

---

ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 541.64:547.321

## ОПЫТ МАЛОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ ПОЛИТЕРФОРЭТИЛЕНА

© 2025 г. В. М. Бузник<sup>a</sup>, С. А. Хатипов<sup>b</sup>, А. К. Цветников<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup> Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук

119991 Москва, Ленинский пр., 31

<sup>b</sup> Общество с ограниченной ответственностью “Научно-производственное предприятие “Арфлон”

109456 Москва, 1-й Вешняковский пр-д, 2, стр. 1

<sup>c</sup> Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук

690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

\*e-mail: tsvetnikov@ich.dvo.ru

Поступила в редакцию 20.02.2025 г.

После доработки 04.03.2025 г.

Принята к публикации 19.03.2025 г.

Представлен обзор отечественного малотоннажного производства высокотехнологичных фторополимерных продуктов, организованного авторами разработок, с привлечением собственных фундаментальных исследований. Исходя из обретенного личного опыта авторов, обсуждается малое инновационное предпринимательство как одна из форм организации производства новых продуктов. Данная статья может быть полезной для научных исследователей, собирающихся реализовать свои знания и задумки в оригинальные, ликвидные продукты. Рассмотрены научные, технологические подходы, разработанные авторами для модификации политетрафторэтилена, позволившие получить уникальные фторополимерные продукты, которые удалось вывести на отечественные и зарубежные рынки. Высказаны конкретные рекомендации преодоления разнообразных проблем технического, организационного, финансового, коммуникационного характера, которые могут возникнуть при создании собственного малого инновационного производства. Отмечается необходимость постоянной кооперации исследовательской, производственной и коммерческой деятельности для достижения успеха и обеспечения поступательного развития созданного бизнеса.

DOI: 10.31857/S2308112025010042, EDN: KRWWZY

### ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных задач науки – практическое использование полученных исследователями знаний, но процесс внедрения сложный. Мировой опыт показывает, что только 33% перспективных идей доходит до технического решения, из них лишь 15% имеют удачную коммерческую разработку, и только 9% идей доходит до промышленного производства [1]. Несмотря на сложность реализации научных знаний, нынешний высокий уровень развития человечества во всех научно-технических сферах обнадеживает, и потому очевидна важность обнародования положительных успешных внедрений. В советский период имелся единственный вариант внедрения (термин, говорящий о необходимости приложения усилий для практической реализации) – на государственном предприятии. В настоящее время ситуация разнообразней. Один из появившихся способов – малое инновационное предпринимательство,

организованное для доведения разработок, нередко собственных, до товарного продукта. Авторы статьи имеют определенный опыт внедрения в рамках малого инновационного предпринимательства и хотят продемонстрировать возможность реализации собственных научных разработок до товарного продукта. В статье обсуждаются успешные примеры организации производства товарных продуктов из политетрафторэтилена (трафлона, фторопласта-4). ПТФЭ обладает рядом свойств, определивших его эксплуатационные возможности: уникальная химическая стойкость, высокая для полимеров термостойкость и широкий температурный интервал эксплуатации (−269° ... +260°C), рекордно низкий коэффициент трения, биосовместимость и т.д. Это определило широкое применение ПТФЭ: атомная и химическая промышленности, машиностроение, судо- и автомобилестроение, авиакосмическая техника, строительство, все виды транспорта, быт, спорт, медицина и т.д.

**Таблица 1.** Сопоставление качеств для исследований и предпринимательской деятельности

№ п/п	Качество	Исследователь	Предприниматель
1	Характер деятельности	Творческий	Творческий
2	Увлеченность	Полная отдача	Полная отдача
3	Требуемое усилие	Высокое	Высокое
4	Интеллектуальность	Высокая, но узкая	Широкая
5	Время отдачи	Длительная	Быстрая
6	Соблюдение правил	Абсолютная	Гибкая
7	Самооценка	Реалистичная	Субъективная
8	Коммуникативность	Сдержанная	Широкая, но активная
9	Специализация	Узкая, научного профиля	Широкая, многопрофильная
10	Удовлетворение	Морально-материальное	Преимущественно материальное
11	Обратная связь	Слабая	Сильная

Для материаловедения характерен, по-видимому, универсальный закон – даже самый совершенный материал имеет недостатки, и, естественно, ПТФЭ не исключение. Во-первых, полимер имеет малые радиационную стойкость и износостойкость, для него характерна хладотекучесть, это уменьшает его эксплуатационные достоинства. Во-вторых, плохая растворимость полимера и высокая вязкость расплава затрудняют возможность применения жидкофазных технологий, а плохая адгезия затрудняет нанесение Ф-4 на различные поверхности. Но основной ограничитель – высокая стоимость фторопластов, приводящая к тому, что потребители ищут более дешевые заменители и стремятся использовать меньшее количество дорогостоящего полимера.

Специалисты, занимающиеся ПТФЭ, считают его не только уникальным, но и “сюрпризным” объектом. Во-первых, он был случайно открыт при самопроизвольной полимеризации газообразного мономера  $\text{CF}_4$ , находившегося под давлением в баллоне, хотя бытовало мнение, что такой процесс невозможен. За ним водятся неожиданные проявления ряда свойств, два из которых будут рассмотрены ниже. Более детальный и углубленный анализ нынешнего состояния фотополимерного материаловедения и ПТФЭ, в частности, можно найти в коллективной монографии [2]. Что касается вопроса малого инновационного предпринимательства, то более развернутый анализ можно найти в работах [3, 4].

## СОВМЕЩЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Каждый тип деятельности требует от исполнителя ряда природных и приобретенных качеств, и должна быть комплементарность исполнения работы и удовлетворение исполнителя

от ее выполнения. Естественно, что требования к исследователю и предпринимателю могут отличаться, а могут ли они совмещаться в одном индивидууме и реализовываться одновременно? Требования, которыми должны обладать исследователи и предприниматели, анализировались в работе [3], из которой заимствована табл. 1.

Если человек имеет требуемые качества, то вполне могут совмещаться оба типа деятельности, особенно если они разнесены во времени. К примеру, В.К. Рентген после открытия X-лучей создал оборудование, позволявшее обнаруживать контрабанду в рулонах текстильной ткани, которыми были оснащены таможни. Вначале он провел исследовательскую работу, затем научные знания реализовал в коммерческой части. При одновременном выполнении обоих типов деятельности нагрузка удвоенная, зачастую исполнителю приходится разрываться и искать способы их сочетания; этого можно добиться высокой организацией и самодисциплиной.

Как следует из табл. 1, существуют совпадения и различия по качествам, необходимым исследователям и предпринимателям. Оба типа деятельности относятся к творческой. Если для исследований это очевидно, то в предпринимательстве это особенно характерно для инновационного бизнеса. Увлеченность (раздел 2) характерна для обоих деятельности. Для всякой творческой работы необходима полная отдача (раздел 3), и это наиболее трудный для совмещения раздел. В исследованиях необходима специализированная научная подготовка, что определяет высокую, но зачастую узкую интеллектуальность научного плана (раздел 4). В то же время предпринимательская деятельность требует широкой интеллектуальности во многих областях (экономической, политической, социальной). Что касается отдачи (раздел 5), то в науке это длительный период, поэтому, как утверждал А. Эйнштейн, “Люди

любят рубить дрова – сразу виден результат". В разделе 6 подходы различаются. Для научных исследований необходимо абсолютное соблюдение принятых норм и правил. "Служение науке учит скромности, соединенной с настойчивостью, и отучает от скороспелой заносчивости и рабства предубеждений" [5]. Что касается самооценок (раздел 7), то они различаются. Исследователь создает новое знание, и критерием его роста и самооценки являются профессиональные требования (доклады, публикации, ученыe степени и звания), а оценка происходит в довольно узком кругу специалистов. В то же время предприниматель создает инновационный продукт, который зачастую не имеет аналога на рынке, и потому задача не только произвести товар, но и суметь убедить потенциального покупателя приобрести его. Если спрос на товар растет, он приносит прибыль от широкого круга потребителей, то это конкретный и объективный критерий товара и его производителя.

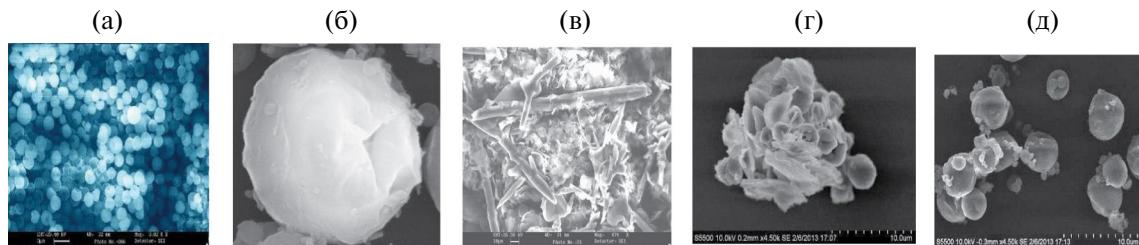
Предприниматель должен быть активным, нередко он агрессивен в продвижении своего дела, поскольку идет жесткая конкуренция и скромность может быть губительной для бизнеса. Занимаясь научными исследованиями, сотрудники зачастую работают в малых коллективах и имеют специфичный навык общения с людьми одинакового мировоззрения и схожей целеустремленности. По существу, имеет место клубное общение с зауженной коммуникативностью. Предприниматель же имеет более широкий круг общения с большим разнообразием участников, и для них характерна более разнообразная коммуникативность, без этого он может оказаться вне клиента и соответственно бизнеса. Что касается раздела 9, то исследователи, особенно в естественных науках, все время "копают" вглубь, иначе до нового не докопаешься, превращаются в узкопрофильных специалистов. Необходимость предпринимателя постоянно общаться с разными слоями и сферами требуют, чтобы он был многопрофильным. Что касается удовлетворения от деятельности (раздел 10), то у исследователей оно в большей степени моральное – чувство первооткрывателя, который занимается важной деятельностью. В то же время у предпринимателя оно в большой степени материальное. Обратная связь деятельности и результата исследователя слабая (раздел 11), особенно если он работает в фундаментальной сфере, результативность определяется преимущественно количеством публикаций и рейтингом издательств, а делать их даже в высокорейтинговых журналах ученые и помогающие им специальные структуры научились. В бизнесе ситуация иная, если поставленные задачи не достигнуты, то не поступят и деньги, и это может произойти очень быстро.

Успешное сочетание необходимых, но противоположных качеств в одном индивидууме – явление редкое, для этого необходимы как природные задатки, так и воспитание у себя новых навыков в результате жизненного опыта, связанных с практической деятельностью. Должен ли исследователь, планирующий заняться предпринимательством, пройти через тернии сам или достаточно обратиться к советам и мнению экспертов? Ответ можно найти в ироничном выражении, приписываемом Ж. Помпиду: "Существует три способа разорения: игра, женщины и доверие к экспертам. Первый – быстрый, второй – приятный, третий – надежный". Из него следует, что желателен собственный опыт и навык, и человек сам бы прочувствовал особенности и перипетии проблем и достиг состояния, когда смог найти выход. Успех укрепит веру в себя, а преодоление трудностей усиливает настойчивость и обеспечивает тренаж в поисках выхода. Однако это не значит, что следует пренебрегать опытом других, иначе можно попасть в ситуацию, отмеченную О. Бисмарком: "Мудрый учится на ошибках других". В связи с этим данная статья, основанная на успешном опыте исследователей, отправившихся в пучину предпринимательства, может быть полезной. Одной из фундаментальных особенностей высокотехнологического бизнеса являются постоянные изменения условий и обстоятельств, которые надо будет решать.

