жгутовое волокно) или на резку (если выпускается резаное волокно). Резка волокна осуществляется на резальной машине 13. Длина резки определяется ассортиментом выпускаемого волокна. Волокно пневмотранспортом 14 подается в упаковочный пресс 15 для упаковки в кипы.

## 8 ФОРМОВАНИЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА

Для получения ПАН волокон применяется как сухой, так и мокрый способ формования. Сухой способ формования проводится в токе горячего воздуха. Высоковязкие 28-30%-е растворы ПАН в диметилформамиде продавливаются через фильеру в шахту. Фильеры имеют несколько сот отверстий. Высота прядильных шахт 6-12 м, их стенки обогреваются. Снизу в шахту подается горячий воздух. Скорость формования 200-400 м/мин. Выходящая из шахты нить подвергается последующей 5—8-кратной вытяжке, а затем промывается, сушится, отделяется, гофрируется и упаковывается.

Наиболее распространен мокрый способ формования ПАН волокон. Это связано с тем, что большее количество ПАН волокон производится в виде волокна.

### **Диметилформамидный способ.**

Прядильный раствор ПАН в диметилформамиде поступает по коллектору формовочной машины и насосом продавливается через фильеру 1 (рис. 12) в

осадительную ванну 2, содержащую 50-70%-й водный раствор ДМФ при температуре 10-11°C. Формование горизонтальное, путь нити в ванне 200-600 мм.

Свежесформованный жгут из осадительной ванны 2 тянущими валами 3 направляется в первую вытяжную ванну 4 машины, температура вытяжной ванны 50 °С. Здесь жгут подогревается и вытягивается на 50%. Вторая вытяжка осуществляется в паровой шахте 5, в среде острого пара. Затем тянущими валами 6 жгут направляется в вытяжной желоб, где обрабатывается паром при атмосферном давлении. В паровой камере вытяжка 4-5-кратная. Сформованный и вытянутый жгут поступает в промывную ванну. Промывка волокна производится обессоленной водой температурой 10 °С. После промывки жгут в случае необходимости пропускается через ванну для непрерывного крашения жгута. Погружаясь в ванну с раствором красителя, жгут поглощает краситель из раствора. Для фиксации красителя на жгуте последний проходит по воздуху путь около 6 м и поступает на промывку в ванны 7, 9. Избыток красителя смывается обессоленной водой, и отжатый жгут после отжимных валов 8 к 10 поступает в замасливающую ванну 11. Замасливание производится раствором смеси различных препаратов при температуре 25°C. После замасливания (нанесения авиважа) волокно сушится в сушильном аппарате 12 барабанного типа.

Высушенный жгут проходит аппарат 13 для нанесения антистатического препарата. Далее общий жгут разделяют на 4 жгута, которые подвергаются термостабилизации в аппарате 14 на плитах с электрообогревом, температура плит термофиксации 180-200°C. Усадка волокна после термофиксации 4-10%. Цель данной операции — увеличить устойчивость волокна к тепловым обработкам и равномерность жгута по физико-механическим свойствам.

После стабилизации волокно гофрируется на гофрирующей машине 15. Температура плит на этой машине 150-200 °С. Затем жгут поступает в ванну 16 для обработки его антистатиком.

