



Компания сертифицирована на соответствие системы менеджмента качества требованиям ISO 13485, ISO 9001



# Технические возможности электронно-лучевого воздействия (ЭЛО) на полимеры для модификации и импортозамещения

Докладчик:  
к.т.н., Александровский А.С.  
Инженер-технолог УК Акцентр

Москва, RUPLASTICA, 24-27 января 2023

# Сеть центров электронно-лучевой обработки Акцентр



# Сферы применения электронно-лучевой обработки

## Здоровье человека

Стерилизация медицинских изделий  
Конечные фармацевтические продукты и косметика  
Сырье и упаковка



## Полимеры

Модификация изделий  
Модификация сырьевых компонентов  
Композиционные материалы  
Переработка  
Синтез



## Продукты питания

Контроль микробиологии  
Продление сроков годности  
Сырье и упаковка



## Новые технологии

Разработка новых продуктов и материалов  
Разработка радиационных и прикладных технологий  
Коммерциализация и внедрение  
Технологическое партнёрство



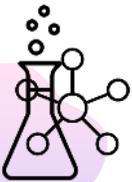
# Электронно-лучевая модификация полимеров



Технология основана на химических преобразованиях органических веществ под воздействием ионизирующего излучения. Для промышленной обработки широко применяются линейные ускорители электронов ( бета-частиц).



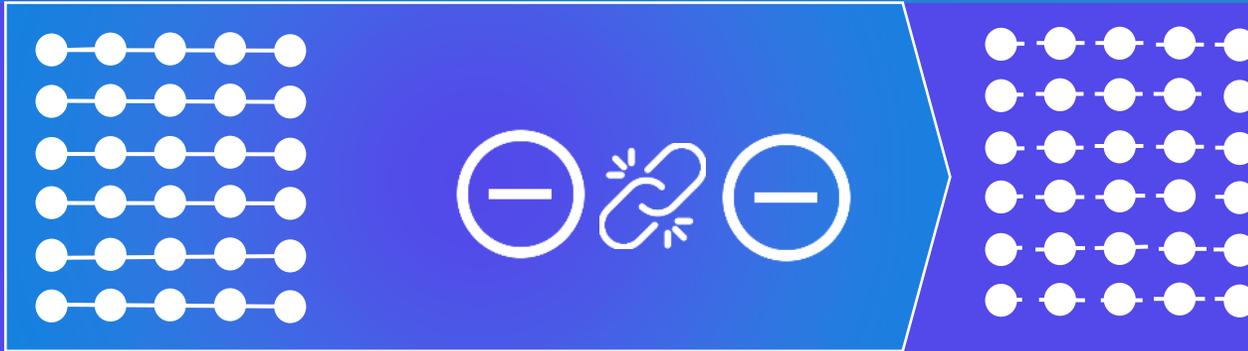
Электроны пучка передают большое количество энергии электронам на орбитах атомов облучаемых материалов. За счёт полученной энергии электроны переходят на более высокие орбиты с возбуждением атома и образованием радикалов, либо покидают атом с образованием положительно заряженного иона.



Радикалы вызывают химические реакции которые можно разделить на три типа по воздействию на молекулярную структуру: соединение, разветвление или сокращение длины молекул веществ облучаемых объектов.

# Три эффекта образования радикалов в полимерах

пучок электронов образует радикалы в любых органических веществах.



... деструкция молекул.

*пример: стерилизация, снижение средней молекулярной массы деструкция целлюлозы, PTFE, бутилкаучуков*

радикалы приводят к химическим реакциям, в результате которых происходит изменение структуры макромолекул полимера...



... СВЯЗЬ МЕЖДУ СОБОЙ.