Необходимо отметить, что великие российские химики имели интерес к производству. Так, М.В. Ломоносов получил монопольное право на производство цветных стекол в России, и в 1753 году была заложена фабрика, конструктором и инженером которой был сам ученый. Из сваренной на ней смальты Ломоносов сам и по его указаниям ученики выполнили ряд мозаичных произведений, в числе которых цветная мозаичная картина "Полтавская баталия" (1762–1764). Что касается Д.И. Менделеева, то он попросил своего коллегу профессора Н.А. Меншуткина доложить на заседании Российского химического общества результаты исследования по периодической таблице химических элементов, а сам как член Императорского Вольного экономического общества инспектировал отечественные сырьевые производства.

#### МАЛОТОННАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Один из "сюрпризов" ПТФЭ в том, что длительное время существовало убеждение, что в процессе пиролиза блочного ПТФЭ (выше 415°C) молекулы полимера разлагаются до мономера тетрафторэтилена ( $C_2F_4$ ), который составляет



**Рис. 1.** Примеры изображения частиц УПТФЭ в зависимости от технологических режимов процесса: микрофотографии (ЭСМ) продукции (ТУ 2213-001-1525972-2016) “сухая смазка” ФОРУМ® (а), микрочастица ФОРУМ® (б), ФОРУМ®-2 (в) до 160°C, ФОРУМ®-3 (г) до 280°C, ФОРУМ®-4 (д) до 480°C.

более 90% газообразного выхода [6]. Наблюдающееся при этом отложение небольших количеств твердого вещества на холодных частях вакуумной линии ранее относили к повторной полимеризации, поскольку осадок появлялся после ловушек и фильтров [7]. Образование порошка ПТФЭ из мономера при полной термодеструкции ПТФЭ возможно при избыточном давлении тетрафторэтилена и наличии условий конденсации. Однако выход конечного продукта чрезвычайно низок, менее одного процента, что исключает практическое использование термического способа для производства порошкообразного ПТФЭ [8].

В Институте химии Дальневосточного отделения Российской академии наук было обнаружено явление переноса молекул низко- и высокомолекулярного ПТФЭ в газовую фазу в процессе термодеструкции ПТФЭ при  $500^{\circ} \pm 20^{\circ}\text{C}$  в потоке инертного газа с последующей конденсацией в виде нанопленок, которые могут компоноваться в многослойные микропленки, микротрубки или микросферы в зависимости от условий протекания процесса. Наибольший практический интерес вызвал порошок ПТФЭ с частицами в виде микросфер диаметром  $\sim 1$  мкм. Исследования показали, что ультрадисперсный порошок обладает полезными свойствами, и появилась необходимость глубже изучить не только строение, но и процесс сублимации, состояние и поведение газовой фазы фторуглеродов. Были проведены системные исследования набором физических методов: ИК-спектроскопия, КР-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия, ЭПР-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, туннельная микроскопия, рентгенофазовый анализ, дифференциальная термогравиметрия, калориметрия, хромато-масс-спектрометрия, проведены квантово-химические расчеты структурных и энергетических параметров фторуглеродных олигомеров. Материалы исследований опубликованы в 3 коллективных монографиях, 4 обзора и 45 статьях, опубликованных в 45 отечественных и международных журналах, получено 16 отечественных авторских свидетельств и патентов. Проведенные исследования установили особенности

строения твердых продуктов пиролиза, а также природу самого процесса, что необходимо для разработки технологии получения продукции в объемах, соответствующих как минимум опытному производству. Твердые продукты пиролиза ПТФЭ имеют сложный и разнообразный состав, сильно зависящий от термодинамических условий процесса (рис. 1) [9–12].

Схема получения ультрадисперсного порошка не сложная: блочный ПТФЭ подвергается пиролизу в специальном блоке без доступа воздуха, после образования газовой фазы из фторуглеродов продукт под действием газового потока переводится в зону с другими термодинамическими условиями. В ней происходит образование (десублимация) частиц порошка, которые являются товарным продуктом – УПТФЭ Форум®. Процесс десублимации хорошо известен в природе при образовании снежинок во влажной охлажденной атмосфере. Продукт является комбинацией перфторалкановых и перфторалкеновых низкомолекулярных и высокомолекулярных фракций, тогда как исходный ПТФЭ полностью высокомолекулярный.

Морфология частиц порошка разнообразна: сферические высокомолекулярные частицы размером от 0.2 мкм до 3 мкм, в зависимости от технологических условий (рис. 1), которые могут образовывать и агломераты, скрепленные или покрытые низкомолекулярными фторполимерами. Обнаружены: луковичные образования, трубки, пленки толщиной  $\sim 10\text{--}50$  нм, характерные для фторолигомеров; трубки диаметром до 20 мкм и длиной до 200 мкм и т.д. (рис. 1).

Полимерная и олигомерная фракции различаются свойствами. Так, низкомолекулярная имеет более высокую адгезию к твердым поверхностям, кроме того, она склонна к растворимости в ряде фторорганических жидкостей и в сверхкритическом диоксиде углерода [13]. Наличие этой фракции и ее растворимость в  $\text{CO}_2$  позволяет наносить гидрофобные ультратонкие покрытия не только на внешние поверхности изделий, но и на внутренние в высокопористых (выше 90%)

теплозащитных керамических материалах, что существенно улучшает условия их хранения и эксплуатации, а также получать металл-полимерные композиты или в качестве супергидрофобизирующих покрытий, в частности для текстильных материалов [14–16].

