



студентам
учреждений
высшего
образования

ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВОЛОКНИСТЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ



ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВОЛОКНИСТЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений
высшего образования по специальности
«Химическая технология органических
веществ, материалов и изделий»



Минск
«Вышэйшая школа»
2013

УДК 677.4.021.1(075.8)
ББК 67.235я73
П84

Авторы: И.Н. Жмыхов, Л.С. Гальбрайх, А.В. Акулич, Л.А. Щербина, Ф.А. Сорокин

Рецензенты: заведующий кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов Белорусского государственного технологического университета, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор *Н.Р. Прокончук*; доцент кафедры высокомолекулярных соединений Белорусского государственного университета, кандидат химических наук *М.В. Шишонюк*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства

Процессы и оборудование производства волокнистых
П84 **и пленочных материалов : учеб. пособие : с электрон.**
прил. / И. Н. Жмыхов [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа,
2013. – 587 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2310-2.

Рассмотрены с современных позиций различные процессы получения термопластичных полимеров, волокнистых и пленочных материалов на их основе. Представлены сведения об оборудовании для комплектования технологических линий их производства, дана их технологическая и техническая оценка.

Для студентов учреждений высшего образования, магистрантов, специализирующихся в области технологии химических волокон, преподавателей. Может быть полезно специалистам, связанным по роду своей деятельности с синтезом полимеров, переработкой их в различных областях промышленности.

УДК 677.4.021.1(075.8)
ББК 67.235я73

ISBN 978-985-06-2310-2 (отд. изд.)
ISBN 978-985-06-2357-7

© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство химических волокон – одна из важнейших сфер современной мировой экономики, динамично развивающаяся, несмотря на изменчивость рынка.

В последние десятилетия мировое производство химических волокон характеризовалось существенными темпами роста объемов выпуска. В 2011 г. их выпуск достиг 51 млн т/год. При этом основной прирост пришелся на страны азиатско-тихоокеанского региона, где выпуск химических волокон составил 88 % мирового производства. Отмечается преобладающий рост объема выпуска полиэфирных волокон и нитей – 14,4 млн т/год и 24,0 млн т/год соответственно, возросший до 4,2 млн т/год объем выпуска полиамидных нитей и волокон. В то же время заметно снизился темп роста производства полипропиленовых волокон и нитей, объем выпуска которых составил 2,6 млн т/год. Остановился рост объема производства вискозных волокон и нитей, достигший 3,8 млн т/год. Их производство в азиатском регионе (в основном в Китае, Индии) составило 2,7 и 0,26 млн т соответственно. Крайне низки объемы мирового выпуска ацетатных, хлориновых, поливинилспиртовых волокон. Объем производства ацетатного волокна, в основном для сигаретных фильтров, – 0,759 млн т. Выпуск других волокон составил: эластомерных типа «спандекс» – 0,45 млн т, арамидных – 0,064 млн т, углеродных – 0,04 млн т.

Наряду с наращиванием объемов выпуска традиционных волокон и нитей расширяется ассортимент выпускаемой продукции в направлении придания улучшенных потребительских свойств. Неотъемлемой частью волоконных технологий стали такие методы, как получение композитных волокон, нановолокон, фильерные способы получения нетканых материалов и др.

К сожалению, ситуация с производствами химических волокон на постсоветском пространстве в последние десятилетия складывалась не в ключе мировых тенденций. Не следуя принципам своевременного обновления производственных фондов,

утратив конкурентоспособность, многие предприятия резко сократили объемы выпуска либо прекратили существование.

Большинство специалистов-технологов в области химических волокон в СССР и в странах СНГ обучались по книгам П.Ф. Бравермана, А.Б. Чачхиани «Оборудование и механизация производства химических волокон» и авторского коллектива (Л.И. Коротеева, О.Н. Озерский, А.П. Яскин) «Технологическое оборудование заводов химических волокон и нитей». При изучении дисциплины «Оборудование заводов химических волокон» были весьма полезны и остаются до сих пор востребованными монографии, подготовленные в 1972–1979 гг. З.А. Роговиным, А.И. Меосом, А.Б. Пакшвером, С.П. Папковым, Г.И. Кудрявцевым, А.А. Конкиным, Б.В. Петуховым, Л.А. Вольфом, Б.Э. Геллером, зарубежными учеными К. Гётце, Ф. Фурне, А. Зябицким и др.

За прошедшие десятилетия производства химических волокон претерпели существенные изменения, в том числе в аппаратном оформлении. На смену периодическим, малопроизводительным, а соответственно, затратным процессам пришли и получили широкое распространение высокопроизводительные, высокоскоростные, сокращенные, ресурсосберегающие процессы.