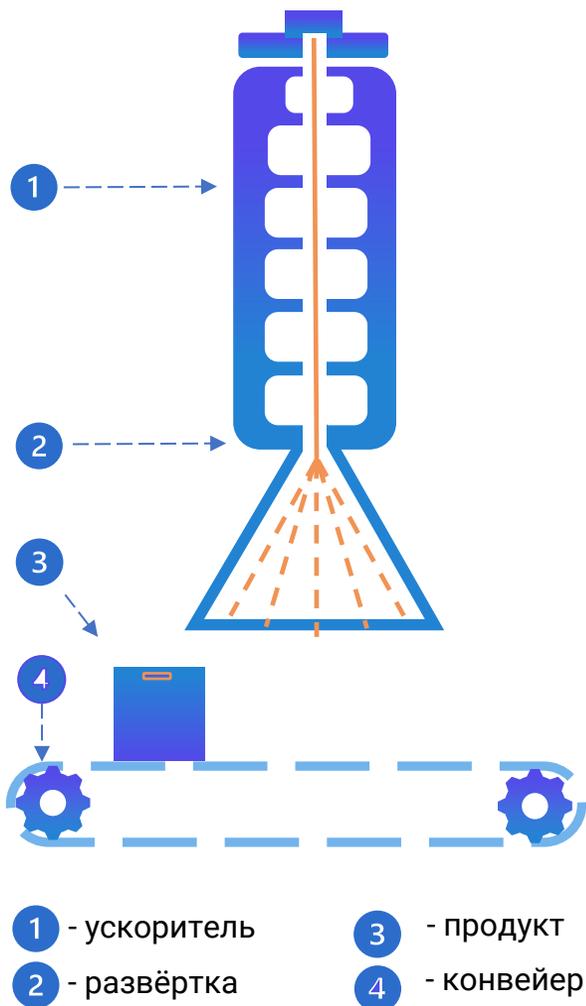
*Пример: сшивка труб и кабельной изоляции, термоусадка, вулканизация резин, упрочнение*



... СВЯЗЬ С ДРУГИМИ.

*Пример: отверждение смол, прививка биосовместимых материалов, сополимеров, микропористые материалы*

# Принципы процесса электронно-лучевой обработки



Промышленный линейный ускоритель, обеспечивает пучок электронов энергий до 10 МэВ.

Поток электронов на выходе из ускорителя разворачивается в виде веерообразного пучка в зону облучения.



Продукты проходят зону обработки на конвейере в конечной упаковке или в контейнерах в случае сыпучих материалов.



Мощность излучения, ширина развёртки пучка, скорость движения конвейера, позволяют точно контролировать дозу облучения.



Высокая мощность пуска ускоренных электронов обеспечивают очень высокую скорость обработки.

Процесс идёт при нормальных температуре и давлении.



Облучение электронами не ведёт к распаду ядер и образованию радиоактивности в обрабатываемых продуктах.

# Преимущества электронно-лучевой обработки

- обработке подвергаются готовые изделия, существующий производственный процесс клиента не меняется;
- обработка проводится в оригинальной упаковке
- не требует капитальных затрат заказчика
- можно использовать для изделий из комбинированных материалов, в том числе с металлами
- параметры обработки точно настраиваются, контролируются и воспроизводятся
- высокая производительность обработки
- процесс обработки проходит при комнатной температуре и нормальном давлении
- не используются химические реагенты
- не образуются отходы

# Нано- и микропорошки фторопласта

**Фторопласт** также известный под торговой маркой **тефлон** — полимер тетрафторэтилена (ПТФЭ), широко применяемый в технике и быту. Этот материал обладает редкими физическими и химическими свойствами — хорошим скольжением и химической инертностью.



**Микропорошки ПТФЭ** (политетрафторэтилена) благодаря малым микронным или субмикронным размерам обеспечивают антифрикционные, **гидрофобные, антиобледенительные, противообрастающие свойства поверхности**. Добавки mPTFE находят широкое применение в **процессинговых добавках, промышленных, автомобильных маслах, пластичных смазках, ЛК покрытиях, антипригарных антифрикционных покрытиях**.



**Основные лидеры рынка mPTFE:**

- 3M Dynamar™ и Dyneon™
- Chemours (Zonyl™ Micropowders)
- Solvay (Polymist® PTFE, Algoflon® L PTFE)
- AGC Fluon

-Общий объем рынка mPTFE в РФ может достигать **10-15 т/мес.** по чистому продукту.