Была показана принципиальная возможность разделения высоко- и низкомолекулярных фракций повторной возгонкой УПТФЭ, чем ниже температура, тем меньше молекулярная масса фторполимера. Были установлены технологические режимы, при которых десублимация идет наиболее эффективно, и порошковые продукты позволили получить в объемах малотоннажного производства. Были предложены технические решения, сконструировано и изготовлено оригинальное оборудование, позволившее наладить опытно-промышленное производство порошка, которому была присвоена торговая марка Форум® [17, 18].

Продукты торговой марки Форум® являются первой российской энерго- и ресурсосберегающей добавкой в машинные масла на основе ПТФЭ. По функциональности они превосходят наиболее известный американский “Slick-50”, но существенно выигрывают в цене. Были проведены испытания в 40 исследовательских центрах и организациях, включая натурные условия. Применение добавок на автотранспорте уменьшает потребление горючего на 5% при увеличении ресурса двигателей внутреннего сгорания в 2 раза, более того, обеспечивает его работу при полной потере масла, что особо важно для военной техники. Особое значения для России имеет улучшение работы двигателей в холодных условиях – снижается износ трущихся деталей в 2 раза и в 3 раза увеличивает ресурс масла [19]. Экологические плюсы продукта состоят в уменьшении выброса отработанных газов автомобилей в атмосферу до 10%. В два раза возрастает функциональность двигателей, что уменьшило более чем на 200 тысяч тонн объем отработанного машинного масла, которое нуждалось бы в переработке.

Как показали испытания, помимо автохимии УПТФЭ улучшает функциональные свойства лакокрасочных материалов, делая их более стойкими к климатическому воздействию, повышая гидрофобность и снижая обрастание днищ судов в теплых морях [19]. Порошок может использоваться и как сухая смазка, втираемая на различные поверхности, включая и металлические. В частности, при обработке стволов стрелкового оружия возрастают баллистические показатели ( дальность, кучность) стрельбы и улучшается сохранность оружия от воздействия окружающей среды. Материал оказался полезным при создании эффективных композиционных

протекторных покрытий на изделия из металлов вентильной группы (алюминий, титан) [19], повышающих гидрофобность и коррозионную стойкость, снижающих трения. Разработанная технология таких покрытий промышленно внедрена на судостроительных предприятиях Дальнего Востока.

Выпускается 21 марка Форум® по моторным и трансмиссионным маслам для двигателей, коробок передач, подшипников легковых автомобилей и мотоциклов, а также большегрузного транспорта, тракторов. Разработаны специальные марки ФОРУМ®-В для применения в военной технике. Выпускаются два товарных продукта торговой марки ФОРАФЛЕКС® (противообрастающая и антиобледенительная добавка в краски) и ФОРАБИО® (консистентная смазка для пищевой промышленности класса Н-1). Сырье для производства ликвидного продукта являются сложные для утилизации и переработки производственные отходы УПТФЭ. К настоящему времени переработано в товарный продукт более 100 тонн нетоварного фторопласта, что обеспечило изготовление более 2 млн условных флаконов добавок Форум с товарной стоимостью порядка 500 млн рублей.

История разработки и организации производства продукта Форум® следующая: исследованиями, проведенными в Институте химии Дальневосточного отделения РАН, установлена возможность получения перспективного продукта, и в рамках института был организован производственный участок. Эффективность продукта была подтверждена испытаниями на автозаводах АЗЛК, КАМАЗ, в 25-м ГосНИИ МО РФ в Москве и других испытательных центрах страны и за рубежом, а также в натурных условиях, включая автопредприятия. Когда объемы производства стали значительными для производственного участка, то в 2003 году было организовано малое инновационное предприятие Общество с ограниченной ответственностью “Владфорум”, которое получило исключительную лицензию института на использование товарного знака. Компания занимается не только продвижением, но и всем циклом производства. Более того, она стала создавать и новую продукцию на базе порошка ФОРУМ®: спреи, смазки для пищевой промышленности, добавки в топливо, в краски и полимеры [20]. Производимая продукция реализуется не только в розничной торговле в России, но и экспортировалась в семь стран.

В определенной степени данная технология, разработанная и реализованная в рамках малого инновационного предпринимательства, закрыла проблемы, связанные с созданием отечественных смазочных машинных масел повышенного качества.

## РАЗРАБОТКА ПРОДУКТОВ ТЕРМОРАДИАЦИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

В середине XX века было установлено, что ПТФЭ является крайне нестойким полимером к радиационному воздействию из-за деструкции –С–С–связей полимерных цепей [20]. Получено множество данных о деструкции макромолекул ПТФЭ, включая метод твердотельного ЯМР [21]. Казалось, что доминирование радиационной деструкции макромолекул над другими процессами установлено однозначно. Однако и в этом случае не обошлось без “сюрприза” от ПТФЭ, воздействие излучения в области выше температуры плавления кристаллитов приводит к неожиданным метаморфозам микроструктуры — обнаружен ранее неизвестный ПТФЭ с радиально-симметричной упаковкой фибрилл (и макромолекул) [22]. При этом наблюдается беспрецедентное улучшение ряда трибологических и механических свойств [23].