В области химии и технологии химических волокон в странах СНГ в последние годы не было издано новых учебников, учебных пособий. Исключение составляют монография В.Э. Геллера «Высокоскоростное формование полиэфирных волокон» (Тверь, 2000) и учебное пособие группы авторов под редакцией Т.В. Дружининой «Химические волокна: основы получения, методы исследования и модифицирование» (М., 2006). Сократился объем публикаций с освещением современных тенденций в развитии мировой промышленности химических волокон, новых видов волокон. Незнание современной ситуации обуславливает торможение дальнейшего развития подотрасли и связанной с ней текстильной промышленности.

Авторы в данном учебном пособии ставили задачу предложить студентам и специалистам сведения об аппаратном оформлении современных производств волокнистых и пленочных материалов из расплавов полимеров, о возможностях получения новых волокнистых материалов; показать предложения прогрессивных фирм – производителей оборудования для аппаратного оформления предприятий на современном этапе исходя из тенденций их дальнейшего развития.

Примечательно, что отдельные стадии получения химических волокон, как, например, аэродинамическое формование, стали применяться в производстве нетканых материалов типа спанбонд, мелтблаун и др., поэтому вполне уместно включение в программу обучения специалистов различного уровня ряда новых технологий, таких как производство нетканых материалов фильерным способом, композиционных материалов, полимерных концентратов, модифицирующих добавок и др. Учтены также произошедшие изменения в секторе волокнистых материалов.

Пособие состоит из 13 глав, размещенных по принципу последовательного рассмотрения технологических переходов. Авторы также исходили из того, что изучение аппаратурного оформления производств химических волокон будет эффективным только тогда, когда непосредственно будет сопровождаться общими характеристиками технологических процессов.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов, преподавателей учреждений высшего образования, специалистов в области химических волокон, а также будет полезно специалистам смежных отраслей, перерабатывающих и применяющих химические волокна и волокнистые материалы на их основе.

Авторы выражают благодарность фирмам Zimmer AG, Aquafil Engineering GmbH, Buhler AG, Hosokawa Bepex, UOP SINCO A TECHNOLOGY COMPANY, Eastman Kodak, EPC Anlagenbau Rudisleben GmbH, Uhde Inventa Fischer, Uhde Hoechst, Automatik GmbH, Gneuß Kunststofftechnik GmbH, Kreyenborg Gruppe, Reifenhauser GmbH and Co. KG Maschinenfabrik, Berstdorff, Maag Pump System Textron AG, EMS INVENTA AG, Oerlikon Barmag, Oerlikon Neumag, Barmag – Spinnzwirn GmbH, Rieter-Scragg Ltd, Saurer-Allma GmbH, TMT Machinery INC, SSM Scharer Schweiter Mettler AG, Heberlein, Temco, Automatik Plastics Machinery GmbH, Marubeni Corp., Plantex, K. Fischer Industrienanlagen GmbH, ZERMA, Weima Maschinenbau, Moditec, Tecnofer, Herbold Meckesheim, China IS-MAC Machinery Company Limited, Genox, Ecostrom Recycling, Starlinger & Co. GmbH, EREMA GmbH за предоставленную возможность использования их проспектных материалов в учебных целях.

Разделы 3.3, 5.1, 6.5, 7.3, 9.3 написаны совместно с В.Э. Геллером.

За ценные критические замечания к рукописи авторы благодарны директору завода полиэфирных текстильных нитей ОАО «Светлогорск Химволокно» А.В. Апиоку; главному инженеру

завода полиэфирных текстильных нитей ОАО «Светлогорск Химволокно» С.М. Ушаку; главному технологу ОАО «Тверской Полиэфир» кандидату технических наук В.Э. Геллеру; за оказанную помощь при подготовке рукописи – инженеру Роговой Евгении Алексеевне, а также рецензентам – Н.Р. Прокопчуку, заведующему кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов доктору химических наук, профессору Белорусского государственного технологического университета, члену-корреспонденту НАН Беларуси; М.В. Шишонок, кандидату химических наук, доценту кафедры высокомолекулярных соединений Белорусского государственного университета.

