

## Симфония полимера

Учёные из [Научно-исследовательского физико-химического института им. Л. Я. Карпова](#) совершили революцию в трибологии, создав материал, имеющий низкий коэффициент трения и колоссальную износостойкость.

### Справка STRF.ru:

**Хатилов Сергей Амеэянович**, заведующий лабораторией радиационной стойкости полимерных материалов ФГУП Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова (ФГУП НИФХИ им. Л.Я. Карпова), доктор физико-математических наук.

### Как клин клином вышибали

“Недостатки – суть продолжение моих достоинств”, – мог бы сказать о себе политетрафторэтилен, и, действительно, химическая инертность групп  $CF_2$  (их в одной макромолекуле до 200 тысяч) является причиной сильных качеств полимера и одновременно с этим способствует его слабости – ползучести. “Я также неисчерпаем, как электрон”, – мог бы продолжить политетрафторэтилен, и, точно, науке по-прежнему неясна природа его рекордно низкой радиационной стойкости и низкой стойкости к истиранию.

При трении о сталь от этого полимера летят “перья”, хотя он и обладает самым низким коэффициентом трения. Имея самую высокую химическую стойкость и не разрушаясь под влиянием даже такой смеси, как азотная и соляная кислоты, он настолько плохо переносит радиацию, что погибает от доз, при которых ещё “здравствуют” бактерии.

Самый лучший диэлектрик, он пластичен и не трескается при механическом воздействии в области криогенных температур, но настолько ползуч, что при относительно небольшом давлении начинает необратимо терять форму.

### Справка STRF.ru:

**Политетрафторэтилен** (тефлон, фторопласт-4)  $(-C_2F_4-)_n$  – полимер тетрафторэтилена. Эта пластмасса, по виду напоминающая парафин или полиэтилен, обладает уникальными физико-химическими свойствами. Материал не разрушается под влиянием щелочей, кислот и даже смеси азотной и соляной кислот, остаётся гибким и эластичным при температурах от минус 196 до плюс 250 °С. Применяется в разных областях [науки](#), техники и в быту. Патент на изобретение тефлона принадлежит американской компании DuPont.

Однако “слабости” фторопласта-4 – не помеха к использованию привлекательных для промышленности характеристик, решили учёные и стали добавлять в полимер другие материалы, делая композиты. Правда, примеси действуют согласно поговорке “одно лечим, другое калечим”. Так, композиция увеличивает коэффициент трения, уменьшает стойкость полимера к агрессивной среде. Казалось бы, победить “недуги” материала, не портя его ценных свойств, невозможно. Однако учёные из лаборатории радиационной стойкости полимерных материалов [Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова](#) (НИФХИ) сумели создать уникальный по своим свойствам модифицированный фторопласт-4, который лишен слабостей, но сохраняет все свои

достоинства. Причём сделали это весьма оригинальным способом.

“Как это ни парадоксально, но для получения столь удивительной по свойствам модификации фторопласта-4 мы решили применить ионизирующее излучение, к которому, как известно, этот полимер крайне не стоек, и мы использовали эту его “слабость”. Нашу идею поддержала Роснаука, благодаря чему мы довели её до опытного производства”, – рассказывает заведующий лабораторией **Сергей Хатипов**. Результаты превзошли ожидания.

Материал применим во всех отраслях промышленности. К тому же он даёт пищу для новых конструкторских решений



**Сканирующий зондовый микроскоп «НаноСкан».** Позволяет изучать морфологию и измерять физико-механические свойства поверхности на уровне наноструктур (10 нм)

“Радиационная модификация фторопласта-4 имеет даже более низкий коэффициент трения, чем исходный материал, но по износостойкости превосходит его в 10–20 тысяч раз, что само по себе является революцией в трибологии! – объясняет **Сергей Хатипов**. – Новый материал обладает упругой реакцией на механическое воздействие, что приводит к многократному снижению ползучести. И самое удивительное – полимер стал стойко выдерживать радиационную нагрузку”.

Вопрос о природе столь необычной метаморфозы материала остаётся до сих пор не до конца изученным и требует исследований на фундаментальном уровне.

“Исследование радиационных модификаций фторопласта-4 проводятся в нашей лаборатории с помощью разных методов. На сегодняшний день мы поняли одну любопытную и простую вещь, – говорит **Сергей Хатипов**. – Многие в поведении фторопласта-4 становится понятным, если учесть “генетически” присущее ему свойство пористости”. Пористость объясняется способом изготовления материала. Обычные полимеры получают из расплава

порошка или гранул. А вот фторопласт-4 так не “добудешь”. Он не образует жидкого расплава ввиду высокой вязкости даже при температуре выше плавления, поэтому порошок сначала прессуют при комнатной температуре, а затем спекают в печах, разогретых до 380 °С. Несмотря на такие “горячие” условия, остаются пустоты между частицами порошка, которые сохраняются в материале в виде микропор размером до нескольких сотен нанометров.