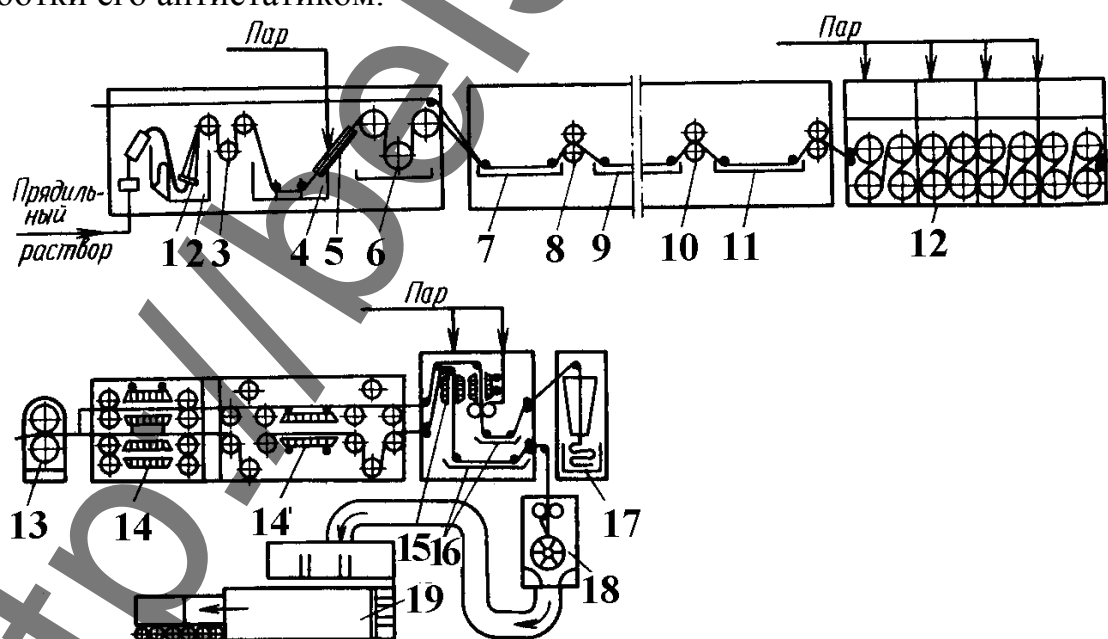


Рисунок 12 – Технологическая схема формирования полиакрилонитрильного волокна

Если предусматривается выпуск волокна в виде жгута, то уложенный жгутоукладчиком 17 жгут упаковывается в коробки и автопогрузчиком транспортируется на склад готовой продукции.

Если необходимо выпускать волокно, то жгут транспортируется в отделение резки 18, где режется на резальных машинах и на прессе 19 упаковывается в кипы. Длина резки 36-130 мм.

Кроме безусадочного волокна, получаемого описанным выше способом, можно вырабатывать объемную пушистую пряжу. Для этой цели волокно после стабилизации подвергается вытягиванию на 10-20% на специальном аппарате 14' при температуре 100-170 °С. Вся последующая обработка усадочного волокна аналогична обработке безусадочного.

Производительность формовочного агрегата, кг/сут:

$$P = nm_{\phi}T_{\text{э}}v \cdot 60 \cdot 24K_{\text{о}}K_{\text{п.в}} / (1000 \cdot 1000), \quad (7)$$

где  $n$  — число рабочих мест на машине;  $m_{\phi}$  — число отверстий в фильере;  $T_{\text{э}}$  — линейная плотность элементарной нити, текс;  $v$  — скорость жгута на агрегате, м/мин;  $K_{\text{о}}$  — коэффициент, учитывающий потери на последующих операциях;  $K_{\text{п.в}}$  — коэффициент полезного времени агрегата (0,95).

## 9 ФОРМОВАНИЕ ХЛОРИНОВОЙ НИТИ

Формование хлориновой нити производится на формовочно-бобинной машине по мокрому способу. Машина двусторонняя, двухэтажная, на 158 прядильных мест. Фильеры танталовые или платиноиридиевые. Количество отверстий в фильере зависит от линейной плотности формуемой нити. Расстояние между фильерами 225 мм.

Для формования хлориновой нити 50 и 16,6 текс применяют фильеры, имеющие соответственно 100 и 60 отверстий. Диаметр отверстий 0,08 мм.

Прядильный раствор с химического участка по общему трубопроводу 1 (рис. 13) под давлением 0,45 МПа поступает в коллектор формовочной машины 2, забирается через насосную стойку зубчатым дозирующим насосом 3 производительностью 0,6 или 0,8 см<sup>3</sup> за 1 оборот насоса и продавливается им через фильтр-палец 4 и фильеру 5. При прохождении раствора через фильтр-палец и фильеру раствор проходит дополнительные четвертую и пятую фильтрации.