# Технология производства мПТФЭ

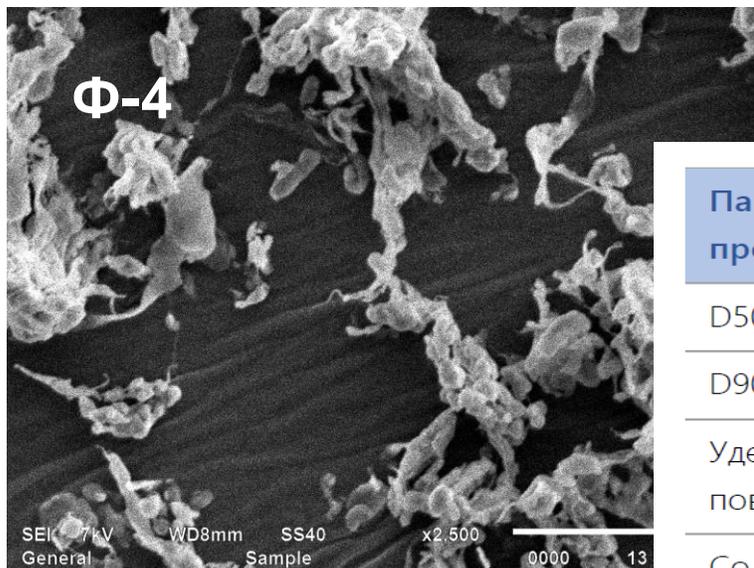
Специалистами компании разработана уникальная для РФ технология производства микронизированного порошка фторопласта из грубодисперсного порошка отечественного производства



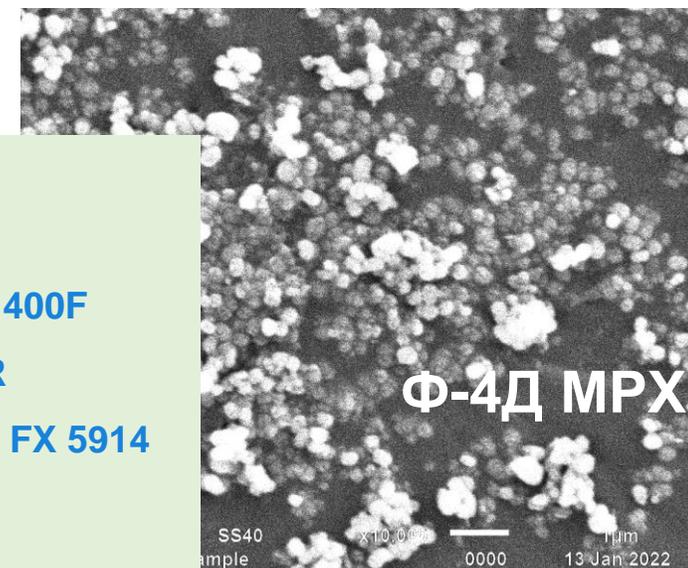
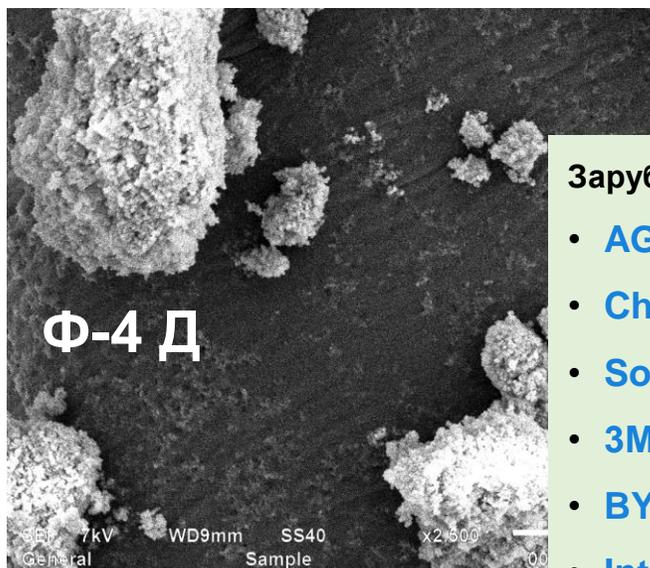
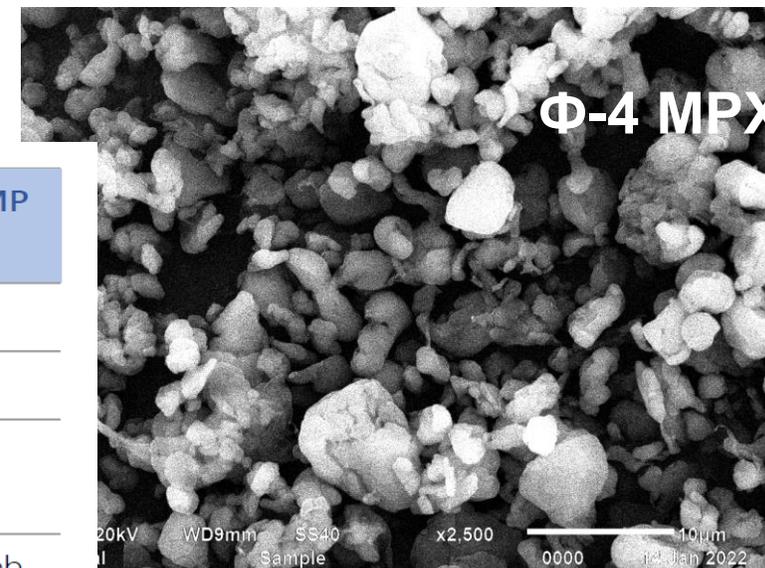
**Соответствие  
Требованиям  
REACH по конц.  
PFOA, ASTM  
D7968, ASTM  
D7979, (EU)  
2020/784)**