Замечания и пожелания можно направлять по адресу: издательство «Вышэйшая школа», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

Авторы

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН, НИТЕЙ И ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие производства различных видов многотоннажных химических волокон и нитей в настоящее время характеризуется следующими особенностями:

- сохраняется устойчивая динамика увеличения объемов производства химических волокон и нитей, мировое производство которых в 2011 г. составило 51 млн т (60,6 % от общего объема производства всех видов волокон);
- наиболее интенсивно растут объемы выпуска волокон и нитей, формируемых из расплавов полимеров, прежде всего полиэфирных, суммарный объем производства которых в мире в 2011 г. составил около 39 млн т, а мощности в 2013 г. достигли 59,5 млн т;
- совершенствуются процессы получения вискозных и гидратцеллюлозных волокон типа лиоцелл, эластомерных полиуретановых нитей;
- при разработке процессов получения новых видов химических волокон и волокнистых материалов на их основе широко используются методы их модифицирования – это один из наиболее перспективных путей, который позволяет получать материалы с широкой гаммой заданных функциональных свойств.

В современной экономике требования к производимым волокнам и текстилю на их основе формируются запросами рынка. Рыночные требования к функциональным характеристикам изделий бытового, технического и других назначений и цена, зависящая от экономики производства, являются определяющими в развитии тех или иных видов волокон. В то же время, рассматривая перспективу развития химических волокон и технологий их получения, необходимо иметь в виду, что после создания достаточно экономичных инженерных технологий и первых производств дальнейшие процессы регулируются не только научно-техническими достижениями, но в некоторых случаях и государственными интересами.

При анализе развития производства химических волокон необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на этот процесс:

- возможности совершенствования имеющихся технологий, развитие методов модифицирования волокон (а также готового текстиля);

- создание технологий, основанных на новых принципах;
- появление нового ассортимента и новых видов волокон, возможность замены или дополнения одних волокон другими.

В зависимости от функционального назначения создаваемых изделий (одежды, интерьера, технических изделий и др.) комплекс требований к текстильным материалам, структуре и дизайну, а соответственно и к исходным волокнам существенно различается. Для оценки возможности применения волокон или нитей в смесевых и неоднородных материалах может быть использован термин «взаимодополняющие волокна», когда недостатки одного вида волокон нивелируются другим волокнистым компонентом. Классическим примером взаимодополняемости являются целлюлозные и полиэфирные волокна, когда полиэфирный компонент резко снижает сминаемость получаемых тканей и увеличивает их носкость, а гигроскопичность обеспечивается наличием целлюлозного компонента.

Развитие производств каждого вида многотоннажных химических волокон определяется комплексом факторов, без учета которых невозможен их динамичный рост:

- возможность выпуска волокон необходимого ассортимента и заданных свойств;

- потребность в различных видах волокон, их взаимозаменяемость и взаимодополняемость;

- степень совершенства и возможности интенсификации технологии;

- доступность исходного сырья;

- минимум материалоемкости и энергопотребления;

- возможность максимального рециклинга химикатов;

- безопасность и экологическая чистота технологии;

- экономичность производства.

Процессы глобализации и географического районирования в производстве химических волокон. Одной из наиболее выраженных тенденций в области производства химических волокон являются изменения в географическом размещении предприятий. В конце XX – начале XXI в. основная часть прироста мирового производства химических волокон приходилась на страны азиатско-тихоокеанского региона и Южной Америки,

где сосредоточено в настоящее время более 60 % производственных мощностей. В этих странах произошел гигантский рост производства химических волокон, особенно в Китае, тогда как производство химических волокон в Европе и Северной Америке стало постепенно сокращаться.

В странах Азии и Южной Америки были созданы заново производства искусственных (вискозных) волокон. В качестве примера можно привести австрийскую фирму Lenzing AG, которая, обладая производством целлюлозы и вискозных волокон в Австрии мощностью более 220 тыс. т/год, одновременно имеет аналогичные крупные производства в Индонезии и Бразилии, обеспечивая примерно 22–23 % мирового выпуска вискозных волокон.

В странах Азии быстрыми темпами развиваются и производства традиционных видов синтетических волокон, получаемых методами формования из расплава, особенно полиэфирных. Одновременно выросла доля модифицированных волокон.

Общее число производящих химические волокна предприятий в мире по состоянию на 2010 г. составляет 1776, в том числе по видам волокон: полиэфирные – 733; полиолефиновые – 509; полиамидные – 339; на основе целлюлозы – 106; полиакрилонитрильные – 58; ацетатные – 29; прочие – 137.

Распределение предприятий по регионам мира выглядит следующим образом: Западная Европа – 357; Восточная Европа – 129 (в том числе страны СНГ – 65); Северная Америка (Канада, Мексика, США) – 229; другие регионы Америки – 87; Азия – 1100 (в том числе КНР – 686); Средний Восток, Африка и Океания – 79.

