

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра физической и коллоидной химии**

ХИМИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМОВАНИЯ ВОЛОКОН ИЗ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Выполнение лабораторных работ

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
18.04.01 — Химическая технология

Составители:
М. М. Ромашева
М. Д. Зеленцов
И. И. Осовская

Санкт-Петербург
2023

Утверждено
на заседании кафедры ФиКХ
16.01.2023 г., протокол № 4

Рецензент А. Н. Евдокимов

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Химические волокна» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология».

Методические указания содержат описание лабораторных работ по оптимизации условий получения волокон из поливинилового спирта.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве
методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 07.03.2023 г. Рег.№ 5066/23

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Требования к полимерам для получения химических волокон	5
2. Искусственные волокна.....	6
3. Синтетические волокна.	6
3.1. Получение волокон из ПВХ в промышленности.....	7
4. Лабораторные работы	8
Лабораторная работа № 1. Получение поливиниловых волокон мокрым способом.....	8
Лабораторная работа № 2. Изготовление волокон из поливинилового спирта	9
Лабораторная работа № 3. Определение поверхностных свойств растворов полимеров методом Дю-Нуи.....	10
Лабораторная работа № 4.....	12
4.1. Придание гидрофобных свойств поливиниловым волокнам	12
4.2. Испытание свойств полученных волокон до и после гидрофобизации.....	12
5. Обсуждение результатов по выполненным работам 1-4 с письменным ответом на следующие вопросы.....	14
6. Примеры тестов для проверки знаний.	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	17

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной работы – научить студентов получать химические волокна из поливинилового спирта, оптимизировать условия формования. Различные волокна отличаются по химическому составу, строению и свойствам. Современная классификация волокон подразделяет их по способу получения (происхождению) и химическому составу, так как эти факторы определяют основные физико-механические и химические свойства самих волокон и изделий, получаемых из них. За последние 100 лет население Земли выросло вчетверо, и ещё больше возросли потребности людей. Так за последние 20 лет выработка природных волокон из древесного и животного сырья увеличилась лишь на 25 %, а спрос возрос на 100 %. Устранить это несоответствие помогает химия. Химики во многих странах непрерывно трудятся над созданием новых волокон и улучшением качества уже известных. Не отстают от них и технологи. Изменяя состав сырья и технологию его переработки, они улучшают качество тканей и придают им особые свойства, например, делают их водоотталкивающими и не теряющими форму. Следует отметить, что объём производства волокон из синтетических полимеров и их народнохозяйственная значимость также непрерывно растут. Преимущества синтетических волокон над природными – невысокая стоимость синтеза и возможность регулирования свойств полимера в широком диапазоне, хотя нельзя забывать, что природные полимеры и более биосовместимы и более экологичны.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИМЕРАМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

- доступность и низкая стоимость;
- способность перейти в вязкотекучее состояние в растворе или расплаве;
- плавкость без разложения или растворение с образованием вязких концентрированных растворов;
- стойкость при нагреве, окислении кислородом воздуха, свете и влаге;
- молекулярная масса от 15000 до 100000;
- невысокая полидисперсность, характеризуемая кривой ММР;
- линейность или небольшая разветвлённость макромолекул;
- отсутствие сетчатой структуры;
- достаточно высокая гибкость макромолекул;
- относительно высокая температура начала размягчения полимеров и сформованных из них волокон (80–100 °С);
- полярные группы, обеспечивающие межмолекулярное взаимодействие;
- регулярность строения;
- наличие функциональных групп, обеспечивающих сформованному волокну гидрофильность, сродство к красителям, а также способность к дальнейшим химическим реакциям присоединения, прививки и сшивки.

Из полимеров, которые нельзя перевести в вязкотекучее состояние, нельзя формовать химволокна. Переход полимера в вязкотекучее состояние характеризуется в первую очередь соотношением величин энергии химических связей между атомами в одной макромолекуле и суммарной энергией межмолекулярных взаимодействий между соседними макромолекулами в полимере, а также сегментальной гибкостью макромолекул.

Форма макромолекул. Наиболее пригодными для формования волокон оказались полимеры с линейной формой макромолекул. Такая форма облегчает их ориентацию во время формования и вытягивания, облегчает получение высокопрочных волокон. В то же время полимеры с разветвленной формой макромолекул легче растворяются или плавятся. Поэтому при формовании волокон целесообразно использовать полимеры с макромолекулами линейной формы, но имеющих немного короткие ответвления.