Улучшение свойств ПТФЭ после облучения при нагреве изначально интерпретировали сшиванием полимерных цепей [24], но вывод, сделанный на основе косвенных данных, не подтвердился. Действительно, такое воздействие не увеличивает вязкость расплава, что должно наблюдаваться при сшивании цепей, и более того, снижает ее [25]. Из данных ЯМР [21] следовало, что доминирующими в радиационном процессе при  $327^{\circ} < T < 340^{\circ}\text{C}$  являются разрывы цепей. Очевидно, что встречающийся в научной и справочной литературе термин “сшитый ПТФЭ” по отношению к ПТФЭ, облученному вблизи температуры плавления, и улучшающему его свойства, является ошибочным.

Радиационно-химические процессы и связанные с ними вопросы полимерного материаловедения являлись одним из важных направлений научной деятельности НИФХИ им. Л. Я. Карпова. В этом институте работы по высокотемпературному радиационному модифицированию ПТФЭ были начаты сотрудниками лаборатории радиационной стойкости полимеров и продолжены ими уже в рамках малого инновационного предприятия Общество с ограниченной ответственностью “Научно-производственное предприятие “Арфлон” после закрытия московской части института.

Было показано, что радиационное воздействие гамма-квантами на блочный ПТФЭ и его композиты при отмеченной температуре существенно улучшает их свойства (табл. 1), а применение методов, включая рентгеновскую дифракцию, ДСК, ДМА, ТМА и электронную микроскопию высокого разрешения, позволило связать их

с изменением структуры полимера [22]. Ламеллярная структура ПТФЭ была обнаружена в конце 50-х годов XX века, и считалось, что в ПТФЭ невозможно формирование иных структур и не было фактов об ее изменении при каком-либо воздействии. Однако исследования показали, что ламеллярная структура с плоскопараллельной ориентацией фибрилл может трансформироваться в радиально симметричную сферолитную микроструктуру при терморадиационном воздействии [26]. Ключевую роль в развитии деформации и износе ПТФЭ играет неустойчивость ламелей к сдвигу. Естественно, в радиально симметричных структурах сдвиговая деформация фибрилл затруднена, что улучшает трибологические показатели (табл. 1). Сказанное относится и к композитам с ПТФЭ-матрицей, при терморадиационном модифицировании возникают прочные химические связи частиц наполнителя с макромолекулами фторопластовой матрицы, а также формируются аксиолиты, в центре которых располагаются частицы наполнителя. Фибриллы ориентированы радиально по отношению к центру аксиолита. В необлученных композитах частицы наполнителя не связаны с макромолекулами, не смачиваются ими, а структура полимерной матрицы композита ламеллярная [27].

Основные цели, достижимые при терморадиационном модифицировании ПТФЭ — рост износостойкости, радиационной стойкости и снижение ползучести при сохранении основных достоинств ПТФЭ: химической и термической стойкости, диэлектрических характеристик. Терморадиационное модифицирование снижает массовый и линейный износ при трении у ненаполненного ПТФЭ до 50 000 раз, а у композитов — в 20–40 раз. Сшивание макромолекул, относящееся к модифицированию на молекулярном уровне, не сопровождается столь масштабным изменением свойств, как переход от ламеллярной к сферолитной надмолекулярной структуре в ПТФЭ. Материалы марки Арфлон имеют самую высокую износостойкость по сравнению с известными мировыми аналогами при скоростях скольжения сопряженных деталей до 3 м/с, контактном давлении до 5 МПа и температуре в зоне трибоконтакта до  $+100^{\circ}\text{C}$ , а при некоторых условиях эксплуатации — до  $+180^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, они характеризуются высокой однородностью структуры и отсутствием пористости, свойственной обычному ПТФЭ [27, 28]. В композитах на основе ПТФЭ терморадиационное модифицирование обеспечивает высокую адгезию наполнителя с полимерной матрицей и повышает радиационную стойкость в 100–250 раз относительно исходного ПТФЭ. Достоверность полученных результатов подтверждена многочисленными испытаниями, проведенными на базе ведущих научных и научно-производственных

**Таблица 2.** Результаты сравнительных испытаний ненаполненного ПТФЭ и композитов на его основе до и после радиационного модифицирования

Материал	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$P$ , МПа	$V$ , м/с	$PV$ , МПа м/с	$T$ , °C	$I_z$ , мкм/км	$I_m \times 10^{-6}$ , мм <sup>3</sup> /н м	$L$ , км
Необлученный ПТФЭ и композиты на его основе								
ПТФЭ	2.15	2.5	1.0	2.5	35	4000–8000	1500–3000	1
ПТФЭ + углеволокно	2.06				40	4,80	1,60	247
ПТФЭ + графит	2.16	3.0	3.0	9.0	48	2,80	0.93	256
ПТФЭ + кокс	2.13				45	2.31	0.77	253
Термооблученный ПТФЭ и композиты на его основе								
AP200 (ПТФЭ облученный)	2.21				55	0.11	0.04	325
AP204 (ПТФЭ + углеволокно, облученный)	2.10				42	0.19	0.06	303
AP201 (ПТФЭ + графит, облученный)	2.18	3.0	3.0	9.0	45	0.12	0.04	308
AP202 (ПТФЭ + кокс, облученный)	2.14				49	0.15	0.05	279
AP215 (ПТФЭ + бронза + графит, об- лученный)	3.14				48	0.13	0.04	283

Примечание.  $\rho$  — плотность образца,  $P$  — давление в трибоконтакте,  $V$  — линейная скорость скольжения образца относительно контратела,  $PV$  — произведение контактного давления на линейную скорость скольжения,  $T$  — температура противотела,  $I_m$  — скорость массового износа (определяется по измерению массы образца),  $I_z$  — скорость линейного износа (определяется по координатам образца),  $L$  — путь трения.

центров России, в том числе ФГБУН ИПМ РАН, ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина, ФГУП ВИАМ, АО “Сатурн” и другие, а также эксплуатационными испытаниями на десятках промышленных предприятиях перспективных потребителей из разных отраслей.