“Именно осознание данного факта помогло нам приблизиться к решению загадки этого материала, – считает **Сергей Хатипов**. – С помощью

радиационного воздействия (что, собственно говоря, и представляет собой запатентованную разработку лаборатории) мы “залечиваем” микропоры и, тем самым, гомогенизируем морфологию материала. Объяснять же столь серьёзные изменения макроскопических свойств материала только радиационно-химическими процессами и реакциями представляется нам неверным”.

Кстати, первые публикации о возникающих необычных эффектах при воздействии радиации на политетрафторэтилен были выполнены именно в НИФХИ им. Л.Я. Карпова. “Любая работа подготавливается исторически. Мы были близки к пониманию процессов, связанных с модифицированием данного вещества: изучали его электрофизические, механические свойства, радиационную стойкость, – говорит Сергей Хатипов. – А дальше играет роль субъективный фактор. Мы очень хорошо понимали, что если сумеем избавиться этот полимер от недостатков, то сделаем большое дело для промышленности, науки, людей”.

## Радиационные модификации фторопласта-4 не имеют аналогов ни по технологии получения, ни по свойства



Разработка радиационных модификаций политетрафторэтилена отмечена золотыми и серебряными медалями на международных выставках

### Таких берут в космонавты

Практическая значимость этого полимера огромна. По тому, насколько широко используют фторопласт-4, можно судить о технологическом уровне развития страны. В наибольшем количестве этот материал используют США (35%), Западная Европа (Франция, Германия, Нидерланды и даже Швейцария в часовой промышленности, вкпе 31%), Япония (11%). Доля России на этом фоне пока не велика – всего 2%. “Дело в том, что этот полимер используют, как правило, в тех механизмах и устройствах, разработка которых требует высокого уровня развития технологий и к которым предъявляются особые требования по температуре,

химической стойкости, коэффициенту трения, диэлектрическим свойствам и прочее”, – поясняет Сергей Хатипов.

Материал этот или композит на его основе можно найти в хороших моделях компрессоров, насосов, бытовой технике: стиральных машинах, микроволновках... Заметим, материал, ещё не улучшенный разработанной в НИФХИ им. Л.Я. Карпова технологией. Практическое же применение модифицированного фторопласта-4 выглядит просто фантастическим.

### Справка STRF.ru:

Проект “Разработка технологии получения и создание опытного производства материалов и изделий нового поколения триботехнического и конструкционного назначения на основе модифицированного фторопласта-4” выполняется в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы”.

Радиационная стойкость нового материала позволяет использовать его в космической и атомной отраслях; устойчивость к трению – в авиационной, химической, нефтегазовой, автомобильной, машиностроительной и других отраслях промышленности. “Как уплотнительный материал он может использоваться в погружных насосах для добычи нефти, в компрессорах на газовых магистралях и подземных хранилищах, шаровых кранах на теплотрассах и в коммунальном хозяйстве и даже в качестве опор скольжения в конструкции мостов... – перечислять области применения можно долго. По сути, получив материал, с рекордно низким коэффициентом трения, обладающий упругостью, термо- и хемостойкостью, мы затрагиваем все отрасли промышленности. К тому же даём пищу для новых конструкторских решений”, – полагает Сергей Хатилов.

Радиационные модификации фторопласта-4 не имеют аналогов ни по технологии получения, ни по свойствам и в настоящее время проходят квалификационные испытания на ряде предприятий (в частности, в рамках совместных проектов с Роскосмосом и Росатомом). “В меру своих сил мы стараемся продвигать нашу разработку. С уверенностью могу сказать, данный материал даёт возможность конкурировать с любыми фирмами, в том числе и зарубежными”, – убеждён Сергей Хатилов.

## Новый материал обладает упругой реакцией на механическое воздействие, что приводит к многократному снижению ползучести

В конкурентной борьбе помогают не только улучшенные свойства материала, но и возможность создания нанокомпозитов на его основе. “Научившись модифицировать матрицу, мы теперь можем создавать целый спектр материалов, используя различные добавки, которые целевым образом формируют тот или иной комплекс свойств. Например, увеличивают теплопроводность, или эластичность, или жесткость, тем самым улучшая функциональные характеристики работы какого-нибудь устройства”.

Чем хороши именно нанокомпозиты? “Наноразмерные частицы могут взаимодействовать непосредственно с элементарными функциональными группами. Причём использование ионизирующего излучения позволяет инициировать процесс взаимодействия наночастиц с полимерной матрицей, – объясняет Сергей Хатилов. – Пока серьёзных работ в этом направлении я не знаю”. Создание радиационных модификаций нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена – одна из перспективных разработок лаборатории.

“Материаловедение – это музыка, которую можно исполнять на множестве октав, – говорит Сергей Хатилов. – Имея пластичный по природе материал, мы создаем полный набор его “звучаний” от очень жёсткого до очень эластичного”.

Светлана  $\Sigma$  Синявская