

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет

**Академические чтения
в Томском государственном университете**

Выпуск 1

В.М. Бузник

**СОВРЕМЕННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
НА ПРИМЕРЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ**

Томск
2012



УДК 678.5
ББК 30.3:24.72
Б90

Серия выходит с 2012 года

Предисловие В.В. Козика

Бузник В.М.

Б90 Современное материаловедение на примере фторполимеров / под ред. проф. В.В. Козика. – Томск : Томский государственный университет, 2012. – Вып. 1. – 42 с. – (Академические чтения в Томском государственном университете).

ISBN 978-5-94621-340-0

В лекции рассмотрены особенности строения и свойств фторполимерных материалов – класса искусственных полимеров, в которых водород частично или полностью замещен на фтор.

Уникальные свойства фторполимеров определили их широкое применение в различных отраслях. Более активное их использование сдерживается рядом технических, технологических, экологических и экономических факторов. Фторполимерное материаловедение практически исчерпало свой инновационный потенциал, сегодня идет интенсивный поиск новых типов фторполимерных продуктов и технологических приемов, устраняющих существующие ограничения. Именно эти новшества и обсуждаются в лекции. Особенности развития фторполимерного материаловедения рассматриваются как общие закономерности всего современного материаловедения.

Для студентов, аспирантов, специализирующихся в области химии, химической технологии, материаловедения, а также исследователей, уже работающих в материаловедении и смежных областях.

УДК 678.5
ББК 30.3:24.72

© Бузник В.М., 2012
ISBN 978-5-94621-340-0 © Томский государственный университет, 2012



Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Tomsk State University

Academic lecturing at Tomsk State University

Issue 1

V.M. Buznik

CONTEMPORARY MATERIALS CHEMISTRY THROUGH THE EXAMPLE OF FLUOROPOLYMERS

Tomsk
2012



УДК 678.5
ББК 30.3:24.72
Б90

The series has been issued since 2012

Introduction by V.V. Kozik

Buznik V.M.

Б90 Contemporary materials chemistry through the example of fluoropolymers / ed. by prof. V.V. Kozik – Tomsk : Tomsk State University, 2012. – Issue 1. – 42 p. – (Academic lecturing at Tomsk State University).

ISBN 978-5-94621-340-0

The lecture deals with the peculiarities of the structure and properties of fluoropolymer materials – a class of regenerated polymers in which hydrogen is replaced by fluorine partially or completely.

Unique properties of fluoropolymers have determined their being used widely in various spheres. More active usage of them is restrained by a number of technical, technological, environmental and economic factors. Fluoropolymer materials chemistry has practically depleted its innovative potential, and today new types of fluoropolymer products and technological methods that make it possible to avoid existing restrictions are being searched for. It is the innovations that are discussed in the lecture. The peculiarities of developing fluoropolymer materials chemistry are viewed as general objective laws of contemporary materials chemistry.

The book is intended for students, post-graduate students, specializing in the field of chemistry, chemical technology, materials chemistry, as well as for those who provide researches in the sphere of materials chemistry and neighbouring fields.

УДК 678.5
ББК 30.3:24.72

ISBN 978-5-94621-340-0

© V.M. Buznik, 2012
© Tomsk State University, 2012



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
Роль науки в развитии общества	9
Науки о материалах	9
Определение материаловедения	11
Классификация материалов	13
Что такое фторполимеры?	15
Как были открыты фторполимеры	16
Свойства политетрафторэтилена	17
Области применения политетрафторэтилена	18
Недостатки политетрафторэтилена	19
Класс фторполимерных материалов	20
Производство фторполимеров	22
Библиометрические показатели исследований фторполимеров	24
Экспериментальные методы исследования фторполимеров	26
Теоретическая интерпретация экспериментальных данных	27
Новые подходы во фторполимерном материаловедении	28
Нано- и ультрадисперсные порошки политетрафторэтилена	28
Растворение низкомолекулярного политетрафторэтилена в сверхкритическом диоксиде углерода	32
Фторирование углеводородных полимеров	34
Интеллектуальная собственность	37
Продвижение материала на рынок	37
Обобщающие соображения о современном материаловедении	38



CONTENTS

Introduction.....	7
The role of science in society development	9
Materials sciences	9
The definition of materials chemistry	11
The classification of materials	13
What are fluoropolymers?.....	15
The discovery of fluoropolymers.....	16
The properties of polytetrafluorethylene.....	17
The spheres of usage of polytetrafluorethylene	18
The drawbacks of polytetrafluorethylene.....	19
The class of fluoropolymer materials	20
Fluoropolymers production	22
Bibliometric data of research into fluoropolymers	24
Experimental methods of research into fluoropolymers	26
Theoretical interpretation of experimental data.....	27
New approaches in fluoropolymer materials chemistry	28
Nano- and ultradisperse powders of polytetrafluorethylene	28
Incision of low molecular polytetrafluorethylene in supercritical carbon dioxide.....	32
Fluorination of hydrocarbon polymers	34
Intellectual property.....	37
Promoting the material at the market.....	37
General remarks concerning contemporary materials chemistry.....	38



ПРЕДИСЛОВИЕ

Основой настоящей публикации стала лекция, прочитанная на I Дальневосточной междисциплинарной молодежной научной конференции «Современные методы научных исследований», в которой академик В.М. Бузник в доступной форме рассказал молодым ученым нематериаловедческой специальности о современном материаловедении. В аудитории присутствовали и материаловеды, которых лектор не хотел обижать утрированным изложением известных истин. Изречение общих положений, касающихся материаловедения, могло показаться слушателям скучным и надуманным, поэтому в качестве темы изложения автор выбрал конкретный класс материалов – фторполимеры.

Обращение к этим материалам связано с профессиональной деятельностью автора; кроме того, дальневосточные ученые внесли достойный вклад в развитие отечественного фторполимерного материаловедения. Таким образом, тематика лекции стала интересной для аудитории: и действующие лица знакомые, и лектор имеет достаточный профессионализм в обсуждаемом предмете.

Молодому исследователю, желающему специализироваться в области материаловедения, кроме общего анализа предмета, важно получить конкретные рекомендации, поэтому, исходя из анализа фактов, характерных для фторполимерного материаловедения, сделаны специальные обобщающие выводы, которые характеризуют современное материаловедение в целом и могут быть использованы в будущей исследовательской деятельности.

*В.В. КОЗИК,
доктор технических наук,
профессор*



INTRODUCTION

The present paper is based on the lecture delivered at I Far East Interdisciplinary youth scientific conference «Contemporary methodology of scientific research», in which it was necessary to tell young scientists of non-material specialties about contemporary materials chemistry in a comprehensible way. There were experts in materials chemistry at the lecture so the lecturer did not want them to feel embarrassed while listening to exaggerated commonplace truth. Discussing general issues concerning materials chemistry might seem boring for the audience to listen to, so a particular class of materials, fluoropolymer, was chosen.

The choice is caused by the author's professional activity; apart from this, Far East scientists made a considerable contribution to the development of national fluoropolymer materials chemistry. Thus, the topic of the lecture became interesting for the listeners as they were familiar with it, and the lecturer was experienced enough to discuss the subject.

It is important for a young researcher, whose specialty is materials chemistry, to get not only general knowledge of the field but also specific recommendations, that is why basing on the analysis of the data characteristic of fluoropolymer materials chemistry the author has made specific generalized conclusion characterizing contemporary materials chemistry as a whole which can be used in research.

*V.V. KOZIK,
PhD, professor*



РОЛЬ НАУКИ В РАЗВИТИИ ОБЩЕСТВА

Наука необходима для обеспечения развития человечества, желательно устойчивого. Ее предназначение – получение новых знаний, которые могут быть использованы для достижения различных целей. В первую очередь это: формирование культуры и мировоззрения как отдельных народов, так и мирового сообщества в целом; создание основы образования и просвещения; понимание устройства и развития окружающего мира, сообщества, а также человека как индивидуума. Особое предназначение науки – развитие производительных сил, обеспечивающих экономический и социальный прогресс человечества. Есть еще один фактор, при том очень важный, – удовлетворение любопытства. Человек – представитель единственного биологического вида, нацеленного на постоянное познание, на удовлетворение персонального и всечеловеческого любопытства, на преодоление вызова неизвестности через знания.

- ❗ **Вывод: наука должна не только формировать культуру и мировоззрение, удовлетворять потребность природного любопытства, но и приносить практическую пользу.**

НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ

В материальном мире науки о материи всегда были и будут относиться к категории важных наук. Разнообразие форм, свойств материи обуславливает большое число научных направлений, связанных с материаловедением (к примеру, физика, химия, механика и др.). Особенность материаловедения состоит в интегрировании отдельных наук; область его деятельности обширна: получение материалов и изучение их строения, исследование всего комплекса их свойств, выявление возможных областей и способов применения.

В рыночных условиях материаловеды должны непременно владеть такими компетенциями, как технологический и эко-



номический анализ промышленного производства, знание вопросов практического применения и коммерческой реализации разработанных и производимых материалов.