Гибкость макромолекул

Линейные соединения атомов, соединенных между собой химическими связями С-С, С-О и т.п., весьма гибки и могут занимать в пространстве различное положение. Наличие больших боковых заместителей уменьшает гибкость макромолекулярных цепей тем сильнее, чем больше размер этих заместителей.

Волокнообразующие полимеры растворяются и плавятся тем легче, чем выше гибкость макромолекулярных цепей. В то же время термостойкость и формоустойчивость химических волокон тем выше, чем больше жёсткость макромолекул.

2. ИСКУССТВЕННЫЕ ВОЛОКНА

Искусственные волокна – это волокна, полученные в процессе химической обработки природных высокомолекулярных соединений. Природные высокомолекулярные соединения образуются в процессе роста и развития натуральных волокон – целлюлозы, фиброина (белок в составе шелка), кератина (белок в составе волос, шерсти и т.п.). Наиболее промышленно значимо среди искусственных волокон вискозное волокно, получаемое модификацией волокон целлюлозы через мерсеризацию и соединение молекул «мостиками», например, ксантогенирование в случае традиционного формования в медно-аммиачном растворе.

3. СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

Производство синтетических волокон – новый этап в развитии производства химических волокон. Оно стало возможным только на определённой стадии развития химической промышленности. Исходные материалы для синтетических волокон должны удовлетворять следующим требованиям: иметь сравнительно высокий молекулярный вес, вытянутую форму макромолекул, обладать способностью растворяться и образовывать концентрированные вязкие растворы или плавиться и переходить в вязкотекучее состояние без разложения. Для получения синтетических волокон полупродукт подвергают формованию и отделке. Формуют синтетические волокна из раствора, а также из расплава или размягчённого полимера. Важным свойством является химическая инертность синтетических волокон. Так, капрон устойчив к щелочам, лавсан – к кислотам, а волокно хлорин не изменяет своих свойств при действии на него кислот, щелочей, окислителей и других реагентов. Синтетические волокна устойчивы к действию бактерий, микроорганизмов, плесени и моли. Синтетические волокна разных видов имеют свои характерные особенности. Так, волокно капрон характеризуется исключительно высокой стойкостью к истиранию, волокно нитрон – отличной устойчивостью к действию солнечного света и атмосферным воздействиям, а также низкой способностью к набуханию. Волокно лавсан отличается очень низким остаточным удлинением. По своему внешнему виду и свойствам сходно с шерстяным. Синтетические волокна не лишены недостатков. Так, сильное влагопоглощение значительно затрудняет крашение этих волокон, способствует накоплению электростатических зарядов на поверхности волокна, снижает гигиенические свойства и тем самым ограничивает их применение. Все синтетические волокна, применяемые в настоящее время, подразделяют на следующие группы: полиамидные, полиэфирные, полиакрилонитрильные, полихлорвиниловые, поливинилспиртовые.

3.1. Получение волокон из ПВС в промышленности

Поливинилспиртовые волокна. Волокна из поливинилового спирта обладают специфическими свойствами, отличающими его от всех других синтетических волокон. Этот вид волокна является гидрофильным синтетическим волокном, вырабатываемым в производственных масштабах. В зависимости от метода последующей после формования обработки гигроскопичность поливинилспиртового волокна изменяется в широких пределах, и по этому показателю оно не уступает хлопку.

В отличие от других карбоцепных полимеров, ПВС не может быть получен полимеризацией соответствующего мономера, поскольку виниловый спирт в свободном состоянии не существует. Следовательно, получение ПВС складывается из двух процессов синтеза поливинилацетата: полимеризацией винилацетата и омылением полученного поливинилацетата раствором кислот или щелочей. Волокно из растворов ПВС можно получать сухим или мокрым способом формования. При мокром способе в качестве осадительной ванны применяются органические жидкости или концентрированные водные растворы минеральных солей, в частности, раствор сульфата натрия. После формования нить подвергают промывке, сушке, термическому вытягиванию. В обоих случаях порошковый поливинилацетат подвергается алкоголизу и одновременно гидролизу в водно-спиртовой смеси, реже щелочному алкоголизу, который сопряжён с возможностью нежелательного омыления, кислотный алкоголиз и аминолиз не применяются в промышленном синтезе ПВС по экономическим причинам, а данные об алкоголизе поливинилацетата метанолом в присутствии бензола в промышленности недостоверны и противоречивы. Формуют волокна ПВС, предварительно дав массе полимера адсорбировать воду для пластификации, при температуре 160–200 °С.