Выходящие из фильеры тонкие струйки 7 раствора поступают в осадительную ванну с водно-ацетоновой смесью. Растворенная перхлорвиниловая смола высаживается в виде пучка тонких волоконцев, а ацетон переходит в воду. Формование происходит в вертикальной стеклянной трубке 8 длиной 2000 мм и внутренним диаметром 30 мм.

Нить формируется в водно-ацетоновой смеси, содержащей 4,5± 1 % ацетона с температурой 22±2 °С. Формование зависит от линейной плотности нити,

времени пребывания нити в коагулирующей жидкости, температуры и содержания ацетона в коагулирующей жидкости.

Скорость формования может изменяться от 30 до 55 м/мин.

Формование нити 50 текс проводится при скорости 34 м/мин; 16,6 текс — при скорости 35 м/мин.

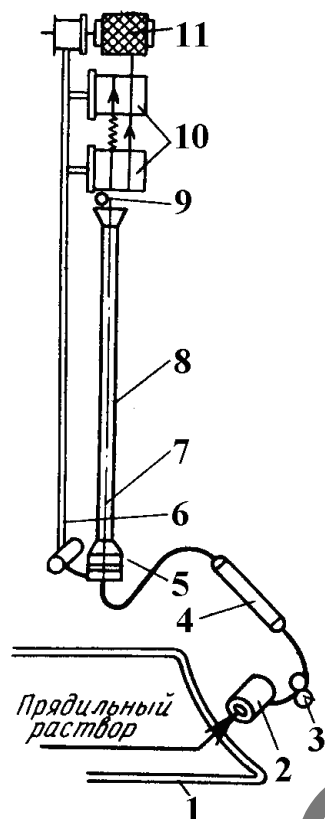


Рисунок 13 – Технологическая схема формирования хлориновой нити

Жгут, получив извитость, поступает на резальную машину, где пропускается между делительными дисками, вращающимися в противоположные стороны, и плотно зажимается между зубцами делительных колес в местах их соприкосновения. Ножи при вращении проходят через совпадающую прорезь в обоих колесах и разрезают жгут. Каждая пара делительных дисков может дать волокна четырех длин за счет изменения числа ножей в ножевой головке. Длина резки соответствует государственному стандарту.

## 10 ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ

Комплексные стеклянные нити на заводах стекловолокна производят двумя способами: одностадийным и двухстадийным. Двухстадийный способ выработки комплексных стеклянных нитей (стеклонитей) включает следующие операции:

- подготовка сырьевых материалов и приготовление шихты;
- варка стекла и получение стеклошариков;
- подготовка стеклошариков;
- получение комплексной стеклонити;
- размотка и первое кручение комплексной стеклонити;
- трощение и второе кручение комплексной стеклонити для основы;
- трощение и второе кручение комплексной стеклонити для утка;
- снование стеклонитей;
- шлихтование;
- ткачество;

- сортировка, упаковка и маркировка.

При одностадийном способе производства стеклонити исключается операция приготовления стеклошариков.

Исходным сырьем и материалами для получения комплексных нитей из алюмоборосиликатного стекла являются кварцевый песок  $\text{SiO}_2$  (не менее 98,5%); кусковой доломит, содержащий  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ; кусковой известняк, содержащий  $\text{CaO}$  (не менее 53 %); борная кислота (не менее 98,6 %); мышьяковистый ангидрид  $\text{As}_2\text{O}_3$  (не менее 92%); плавиковый шпат  $\text{CaF}_2$  (не менее 92 %); глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (не менее 98 %); кальциевая селитра  $\text{CaO}$  (не менее 23 %).

Технологический процесс подготовки сырья и получения шихты осуществляется на 9 технологических линиях:

1-я и 2-я — выгрузки, складирования и подготовки соответственно кварцевого песка и доломита;

3, 4 и 5-я — выгрузки, складирования и транспортировки соответственно глинозема, борной кислоты и плавикового шпата;

6-я — хранения и подготовки кальциевой селитры;

7-я — выгрузки, складирования и подготовки известняка;

8-я — подготовки смеси мышьяковистого ангидрида с песком;

9-я — приготовления шихты.