Результаты исследований опубликованы в 4 монографиях и 8 обзорах, более чем в 50 статьях в отечественных и международных журналах, доложены на многих научных конференциях, по результатам исследований защищена докторская и четыре кандидатские диссертации, получено 15 российских патентов. Продукция марки Арфлон демонстрировалась на престижных отечественных и международных выставках, салонах и отмечена наградами.

Сотрудниками Общества с ограниченной ответственностью “Научно-производственное предприятие “Арфлон” на базе метода термо-радиационного модифицирования ПТФЭ разработана промышленная технология производства инновационных товарных фторполимерных

продуктов, востребованных в различных отраслях промышленности. Освоено производство 16 базовых марок материалов под торговой маркой Арфлон, отличающихся типом наполнителя, его содержанием и степенью модифицирования [29]. Изделия из материалов Арфлон — широкая номенклатура, включающая уплотнительные, антифрикционные, электротехнические, конструкционные детали, работающие в диапазоне температур от  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+260^{\circ}\text{C}$ , а при умеренных нагрузках до  $+300^{\circ}\text{C}$  как в нейтральных, так и в химически и биологически агрессивных средах, а также под воздействием УФ- и ионизирующего излучения. Есть специальные марки, предназначенные для использования в трибосопряжениях (подшипники скольжения, манжеты, сальники, опорные и уплотнительные поршневые кольца и т.д.). В зависимости от требуемого результата (или области применения) состав и степень модифицирования могут варьироваться, что дает возможность управлять пластичностью материала, модулем упругости и твердостью. Готовые изделия отличаются высокой износостойкостью,

низким коэффициентом трения, низкой скоростью ползучести и повышенным коэффициентом теплопроводности, иными словами, надежностью и большим ресурсом работы. По ряду параметров такие детали превосходят применяющиеся в мировой практике аналоги.

Продукты Арфлон производятся в виде заготовок (втулок, трубок, пластины, лент, листов, стержней), получаемых по технологии, защищенной патентом РФ [30], на оригинальном оборудовании собственной разработки и с использованием преимущественно отечественного сырья. Помимо выпуска серийной продукции предприятие работает по индивидуальным заказам, создавая материалы с требуемыми характеристиками. Серийная продукция может применяться в авиа-, судо-, автомобиль-, машино-, арматуростроении, атомной, космической и медицинской технике, химической аппаратуре и других областях. В том числе там, где ранее использование обычного политетрафторэтилена и соответствующих композитов затруднено или исключено из-за ограничений по условиям эксплуатации. В ряде перечисленных областей материалы Арфлон уже успешно применяются, в частности в качестве подшипников скольжения, сепараторов шариковых подшипников, сальниковых и поршневых уплотнений в компрессорах, уплотнений в шаровых кранах, клапанах и заслонках, в составе торцевых уплотнений в нефтегазовой отрасли, радиационно-стойких уплотнений и электрических изоляторов в космической технике, радиопрозрачных изделий для специальной техники и т.д. Материалы Арфлон обладают значительным потенциалом импортозамещения и могут использоваться взамен антифрикционных и уплотнительных композиционных материалов таких известных брендов, как Tecaflon, Herbiger, Guariflon, Dyneon, 3M, Fluon, Maurer, Zedex и другие.

В настоящее время объем производства материалов Арфлон составляет 20–25 тонн в год, что на порядки ниже потребности российской промышленности в антифрикционных и уплотнительных материалах с высокими эксплуатационными характеристиками. Для достижения технологического суверенитета в этом классе материалов необходимо масштабирование производства до уровня как минимум 1000 тонн/год, что позволит закрыть текущую потребность и обеспечить импортозамещение материалов европейского и китайского производства, которые по ряду параметров уступают продукции марки Арфлон. Наличие апробированного производства на базе Общества с ограниченной ответственностью “Научно-производственное предприятие “Арфлон”, а также многолетний успешный опыт применения материалов марки Арфлон на практике создают благоприятную основу реализации подобного проекта.

## ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ИННОВАЦИОННЫХ ПТФЭ-ПРОИЗВОДСТВ

Чтобы не создалось впечатление исключительности перечисленных малых инновационных предприятий, отметим и другие отечественные малотоннажные производства ПТФЭ-продуктов, существующих на отечественном рынке. Хотя реальная возможность того, что успех рассмотренных выше проектов стимулировал появление других структур. Можно отметить Общество с ограниченной ответственностью “Завод ТОМФЛОН” (Томск), которое производит порошки по технологии радиационного воздействия ускоренных электронов на блочный ПТФЭ для образования макротрешин с последующей обработкой на струйных воздушных мельницах для размельчения полимера в порошок по трещинам. На рынке производимые продукты используются как добавки в трансмиссионные масла, применяемые в перекачивающих насосах, включая зоны холодного климата.

В Институте механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Республики Беларусь разработана технология получения лазерной абляцией блочного ПТФЭ нетканых волокнистых и порошковых продуктов [31]. Нетканые волокнистые материалы применяются в фильтрующих элементах воздушной среды и химически агрессивных жидкостей.

Группа компаний “Обнинские фильтры” занимается разработкой и производством пористых полимерных фильтрующих материалов из фторполимеров марки “ЭКОПЛЕН-Ф”, применяемый в фильтровальных картриджах для очистки газов и жидкостей. Технология состоит в получении изопропанольной суспензии порошка с последующим удалением растворителя и отжига при 380°C. Общая пористость варьируется в диапазоне 50–55% и регулируется технологическим режимом [32].

