



Современные подходы к производству отечественного технологического оборудования из фторполимеров для микроэлектронного производства

В.М. Бузник – д.х.н., академик РАН, ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН

Е.Н. Больбасов – к.т.н., Томский Политехнический Университет

М.Е. Трусова – д.х.н., Томский Политехнический Университет

«Материалы для микро- и радиоэлектроники: текущее состояние, проблемы и перспективы»

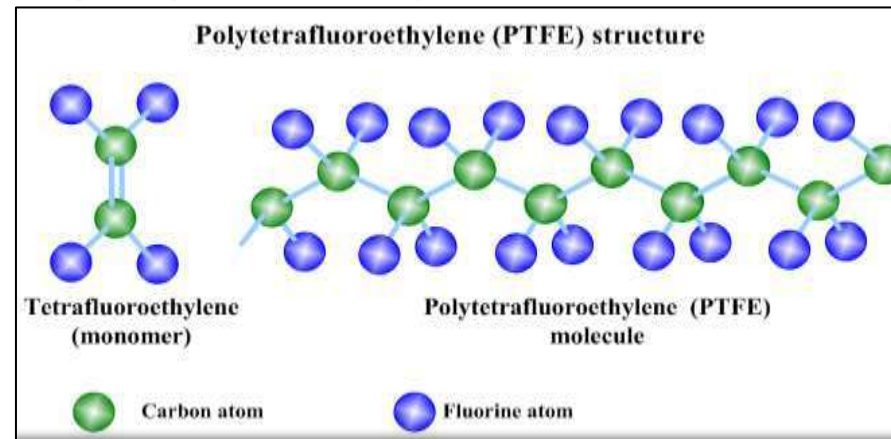
Москва
02.07.2025

G.J. Puts, P. Crouse, B.M. Ameduri, Polytetrafluoroethylene: Synthesis and Characterization of the Original Extreme Polymer, Chem. Rev. 119 (2019) 1763–1805.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00458>.



Сцена открытия тефлона в лаборатории DuPont (справа Рой Планкетт)

6 апреля 1938 г Рой Планкетт случайно открыл новый полимерный материал – политетрафторэтилен (ПТФЭ) (тефлон, фторопласт 4).



Химическая структура ПТФЭ

Основные свойства фторполимеров

Превосходная химическая стойкость

Высокая термо и хладостойкость

Хорошие механические свойства

Высокая биосовместимость

Ограниченная растворимость

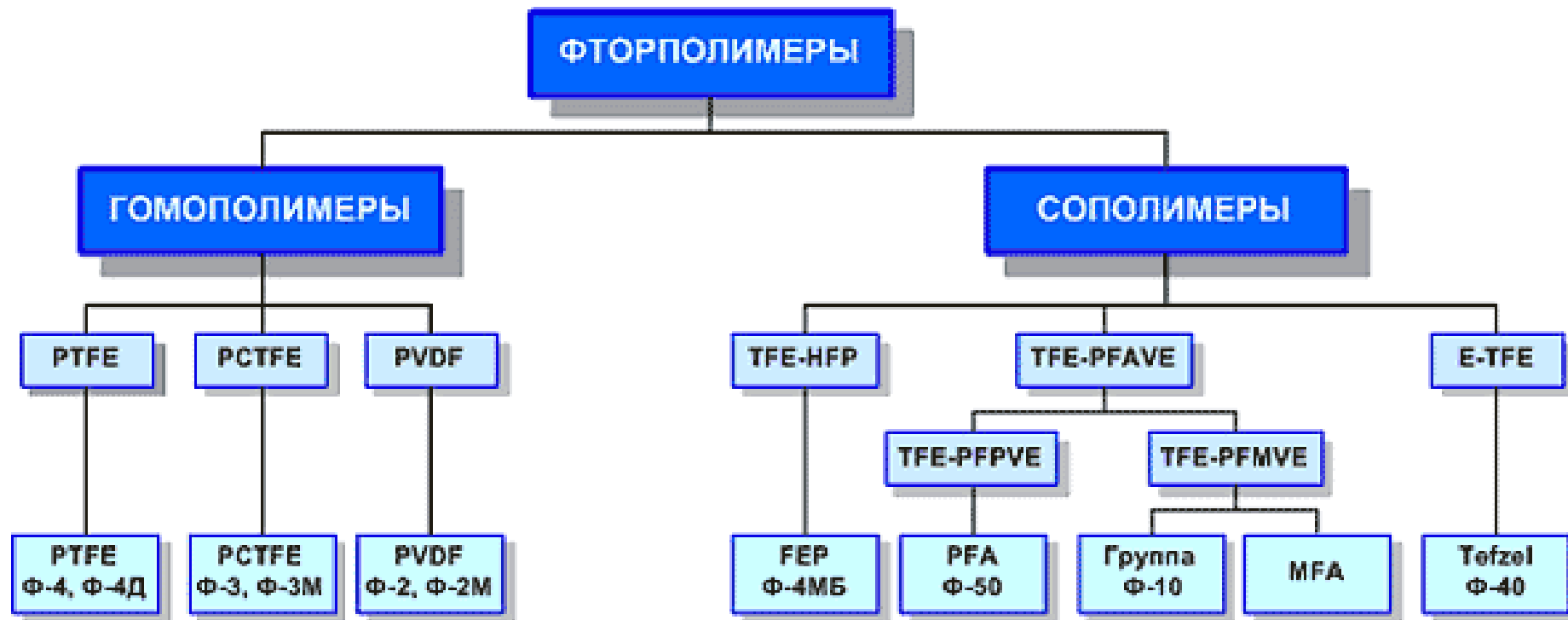
Низкая свободная энергия поверхности

Низкий коэф. трения

Прекрасные диэлектрические свойства

Высокая вязкость расплава

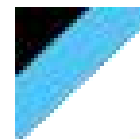
G.J. Puts, P. Crouse, B.M. Ameduri, Polytetrafluoroethylene: Synthesis and Characterization of the Original Extreme Polymer, Chem. Rev. 119 (2019) 1763–1805.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00458>.



Номенклатура современных фторполимеров

 **ГалоПолимер**



 **DAIKIN**

ARKEMA
INNOVATIVE CHEMISTRY

 **GFL**
GUJARAT FLUORO CHEMICALS
VALUE THROUGH GREEN CHEMISTRY

3M

Основные производители фторполимеров в мире

V.V. Kochervinskii,
The structure and
properties of
block
poly(vinylidene
fluoride) and
systems based on
it // Russ. Chem.
Rev. 65 (1996)
865–913



Фторопласт-2М
ТУ 16-05-1791-84 г. (с изменениями В 1,2,3)

ГалоПолимер
www.halopolymer.ru

Производитель:
ООО «ГалоПолимер Парко» (Россия)
Система менеджмента качества:
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015

Химическое название: Поли(2,2-дифторэтен)
Синонимы: Поливинлиденфторид, полимер винилиденфторида, гомополимер 1,2-дифторэтена
Химическая формула: $[-CH_2-CF_2-]_n$ или $[-CF_2-CH_2-]_n$ $n \approx 0,05$
EC: 604-458-6
CAS №: 24937-79-9

Фторопласт-2М представляет собой порошок белого цвета или гранулы цилиндрической формы размером 2-4 мм, бесцветный, желтоватого или сероватого цвета.