Производимые химические волокна большей частью в этих же регионах перерабатываются в текстильные изделия, которые экспортируются в развитые страны. Получаемая экономия полностью перекрывает рост транспортных расходов. Основные инвестиции, техника и технологии для производства химических волокон и текстиля поступают в эти страны от крупных международных компаний, в значительной мере из стран Западной Европы, США и Японии. Таким образом, процессы глобализации приводят к тому, что многие транснациональные компании сосредоточивают в своих руках крупные производственные мощности, находящиеся в различных регионах мира.

В последние 15–25 лет в мировой промышленности химических волокон и текстиля наблюдаются существенные изменения

в структуре производства – происходят процессы дифференциации и интеграции фирм – производителей химических волокон и другой химической (в том числе полимерной) продукции.

В странах Европы, США, Японии происходят процессы концентрирования и монополизации производств химических волокон – продажа предприятий одних фирм другим, слияние некоторых фирм или покупка пакетов акций крупными финансово-промышленными группами. Многие крупные многопрофильные фирмы Европы и США сокращают или прекращают производство традиционных видов химических волокон и переносят центр своей деятельности в область производства других высокотехнологичных, специальных и жизнеобеспечивающих видов химической продукции. Этого направления придерживаются фирмы в США (DuPont De Nemour, Monsanto, American Cyanamide, Eastmen Kodak), Европе (Hoechst, Rhone Poulenc, Akzo Nobel) и др.

В то же время крупные фирмы, специализирующиеся в основном на выпуске химических волокон, сохранили свой профиль, однако развивают производство преимущественно в азиатских странах. На базовых предприятиях осуществляется выпуск новых и модифицированных видов химических волокон, переработка которых в высококачественный модный текстиль и технические изделия осуществляется также в этих регионах.

Еще одним значимым процессом является объединение усилий, совместные инвестиции и совместная деятельность крупных фирм химического профиля в области создания новых производств и видов химических волокон. В качестве примера можно привести создание двумя компаниями (Cargill Inc и Dow Chemical Co) новой крупной фирмы в США – Cargill Dow LLC – по разработке и организации в 2003 г. первого промышленного производства полилактидных волокон NatureWork мощностью 140 тыс. т/год с перспективой увеличения производства этих волокон до 560 тыс. т/год.

Общий объем производства химических волокон в промышленно развитых странах (Западная Европа, Северная Америка, Япония) снижается, и изменяется его структура. Происходит сокращение производства искусственных (в основном вискозных) и некоторых видов синтетических волокон. Традиционные виды волокон и нитей текстильного назначения производятся во все меньшем объеме, тогда как расширяется производство волокон со специальными свойствами, необходимыми при изго-

товлении текстиля и текстильных изделий с существенно улучшенными характеристиками, отвечающими сегодняшним требованиям рынка.

Например, фирма Lenzing AG во все больших объемах выпускает модифицированные огнезащищенные и антимикробные вискозные волокна; фирма Hoechst выпускает большое количество химически модифицированных огнезащищенных полиэфирных волокон и т.д. Новые модифицированные волокна и изделия из них полностью отвечают повышенным функциональным требованиям и современной моде, что, в свою очередь, способствует развитию производства этих более дорогих высококачественных изделий и оправдывает более высокие издержки производства в промышленно развитых странах.

Состояние и перспективы производства химических волокон в Республике Беларусь. Мощности всех предприятий химических волокон и нитей Республики Беларусь составляют около 310 тыс. т/год. В настоящее время перечень выпускаемых в Беларуси волокнистых и пленочных материалов по расплавной технологии достаточно широк:

- полиэфирные текстильные и технические нити различных марок, полиэфирная кордная ткань, полиэфирное волокно и нетканые материалы различного ассортимента;
- полиамидные технические и ковровые (жгутовые) нити и кордная ткань;
- полипропиленовые текстильные и пленочные нити;
- полипропиленовые и полиэфирные нетканые материалы фильерного способа производства;
- полипропиленовые и полиэтиленовые пленки различного ассортимента.

На всех предприятиях химических волокон Беларуси ведется систематическая работа по коренной модернизации основных производственных фондов, снижению материало- и энергоемкости производства, освоению выпуска наиболее конкурентоспособных видов продукции. В результате выполнения инвестиционных программ к 2015 г. ожидаемый рост производственных мощностей составит: по полиамиду – в 1,8 раза; пленочным материалам – в 2,3 раза; полиэтилентерефталату пищевого назначения – в 2,5 раза; полиэфирным текстильным нитям – на 23 %; полиэфирным техническим нитям – в 1,5 раза; нетканым материалам (полипропиленовым и полиэфирным) – в 2,2 раза; преформам для бутылок – в 13 раз.