# Особенности и характеристики мПТФЭ Fluoromic™



Параметры продукта	F-4 MPX	F-4D MPX	F-4D MP
D50, мкм	5	2	4
D90, мкм	11	6	9
Удельная площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г	2.2	>8	>8
Содержание ПФОК	< 25 ppb	<25 ppb	<25 ppb
Температура кристаллизации, °C	327 +-5 °C	327+-5 °C	330+-5 °C



## Зарубежные продукты аналоги

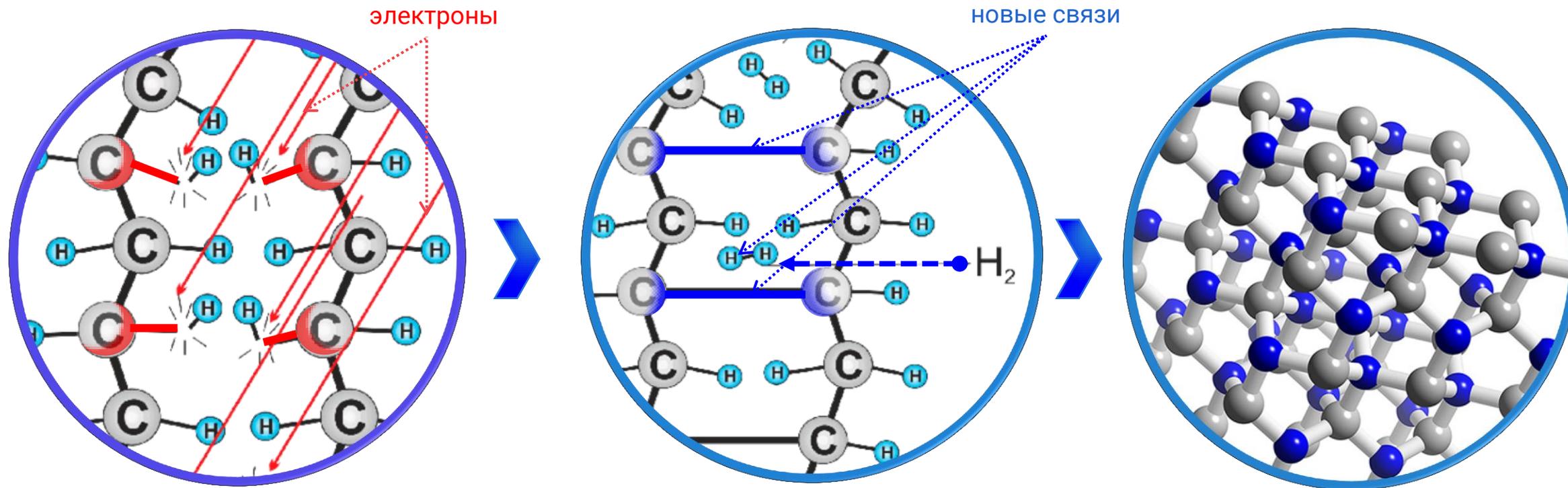
- AGC Fluon FL 1679Z, 1680Z, 1700 Z, 1710Z, 1730HZ
- Chemours Zonyl™ MP 1100E, MP 1200, MP 1300, MP 1400, MO 1400F
- Solvay Polymist® F5 A R, F 284 R, XPP 552 R, Algoflon® L 206 R
- 3M™ Dyneon™ TF 9205, TF 9207Z, Dynamar™ FX 5911, FX 5912, FX 5914
- BYK Ceraflour 981
- Interflon MicPol™