Физико-химические свойства

Наименование показателя	Единица измерения	Нормы для марок						
		А	В	Ж	Ф	Г	Д	Е
Внешний вид	-	Гранулы цилиндрической формы размером 2-4 мм бесцветные, желтоватого или сероватого цвета, по окружности в поперечном сечении (соответствующие указанным образцу)						
Внешний вид пленки из порошка	-	не определяется		должен соответствовать эталонному образцу, утвержденному в установленном порядке				
Массовая доля влаги, не более	%	0,15						
Термостабильность (потери массы), не более	%	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3
Прочность при разрыве, не менее	МПа (кгс/см²)	45,0 (4500)	44,1 (4410)	45,5 (4550)	32,9 (3290)	44,1 (4410)	44,1 (4410)	45,5 (4550)
Относительное удлинение при разрыве	%	500	400	400	410	400	400	400
Вязкость текучести расплава	г/с (мПа·с)	3,0	3,0	3,5	4,0	3,0	3,0	3,0
Удлинение при разрыве	мм	5*1010	5*1010	5*1010	5*1010	не определяется	5*1010	5*1010

Фторопласт-42
ГОСТ 25446-82 (с изменениями В 1)

ГалоПолимер
www.halopolymer.ru

Производитель:
ООО «ГалоПолимер Парко» (Россия)
Система менеджмента качества:
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018

Химическое название: Сополимер тетрафторэтена с 2,2-дифторэтенем
Синонимы: Сополимер тетрафторэтилена с винилидендифторидом
Химическая формула: $[(CF_2-CF_2)_x-(CF_2-CH_2)_y]_n$
CAS №: 25684-76-8

Фторопласт-42 представляет собой, в зависимости от марки, гранулы нецилиндрической или цилиндрической формы размером не более 5 мм или порошок белого цвета.

Физико-химические свойства

Наименование показателя	Единица измерения	Нормы для марок				
		Ф-42В	Ф-42В-1	Ф-42В-2	Ф-42П	Ф-42П
Внешний вид	-	Гранулы нецилиндрической или цилиндрической формы размером не более 5 мм или порошок белого цвета				
Массовая доля влаги, не более	%	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Термостабильность (потери массы), не более	%	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Прочность при разрыве, не менее	МПа (кгс/см²)	43 (4300)	40 (4000)	43 (4300)	41 (4100)	41 (4100)
Относительное удлинение при разрыве, не менее	%	430	450	450	470	390
Количество теплосодержащих частиц, не более	шт	50	50	50	50	50
Растворимость в ацетоне	-	Не растворим				
Максимальная вязкость раствора в ацетоне	-	0,05-0,10				
Относительная вязкость раствора в ацетоне	-	Не определяется				
Внешний вид 1%-ного раствора в ацетоне по структуре	-	Доп. марки Ф-42В-1 и Ф-42В-2 содержат частицы, растворимые в ацетоне, для контроля марки - не определяются				
Условная вязкость 1%-ного раствора в ацетоне	с	30-100				

Примечания:
1. Для марки Ф-42В-1 количество теплосодержащих частиц, не более 10 шт.
2. Не следует использовать материал, содержащий более 1% фтористого водорода (Ф-42В-1 и Ф-42П) в качестве сырья для изготовления изделий.

PTFE
Суспензия фторопластовая водная марок Д, ДВ, ДПУ, ДП, ДУ, ДФД
ТУ 16-05-1428-84 (с изменениями В 1, 2, 3)

ГалоПолимер
www.halopolymer.ru

Производитель:
АО «ГалоПолимер Парко» (Россия)
Система менеджмента качества:
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018

Химическое название: Политетрафторэтилен
Химическая формула: $(C_2F_4)_n$
CAS: 9602-84-0
ТН ВЭД: 3904 61 000 0

Политетрафторэтилен – продукт полимеризации тетрафторэтилена, полимер с уникальным сочетанием физических, электрохимических, антифрикционных, химических и других свойств, который можно использовать в каждом другом материале, а также способностью связывать эти свойства в широком интервале температур от -250°C до $+260^\circ\text{C}$.

Физико-химические свойства

Наименование показателя	Единица измерения	Нормы для марок					
		Ф-42В	Ф-42В-1	Ф-42В-2	Ф-42П	Ф-42П	Ф-42П
Внешний вид	-	Вязкость не более 10 г/с (мПа·с) при 25°C					
Массовая доля влаги, не более	%	10	10	10	10	10	10
Вязкость при разрыве, не менее	МПа (кгс/см²)	40	40	40	40	40	40
Относительное удлинение при разрыве, не менее	%	400	400	400	400	400	400
Вязкость текучести расплава	г/с (мПа·с)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Удлинение при разрыве	мм	5*1010	5*1010	5*1010	5*1010	5*1010	5*1010

Отечественное сырье – основа низкой стоимости и технологического суверенитета

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ (ОБЗОР)

Е.Н. Больбасов, В.М. Бузник, Д.А. Варламов, А.О. Воробьев,

Г.Е. Дубиненко, А.И. Еремчук, М.Е. Трусова





Кассеты для пластин
Ф-4, Ф-50



Трубопроводы
Ф-4, Ф-50



Корпуса насосов
Ф-4, Ф-50



Диафрагмы насосов
Ф-2, Ф-4, Ф-50



Нетканые материалы
Ф-42, Ф-32, Ф-2



Запорная арматура
Ф-4МБ, Ф-50



Лабораторная посуда
Ф-4МБ, Ф-50



Тара и упаковка
Ф-2, Ф-32, Ф-50

Чистота производственных помещений и сервисных сред – основа микроэлектроники

В процессах производства микроэлектронных компонентов требуется большого количества сервисных сред, зачастую очень агрессивных, обладающих высокой степенью чистоты: воздуха, азота, кислорода, воды, растворителей, электролитов и т.д.