Значительная доля прикладных и околонуучных действий в материаловедении подталкивает некоторых членов научного сообщества усомниться в принадлежности материаловедения к науке, во всяком случае, к фундаментальной.

Однако это сомнение может быть опровергнуто англоязычным наименованием материаловедения – materials science. Можно также напомнить, что в последние десятилетия многие Нобелевские премии по химии и физике были присуждены за открытие новых материалов (например, высокотемпературные сверхпроводники, электропроводящие полимеры, фуллерены, графе и др.).

Значимость материалов состоит в том, что их наличием определялись успехи различных отраслей деятельности человечества. Особо наглядно это демонстрирует информатика. Первый в истории этап передачи информации (петрографический) был связан с природными материалами – камнем, на котором люди оставляли информацию в виде рисунков. Второй этап начался с появления глиняных табличек, которые уже создавал сам человек, на них информация хранилась в письменной форме. Следующий этап связан с изобретением бумаги, чернил, красок, что привело к книгопечатанью.

Создание материалов для электроники позволило заносить, хранить и передавать информацию в электронном виде. Именно материалы микроэлектроники позволили создать компьютерную технику. Каждый из отмеченных материаловедческих этапов отмечался взрывным скачком в развитии информатики.

! **Вывод: науки о материалах относятся к категории важнейших, они играли и будут играть важную роль в развитии многих направлений деятельности человечества.**



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Для полноценного анализа заявленной темы лекции необходимо дать определение материаловедению и понятию материала, ибо, как утверждают философы, *неназванное не может быть познанным*. Имеется много дефиниций термина «материал», но наиболее удачная, с точки зрения автора, на которую мы будем ориентироваться, дана академиком И.В. Тананаевым: «Материалы – это химические соединения, которые обладают свойствами, обеспечивающими их практическое применение».

- ❗ **Вывод: задача материаловеда не только получить новое вещество, но и изучить его строение и свойства, создать базу для практического применения материала.**

Как в таком определении материаловедение соотносится со смежными науками? Технологам интересуют получение химических соединений; первый левый овал на рис. 1 можно отнести к препаративной химии. Классических химиков зачастую интересуют выявление причинно-следственных связей в треугольнике *состав – строение – свойства*, для них в большей степени важны познание и понимание нового о веществах, чем практическое применение. Эту область можно отнести к фундаментальной (познавательной) химии, при этом она должна плотно сопрягаться с физикой, механикой и другими науками.

В поле зрения современного материаловедения находятся области и способы практического применения материалов (рис. 1). Для того чтобы схема работала, все ее элементы должны быть взаимоувязаны, лишь в этом случае можно добиться успеха, что отображает обобщающий овал (см. рис. 1). Следовательно, хороший материаловец, как, впрочем, и технолог, и химик, должен разбираться во всех элементах схемы. Узкая специализация опасна, она приведет к ситуации, описанной в медицинском анекдоте: «Укол делают двое: один знает куда, а другой – как». Образно говоря, материаловец, в отличие от химиков и физиков, в обязательном порядке должен быть «многосторонним».



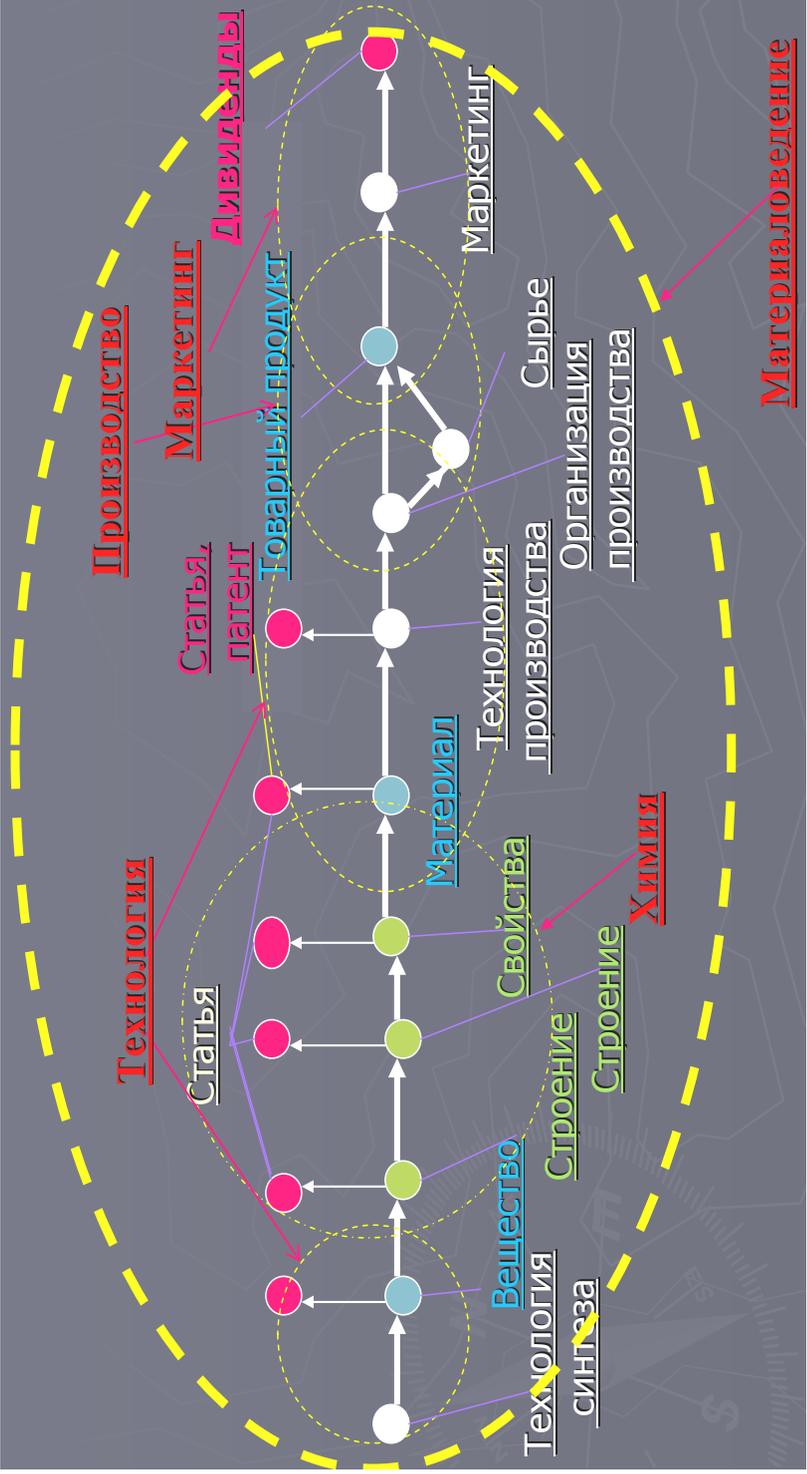


Рис. 1. Схема разделов материаловедения их взаимосвязь



борцем», хотя и у него могут быть свои любимые и, как правило, наиболее успешные дисциплины. По этой причине в университетских курсах материаловедов, к примеру, на факультете наук о материалах МГУ, наряду с химическими дисциплинами усиленно изучаются математика и физика.

! **Вывод: материаловедение – интегрирующая наука, взаимосвязанная со многими другими науками и видами деятельности, а материаловед должен обладать широким спектром познаний и навыков.**

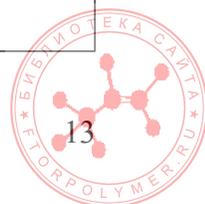
КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Большое число и разнообразие материалов, существующих в природе и созданных человеком, требуют их соответствующей классификации. Классификаций много, и они строятся на разных принципах. В табл. 1 приведена еще одна классификация, основанная на степени переработки исходного сырья для получения материала, иными словами, на антропогенности пердела.

Т а б л и ц а 1

Классификация материалов по антропогенности пердела

Тип материала и степень пердела	Сырье	Роль науки	Способ производства
Материалы простого химического пердела	Природное	Наблюдения, эксперименты	Ремесленнический
Материалы углубленного химического пердела	Природное	Научные исследования	Промышленный
Антропогенные материалы высокого химического пердела	Природное	Глубокий научный анализ	Промышленный
Полностью антропогенные материалы с высоким физическим и химическим перделом	Искусственные элементы	Полный научный анализ	Лабораторный



В материаловедении за его многовековую историю менялись методы и приемы передела исходного сырья, разрабатывались и вводились различные технологии.

Первым типом материалов можно считать природное сырье, которое подвергалось относительно простому переделу (например, выплавка металла из руды). При этом использовался случайный эмпирический опыт, появившийся при разработке технологии передела. Первоначально производство носило ремесленнический характер, а затем трансформировалось в промышленную форму.