Интерес к ПТФЭ для производства инновационных продуктов в рамках малого предприятия обусловлен тем, что полимер обладает спектром свойств, которые предоставляют возможность его широкого применения во многих сферах деятельности. Это обеспечивает значительный и диверсифицированный сегмент рынка продукции. Кроме того, изделия из ПТФЭ обладают высокой стоимостью на единицу продукта и могут приносить значительный доход при малом объеме производства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенностью малых инновационных предприятий является то, что их магистральное

направление – нацеленность на собственное развитие, тогда как у крупных предприятий немаловажна следующая позиция: сохранение собственных позиций в борьбе с конкурентами. Разумеется, на первом этапе у разработчиков нет ресурса и опыта для такой борьбы. Крупные отечественные предприятия-производители ПТФЭ не испытывают экономического интереса к продуктам, требующим значительных исследований, в отличие от уже освоенных технологий и производств.

Важный момент в организации и функционировании малого инновационного предприятия – фигура лидера. Наиболее последовательными и стойкими сторонниками доведения разработки до практического результата являются ее авторы, которых волнует не только улучшение материального положения, но и моральное удовлетворение от материализации своих научных результатов. Зачастую исследовательская деятельность сильно связана с инженерной работой по налаживанию и поддержке малого производства. Можно привести пример компании Общество с ограниченной ответственностью “Флуролит синтез”, которая организовала производство УПТФЭ по термогазодинамической технологии в 2011 году, но в настоящее время прекратила коммерческую деятельность. Возможно, не хватило стойкости, но не исключено, что в силу возникших технологических проблем, устранение которых требовало исследований, включая инженерные и академические.

Лидеры малых инновационных предприятий должны обладать широким научно-техническим кругозором и видеть удовлетворение не только в познании неведомого, но и в инженерном и производственном созидании. В рассмотренных примерах разработчикам пришлось заниматься конструированием, изготовлением и запуском нестандартного оборудования, что стало одним из основ успеха. Для людей, занимающихся исключительно исследованиями, иногда характерен “академический” сnobизм, состоящий в том, что их целеполагание в нахождении познавательной истины, а доведение ее до практической полезности – удел других. Но известно популярное выражение “Прибор должен работать не только в принципе, но и в кожухе”. Вероятность реализации научной идеи в формате малого инновационного предпринимательства растет, особенно когда создатель и принципа, и кожуха – одно лицо. Другое качество лидера – упорство, если человек из предпринимательской среды сталкивается с проблемами, он может перейти в другой более заманчивый и менее проблемный бизнес, а разработчик не может себе позволить этого – он наиболее настойчив и последователен в доведении своего “дитя” до самостоятельной жизни.

Одной из специфик инновационного продукта является то, что он как новинка зачастую неизвестен, требуется серьезная и длительная работа по продвижению на рынке, что было сделано разработчиками по рассмотренным выше продуктам. Помимо экономического результата для обоих рассмотренных проектов он порядка 1 млрд рублей, реальная выгода больше, поскольку трудно учесть действия экологических факторов в силу улучшения эксплуатации техники, оборудования применяемых при производстве продуктов. Увеличивается жизненный цикл технических устройств, использующих созданные высокотехнологичные продукты, растет надежность и уменьшается аварийность техники военного и гражданского назначения, работающей в космосе, воздухе, в воде и под водой в разных климатических зонах. Производимые продукты в силу их свойств используются не только в России, но и за рубежом, они многократно демонстрировались на отечественных и международных выставках и были отмечены призами. В обоих случаях руководители разработок стали и руководителями производства, по-видимому, это наиболее оптимальный вариант.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из опыта академических структур, попытки внедрения разработок в большие производственные структуры в подавляющем большинстве не заканчиваются успехом, а точнее удовлетворением разработчиков. Причин много, но чаще всего в различии и противоположности целей и задач сторон, а найти компромиссное решение сложно, поскольку возможности (административные, юридические, финансовые, медийные) академических структур и крупных промышленных предприятий различны. Даже в случае судебных разбирательств вероятность решения в пользу разработчика небольшая. Положительная результативность общения академических разработчиков со средними и малыми инновационными предприятиями существенно выше.

Что авторы, имеющие положительный инновационный опыт, могли бы посоветовать начинающим предпринимателям? Организационно-правовая форма малого инновационного предпринимательства – общество с ограниченной ответственностью, полностью подпадает под субъект малого предпринимательства в соответствии с Законом от 24.07.2007 № 209-ФЗ, занесенным в реестр МСП. Отличие малых инновационных предприятий от неинновационных малых предприятий (п. 1, 1.1 ст. 4; п. 3-5 ст. 14 Закона № 209-ФЗ) обычно выявляется на уровне региональной нормативной базы, и они осуществляют