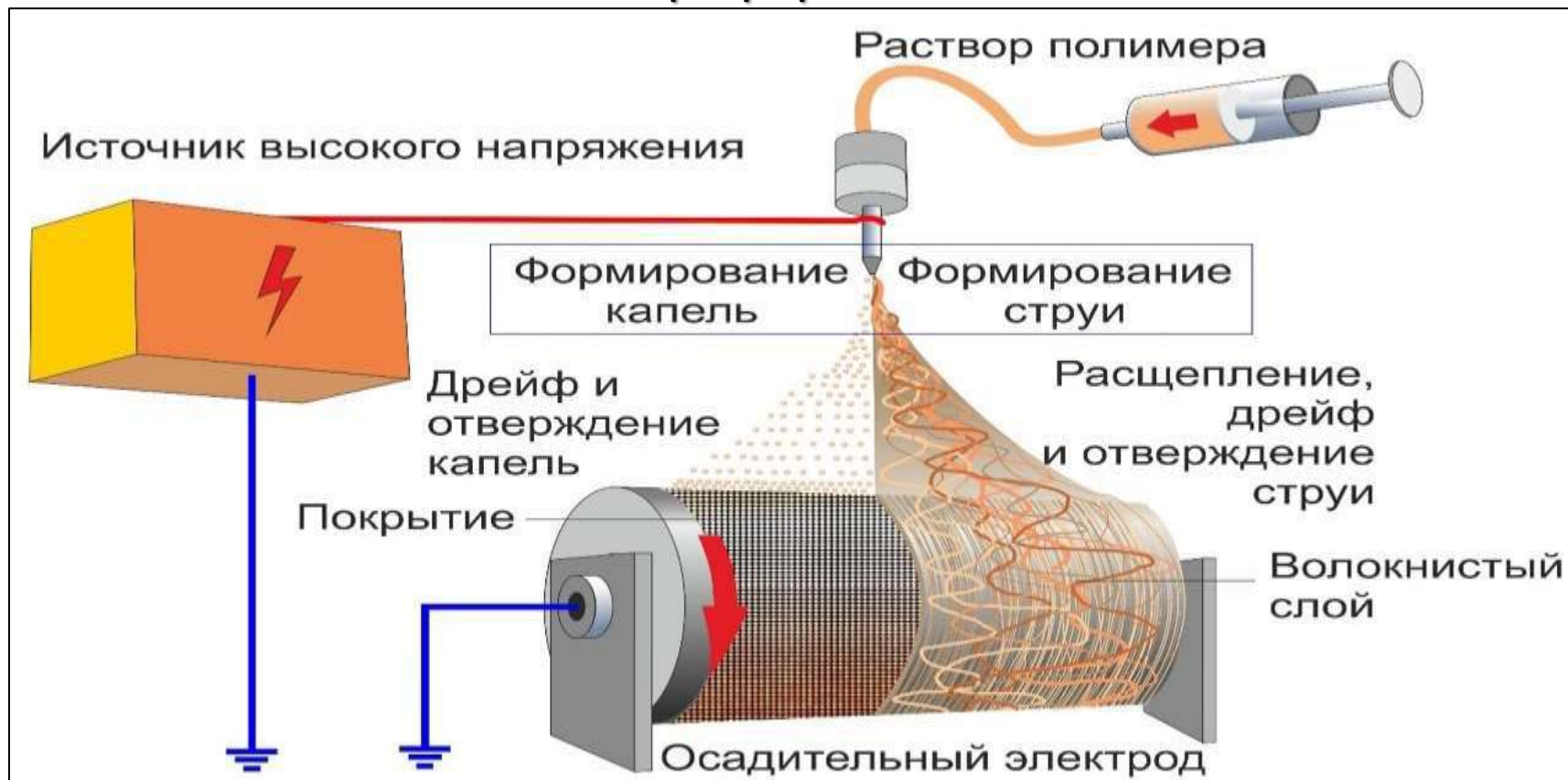


Фильтры жидкостей



Фильтры газов

Принципиальная схема получения фильтрующих материалов методом электроформования

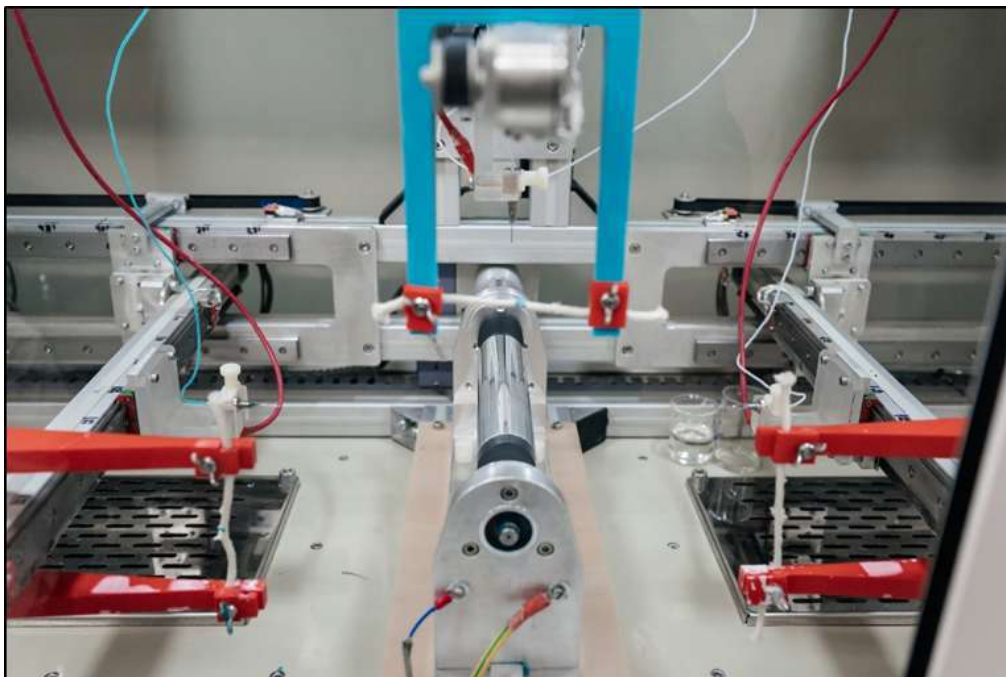


Достоинства метода - широкий спектр полимеров для переработки, высокая масштабируемость и вариативность, относительная простота технологического оборудования, высокая производительность

Филатов И.Ю.,
Филатов Ю.Н.,
Якушкин М.С.
Электроформование
волоконных
материалов на
основе
полимерных
микро- и
нановолокон.
История, теория,
технология,
применение.
Тонкие
химические
технологии.
2008;3(5):3-18.

Электроформование - технология получения фильтрующих материалов широкого спектра

3-х канальная система получения фильтрующих материалов методом электроформования изготовленная в ТПУ



Название: Полупроницаемые полимерные мембраны из фторполимеров для химической атомной и энергетической промышленности.