4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1

Получение поливиниловых волокон мокрым способом

Цель работы: получить отдельные волокна из поливинилового спирта.

Приборы и оборудование:

1. Электрическая водяная баня.
2. Электронные весы.
3. Термометры.

Химическая посуда:

1. Термостойкие стаканы.
2. Стекланные палочки.
3. Чашки Петри.

Химические реактивы:

1. Полимер – поливиниловый спирт.
2. Дистиллированная вода.
3. Поверхностно-активное вещество неонол 9-9.
4. Сульфат натрия.

Ход работы:

Готовят 15–20 %-ый раствор ПВС при температуре 80 °С. Готовят осадительную ванну. Осадителем для ПВС является пересыщенный водный раствор Na_2SO_4 (40 %). Осадителем может быть водный 94 %-ый раствор ацетона. Раствор ПВС нагревают до 80 °С, добавляют неионогенного ПАВ неонола 9-9 в количестве одного процента от массы абсолютно сухого полимера (одна капля). *

В полученный раствор опускают стеклянную палочку, палочку извлекают с тонкой струйкой полученного раствора и осаждают в чашке Петри (осадительной ванне) с раствором осадителя. Полученные волокна промывают дистиллированной водой, сушат на стеклянной пластинке при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Для сравнения раствор готовят без неонола 9-9.

Результаты представить в виде фотографий.

* Если раствор готовят без неонола 9-9, то в осадительную ванну с Na_2SO_4 добавляют 2 капли конц. H_2SO_4 .

Лабораторная работа № 2

Изготовление волокон из поливинилового спирта

Цель: изготовить волокна из поливинилового спирта, используя различные осадительные ванны, сравнить прочность полученных нитей и их растворимость в холодной и горячей воде. Сделать выводы.

Реактивы:

1. Поливиниловый спирт (ПВС).
2. Водный ацетон (94 % ацетона и 6 % дист. Воды).
3. Осадительная ванна с формальдегидом (20 г сульфата аммония растворить в воде в мерной колбе на 50 мл, к полученному раствору добавить 5 мл формалина и 2 мл H_2SO_4 конц.).

Оборудование:

1. Шпатель.
2. Мерный цилиндр.
3. 3 пробирки.
4. Шприц с иглой.
5. Пинцет.
6. 2 чашки Петри.
7. Электрическая плитка.
8. Технические весы.

Ход работы:

1. Растворить 1,5 г ПВС в 10 мл воды, раствор нагреть до 60 °С.

2. В чашку Петри налить водный ацетон, подогреть до 30 °С. Небольшое количество раствора ПВС набрать в шприц и медленно выдавливать в ацетон, погрузив иглу в раствор и постепенно перемещая по чашке Петри. При этом полимер осаждается в виде нити.

Нити полимера осторожно взять пинцетом, медленно вытягивать из раствора и наматывать на стеклянную палочку (скорость должна быть очень небольшой, чтобы нить выдерживала собственный вес).

4. Повторить предыдущий опыт, используя вместо ацетона осадительную ванну с формалином, нагретую до 50 °С.

Лабораторная работа № 3

Определение поверхностных свойств растворов полимеров методом Дю-Нуи

Цель работы: изучить поверхностные свойства полимерных растворов методом Дю-Нуи.

Приборы и материалы:

- 1) Прибор Дю-Нуи.
- 2) Раствор ПВС с неонолом 9-9 и без.
- 3) Мерные колбы на 100 мл.
- 4) Весы электронные.
- 5) Платиновое кольцо.
- 6) Кювета.

Ход работы:

Классический метод для определения поверхностного/межфазного натяжения основан на измерении максимального усилия (F) для отрыва кольца с известной геометрией (длиной смачивания, L), сделанного из хорошо смачиваемого материала (угол смачивания = 0°). При подъёме кольца жидкость стремится стечь с него, что приводит к постепенному утончению плёнки жидкости и отрыву кольца.