Тенденции в развитии машиностроения для производств полимеров, волокон и нитей, перерабатываемых через расплав. Основными направлениями в конструировании оборудования для производства полимеров и полимерной продукции являются:

- повышение производительности единичных аппаратов путем увеличения размеров аппаратов за счет максимального увеличения поверхности контакта реагирующих веществ или рабочей поверхности аппаратов; использования эффективных мешалок особой конструкции; приближения условий работы оборудования к оптимальным за счет применения методов математического моделирования при расчете и конструировании аппаратов и интенсификации технологических процессов;

- снижение энергопотребления оборудования (до 30–40 %) за счет совершенствования конструкции аппаратов с целью обеспечения эффективного удаления выделяющихся продуктов без перемешивания расплава, использования систем циркуляции инертного газа, применения многокорпусных вакуум-выпарных установок и др.;

- локализация тепловыделений и выделений вредных веществ, минимизация теплопотерь;

- механизация и автоматизация оборудования с применением микропроцессорной техники и микроэлектроники;

- повышение надежности оборудования за счет применения новых узлов и механизмов, антикоррозионных покрытий, новых конструкционных материалов, сохраняющих работоспособность и свойства при эксплуатации в условиях высоких температур и давлений; обеспечение гарантированной межремонтной продолжительности эксплуатации до 10 лет;

- оснащение оборудования современными системами контроля технологического процесса, включающими надежные системы противоаварийной защиты и блокировок;

- создание непрерывных технологических линий с сокращением количества аппаратов, с оригинальной конструкцией реакторов, учитывающей кинетику реакций, особенности процессов тепло- и массообмена;

- определение вида оборудования в соответствии с требуемой производительностью. При производительности до 100 т/сут наиболее экономично современное оборудование периодического способа производства полимера, при большей производительности – непрерывного;

- сопряженность оборудования разных видов и разных стадий процесса;
- при производстве стандартных массовых ассортиментов полимерной продукции использование прямого формования из расплава для повышения экономичности процесса и качества продукции, при выпуске небольших партий разной по свойствам продукции с целью мобильного удовлетворения требований рынка – использование в качестве сырья гранулированного полимера. Современные способы позволяют после конечного реактора непрерывных линий синтеза полимеров модифицировать расплав, чтобы обеспечить получение практически всех известных типов полимерной продукции с одной линии синтеза;
- переход от многостадийной технологии к совмещенным процессам (формование – вытягивание – термофиксация; вытягивание – трощение – текстурирование; формование – вытягивание – текстурирование и т.п.);
- повышение производительности всех видов формовочного и текстильного оборудования за счет повышения скоростей;
- создание практически универсального оборудования для производства волокон и нитей из разных видов расплавных полимеров без значительной переналадки и переоснастки;
- создание модульных конструкций машин и агрегатов для повышения технологической «гибкости» оборудования;
- широкое использование устройств контроля качества продукции *on line* для мобильного реагирования на нарушения в технологических процессах;
- учет требований эргономики при конструировании оборудования для улучшения условий и повышения производительности труда.

Контрольные вопросы и задания

1. Что означает термин «взаимодополняющие волокна»?
2. Чем объяснить ускоренное развитие производства химических волокон в азиатско-тихоокеанском регионе?
3. Что означает термин «реструктуризация» применительно к промышленности химических волокон?
4. Назовите пути повышения технологической «гибкости» линий.
5. Назовите тенденции в развитии машиностроения для предприятий химических волокон.
6. Что такое контроль качества продукции *on line*?

ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИНТЕЗА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование можно классифицировать по структуре рабочего цикла, агрегатному состоянию веществ, степени автоматизации процесса, функциональному назначению, принципу сочетания в производственном потоке.

По *структуре рабочего цикла* оборудование делят на две группы: периодического и непрерывного действия. В аппаратах *периодического действия* загрузку, обработку и выгрузку продукта осуществляют поочередно. После разгрузки аппарата производственный цикл повторяется заново. В аппаратах *непрерывного действия* эти процессы в установившемся режиме совпадают по времени, т.е. продукт непрерывно продвигается от загрузочного устройства к выходному. Подача исходных веществ и выгрузка готовых продуктов происходят непрерывно.