При загрузке шихты в ванную печь необходимо соблюдать определенные правила. При загрузке шихты в печь в условиях высоких температур нарушается ход технологического процесса.

При непрерывной загрузке шихты в печь количество подаваемой шихты строго соответствует количеству вырабатываемой стекломассы, уровень ее в печи поддерживается постоянным.

Варка стекла производится в ваннах стекловаренных печей непрерывного действия, которые соединены с помощью фидеров (струйных питателей ПС) с двумя или тремя автоматами АСШ для выработки стеклошариков.

Ванная печь состоит из двух частей: варочной (варочный бассейн) и выработочной (выработочный бассейн), соединенных между собой протоком.

Приготовленная шихта, стеклобой и отходы стеклянного волокна доставляются к ванным печам и загружаются механическими погрузчиками в таких соотношениях, %: шихты 65-70, стеклянного боя 5-20 и отходов стеклянного волокна 10-30. Для нормального проведения операции стекловарения необходимо следующее:

- создание в варочной части (в зоне максимума) температуры  $1520 \pm 10^\circ\text{C}$  и в выработочной части  $1280 \pm 10^\circ\text{C}$ ;

- поддержание установочного уровня стекломассы в пределах не более  $\pm 2$  мм;

- создание в печи окислительной атмосферы при нормальном давлении или небольшом разрежении.

Стекловарение условно включает пять стадий: силикатообразование, стеклообразование, осветление, гомогенизацию и охлаждение.



Стекланные нити в зависимости от их назначения и способа производства изготавливают из стекол различного химического состава. Комплексную нить получают в основном из бесщелочного алюмоборосиликатного стекла. Нити, используемые при температуре около 1000 °С, получают из кварцевого стекла, расплавов каолина и щелочесодержащих стекол, в которых после выщелачивания содержание кварцевого песка достигает 96-97 %.

Комплексную нить, предназначенную для защиты от рентгеновских и радиоактивных излучений, получают из свинцово- и боросодержащих стекол, содержащих одновалентные оксиды меди и серебра.

Подготовка стекланных шариков. Стекланные бесщелочные шарики ШСБ в соответствии с ТУ6-19-313-86 изготавливают диаметром  $21\pm 1$  и  $23\pm 1$  мм или согласно ТУ6-11-163-76 диаметром  $18,5\pm 1,5$  или  $19,5\pm 1,5$  мм. Эти стеклошарики являются исходным сырьем для выработки комплексной стеклонити заданной линейной плотности.

Стекланные шарики, разделенные на партии, хранятся в крытых складских помещениях в бункерах. Со склада в цех электропечей шарики транспортируются гидроподачей, которая обеспечивает мойку и очистку их от загрязнений. При этом скорость движения воды превышает скорость движения стеклошариков, давление воды в трубопроводе составляет 400-600 кПа.

На рис. 14 показана непрерывная технологическая схема производства стеклонити.

Из бункера 1 (рис. 14) стеклошарики конвейером-элеватором 2 подаются в баки-накопители 3. В баки-накопители подается вода и стеклошарики, откуда по стальному трубопроводу 4 под давлением транспортируются в расходные бункеры 5, расположенные в цехе. В основании расходного бункера находится металлическая решетка, через которую стекает вода. Стеклошарики из расходного бункера подаются на ленточный конвейер 6. Над ним установлен магнитный уловитель, с помощью которого удаляются металлические предметы.