Второй тип материалов получается более углубленной переработкой природного сырья (к примеру, производство полимеров): вначале из естественного углеводородного сырья (нефть, газ) получают углеводородные продукты, из которых уже синтезируются полимеры. В этом случае технологии строятся на серьезных и специальных научных исследованиях. Производство осуществляется крупномасштабным, промышленным способом.

Третий тип материалов – это антропогенные продукты, не имеющие природных аналогов, хотя они и производятся из природного сырья. Ученые разработали процессы синтеза, которые в природе не реализуются по тем или иным причинам. Примером такого типа материалов и являются фторполимеры. Производство их имеет промышленный характер.

Четвертый тип материалов – полностью искусственные как по сырью, так и получаемым соединениям. Таковыми могут быть химические вещества из искусственных элементов, получаемых ядерно-физическими методами. Эти вещества на данный момент интересны лишь в фундаментальном (познавательном) плане, получают их преимущественно в лабораторных условиях. Роль науки в создании и производстве таких материалов основополагающая.

В производстве материалов третьего и четвертого типов наиболее ярко проявляется творческая компонента человека, по-



сколько создается то, чего нет в природе. Лауреат Нобелевской премии Ж.И. Алферов в одном из выступлений сказал, что ученый в какой-то степени подобен создателю.

! **Вывод: человечество идет по пути усложнения технологии получения материалов, привлекая все новые научные знания, это позволяет получить антропогенные материалы, не имеющие природных аналогов.**

ЧТО ТАКОЕ ФТОРПОЛИМЕРЫ?

Фторполимеры – высокомолекулярные антропогенные химические соединения, не имеющие природных аналогов, они по строению аналогичны углеводородным полимерам, в которых водород частично или полностью (перфторированные полимеры) замещен на фтор. Эти соединения относятся к третьему типу материалов (см. табл. 1). Большинство фторполимеров синтезируют из фторуглеродных молекул, именуемых фторолефинами, полимеры имеют цепочечное строение, в каждой макромолекуле может быть до нескольких миллионов звеньев.

Почему отсутствуют природные аналоги фторполимеров? В природе углерод и водород встречаются во многих органических и неорганических соединениях, включая слабосвязанные и легко разлагаемые, в этом случае велика вероятность «встречи» этих элементов с образованием полимерных веществ углеводородного типа. Фтор – более редкий элемент, в природе он встречается лишь в минералах, прежде всего во флюорите, где находится в сильносвязанном состоянии. Для извлечения фтора из минерала требуются значительные усилия, практически не реализуемые в природе. Природное образование фторуглеродных соединений имеет место лишь в вулканических процессах, но получение полимеров в этом случае невозможно. Сказанное делает понятным отсутствие природных фторполимеров.

! **Вывод: фторполимеры – антропогенные химические соединения, не имеющие природных аналогов.**



КАК БЫЛИ ОТКРЫТЫ ФТОРПОЛИМЕРЫ?

В современных условиях создание новых материалов является результатом нацеленного поиска; к примеру, конструктор заказывает материаловедам химические соединения с определенным набором свойств, которые могут быть использованы в устройстве, после чего начинаются поиск и создание требуемого материала. Однако иногда материал открывают случайно, а бывает, и вопреки существующим представлениям. Отсутствие природных аналогов создало всеобщее представление о том, что фторполимеры не могут существовать, поэтому их никто и не пытался получить. Первый фторполимер (политетрафторэтилен – ПТФЭ) был синтезирован случайно Р.Дж. Планкеттом, занимавшимся исследованием фреонов в компании «Дюпон». Утром 6 апреля 1938 г. он обнаружил, что в одном из баллонов, где под давлением находился газообразный тетрафторэтилен ($\text{CF}_2 = \text{CF}_2$), упало давление, но вес баллона не изменился. После вскрытия баллона в нем обнаружили белый, жирный на ощупь порошок – произошла полимеризация с образованием ПТФЭ. Как стало понятно из последующих исследований, газообразный тетрафторэтилен может полимеризоваться под давлением при наличии веществ, называемых *инициаторами*. По-видимому, грязь одного из баллонов стала инициатором. Это было настолько неожиданным, что автор открытия выразил сомнение в перспективе практического применения ПТФЭ.

Сюрпризы ПТФЭ не закончились открытием, впоследствии они неоднократно повторялись. Оказалось, что ПТФЭ – единственный из всех полимеров, который «извергает» волокнистые продукты из точки воздействия лазерного луча на блочный образец, т.е. при взрывном прессовании порошка ПТФЭ образуются волокнистые продукты. Полимер, обладая очень низкой радиационной стойкостью в блоке, при облучении расплава существенно меняет свои свойства, в частности,



на четыре порядка возрастает износостойкость и на порядки – радиационная стойкость.

! **Вывод:** новые материалы могут быть получены в результате целенаправленных исследований, но могут быть открыты случайно. Важно не пройти мимо случайного открытия. Если синтезированный материал «сюрпризный», то вам повезло и в научном отношении.

СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Многие из свойств ПТФЭ оказались удивительными для полимеров, что сделало его практически важным материалом и опровергло предсказания первооткрывателя о его бесперспективности. Некоторые характеристики материала приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Физико-химические характеристики политетрафторэтилена

Характеристика	Величина	Характеристика	Величина
Плотность, г/см ³	2,15–2,25	Показатель преломления	1,375
Температура, °С: стеклования размягчения разложения	127 327 >475	Теплопроводность, кал/г · м · с	0,22
Удельная теплоемкость, кал/г · °С	0,25	Коэффициент трения по стали	0,05
Удельное объемное сопротивление, Ом · см	>10 ¹⁸ –10 ²⁰	Удельное поверхностное сопротивление, Ом · см	>10 ¹⁷
Водопоглощение за 24 часа, %	0	Влагонепроницаемость, кг/с · м · Па	(6,3 ÷ 12,6) · 10 ⁻¹⁵
Температура эксплуатации, °С	260–269	Относительное удлине- ние при разрыве, %	250–500
Разрушающее напряже- ние, кгс/см ² : растяжение сжатие изгиб	140–350 120 110–185	Модуль упругости, кгс/см ² : растяжение сжатие изгиб	4 100 7 000 4 700–8 500
Горючесть	Не горит	Атмосферная стойкость	Отличная
Грибо- и тропикостойкость	Хорошая	Радиационная стойкость, Мрад	2
Химическая стойкость	Отличная	Техническая обработка Окраска	Хорошая Отличная



Из приведенного набора отметим самые необычные свойства. Во-первых, полимер отличается необычной химической стойкостью и способен противостоять практически всем известным агрессивным веществам и растворителям, за что был наречен эпическим термином *органическая платина*. Каждый помнит из школьного курса химии, что плавиковая кислота (HF) хранится во фторопластовой таре. Материал проявляет небывалую для полимеров термическую стойкость: диапазон его функционирования без потери эксплуатационных характеристик колеблется от -269 до $+260^{\circ}\text{C}$. ПТФЭ обладает наименьшим из известных химических веществ коэффициентом трения, за что занесен в Книгу рекордов Гиннеса как самый скользкий материал. Полимер не стареет и имеет прекрасную водную и атмосферную стойкость. Он негорюч и хорошо обрабатывается. ПТФЭ – один из немногих искусственных материалов, который проявляет биосовместимость в отношении живых тканей. Известны его прекрасные электроизоляционные свойства и антиадгезионные характеристики. Для него характерны низкая теплопроводность и небывало низкая вязкость расплава.

! **Вывод:** антропогенный политетрафторэтилен – полимер, обладающий набором уникальных физико-химических свойств.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Естественно, что уникальный набор свойств ПТФЭ определил его применение во многих сферах деятельности. Благодаря высокой химической стойкости, он активно используется в атомной и химической промышленности в качестве материала, стойкого к агрессивным средам. Прекрасные трибологические характеристики определили применение материала в качестве антифрикционного в различных устройствах, включая спортивные снаряды, автотранспорт. Ультрадисперсные



порошки ПТФЭ используются в качестве антифрикционных и протекторных добавок в различные машинные масла. Полимер применяется в качестве изоляционных материалов в радио- и электротехнике. Биосовместимость позволяет использовать фторполимеры в медицине в качестве материалов для трансплантатов (искусственные сердечные клапаны, кровеносные сосуды).

! **Вывод:** если материал имеет набор уникальных свойств, то его практическое применение гарантировано, притом во многих отраслях.

НЕДОСТАТКИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Как и всякий материал, ПТФЭ обладает и недостатками, которые, как и его достоинства, вытекают из особенностей молекулярного и супрамолекулярного строения. Недостатки можно классифицировать по направлениям. Технические ограничения состоят в плохой адгезии: к материалу ничто не прилипает, что, с одной стороны, прекрасно, но при этом материал трудно нанести на поверхность изделия. Полимер обладает хладотекучестью (деформируется под давлением при низких температурах), это недостаток для конструкционного материала, но достоинство при использовании его в качестве герметика. Для ПТФЭ характерны слабая износостойкость и низкая радиационная стойкость. Технологические ограничения ПТФЭ состоят в высокой вязкости расплава и нерастворимости полимера, что исключает применение жидкофазных технологий, хорошо разработанных и широко применяемых в производстве. К этому же разделу следует отнести и сложность переработки отходов из-за химической и термической стойкости полимера. Экологическое ограничение ПТФЭ состоит в большом числе отходов, только по России они составляют сотни тонн; отходы не подвергаются повторному переделу. Основное же ограничение полимера носит экономический характер: высокая сто-



имость ПТФЭ, в десятки раз превосходящая стоимость основных углеводородных полимеров.