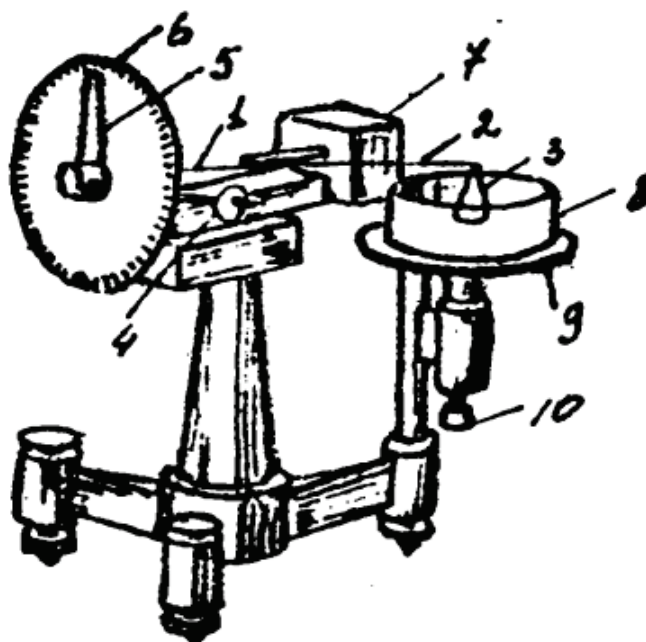


Рис. Прибор Дю-Нуи:

- 1 – упругая металлическая нить; 2 – коромысло с крючком; 3 – платиновое кольцо; 4 – винт для закручивания нити; 5 – указатель с нониусом; 6 – отсчетный лимб; 7 – винт, соединенный с упругой нитью; 8 – кювета с двойными стенками; 9 – подвижный столик; 10 – винт для движения столика

Поверхностное натяжение водно-щелочных растворов измеряют методом отрыва кольца на приборе Дю-Нуи. Основная часть прибора – металлическая упругая нить 1, натянутая горизонтально. К нити прикреплено коромысло 2 с

крючком, на который подвешивается кольцо 3. Отрывающее усилие создается закручиванием упругой нити с помощью винта 4. При вращении винта указатель 5, соединенный с закручиваемым концом нити, перемещается по отсчётному лимбу 6. Указатель имеет нониус, позволяющий определять десятые доли делений шкалы, нанесённый на лимб. Перед началом работы с помощью винта 4 для закручивания нити указатель 5 с нониусом устанавливают на нулевое деление отсчётного лимба и вращают винт 7, соединенный с упругой нитью до тех пор, пока коромысло с подвешенным на нём кольцом не примет горизонтального положения. Исследуемый раствор наливают в кювету 8 с двойными стенками. Кювету помещают на подвижный столик 9, снабжённый винтом 10 для перемещения его в вертикальном направлении. Столик поднимают до тех пор, пока кольцо не коснётся поверхности раствора. Затем с помощью винта 4 начинают закручивать нить 1. Это надо делать медленно и осторожно, особенно перед отрывом кольца. Отмечают положение указателя на лимбе в момент отрыва кольца от поверхности жидкости. Чтобы вернуть прибор в рабочее положение, с помощью винта 10 опускают столик 9. Вращают винт 4, раскручивают нить. Указатель 5 при этом возвращается к нулю, двигаясь в направлении, обратном направлению при отрывании кольца. Далее помещают кольцо на коромысло и повторяют определение. Кювету перед работой хорошо промывают водой и, прежде всего, измеряют показания шкалы при отрыве кольца от дистиллированной воды.

Полученные растворы разбавляют с шагом в 1% (от 15% до 1%), а затем измеряют поверхностное натяжение методом Дю-Нуи. Сначала определяют n_0 – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности дистиллированной воды и находят ПН в справочнике или вычисляют его ПН относительно воды, так как в зависимости от полимера растворитель может быть любой. Поверхностное натяжение исследуемого раствора σ_p рассчитывают по формуле:

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_0} = \frac{n_p}{n_0},$$

где σ_p – поверхностное натяжение воды на границе с воздухом; n_0 – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности дистиллированной воды; n_p – показание шкалы лимба при отрыве кольца от поверхности исследуемого раствора (среднее из 3-5 определений).

По экспериментальным данным строят изотерму, находят критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ), делают вывод об активности вещества.

Поверхностная активность рассчитывается по формуле:

$$G = \lim_{c \rightarrow 0} (d\sigma/dC),$$

где $d\sigma$ – изменение поверхностного натяжения [Н/м]; dC – изменение концентрации [г/100мл],

Лабораторная работа № 4

4.1. Придание гидрофобных свойств поливиниловым волокнам

Цель работы: увеличить гидрофобность волокон из поливинилового спирта.

Приборы и оборудование:

1. Электрическая водяная баня.
2. Электронные весы.
3. Термометры.

Химическая посуда:

1. Воронка Вюрца.
2. Чашки Петри, стекла.
3. Обратный холодильник.
4. Круглодонная колба.