В технологических аппаратах возможны различные сочетания *агрегатных состояний веществ*: газ + газ (печи, аппараты газоочистки); газ + жидкость (абсорберы, ректификационные колонны); газ + твердое вещество (циклоны, кристаллизаторы, сушилки, аппараты SSP); жидкость + твердое вещество (смесители, фильтры, центрифуги, аппараты синтеза); жидкость + жидкость (реакторы, экстракторы, сепараторы); твердое вещество + твердое вещество (пластификаторы и т.п.). Часто в аппаратах одновременно присутствуют компоненты, находящиеся в трех различных агрегатных состояниях или агрегатное состояние которых изменяется во времени.

По *степени автоматизации* процесса технологическое оборудование подразделяется на аппараты и машины неавтоматического, полуавтоматического и автоматического действия. В технологии синтеза полимеров *неавтоматизированное оборудование* уже практически не применяется, за исключением устаревшего, но еще используемого, или на отдельных вспомо-

гательных стадиях. В *машинах полуавтоматического действия* ручной труд может применяться на отдельных технологических операциях, например при замене фильтрующих сеток в автоматических фильтрах расплава или при съеме паковок с машины. В *автоматизированных аппаратах* все операции выполняются машинами и устройствами.

По **функциональному назначению** оборудование можно разделить на *типовое*, применяемое в различных процессах и производствах, например фильтры, циклоны, теплообменники, емкости хранения, пневмотранспорт, насосы, скрубберы, и *специальное*, характерное только для конкретного технологического процесса.

В технологических процессах различные аппараты и машины могут применяться **автономно** или **в составе поточных технологических линий**, что характерно для процессов синтеза и переработки полимеров.

Основным видом оборудования для синтеза полимеров в расплаве является *реактор*, который комплектуется дополнительным оборудованием для проведения вспомогательных операций в зависимости от конкретного вида готовой продукции и применяемого сырья.

Подбор реактора, его расчет, оптимизация конструкции и условий проведения процесса – задача, требующая глубоких знаний в различных областях физики и химии. Особые трудности возникают при проведении реакций в вязких полимерных средах, где значительно ухудшаются условия массо- и теплообмена.

В реакторах осуществляются процессы этерификации и переэтерификации, полимеризации и поликонденсации при получении различных видов полиэфиров и полиамидов, в том числе и модифицированных (прил. 1)*.

Реакторы – это вертикальные или горизонтальные (в основном цилиндрические) аппараты с обогревом или без него. Обогрев может быть выполнен в виде рубашки или внутреннего змеевика. Рубашка обогрева реактора подвергается гидравлическим испытаниям.

Большая часть оборудования работает при высокой температуре, под высоким давлением или в глубоком вакууме.

Реакторы, работающие в коррозионной среде, изготавливаются из низкоуглеродистой нержавеющей стали, титановых

* Учебное пособие содержит электронное приложение.

сплавов и других подобных материалов. Во многих реакторах, работающих в коррозионной среде под высоким давлением и имеющих тонкие стенки, широко используются армирующие пластины, а также прием плакирования стенок аппаратов легированными сплавами. Внутренняя поверхность реакторов при изготовлении часто подвергается полировке.

Реакторы снабжаются системами автоматического управления параметрами процесса, системами блокировок, срабатывающих при отклонениях параметров от заданных норм.

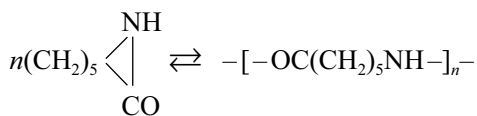
Перемешивание продуктов осуществляется посредством мешалок различных типов.

Реакторы комплектуются широко применяемыми в промышленности видами вспомогательного оборудования стандартного исполнения: насосами, сушилками, дозаторами, скрубберами, ректификационными колоннами, фильтрами, центрифугами и т.п.

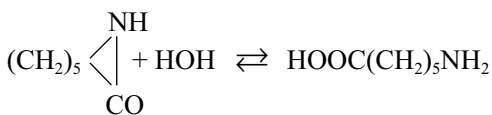
2.2. ПОЛИАМИДЫ

2.2.1. Процессы и оборудование синтеза поликапроамида

Основным способом получения поликапроамида (ПА 6) является способ гидролитической полимеризации капролактама. Процесс можно представить в следующем общем виде:



Вначале под воздействием воды идет гидролиз амидной связи лактама, цикл размыкается и образуется аминокaproновая кислота.