! **Вывод:** всякий, даже уникальный материал обладает недостатками, ограничивающими его применение; для широкой практической реализации материал должен не только обладать прекрасными свойствами, но и быть технологичным, экономичным и экологичным.

КЛАСС ФТОРПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отмеченные выше лимитирующие факторы частично были устранены синтезом других фторполимеров. На первом этапе синтезировались гомополимеры (полимеры, образованные из мономеров одного типа) на базе поливинилфторида ($\text{CH}_2=\text{CHF}$), поливинилиденфторида ($\text{CF}_2=\text{CH}_2$), политрифторхлорэтилена ($\text{CF}_2=\text{CFCl}$) и др. Затем были синтезированы сополимеры, в которых макромолекулы представлены комбинацией разных гомополимеров. В каком-то смысле сополимеры можно представить кентавром, цепочечные макромолекулы которого составлены из разных по химическому составу частей. Большинство фторполимеров имеют кристаллическую упорядоченность, но были синтезированы и полностью аморфные фторполимеры.

Новые фторполимеры, образованные путем синтеза, частично устраняли недостатки ПТФЭ, например, связанные с переработкой отходов, износостойкостью, но каждый вновь полученный фторполимер уступал базовому по совокупности физико-химических показателей. Были получены и стали промышленно производиться композиты на основе фторполимеров с различными наполнителями. Создано более трех десятков видов фторполимеров и более сотни промышленных марок.

Древо фторполимерных материалов и продуктов изображено на рис. 2. Для разработки технологий и организации производства фторполимеров потребовалось соответствующее развитие смежных научных и технических специальностей и фундамен-



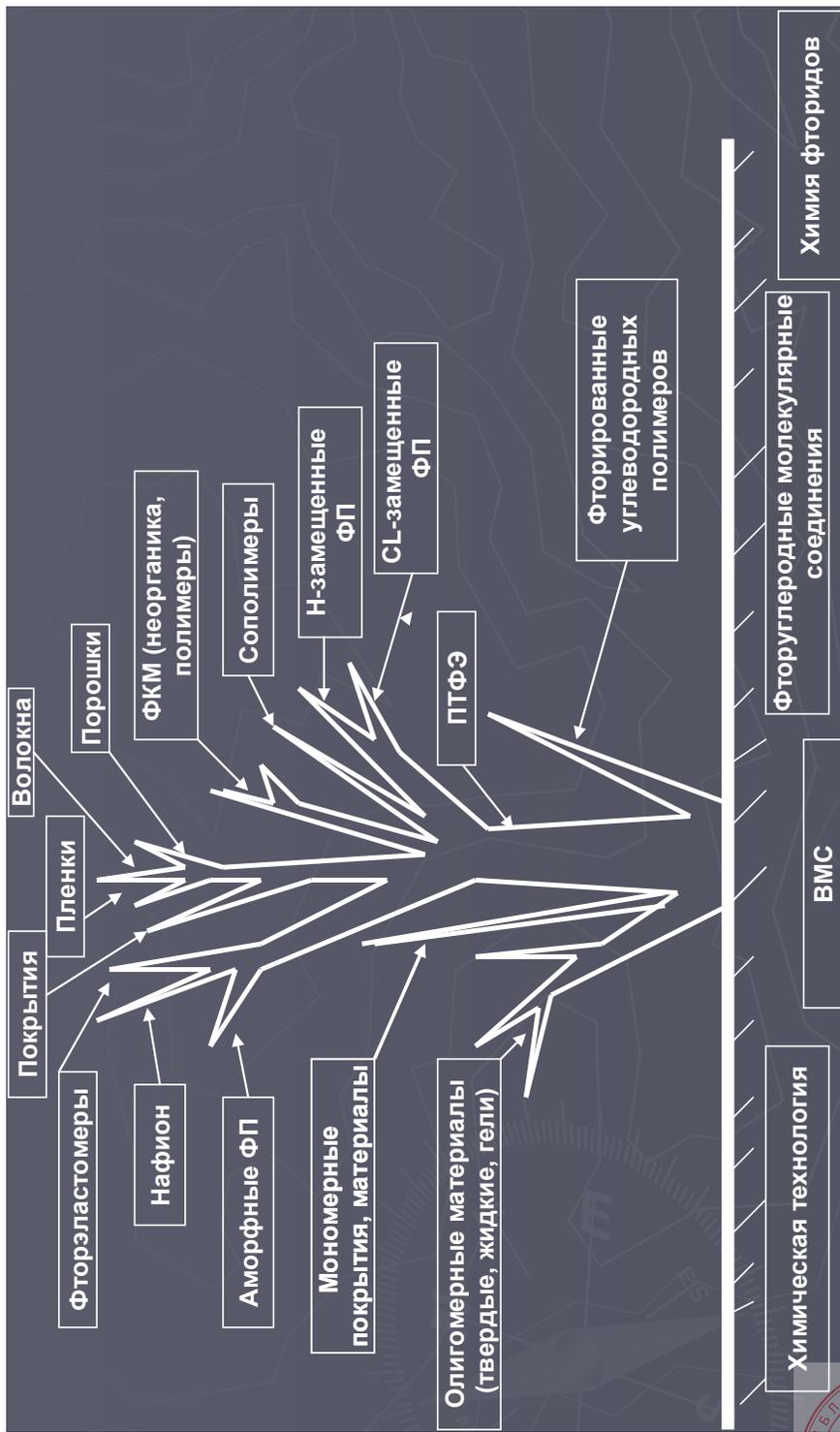


Рис. 2. Фторполимерное «дерево»

тальных научных направлений. «Фторполимерное древо» произросло из знаний, полученных в химии и технологии высокомолекулярных соединений, химии фтора, химической технологии.

! **Вывод: получив новый материал, исследователь должен постараться создать целый класс материалов, что позволит расширить возможности практического применения, устранить ограничения, имеющиеся у нового материала.**

ПРОИЗВОДСТВО ФТОРПОЛИМЕРОВ

Применение и промышленное производство ПТФЭ было организовано достаточно быстро. В Советском Союзе о полимере узнали по вкладышам в подшипниках автомобилей, полученных по ленд-лизу из США. Существенным импульсом организации промышленного производства полимера стал тот факт, что материал, в силу химической стойкости, идеален для химических реакторов, в которых проводилось фторирование урановых соединений для получения гексафторида урана (UF_6). Последний, будучи газообразным при обычных температурах, необходим для разделения изотопов урана. Полимер сразу попал в список стратегических материалов и был засекречен. В Советском Союзе материал производился на предприятиях Министерства среднего машиностроения, были разработаны и промышленно реализованы собственные технологии.

Производство фторполимеров является высокотехнологичным, долгое время их выпускали лишь страны – члены ядерного клуба. Общий мировой объем производства фторполимеров в весовом исчислении невелик (0,1–0,2% производства всех полимеров), но по капитализации он заметен – более двух миллиардов долларов США в год. В последние годы наблюдается устойчивый рост производства и потребления фторполимеров (рис. 3), это отображает их перспективность как товарных продуктов.



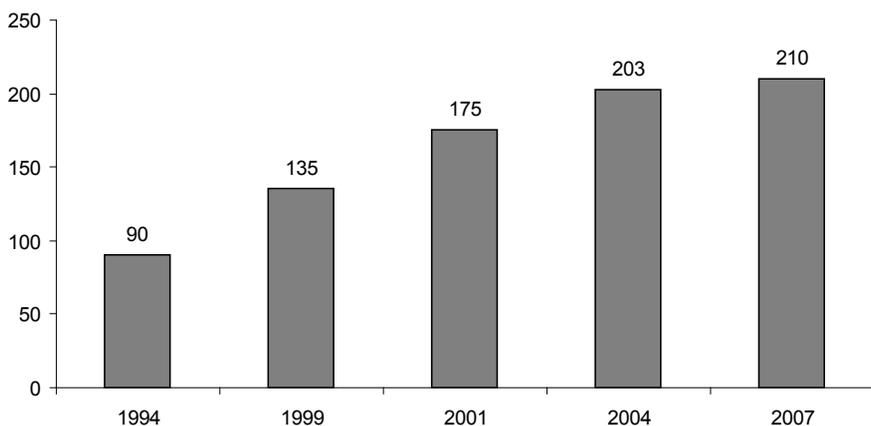


Рис. 3. Динамика мирового производства фторполимеров (слайд из презентации А.Л. Виллемсона ООО «ГалоПолимер»)

Всю историю развития фторполимерной науки и производства можно разбить на два этапа: «синтетический» (1938–1988 гг.), связанный с синтезом новых типов фторполимеров, и «модернизационный» (1988 г. – наше время), когда стали производиться новые продукты (порошки, волокна, пленки, композиты и др.) из уже существующих фторполимеров. Ситуация характерна и для других полимеров, по-видимому, она является общей для материаловедения. На первом этапе производство велось исключительно на крупных промышленных предприятиях. Особенностью второго этапа стало появление малых инновационных предприятий, производящих товарную продукцию, не интересную, в силу малого объема, большим предприятиям. Во многих случаях производство таких продуктов было организовано исследователями или людьми, имеющими опыт разработки и производства фторполимеров.