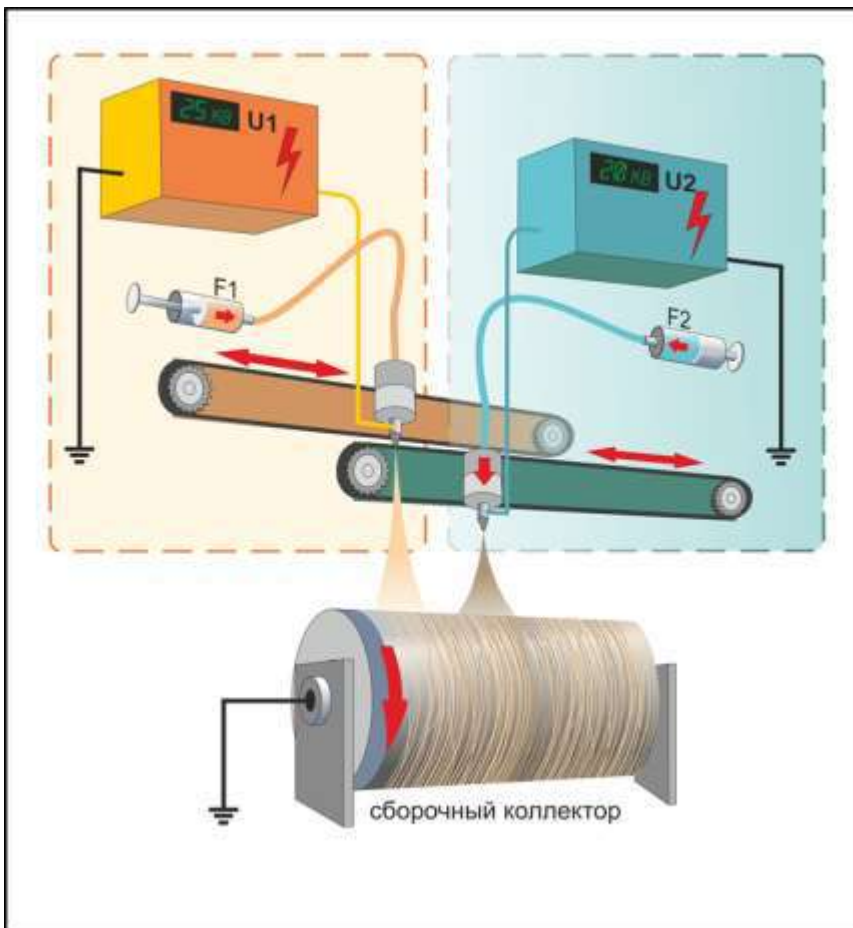
Назначение: Фильтрация минеральных жидких и газообразных агрессивных сред (F_2 , HF , HCl , $NaOH$ и т.д.), мембранная дистилляция, элементы водородных топливных элементов и литий-ионных батарей, материалы для реконструктивной хирургии.

Варианты исполнения:

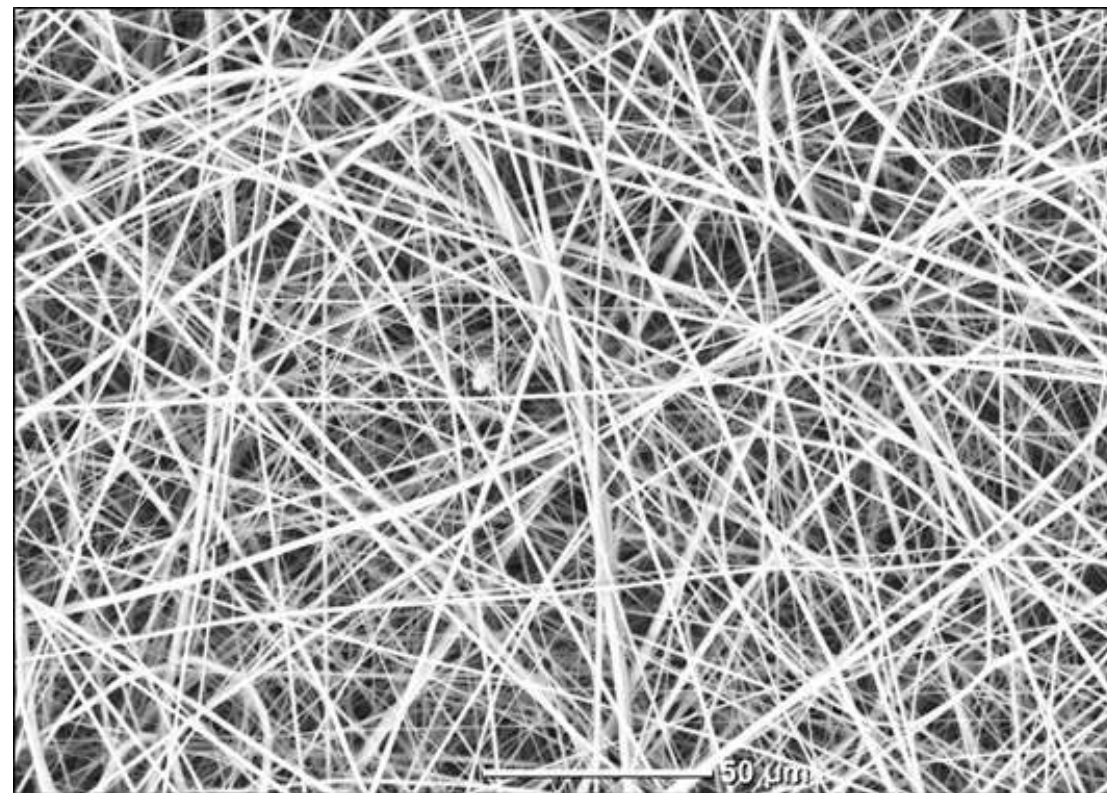
- Плоские мембраны размером 210×297 мм, толщиной от 20 до 500 мкм.
- Трубчатые мембраны внутренним диаметром от 1 до 40 мм, толщиной от 20 до 500 мкм

Полимерные фильтрующие мембраны из ПВДФ и его сополимеров полученные методом электроформования

Схема получения фильтрующих материалов из ПВДФ и его сополимеров методом электроформования



Электроформование за один
технологический цикл без нагрева



Структура поверхности
фильтрующего материала из ПВДФ
полученного методом
электроформования