Затем аминокaproновая кислота взаимодействует с молекулой лактама, и образуется димер

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА 1. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН, НИТЕЙ И ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	7
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>13</i>
ГЛАВА 2. ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИНТЕЗА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ	14
2.1. Классификация технологического оборудования	14
2.2. Полиамиды	16
2.2.1. Процессы и оборудование синтеза поликапроамида	16
2.2.1.1. Процесс и оборудование фирмы Zimmer AG	17
2.2.1.2. Процесс и оборудование фирмы Aquafil Engineering GmbH для синтеза ПА 6	29
2.2.2. Процесс и оборудование синтеза полигексаметиленадипамида	32
2.3. Полиэферы	34
2.3.1. Полиэтилентерефталат	34
2.3.1.1. Синтез на основе диметилтерефталата по четырехреакторной схеме	35
2.3.1.2. Синтез на основе диметилтерефталата по двухреакторной схеме	42
2.3.1.3. Синтез полиэтилентерефталата поликонденсацией терефталевой кислоты и этиленгликоля	44
2.3.2. Полибутилентерефталат	60
2.3.3. Политриметиленгликольтерефталат	67
2.3.4. Полилактид	68
2.3.5. Вспомогательное оборудование установок синтеза полимеров	78
2.3.5.1. Установки для приготовления и ввода катализаторов и аддитивов	78
2.3.5.2. Установки для приготовления теплоносителей	79
2.3.5.3. Системы вакуумирования реакторов	83
2.3.5.4. Оборудование для гранулирования полимеров	85
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>91</i>

**ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И АППАРАТУРНОЕ
ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОН И НИТЕЙ 92**

3.1. Технологические схемы и оборудование для получения волокон 92

 3.1.1. Двухстадийный (периодический) процесс 92

 3.1.2. Непрерывный процесс получения волокна 102

3.2. Технические решения по оформлению процессов получения волокон 108

3.3. Технологические схемы процессов получения синтетических нитей. 117

 3.3.1. Предориентированные нити 119

 3.3.2. Текстурированные нити 130

 3.3.3. Совмещенные процессы формования и ориентационного вытягивания 156

 3.3.4. Технические нити. 161

Контрольные вопросы и задания 172

**ГЛАВА 4. ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
ПОЛИМЕРОВ К ФОРМОВАНИЮ 174**

4.1. Процессы и оборудование для повышения молекулярной массы полимеров 174

 4.1.1. Жидкофазная дополиконденсация 174

 4.1.2. Твердофазная дополиконденсация 176

4.2. Сушильное оборудование, кристаллизаторы, металлоуловители, обеспыливающие устройства, вибросита 185

4.3. Подготовка к формованию поликапроамида 191

4.4. Устройства для экструдирования полимеров 192

 4.4.1. Одношнековые и многошнековые экструдеры с одно- и многозаходными шнеками 197

 4.4.2. Экструдеры со шнеками барьерного типа 200

 4.4.3. Экструдеры с динамическими смесительными устройствами 201

 4.4.4. Экструдеры с дегазирующими устройствами 203

 4.4.5. Системы темперирования экструдеров 210

 4.4.6. Дополнительное оборудование для экструдеров 212

4.5. Системы фильтрования расплавов полимеров 214

4.6. Устройство систем пневмотранспорта 220

Контрольные вопросы и задания 229

ГЛАВА 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ВОЛОКОН И НИТЕЙ.	231
5.1. Реологические явления при течении расплавов в канале отверстий фильеры	232
5.2. Расплавопроводы, статические гомогенизирующие устройства, формовочные балки	238
5.3. Формовочные устройства	242
5.3.1. Комплектация формовочных устройств	243
5.3.2. Дозирующие насосы	244
5.3.2.1. Типы и устройство дозирующих насосов	245
5.3.2.2. Контроль подготовки дозирующих насосов к работе	250
5.3.3. Фильерные комплекты	250
5.3.3.1. Комплектующие фильерных комплектов	251
5.3.3.2. Устройство и типы фильерных комплектов	252
5.3.3.3. Фильтрующие материалы для фильерных комплектов	256
5.3.3.4. Фильеры	259
5.4. Системы охлаждения сформованных нитей	263
5.5. Способы и оборудование для нанесения препаратов	269
5.6. Вытяжные устройства машин совмещенного формования с вытягиванием	273
5.7. Приемно-намоточные устройства	276
5.7.1. Конструкции приемно-намоточных механизмов	281
5.8. Оборудование для получения модифицированных нитей на стадии формования методом «мастер-батч»	286
5.9. Оборудование вспомогательных отделений	292
5.9.1. Системы обогрева современных линий формования	292
5.9.2. Отделение приготовления препаратов	294
5.9.3. Фильерно-насосное отделение.	296
<i>Контрольные вопросы и задания.</i>	299