В мировой практике сложилось многообразие наименований фторполимеров, к примеру, ПТФЭ, выпускаемый компанией «Дюпон», именуется тефлоном, а продукт ООО «Завод полимеров Кирово-Чепецкого химического комбината им. Б.П. Константинова» – фторопластом-4 (Ф-4), во Франции – сорефлоном, в Японии – полифлоном, в Англии – флюо-

ном, в Италии – альгофлоном, в Германии – хостафлоном. Есть и другие аббревиатурные обозначения фторполимеров.

! **Вывод:** показателем практической перспективности материала в рыночных условиях может быть рост его производства и потребления, но могут быть ситуации, когда материал устойчиво используется в специальных целях, несмотря на значительную стоимость и малый объем производства. Высокотехнологичные материалы могут производиться на малых инновационных предприятиях с участием разработчиков продуктов и технических специалистов.

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ ФТОРПОЛИМЕРОВ

Если в практическом плане показатель перспективности материала – динамика потребления, то в исследовательском – библиометрические данные, поскольку они определяют внимание научного сообщества к объекту, выражаемое в количестве патентов и статейных публикаций. Очевидно, что материаловед должен «мониторить» библиометрический портрет материала, что вполне возможно при использовании международных баз библиометрических данных. Более того, материаловед должен быть в курсе всех новшеств, связанных с материалом.

Мировая динамика публикаций по исследованиям фторполимеров представлена в верхней части рис. 4. Впервые термин «фторполимер» появился на информационном поле в 1946 г., однако почти сорок лет публикации о нем практически отсутствовали в силу военной и коммерческой секретности. Активизация публикаций совпала с окончанием синтетического этапа развития фторполимерного материаловедения. «Золотая жила» истощилась, и потребовались напряженные исследовательские



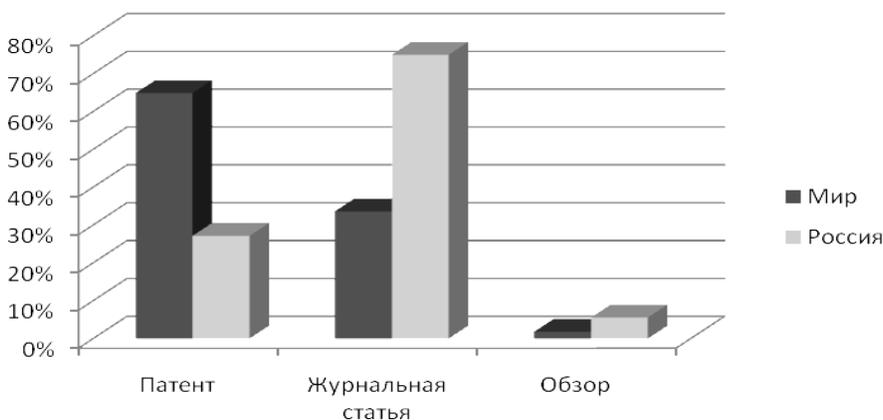
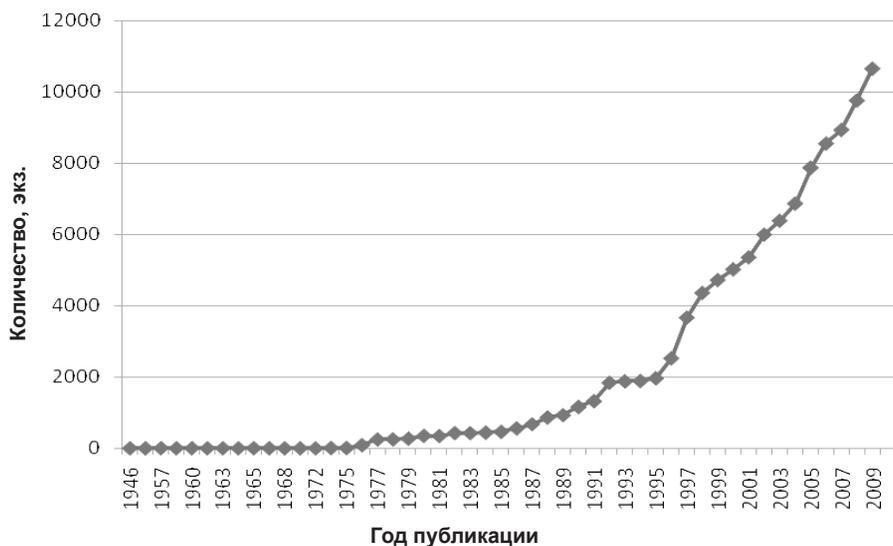


Рис. 4. Количественный и качественный анализ публикаций по исследованиям фторполимеров

поиски новых подходов и приемов во фторполимерном материаловедении. Из 116 тысяч публикаций, обнаруженных в международных базах данных, за период 2000–2009 гг. опубликовано более 75 тысяч работ (65%). Наблюдаемый ныне взрыв количества публикаций говорит об актуальности фторполимеров в глазах научного сообщества. Качественный состав мировых и отечественных публикаций представлен на гистограмме, налицо существенное различие характера публикаций в мире и в России. Если в мировой практике доминируют патенты, то в

русской – журнальные статьи. Отечественные исследователи предпочитают работать на химическом, а не на материаловедческом поле.

! **Вывод:** материаловед должен вести мониторинг библиометрического портрета материала и быть в курсе всех новшеств, связанных с этим материалом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФТОРПОЛИМЕРОВ

Предназначение научной части материаловедения состоит в понимании строения и свойств материалов, в создании основ их осмысленного синтеза и управлении свойствами, что возможно лишь при наличии комплекса научных исследований с применением различных экспериментальных методов. Экспериментальные методы можно разделить на три группы: методы исследования строения материалов; методы изучения свойств материалов; методы изучения технологических процессов.

Первая группа включает микроскопические, спектроскопические (оптические, рентгеноспектральные, радиоспектроскопические), дифракционные методы, позволяющие получить информацию об атомарном, молекулярном и супрамолекулярном строении вещества, включая энергетику и топологию макромолекул, устанавливать особенности морфологического строения материалов.

Методы второй группы позволяют получить информацию о механических, трибологических, электрофизических, термических, оптических и других свойствах материалов, без чего невозможно их практическое использование.

Фторполимеры очень сложны в строении, для них характерна сильная вариабельность строения, что, естественно, влияет на свойства и применение материала и технологию производства. Для изучения столь сложных объектов необходимо использование набора всех существующих методов исследований.



! Вывод: для изучения строения и свойств материалов необходимо их комплексное исследование с привлечением максимального числа экспериментальных методов. Чем сложнее строение материала, тем больше требуется методов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Хотя эксперимент – критерий истины, теоретическая интерпретация экспериментальных данных в материаловедении очень важна. Она обеспечивает понимание строения объектов, делает «зрячим» процесс их получения, обеспечивает исследованиям логичность и осмысленность, а поиск материалов делает целенаправленным. Однако всегда следует помнить, что теоретическая интерпретация связана с модельными расчетами, а потому является упрощением реальности.

В случае фторполимерных материалов можно выделить три типа теоретических расчетов.

1. *Квантовохимические расчеты молекулярного строения*, включая топологию и энергетику макромолекул; такие исследования системно ведутся в Институте химии ДВО РАН. В частности, расчеты позволили понять стереохимическое строение фторолигомеров, выявить особенности процессов замещения атомов водорода на фтор при фторировании углеводородных полимеров.

2. *Расчеты на основе статистических подходов* (Монте-Карло, молекулярная динамика), которые позволяют понять особенности супрамолекулярного строения – как макромолекулы взаимодействуют между собой.

3. *Расчеты по механике сплошных сред* обеспечивают описание свойств фторполимерных макрообъектов.

! Вывод: в материаловедении важна теоретическая интерпретация экспериментальных данных с привлечением модельных расчетов.