Химические реактивы:

1. Поливиниловые волокна, полученные в лабораторной работе №1
2. Дистиллированная вода.
3. Формальдегид (Формалин).
4. Серная кислота.
5. Сульфат натрия.

Ход работы:

1. Приготовить раствор, содержащий 3–4 % формальдегида, 15–20 % серной кислоты (катализатор) и 15–20 % сульфата натрия (для уменьшения набухания волокон).
2. Собрать установку, опустить в раствор волокно.
3. Процесс проводят при температуре не более 52 °С в течение 40 минут.
4. По окончании процесса волокно извлекают, переносят на воронку Вюрца, промывают дистиллированной водой, извлекают и сушат при комнатной температуре.

4.2. Испытание свойств полученных волокон до и после гидрофобизации

Цель работы: определить свойства волокна из поливинилового спирта до и после гидрофобизации.

Приборы и оборудование:

1. Электронные весы.
2. Стеклянные бюксы.
3. Шпатель.
4. Эксикатор.

5. Термометры

Химическая посуда:

1. Термостойкие стаканы.
2. Стеклянные палочки.
3. Чашки Петри, стекла.

Химические реактивы:

- 1 Дистиллированная вода.
2. Раствор иодида калия (30 %).

Ход работы:

Испытание влагопоглощения волокон до и после гидрофобизации

Воздушно-сухие навески полученных полимерных волокон помещают в предварительно взвешенные бюксы и сушат при 105 °С до абсолютно-сухого состояния. Бюкс с абсолютно сухой навеской ставят в эксикатор с водой ($P/P_0 = 1$) и водным раствором KCl ($P/P_0 = 0,84$). P/P_0 – относительное давление насыщенного пара. Через 120 минут бюкс с волокном вынимают и взвешивают.

Растворимость в воде при 95 °С до и после гидрофобизации

Равные навески гидрофобизированных волокон и негидрофобизированных волокон помещают в десятикратный объем дистиллированной воды и растворяют при 95 °С. Записывают время растворимости полимера.

Растворимость волокон при 25 °С до и после гидрофобизации

Равные взвешенные навеску волокон оставляют в десятикратном объеме дистиллированной воды на 24 часа. Через 24 часа извлекают из воды, сушат на воздухе до воздушно-сухого состояния и взвешивают. Записывают время растворения.

Окрашивание раствором йод/иодид калия до и после гидрофобизации

Волокно погружают в 30 % раствор иодида калия на 30–60 секунд, затем извлекают, промывают дистиллированной водой. Результат оценивают визуально и сравнивают результат наблюдения со справочными данными.

По работе 4.2 составляется сводная таблица некоторых физико-химических свойств волокон до и после гидрофобизации.

Наименование образца	Влагопоглощение при различных относительных давлениях пара (P/P_0), г H ₂ O/г абс.сух. волокна	Время растворения при 100 °С (мин)	Время растворения волокон при 25 °С	Окрашивание иодидом калия

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ВЫПОЛНЕННЫМ РАБОТАМ 1-4 С ПИСЬМЕННЫМ ОТВЕТОМ НА СЛЕДУЮЩИЕ ВОПРОСЫ

Вопросы для проверки знаний

1. К каким полимерам относится ПВС?
2. Растворители ПВС.
3. Что такое растворимость полимеров?
4. Почему ПВС растворяется в воде?
5. Растворимость ПВС?
6. Физическое состояние полимеров.
7. Что такое температура стеклования.
8. Что такое температура текучести?
9. Гибкость полимеров.
10. Конформация полимеров.
11. Сегмент Куна.
12. Синтетические волокна.
13. Стадии получения волокон.
14. Формование волокон.
15. Дополнительная обработка сформованных волокон.
16. Получение волокон мокрым способом.
17. Что такое осадительная ванна?
18. Осадители раствора ПВС?
19. Влияние введения ПАВ на целостность волокна при формовании.
20. Как влияет рН среды в осадительной ванне на качество волокна?
21. Влияние H_2SO_4 на качество волокна.
22. Влияние сушки на упрочнение волокна.
23. Влияние температуры сушки на качество волокна.
24. Способы модификации ПВС-волокон.
25. Методы испытания волокон.
26. Показатели качества волокон.
27. Применение волокон в текстильной промышленности.
28. Применение волокон в биоинженерии.

6. ПРИМЕРЫ ТЕСТОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

Тест 1. Как получить объемную пряжу, не используя химические методы?

1. Можно использовать фильеры с отверстиями различных форм.
2. Использовать полимер высокой молекулярной массы.
3. Использовать полимер низкой молекулярной массы.
4. Использовать полимер с высоким сегментом Куна.