Физико-химические свойства ПВДФ мембран полученных методом электроспиннинга

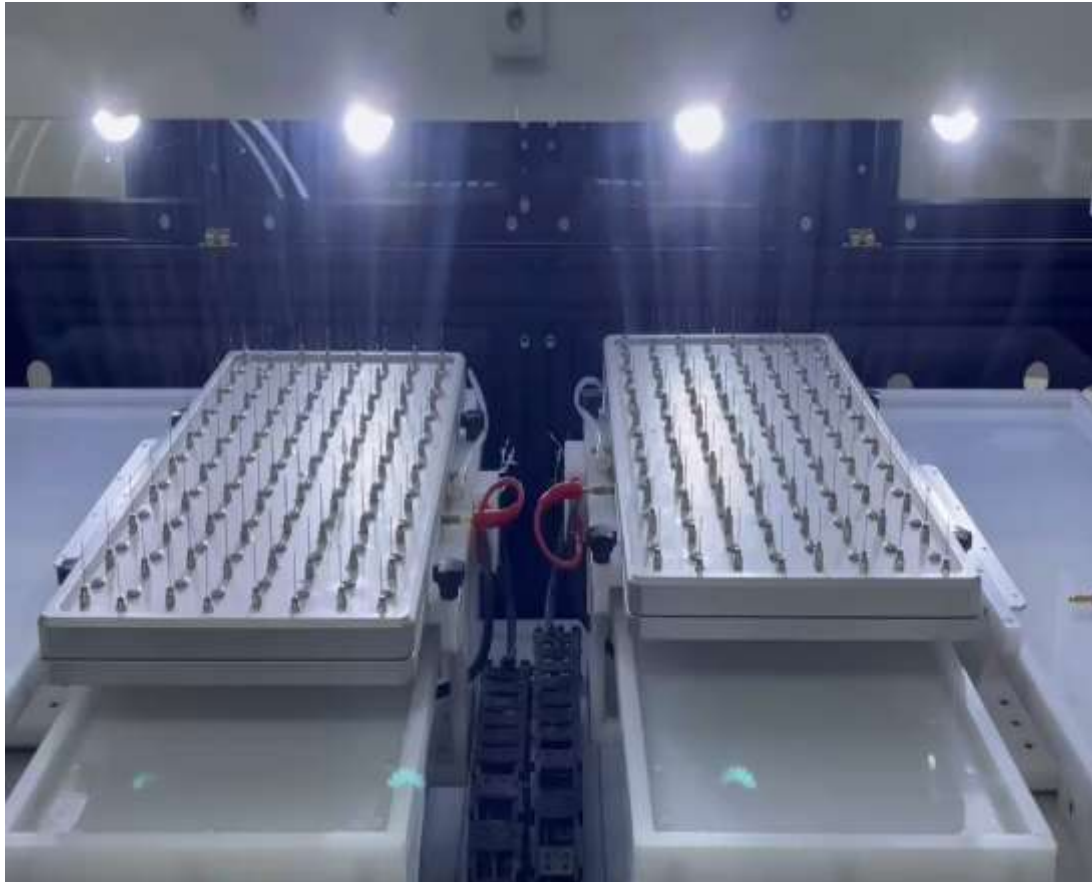
Наименование параметра	Параметрические характеристики
Материал мембран	ПВДФ, сополимер ТФЭ-ВДФ
Прочность при одноосном растяжение	до 20 МПа
Относительное удлинение	до 200 %
Пористость	до 70 %
Размер волокон	от 300 нм до 2 мкм
Размер пор	от 30 нм до 30 мкм
Температура эксплуатации	от -100 °С до +130°С
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам
Краевой угол смачивания водой	160°
Краевой угол смачивания моторным маслом	менее 10°
Электретные свойства	+
Время сохранения электретных свойств	До 3 лет

ПВДФ мембраны применяются для фильтрации органических кислот и щелочей, используются в воздушных НЕРА-фильтрах



Электроформование - технология получения фильтрующих материалов широкого спектра

Многоканальная система получения фильтрующих материалов методом электроформования



V.M. Bouznik,
E.N. Bolbasov,
One-step
production of
3D printed
ferroelectric
polymer forms
using fused
deposition
modeling,
Appl. Phys.
Lett. 119
(2021) 202902.
<https://doi.org/10.1063/5.0070365>

Технологическая схема получения 3D изделий сложной формы на основе ПВДФ и его сополимеров методом FDM 3D печати реализованная в ТПУ



Подобраны марки и необходимые соотношения отечественных фторполимеров для экструзии ПВДФ филаментов



Отработаны режимы экструзии ПВДФ филамента для печати на распространённых отечественных FDM 3D принтерах



Отработаны режимы 3D-печати изделий сложной формы размером до 300×300×300 мм на отечественных 3D принтерах

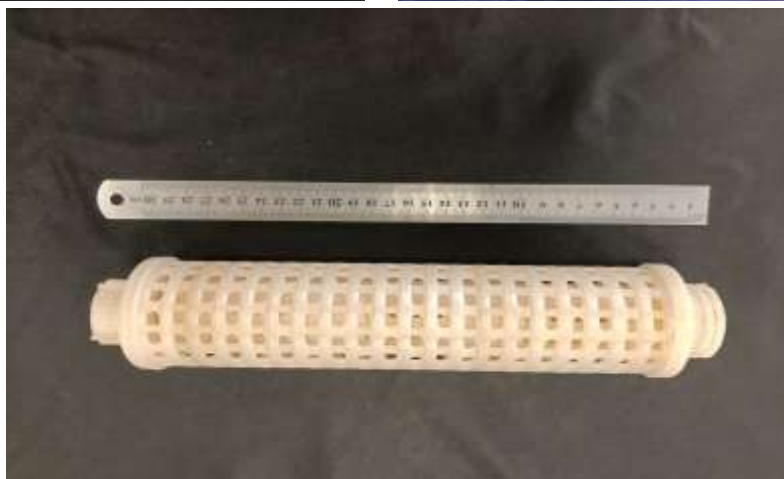
Композитные материалы на основе ПВДФ и его сополимеров, углеродных нанотрубок для FDM 3D печати

Основные технические характеристики 3D изделий	
Показатели	Значения
Температура эксплуатации, °C	от -90 до +160
Теплопроводность, Вт/(м × °C)	до 0,45
Температурный коэффициент линейного расширения, °C ⁻¹	от $6,5 \times 10^{-5}$ до 11×10^{-5}
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×см	от 300 до 10^{13}
Электрическая прочность, МВ/м	до 12
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10^3 Гц	до 0,02
Твердость по Шору (шкала D)	до 130
Коэффициент трения по стали	до 0,17
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	до 80
Относительное удлинение при разрыве, %	до 280
Модуль упругости при растяжении, МПа	до 2000
Ударная вязкость, кДж/м ²	до 200
Водопоглощение за 24 ч., %	Ниже 0,1
Радиационная стойкость, МДж/кг	1
Горючесть	Не горит
Способность к последующей механической обработке	Хорошая