ГЛАВА 6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ НИТЕЙ К ПЕРЕРАБОТКЕ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ. 300

6.1. Намоточно-вытяжные машины	300
6.2. Машины двойного кручения.	304
6.3. Тростильно-крутильные машины	316
6.4. Сновально-вытяжные агрегаты	321

6.5. Оборудование для получения пневмотекстурированных нитей	324
6.6. Оборудование для получения нитей с фасонными эффектами	338
6.7. Перемоточные машины	344

<i>Контрольные вопросы и задания</i>	352
--	-----

ГЛАВА 7. ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ 353

7.1. Особенности и аппаратурное оформление процесса формирования микрофиламентных волокон и нитей	355
7.2. Профилированные волокна и нити	365
7.3. Высокоизвитые и неизвитые волокна	369
7.4. Волокна различной длины резки	373
7.5. Бикомпонентные и многокомпонентные волокна	376
7.6. Волокна со скользким грифом	384
7.7. Волокна и нити с пониженной горючестью	386
7.8. Антимикробные волокна и нити	389
7.9. Волокна высокоусадочные, с повышенной крашиваемостью, малопиллингуемые	393
7.10. Улучшение литевых свойств полиэтилен-терефталата	395
7.11. Свето- и термостабилизация поликапроамида способом опудривания	397
7.12. Модификация полипропиленовых волокон, нитей и пленок	398
7.13. Способы модификации свойств нетканых материалов	399
7.14. Концентраты для модификации полимеров	401

<i>Контрольные вопросы и задания</i>	407
--	-----

ГЛАВА 8. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ 408

8.1. Тенденции в области потребления полипропилена	408
8.2. Особенности производства полипропиленового волокна	412
8.3. Оборудование для производства полипропиленовых нитей	415

<i>Контрольные вопросы и задания</i>	417
--	-----

ГЛАВА 9. ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	418
9.1. Пленочные нити	418
9.2. Мононити	425
9.3. Жгутовые нити коврового назначения	434
<i>Контрольные вопросы и задания.</i>	456
ГЛАВА 10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	457
10.1. Экструзия плоских пленок	457
10.2. Экструзия рукавных пленок	459
10.3. Созэкструзия	467
10.4. Конструктивные особенности линии получения биаксиальноориентированной плоской многослойной пленки	469
10.5. Конструктивные особенности созэкструзионных установок для получения рукавной многослойной пленки способом двойного раздува.	478
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	484
ГЛАВА 11. НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРЯМОГО ФОРМОВАНИЯ ИЗ РАСПЛАВА	485
11.1. Фильтрный способ получения материалов типа спанбонд	485
11.2. Прямое формование тонких волокон способом раздува расплава	486
11.3. Композитные многослойные нетканые материалы	490
11.4. Оборудование для получения нетканых материалов типа спанбонд	491
11.5. Оборудование для скрепления нетканых материалов струйным способом	507
11.6. Линия получения полиэфирной основы кровельных материалов	511
11.7. Производители оборудования для получения нетканых материалов	517
11.8. Новые разработки в области нетканых материалов.	522
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	525

ГЛАВА 12. ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ И РЕЦИКЛИНГА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ	526
12.1. Направления использования вторичных полимеров	529
12.2. Способы и оборудование для утилизации полимерных отходов	531
12.3. Комплектные линии для переработки бутылок	543
12.4. Комплектные линии получения вторичного гранулята	547
12.5. Способы рециклинга отходов полиэтилентерефталата на стадии синтеза полимера	553
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	556
ГЛАВА 13. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА, ТЕКУЩЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И НАЛАДКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	557
13.1. Особенности технологии ремонта высокопроизводительного непрерывно действующего оборудования	557
13.2. Современные системы для диагностирования состояния оборудования	565
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	576
ЛИТЕРАТУРА	577
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	579

Учебное издание

Жмыхов Иван Николаевич
Гальбрайх Леонид Семенович
Акулич Александр Васильевич и др.

**ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА
ВОЛОКНИСТЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

С электронным приложением

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *Н.В. Кузьменкова, Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректоры *О.В. Ракицкая, Т.К. Хваль, Т.В. Кульнис*
Компьютерная верстка *И.В. Войцехович*

Подписано в печать 26.11.2013. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Офсетная печать. Усл. печ. л. 31,08.
Уч.-изд. л. 33,8 + 1,3 (электр. прил.) Тираж 400 экз. Заказ 2395.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Филиал № 1 открытого акционерного общества «Красная звезда».
ЛП № 02330/0494160 от 03.04.2009. Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.