НОВЫЕ ПОДХОДЫ ВО ФТОРПОЛИМЕРНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Уже отмечалось, что фторполимерное материаловедение в последние двадцать лет переориентировалось в сторону модифицирования существующих полимеров с целью получения новых товарных продуктов. Интересы материаловедов сконцентрировались в следующих направлениях: получение ультра- и наноразмерных порошков и волокнистых материалов; разработка жидких и гелеобразных продуктов, содержащих фторполимерные олигомеры (макромолекулы малых размеров); разработка способов нанесения наноразмерных фторполимерных покрытий; улучшение потребительских характеристик существующих фторполимеров.

! Вывод: для материалов, во всяком случае, полимерных, характерен этап модифицирования, состоящий в получении новых товарных продуктов путем модифицирования уже известных.

НАНО- И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЕ ПОРОШКИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Наряду с промышленным синтезом существует несколько способов получения ультрадисперсных порошков ПТФЭ: фотополимеризация газообразного мономера, радиационно-механическая обработка блочного полимера, пиролитический передел полимера, лазерная абляция блочного полимера. Детально остановимся на получении порошка из газофазной среды фторуглеродных соединений, полученной пиролизом блочного фторполимера. Метод был разработан в Институте химии ДВО РАН, что интересно для данной аудитории.

Реальность способа оказалась неожиданной, поскольку бытовало убеждение, что при температурах выше 475°C ПТФЭ разлагается с преимущественным выделением газообразного



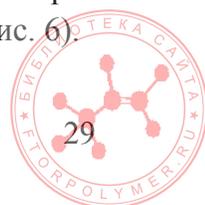
мономера (C_2F_4), который не склонен к самополимеризации, о чем писалось в научных статьях и книгах. Это еще один сюрприз, преподнесенный ПТФЭ.

Обнаружение возможности получения порошка произошло, как обычно для тефлона, случайно: при изучении термических свойств неорганических фторидов перегрелась деталь реактора, изготовленная из ПТФЭ, что привело к появлению фторполимерного порошка. Можно было бы не обращать внимания на этот факт, как делали многие, но было проявлено любопытство, позволившее разработать оригинальную технологию. Схема процесса изображена на рис. 5.

Удалось создать условия, которые обеспечивают в среде газообразных фторуглеродных продуктов пиролиза появление наноаэрозолей за счет нуклеативных и конденсационных процессов. В реакторе появлялся туман – свидетельство образования частиц, рассеивающих свет. Как показали исследования, наноаэрозоли имеют размер 20–50 нанометров. Далее процесс роста наночастиц идет двумя путями: увеличение размера частиц до микронного значения за счет конденсации на поверхности наноаэрозолей и процесса коалесценции (слипание) наноаэрозолей.

Таким образом, появляются сплошные и блочные моночастицы со среднестатистическим размером порядка 500 нм. Моночастицы склонны к образованию агломератов размером 3–5 мкм и более крупных ассоциатов до десятков микрометров. Важной особенностью порошка является наличие двух типов политетрафторэтилена: высокомолекулярной компоненты (с молекулярной массой более сотен тысяч атомных единиц), образующей моночастицы, и низкомолекулярной компоненты (до тысячи атомных единиц), конденсирующейся на поверхности моночастиц в виде наноразмерного покрытия.

Порошок нашел применение в качестве добавок к машинным маслам, продукт имеет торговую марку ФОРУМ, его производство организовано в Институте химии ДВО РАН (рис. 6).



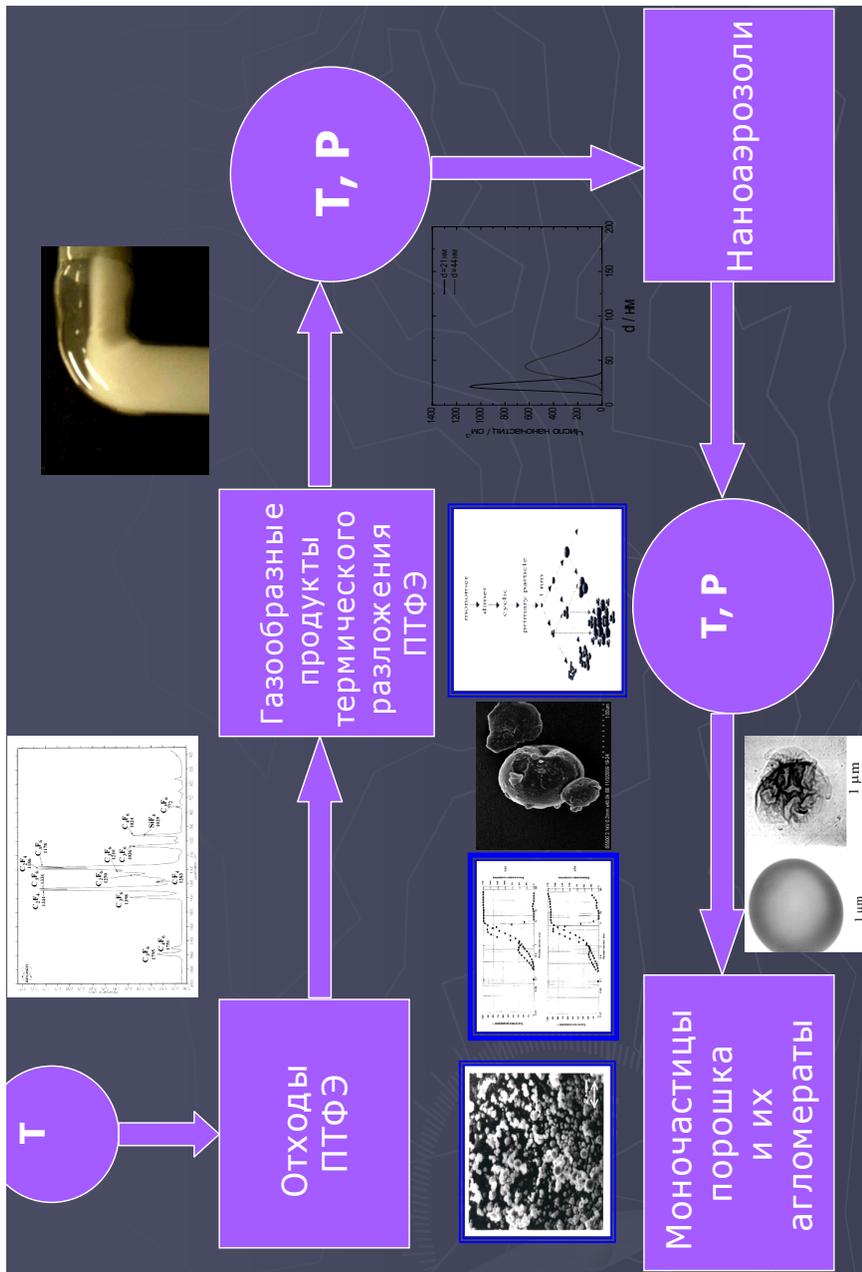


Рис. 5. Схема получения ультрадисперсного порошка ПТФЭ из газовой фазы



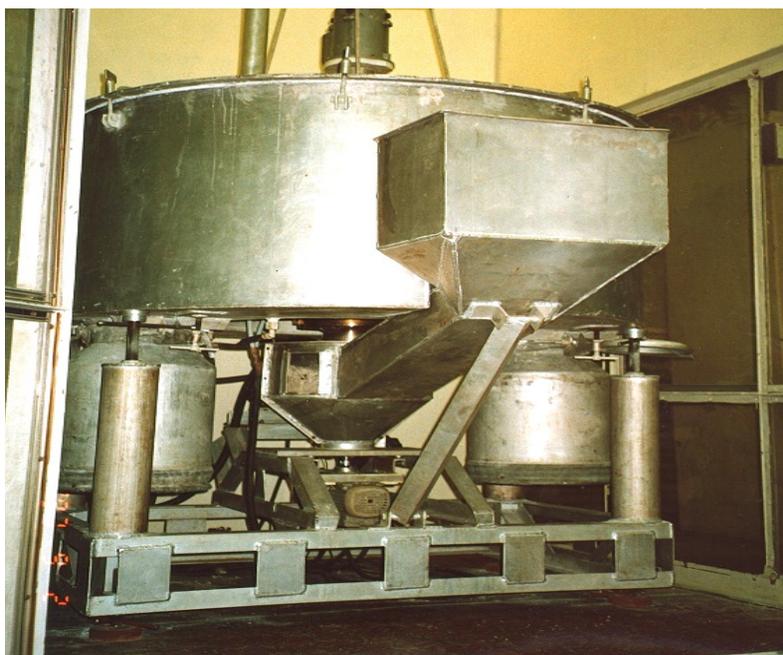


Рис. 6. Производство ультрадисперсного порошка ПТФЭ
в Институте химии ДВО РАН

! Вывод: излагаемые в книгах утверждения не есть абсолюты, они могут меняться по мере получения новых знаний. Обращайте внимание на мелочи, в них кроется не только «дьявол», но и возможные источники успеха. Полученные научные результаты можно воплотить в товарное производство даже в стенах научных организаций.

РАСТВОРЕНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

Низкомолекулярная фракция, фактически являющаяся фторпарафином, оказалась растворимой в сверхкритическом диоксиде углерода (СК- CO_2). Это важный момент, поскольку ПТФЭ не растворим и для него не применимы жидкофазные технологии. Технология позволяет наносить сверхтонкие фторполимерные покрытия толщиной 4–8 нм. Где нужны такие покрытия? В последнее время среди материаловедов модны сверхгидрофобные покрытия и поверхности, у которых краевой угол смачивания капли воды имеет значение более 150° . На таких поверхностях не сорбируется вода, более того, скатываясь, капля обеспечивает самоочищение поверхности. В природе подобными свойствами обладают листки лотоса («эффект лотоса»). Причиной сверхгидрофобности являются наличие бимодальной шероховатости на микронном и наноразмерном уровнях и гидрофобность материала. При создании искусственных сверхгидрофобных поверхностей не удастся совместить эти требования в одном материале. Как правило, удастся создать требуемую шероховатость поверхности, но материалы не оказываются гидрофобными. Если на такую поверхность нанести тонкий слой гидрофобного фторполимера, не меняющего рельефа, то выполняются условия сверхгидрофобности.

На рис. 7 приведено сопоставление поведения капли фосфорной кислоты на шероховатой поверхности нанографита, по-



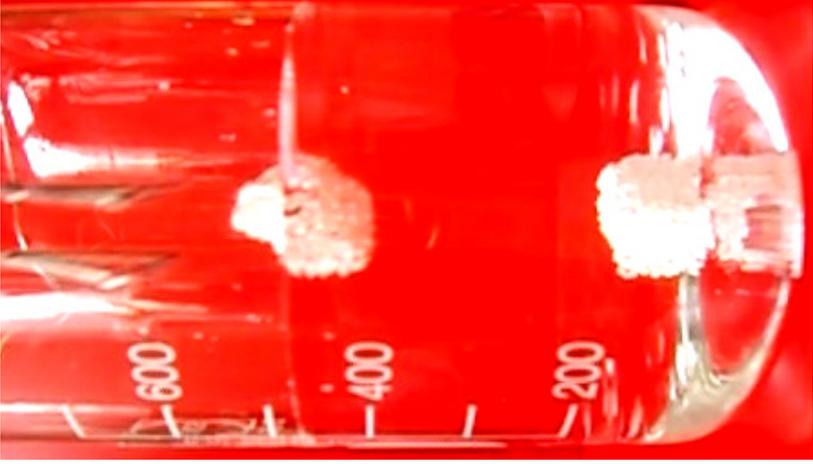
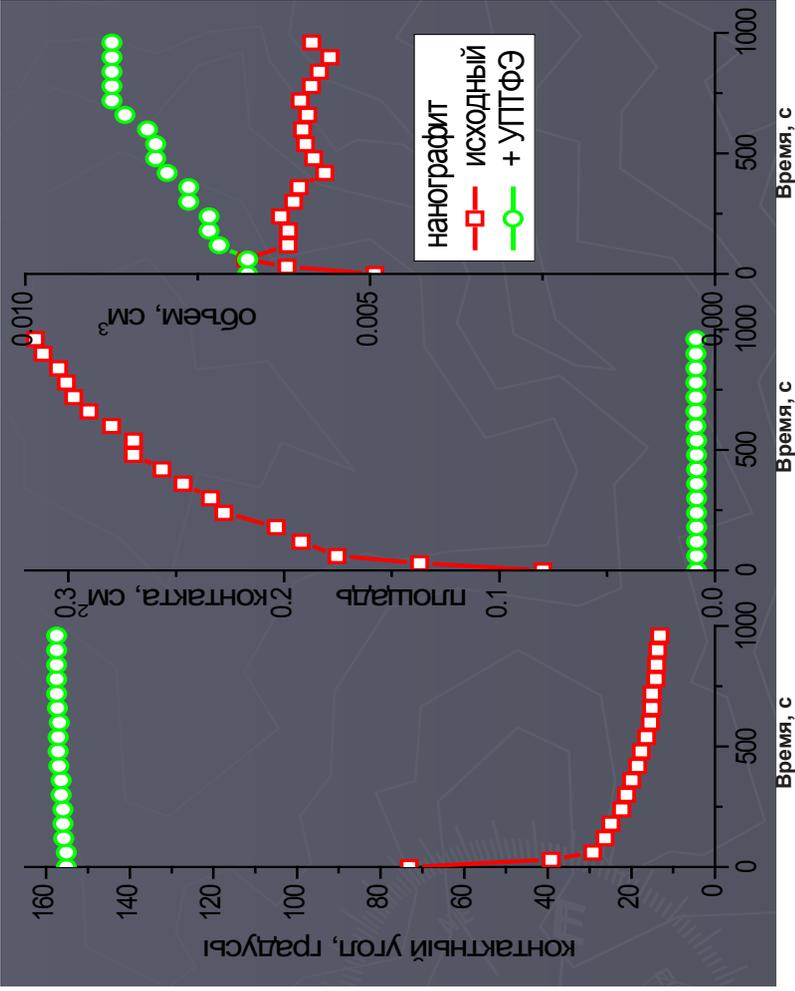


Рис. 7. Смачивание поверхности нанографита каплей фосфорной кислоты (левая часть) и демонстрация плавучести керамической губки при фторполимерной обработке образца (правая часть)

лученной плазмохимическим методом. Как видно, после обработки поверхности фторполимером угол смачивания равен 158° и длительное время сохраняется неизменным, то же происходит с площадью контакта капли с поверхностью. У контрольного образца, на который не наносился фторполимер, отмеченные параметры сильно меняются сразу после начала эксперимента.

Технология позволяет наносить фторполимерные покрытия не только на внешние, но и на внутренние поверхности. Это продемонстрировано на примере нанесения покрытия на керамическую губку из Al_2O_3 . Если контрольный образец, не подвергнутый фторполимерной обработке, при помещении в воду мгновенно тонет, поскольку капиллярный эффект обеспечивает активное проникновение воды в образец, то обработанный образец не смачивается и находится на поверхности длительное время (правая часть рис. 7). Отмеченные примеры демонстрируют потенциальную перспективу применения технологии.

! **Вывод: если материал обнаруживает новые, неожиданные, на первый взгляд, свойства, старайтесь найти способы практического применения материала.**

ФТОРИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Как отмечалось, основным ограничивающим фактором применения фторполимеров является их высокая стоимость, однако многие достоинства материала (протекторные, гидрофобные, трибологические) и изделий из него определяются поверхностными свойствами. В этой связи возникает соблазн: профторировав поверхность изделия из дешевых углеводородных полимеров, придать ему поверхностные свойства фторполимера. Образно говоря, можно мечтать об изделиях из полиэтилена, поверхностная часть которого превращена в политетрафторэтилен. В этом случае при сохранении малой стоимости изделие будет обладать свойствами дорогих фторполимеров. Фториро-



вание можно осуществлять с помощью ряда неорганических фторирующих соединений (XeF_2 , VF_5 , TbF_4 и др.). В этом случае фторид разлагается с выделением атомарного фтора, который замещает водород в углеводородном полимере. Другой способ – использование молекулярного фтора, однако в силу его высокой реакционной способности в процессе используют инертный буферный газ. Меняя концентрацию фтора в газовой смеси, давление, время фторирования, можно регулировать процесс замещения, а соответственно и свойства обрабатываемой поверхности. Реакция замещения происходит сложным образом, механизм которого удалось понять, используя набор физических методов исследования и квантовохимические расчеты.

Процесс фторирования углеводородных полимеров сразу не оправдал надежд. При фторировании образцов полипропилена и полиуретана последние обнаруживают более высокую олиофильность, хотя ожидался обратный эффект. Это факт, как выяснили исследования, связан с неполным замещением водорода на фтор в макромолекулах, при этом образуются дополнительные электрические диполи, взаимодействующие с зарядами молекул масел и нефти и обеспечивающие увеличение сорбции. При последующем фторировании ситуация выстраивается в ожидаемом направлении. Оказалось, что увеличение олиофобности модифицированных полимеров может иметь полезное применение: фторированием пористого полиуретана удалось повысить сорбционные способности материала по нефтепродуктам в смеси вода – нефть. Такие материалы могут быть использованы для устранения последствий нефтяных разливов. На рис. 8 показано влияние фторированной обработки на сорбционные способности пористого полиуретанового материала.