3D печать изделий сложной формы на основе ПВДФ и его сополимеров

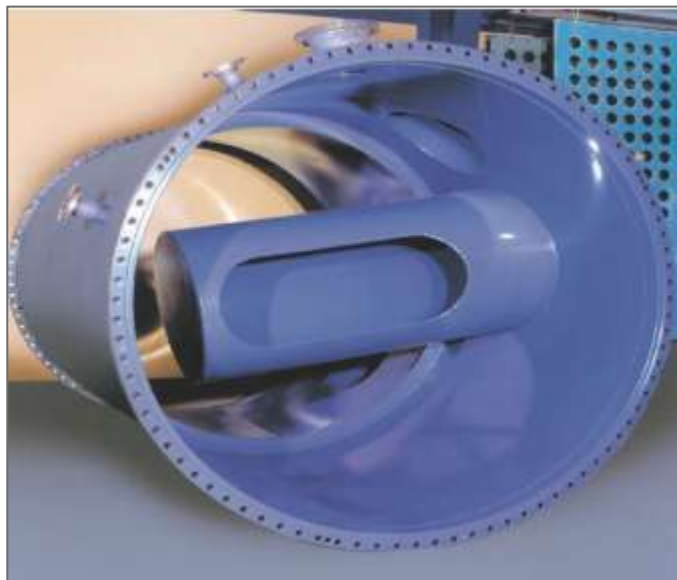


1. Оработана технология получения химически и радиационно стойкого филамента диаметром 1,75 мм из отечественного фторопласта 50 для FDM 3D печати изделий сложной формы для использования на предприятиях атомной отрасли.

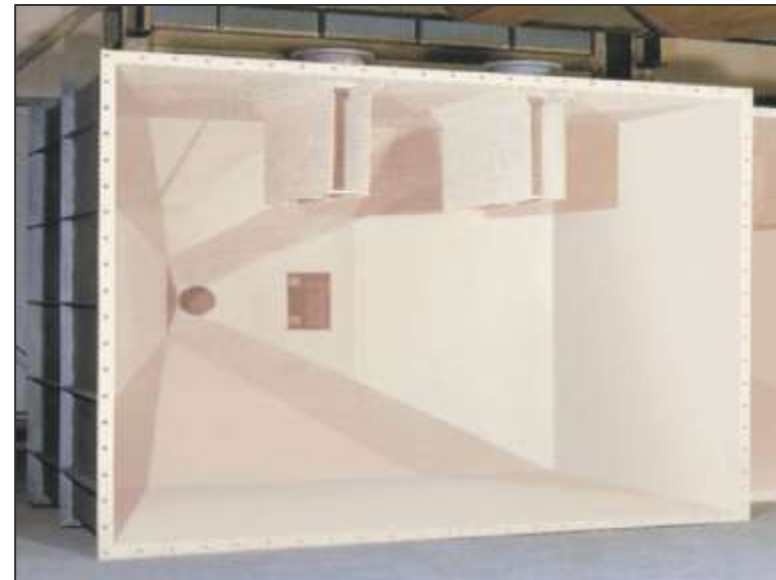
2. Оработана технология получения химически и стойкого филамента диаметром 1,75 мм из отечественного фторопласта 4 МБ для FDM 3D печати изделий сложной формы для использования на предприятиях химической промышленности.



Химически стойкие защитные покрытия и композиции на основе фторполимеров



Корпус реактора с покрытием для защиты от соляной кислоты



Промывочная ванна с покрытием для защиты от раствора каустической соды



Перемешивающее устройство химического реактора

Название: Химически стойкие полимерные покрытия для защиты от жидких и газообразных агрессивных сред при повышенных температурах и давлениях.

Назначение: Защита от коррозии поверхности химических реакторов, резервуаров и трубопроводов работающих в условиях постоянного и периодического воздействия жидких и газообразных агрессивных сред (F_2 , H_2 , HF , HCl , $NaOH$ и т.д.).

Варианты исполнения:

Покрyтия “горячего” отверждения, толщиной от 20 до 300 мкм с температурой эксплуатации от -90 до $+150$ °C Покрyтия “холодного” отверждения толщиной от 20 до 300 мкм с температурой эксплуатации от -50 до $+90$ °C

Химически стойкие защитные покрытия и композиции на основе фторполимеров

Наименование параметра	Параметрические характеристики
Материал покрытий	Поливинилиденфторид и его сополимеры
Толщина покрытия	До 300 мкм
Адгезионная прочность к металлической подложке	до 24 МПа
Эластичность по Эриксену	До 4 мм
Температура эксплуатации	от -90°C до +120°C
Водопоглощение	менее 0,01 %
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, газообразному хлору
Абразивостойкость, при температуре, 120 °C:	0,01 мм/цикл
Радиационная стойкость	До 2 МРад



Покрyтия формируются на изделиях объёмом до 6 м3 в том числе на производственной площадке заказчика



РУСАТОМ
АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Совместный проект по созданию центра реализации образовательной, научно-исследовательской, производственной деятельности и коммерциализации в области аддитивных технологий.



Цели проекта:

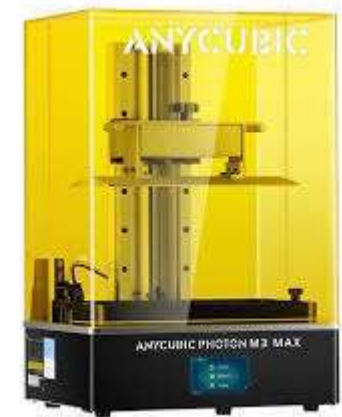
- Создание условий для подготовки инженерно-технических специалистов высшей квалификации для обеспечения атомной отрасли кадрами;
- Активизации участия ученых, аспирантов и студентов в НИР и НИОКР в области аддитивных технологий (АТ);
- Совершенствование и разработка образовательных программ в области АТ для обучающихся РФ сотрудников Госкорпорации «Росатом»;
- Проведение совместных НИР и НИОКР с Госкорпорацией «Росатом»;
- Расширение, усовершенствование и тестирование АТ в Сибирском федеральном округе;
- Реализация коммерческих заказов по 3Д-печати;
- Организация и проведение семинаров, конференций в области аддитивных технологий;



RusMelt300M промышленный SLM принтер - 1 ед.



Промышленные FDM принтеры - 12 ед.



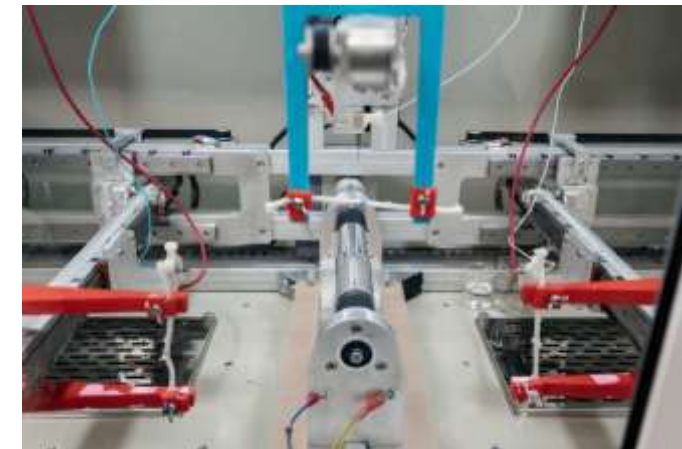
Лабораторные SLA принтеры - 6 ед.