деятельность по коду ОКВЭД 72.1 “Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук”. Это позволяет малым инновационным предприятиям участвовать в конкурсах на получение поддержки, например, “Фонд содействия развития малым формам предприятий в научно-технической сфере”, известном для многих как фонд Бортника, и другим, включая региональные. Малые инновационные предприятия делятся следующим образом: по содержанию инноваций на продуктевые, технологические, управленческие, организационно-производственные и социальные; по степени новизны на принципиально новые, модернизированные, улучшенные; по содержанию работ на научно-технические, научно-производственные, посреднические – консультативные и внедренческие, научно-технические услуги; по стадии инновационного процесса на разработку, опытную и промышленную доработку, внедрение в производство и начало эксплуатации; по предназначению инновации для экспортного и внутреннего рынка; по степени риска. [33]. Выбор формы малого инновационного предприятия зависит от всех перечисленных выше признаков. Обязательное условие для создания продукта на базе научной идеи – это как можно дольше сопровождать его продвижение от лабораторной разработки до опытной технологии, промышленного производства и коммерческого продукта. При этом ученому придется плотно погрузиться в конструкторскую, технологическую деятельность, а также обрести коммерческие, бухгалтерские знания и навыки. Лучший вариант при этом – не расставаться с научной деятельностью и привносить новые научные результаты в совершенствование производимого продукта и нахождение новых областей его применения. К форме организуемого малого инновационного предприятия следует относиться исходя из содержания проекта, условий рынка организационных способностей инициаторов, отношения материнской организации и других факторов. Как правило, никто инициаторам не предлагает варианты форм, и приходится решать уравнение со многими неизвестными. Разумно придерживаться рекомендации из песни “Думайте сами, решайте сами – иметь или не иметь”. Рекомендуемое условие по формированию команды: они должны быть единомышленниками, а лидер способен нивелировать недостатки членов команды. Не ищите инвесторов, не пишите бизнес-планы, не просите у государства, начинайте “с коленки”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.Л. // Фундаментальные исследования. 2008. № 9. С. 70.
2. Панин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласти. Л.: Химия, 1978.
3. Бузник В.М. Химия. Устойчивое развитие. Высокотехнологичный бизнес. Владивосток: Дальнаука, 2002.
4. Смагулова Ж.Б., Бисенова Р.А., Айдосова Б.Х. // Современные научноемкие технологии. 2014. № 12–2. С. 213.
5. Менделеев Д.И. Сочинения. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 12.
6. Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров / Пер. с англ. под ред. С.Р. Рафикова. М.: Мир, 1967.
7. Фторполимеры / Под ред. Л.А. Уолла. Пер. с англ. под ред. И.Л. Кнусянца, В.А. Пономаренко. М.: Мир, 1975.
8. Charlesby A. // Great Britain Atomic Energy Research Establishment AERE M/R. 1952. P. 296.
9. Бузник В.М., Цветников А.К., Шикунов Б.Ю., Полькин В.В. // Перспективные материалы. 2002. № 2. С. 89.
10. Bouznik V.M., Kirik S.D., Solovyov L.A., Tsvetnikov A.K. // Powder Diffraction. 2004. № 19 (2). P. 135.
11. Лебедев Ю.А., Королев Ю. М., Поликарпов В.М., Игнатьева Л. Н., Антипов Е.М. // Кристаллография. 2010. № 4. С. 651.
12. Павлов А.Д., Суховерхов С.В., Цветников А.К. // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 5. С. 51.
13. Никитин Л.Н., Галямов М.О., Сайд-Галиев Э.Е., Хохлов А.Р., Бузник В.М. // Ж. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева, 2008. № 3. С. 56.
14. Галямов М.О., Бузник В.М., Цветников А.К., Винокур Р.А., Никитин Л.Н., Сайд-Галиев Э.Е., Хохлов А.Р., Shaumburg K. // Хим. физика, 2004. Т. 23. № 6. С. 76.
15. Сайд-Галиев Э.Е., Абрамчук С.С., Хохлов А.Р., Назумкин А.В., Таланова В.Н., Нысенко З.Н., Штыкова Э.В., Волков В.В., Abd-Elsalam K.A. // Высокомолек. соед. Б. 2020. Т. 62. № 2. С. 139.
16. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Завадский А.Е., Никитин Л.Н. // Хим. волокна. 2009. № 1. С. 26.
17. Цветников А.К. Пат. 2035308 Россия // Б.И. 1995.
18. Товарный знак FORUM № 140122 РФ. 1997.
19. Цветников А.К., Матвеенко Л.А., Машталяр Д.В., Егоркин В.С., Голуб А.В., Павлов А.Д., Масленников С.И., Николенко Ю.М., Гнеденков С.В. // Хим. технология. 2019. Т. 20. № 13. С. 626.
20. www.forumshop.ru
21. Чарлзби А. Ядерные излучения и полимеры. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
22. Lappan U., Geißler U., Scheler U. // Macromol. Mater. Eng. 2007. V. 292, № 5. P. 641.

23. *Khatipov S.A., Serov S.A., Buznik V.M. // Opportunities for Fluoropolymers / ed. Ameduri B., Fomin S. Elsevier, 2020. P. 137.*
24. *Хатипов С.А., Артамонов Н.А. // Росс. хим. журн. 2008. Т. 52. № 3. С. 89.*
25. *Oshima A., Tabata Y., Kudoh H., Seguchi T. // Rad. Phys. Chem. 1995. V. 45. № 2. P. 269.*
26. *Tabata Y., Suzuki H., Ikeda S. // Rad. Phys. Chem. 2013. V. 84. P. 14.*
27. *Хатипов С.А., Садовская Н.В., Обвинцев А. Ю., Касаткин, А.Н. // Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. № 11. С. 72.*
28. *Садовская Н.В., Обвинцев А.Ю., Хатипов Р.С., Селиверстов Д.И., Хатипов С.А. // Поверхность.*
- Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2016. № 9. С. 38.
29. *Khatipov S.A., Kabanov S.P., Konova E.M., Ivanov S.A., Serov S.A. // Rad. Phys. Chem. 2012. V. 81. № 3. P. 273.*
30. [www.arflon.ru](http://www.arflon.ru)
31. *Хатипов Р.С. и др. // Пат. № 2734608 РФ // БИ. 2020.*
32. *Гракович П.Н., Иванов Л.Ф., Калинин Л.А., Рябченко И.Л., Толстопятов Е.М., Красовский А.М. // Ж. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 2008, № 3. С. 97.*
33. *Астахов Е.Ю., Больбит Н.М., Клиншпонт Э.Р., Царин П.Г. // Информационно-аналитический журнал Мембранны. Сер. Критические технологии. 2005. С. 34.*