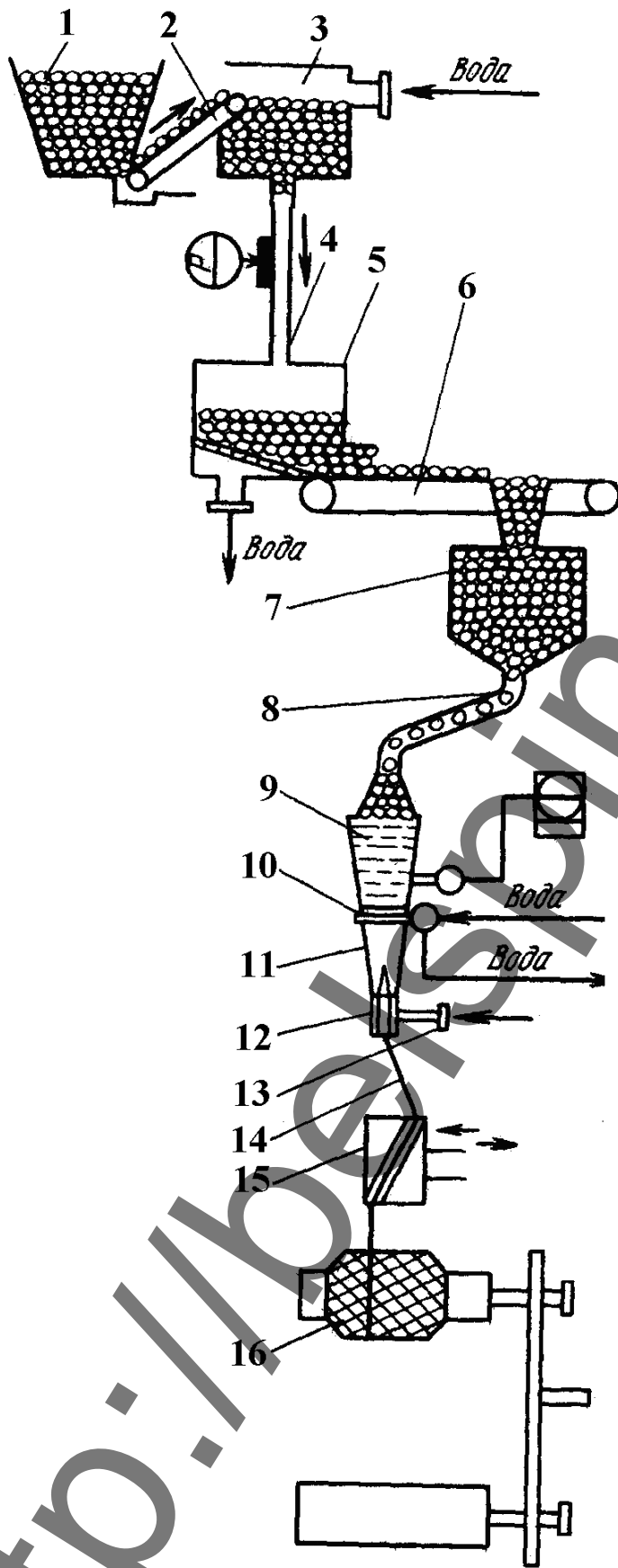


Рисунок 14 – Технологическая схема получения стеклянной комплексной нити

## Литература

1. Калмыкова, Е. А. Материаловедение швейного производства : учебное пособие / Е. А. Калмыкова, О. В. Лобацкая – Минск: Вышэйшая школа, 2001. – 412 с.
2. Мальцева, Е. П. Материаловедение швейного производства / Е. П. Мальцева. – 2-е издание, перераб. и доп. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983 – 232 с.
3. Бузов, Б. А. Материаловедение швейного производства : учебник для вузов / Б. А. Бузов, Т. А. Модестова, Н. Д. Алыменкова. – 4-е издание, перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1986 – 424 с.
4. Коган, А. Г. Новое в технике прядильного производства : учебное пособие для студентов спец. «Технология тканей, трикотажа и нетканых материалов», «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» вузов / А. Г. Коган, Д. Б. Рыклин, С. С. Медвецкий ; УО «ВГТУ», под. ред. А. Г. Когана. – Витебск : УО «ВГТУ», 2005. – 195 с.
5. Баранова, А. А. Современные технологии в текстильной промышленности : учебное пособие / А. А. Баранова, А. Г. Коган, Ю. И. Аленицкая. – 2 издание, стереотипное. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006 – 251 с.