Лабораторный принтер для EBM печати - 1 ед.



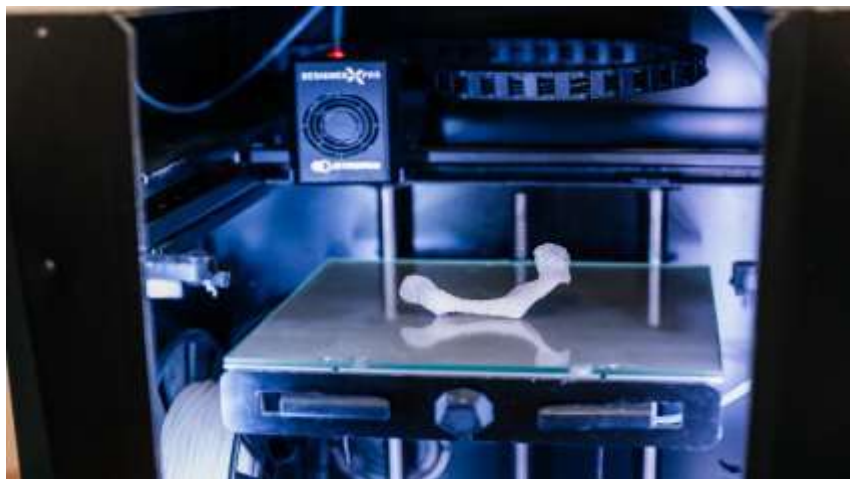
Экструдеры для изготовления композитов для FDM печати - 3 ед.



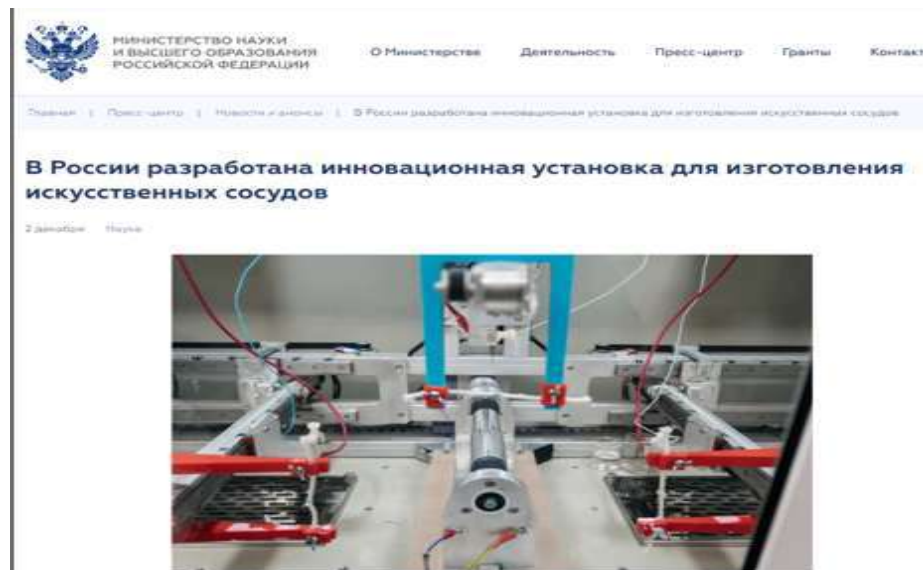
R&D система трехканального электроспиннинга - 1 шт.



Сотрудники центра руководители грантов РФ, победители конкурсов “УМНИК”, конкурса “Студенческий стартап” и программы “СТАРТ”, победители конкурсного отбора на получение стипендии Президента РФ.



Разработана первая отечественная технология полного цикла изготовления имплантатов для челюстно-лицевой хирургии



Разработана система для изготовления искусственных кровеносных сосудов и мембран для фильтрации крови

Бузник Вячеслав Михайлович
Институт общей и неорганической химии
имени Н. С. Курнакова РАН