Тест 2. Метод мокрого формования волокон включает:

1. Перевод раствора полимера в осадительную ванну с нерастворителем.
2. Испарение растворителя со свободной поверхности.
3. Удаление летучих веществ при $T=70-100^{\circ}\text{C}$.
4. Введение эмульгатора.

Тест 3 Почему ПВХ растворяется в воде?

1. ПВХ – термопластичный полимер.
2. Имеет малый молярный объём.
3. Имеет ОН-группы.
4. Имеет высокий сегмент Куна.

Тест 4. Как получить объемную пряжу, не используя химические методы?

1. Смешать с другим полимером с другой молекулярной массой.
2. Использовать полимер высокой молекулярной массы.
3. Использовать полимер низкой молекулярной массы.
4. Использовать полимер с низким сегментом Куна.

Тест 5. Как снизить T_g полимера?

1. Смешать 2 полярных полимера.
2. Смешать полимеры с разным дипольным моментом.
3. Смешать 2 неполярных полимера.
4. Смешать полимеры с высокими донорно-акцепторными свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс получения волокон поливинилового спирта (ПВС) сложно изучить теоретически, поэтому студенты, будущие химики-технологи в лаборатории по курсу «Химические волокна» изучают условия процесса формования волокон. Из-за нестабильности мономера винилового спирта ПВС получают полимераналогичными превращениями, например, переэтерификацией поливинилацетата. Молекулы ПВС легко образуют жёсткий гель при контакте друг с другом и формируют прочные волокна при температуре 70 °С и при добавлении неонола 9-9 или сильно разбавленной серной кислоты. Большая температура снижает степень полимеризации полимера, а слишком низкая способствует гелеобразованию. Неонол 9-9 или серная кислота, сильнодействующий ПАВ, препятствует излишнему слипанию волокон ПВС при осаждении в растворе сульфата натрия. В результате анализа литературы и полученных экспериментальных данных получены волокна ПВС и изучены их некоторые физико-химические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 56561-2015 Материалы текстильные [Текст]. – Введ. 2016–09–01.
2. Finch, C. A. «Polyvinyl Alcohol — Developments», Wiley, John and Sons, Incorporated, 1992.
3. Бойко, В. В. Синтез поливинилового спирта в водно-спиртовых средах [Текст] : дис... канд. хим. наук : 02.00.06. – М., 2004. – 112 с.
4. Тагер, А. А. Физикохимия полимеров [Текст] / А. А. Тагер. – М.: Химия, 2007. – 536 с.
5. Демьянцева, Е. Ю. Свойства поверхностно-активных веществ [Текст] : методические указания / Е. Ю. Демьянцева. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 16 с.
6. Перепелкин, К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы [Текст] / К. Е. Перепелкин. – СПб.: СПГУТД, 2008. – 354 с.
7. Буров, Б. А. Материаловедение швейного производства [Текст] / Б. А. Буров, Т. А. Модестова. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
8. Мальцева, Е. П. Материаловедение швейного производства [Текст] / Е. П. Мальцева. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 232 с.
9. Азаров, В. И. Химия древесины и синтетических полимеров [Текст] : учебник для вузов / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 2008. – 628 с.
10. Папков, С. П. Теоретические основы производства химических волокон [Текст] / С. П. Папков. – М.: Химия, 1990. – 390 с.
11. Роговин, З. А. Основы химии и технологии химических волокон [Текст] / З. А. Роговин. – Изд. 4-е. – М., 1974. Т. 1 – 2.
12. Перепелкин, К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы [Текст] / К. Е. Перепелкин. – СПб.: СПГУТД, 2008. – 354 с.
13. Цветков, Л. А. Органическая химия [Текст] / Л. А. Цветков. – М.: Просвещение, 1988. – 239 с.
14. Пакшвер, А. Б. Технология производства химических волокон [Текст] / А. Б. Пакшвер. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
15. Геллер Б. Э. Состояние и перспективы развития производства полиакрилонитрильных волокон // Химические волокна. – 2002. – №3. – С. 3 – 10.
16. Фляте, Д. М. Свойства бумаги [Текст] / Д. М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 648 с.
17. Папков, С. П. Теоретические основы производства химических волокон [Текст] / С. П. Папков. – М.: Химия, 1990. – 390 с.
18. Осовская, И. И. Химические волокна [Текст] / И. И. Осовская. – Москва-Вологда: Биоинженерия 2023. – 100 с.