! **Вывод: не всякая красивая идея может привести к ожидаемому результату, но и в этом случае следует попытаться применить обнаруженный эффект.**



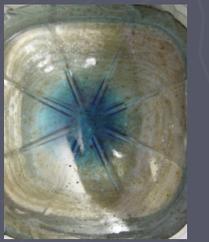
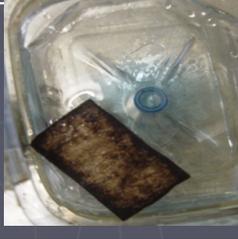
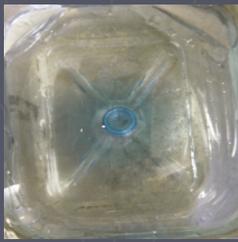
Образец а	Модификация	Пленка нефти на поверхности воды	ПМ в начале опыта	ПМ в конце опыта	Очищенная поверхность воды
ПМ	не проводилась				
ПМ F ₂	фторирование				

Рис. 8. Демонстрация сорбции нефтепродуктов на поверхности воды (контрольный и фторированный образцы пористого полимерного материала)



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Поскольку основная цель материаловедения – практическое применение материала, включая его производство и коммерческую реализацию, то вопрос интеллектуальной собственности для материаловеда не является праздным. Имеется несколько форм регистрации интеллектуальной собственности: патенты, «ноу-хау», торговая марка, полезная модель и др. Каждая из них имеет достоинства и недостатки. К примеру, патент публично фиксирует приоритет разработчика, но в то же время информирует общественность об изобретении, привлекая внимание возможных конкурентов. Многие изобретения, включая довольно известные, не патентуются; используется их охрана в форме «ноу-хау», но и эта форма хоть и не привлекает внимания конкурентов определенное время, не всегда достаточна для полной защиты.

Выбор оптимальной формы охраны интеллектуальной собственности связан с набором конкретных факторов и обстоятельств, связанных с характером разработки (материала), намерениями исследователя (изобретателя), состоянием рынка и пр. Разработчик совместно с профессиональным патентоведом должен определить оптимальную форму охраны интеллектуальной собственности. В этой связи вспоминаются слова из песни: «Думайте сами, решайте сами – иметь или не иметь».

! **Вывод: интеллектуальная собственность на материал – это его состав, способы получения, возможное применение и устройства.**

ПРОДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА НА РЫНОК

Высокотехнологичные продукты, включая материалы, выходят на рынок двумя способами: первый вытекает из заказов и потребностей рынка, а второй – из научно-технических знаний. Соотношение разработок, реализованных этими методами, судя



по статистическим данным, равно 4:1. Причина неравенства в том, что в первом случае рынок знает о продукте, ждет его, тогда как во втором – продукт неизвестен, никто его не ждет, а зачастую его появлению оказывается сопротивление. Очевидно, что для материаловеда желательны знание потребностей рынка и их учет на всех этапах материаловедческой деятельности. Новые научные разработки реализуются в том случае, когда продукт является принципиально новым, на рынке нет аналогов и конкурентов. Такая ситуация возникла в свое время с персональными компьютерами и мобильными телефонами.

! **Вывод:** материаловед должен знать потребности рынка и учитывать их в своей деятельности, даже на первом (исследовательском) этапе.

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ О СОВРЕМЕННОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Наука не только формирует культуру и мировоззрение, удовлетворяет потребность природного любопытства человечества, она должна приносить и практическую (экономическую, социальную, техническую) пользу.

Материаловедение – древнейшая наука, сопровождающая человечество с начала его производственной и бытовой деятельности. На первых этапах оно было связано с ремесленничеством, затем плотно сопряглось с промышленным производством. Если вначале материаловедение представлялось набором знаний и опыта исключительно из производственной деятельности, то позднее оно сформировалось в специальную деятельность со всеми атрибутами науки (специальные экспериментальные исследования, достоверные количественные измерения, теоретическая и модельная интерпретация, использование специального оборудования и т.д.).

Материаловедение всегда было тесно связано со многими сферами деятельности человечества: промышленное и сель-



скохозяйственное производство, все виды транспорта, добыча сырья, строительство, медицина, информатика, высокотехнологические отрасли, спорт, быт и пр. С другой стороны, материаловедение тесно сопряжено с другими науками, в первую очередь с химией, химической технологией (более того, оно происходит из химии и неразрывно с ней связано), а также с физикой (включая многие ее разделы), механикой и др.

Материаловедческая деятельность включает: разработку технологий и получение материалов (химические вещества, имеющие практическое применение); изучение строения и свойств материалов (познавательная химия); выявление областей и способов применения новых материалов; разработку способов модифицирования материалов для совершенствования их полезных свойств и т.д.

Широкий спектр деятельности материалововеда требует навыков общения с людьми разных специальностей и социальных групп, опыта организации различных исследований, производства и коммерческой реализации созданных продуктов. Нацеленность на практически значимый продукт требует от материаловедов участия в изобретательской деятельности, знания вопросов интеллектуальной собственности.

Сложность строения многих материалов, а также процессов их получения диктует необходимость применения в исследованиях большого, желателенно полного, набора методов изучения строения вещества. В силу нацеленности материаловедов на практическое применение материалов, они должны изучать весь набор свойств материалов, что требует понимания существа и техники методов, знания соответствующих разделов науки (к примеру, тепло- и электрофизики, магнетизма, механики сплошных сред и др.).

Материаловедение является интегрирующей наукой, а материаловед должен быть подобен многоборцу, результаты его деятельности будут оцениваться не достижением в одной дисциплине, а по совокупности.



Тенденции современного материаловедения таковы, что человечество идет по пути усложнения технологии получения материалов, привлекая все новые научные знания, это позволяет получить уникальные антропогенные материалы, не имеющие природных аналогов. Следует помнить, что каждый материал, как и любой товарный продукт, имеет свой жизненный цикл, который можно продлить модифицированием.

Новые материалы могут быть получены в результате целенаправленного поиска и исследований, но могут быть открыты и случайно. Важно не пройти мимо счастливого случая. Если синтезированный материал «сюрпризный», то вам повезло в научном отношении, при этом если материал имеет набор уникальных свойств, то его практическое применение гарантировано и во многих отраслях.

Всякий, даже уникальный материал обладает недостатками, ограничивающими его применение. Для широкого практического использования материал, кроме требуемых физико-химических свойств, должен быть технологичным, экономичным, экологичным, удобным в использовании. Получив новый перспективный материал, следует стараться максимально расширить класс веществ этого типа, новые материалы могут устранить недостатки первичного вещества и проявить новые достоинства.

Показателем практической перспективности материала в рыночных условиях является рост его производства и потребления, а мерой научного интереса (модности) – число публикаций и патентов. Материаловед должен вести мониторинг маркетинга и библиометрии материала, эти данные всегда должны учитываться, даже на первом (исследовательском) этапе.

В материаловедении, как и в других науках, могут быть модные течения, и этим надо пользоваться в разумных объемах и формах. Прислушиваясь к шумихе вокруг модного направления, следует «фильтровать» шум.

Далеко не всякая красивая материаловедческая идея (задумка) может привести к ожидаемому результату, но даже если



получен негативный результат, то и ему следует искать применение.

Из приведенных фторполимерных примеров следует, что неожиданные технологии могут быть реализованы, даже если в книгах пишут об их несостоятельности. Технологическим режимом можно варьировать строение и свойства материала. В материаловедении следует быть внимательным к мелочам, в них может таиться не только «дьявол», но и многие интересные вещи.

Высокотехнологичные материалы могут производиться, и достаточно масштабно, не только в больших фирмах, но и в малых и даже в академических институтах.

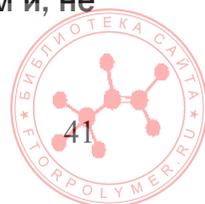
При решении материаловедческих задач наблюдайте за природой и учитесь у нее, она может подсказать решение многих задач.

При продвижении материала целесообразно иметь эффективные демонстрационные фокусы для воздействия на окружающих, включая специалистов. Старайтесь продемонстрировать не только эффективность материала (технологии), но и его (их) полезность, функциональную, технологическую и экономическую перспективность. Даже в случае получения негативных, с позиции ожидания, результатов, старайтесь найти им практическое применение.

Выбор формы охраны интеллектуальной собственности по материалу, технологии зависит от многих факторов и определяется самим разработчиком.

Сочетание исследовательской и предпринимательской деятельности требует схожих и противоположных качеств, которые трудно, но желательно сочетать в одной персоне. Если этого не происходит, надо искать партнеров, которые смогут профессионально восполнить ваши недостатки.

- ❗ **Главный же вывод: занимайтесь материаловедением. Это интересно, увлекательно, всегда модно и своевременно, это занятие может привести к успешным и, не исключая, материальным результатам.**



Научное издание

*Академические чтения
в Томском государственном университете*

Выпуск 1

Бузник Вячеслав Михайлович

**СОВРЕМЕННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
НА ПРИМЕРЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ**

Редактор – К.Г. Шилько

Корректор – П.А. Цыпилёва

Оригинал-макет – А.И. Лелююр

Дизайн обложки – О.А. Пчелинцев

Подписано к печати 27.01.2012 г. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 3,4. Тираж 250 экз. Заказ №

Отпечатано на оборудовании

редакционно-издательского отдела

Томского государственного университета

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. Корп. 4. Оф. 011

Тел. 8+(382-2)–52-98-49

ISBN 978-5-94621-340-0