buznikv@list.ru

Больбасов Евгений Николаевич
Томский Политехнический Университет

ftoroplast@tpu.ru

Тел: 8 (3822) 60-60-37

Трусова Марина Евгеньевна
Томский Политехнический Университет

trusova@tpu.ru

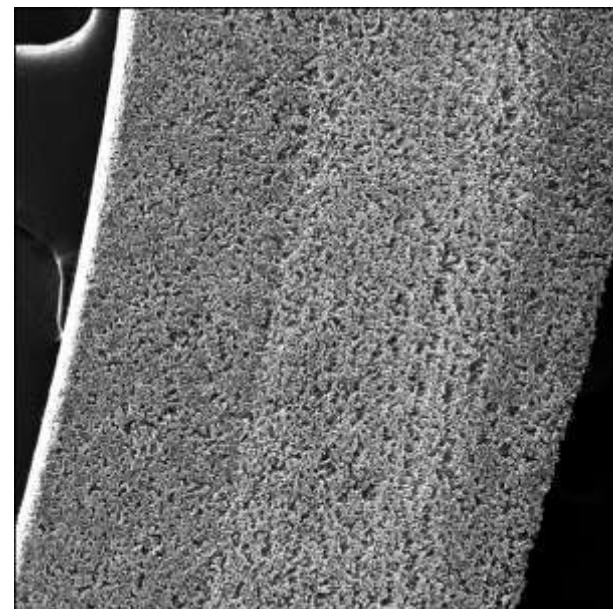
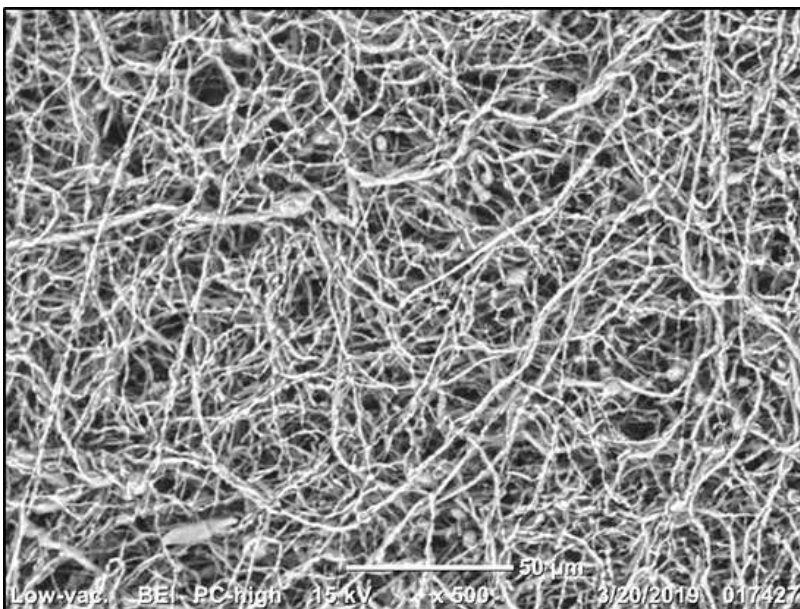
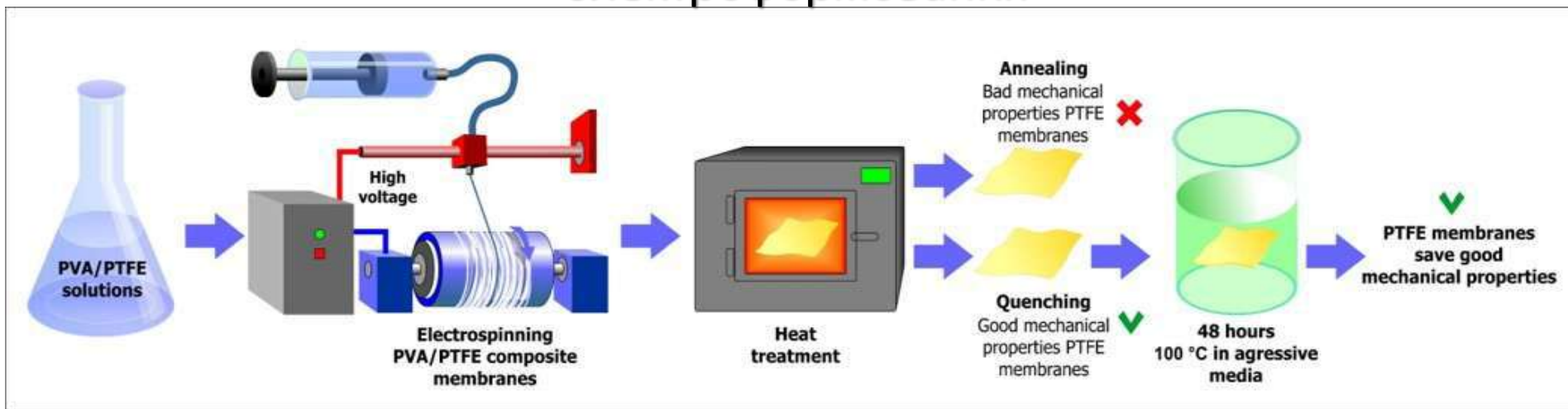
тел: +7 (3822) 706349 вн. т. 1440



**Благодарим за
внимание и
приглашаем к
сотрудничеству !**

Полимерные фильтрующие мембраны из ПТФЭ полученные методом электроформования

Схема получения фильтрующих материалов из ПТФЭ методом электроформования



Структура
поверхности и
сечение
фильтрующего
материала из
ПТФЭ
полученного
методом
электроформован
ия

V.M. Bouznik
Characterization and
Determination of the
Biocompatibility of Porous
Polytetrafluoroethylene
Membranes Fabricated via
Electrospinning/
Journal of Fluorine
Chemistry. 246
(2021) 109798

Механические свойства ПТФЭ мембран после выдержки в различных агрессивных средах при температуре 100 °С в течение 48 часов

PTFE/PVA ratio, %	Control	HNO ₃	DMSO	Motor oil	KOH	H ₂ O
Relative elongation, %						
50/50	334 ± 39	355 ± 22	332 ± 24	361 ± 42	312 ± 29	304 ± 22
60/40	298 ± 31	300 ± 36	293 ± 49	319 ± 42	315 ± 21	322 ± 26
70/30	260 ± 21	278 ± 28	264 ± 18	241 ± 45	255 ± 27	247 ± 35
80/20	216 ± 26	203 ± 34	222 ± 13	208 ± 28	212 ± 26	230 ± 27
Tensile strength, MPa						
50/50	2.26 ± 0.18	2.38 ± 0.41	2.18 ± 0.37	2.27 ± 0.32	2.17 ± 0.23	2.28 ± 0.31
60/40	2.00 ± 0.33	2.09 ± 0.39	2.14 ± 0.32	2.07 ± 0.18	1.95 ± 0.24	2.12 ± 0.27
70/30	1.85 ± 0.26	1.73 ± 0.18	1.92 ± 0.25	1.94 ± 0.21	2.00 ± 0.19	1.91 ± 0.31
80/20	1.53 ± 0.31	1.55 ± 0.23	1.60 ± 0.31	1.55 ± 0.30	1.63 ± 0.35	1.61 ± 0.31

Прекрасная химическая стойкость ПТФЭ мембран позволяет использовать этот тип мембран для фильтрации самых агрессивных сред при повышенных температурах

V Bouznik Effect of heat treatments and aggressive media on mechanical properties of porous polytetrafluoroethylene membranes fabricated via electrospinning
Journal of Fluorine Chemistry (2022) 264, 110062

Полимерные фильтрующие мембраны из ПТФЭ полученные методом электроформования

Физико-химические свойства ПТФЭ мембран полученных методом электроспиннинга

Наименование параметра	Параметрические характеристики
Материал мембран	Политетрафторэтилен
Прочность при одноосном растяжение	до 4 МПа
Относительное удлинение	до 200 %
Пористость	до 70 %
Размер волокон	от 300 нм до 2 мкм
Размер пор	от 30 нм до 30 мкм
Температура эксплуатации	от -200°C до +250°C
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, газообразному фтору и хлору
Краевой угол смачивания водой	160°
Краевой угол смачивания моторным маслом	менее 10°
Радиационная стойкость	До 2 МРад
Горючесть	Не горит

Композитные материалы на основе ПВДФ и его сополимеров, углеродных нанотрубок для FDM 3D печати

Предназначены для изготовления стойких к минеральным кислотам и щелочам изделий сложной формы на производственных площадках заказчика.

Характеристики филамента: Тип 3D печати - метод послойного наплавления (fused deposition modeling, FDM). Содержание нанотрубок в композитном филаменте - от 0 до 5 % от массы полимерной матрицы. Диаметр филамента – от 1,75 до 2,85 мм.

Конкурентные преимущества: Впервые в России реализована комплексная технология переработки отечественного сырья производимого компаниями “Галополимер” и OCSiAL в современные композитные материалы для реализации метода FDM 3D печати, превосходящие по характеристикам продукты корпораций ARKEMA и DU POINT.