# Радиационно-модифицируемые электротехнические изделия

- Контактные колодки
- Хомуты ПА, ПЭ
- Изоляция силовых кабелей
- Крепеж, зажимы
- Клеммы, наконечники
- Термоусадочные трубки



# Радиационная сшивка полимеров на примере полиэтилена



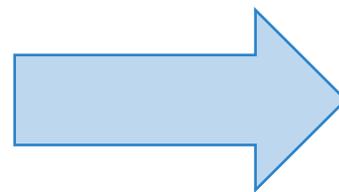
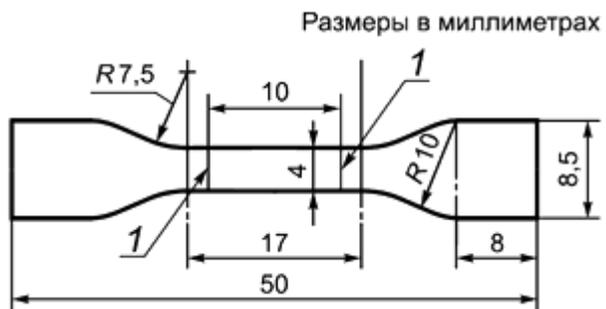
Электроны выбивают электроны из атомов и образуют радикалы и ионы, происходит разрыв связей (-C-H)

Происходят химические реакции и образуются новые связи (-C-C-) между атомами углерода соседних молекул. Ионы водорода образуют молекулу водорода.

Макромолекулы полимера за счёт поперечных связей образуют пространственные структуры.

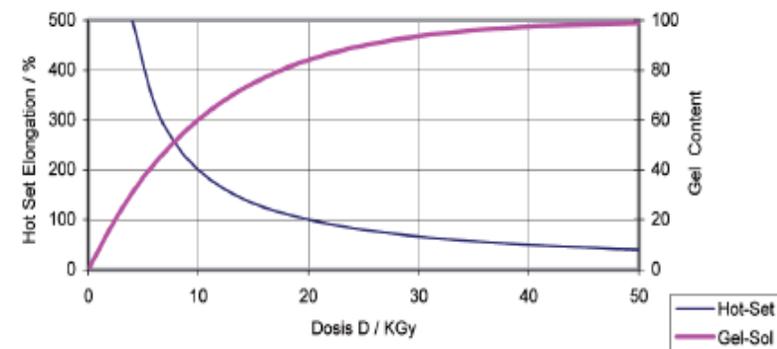
# Развитие и поддержка производителей термоусаживаемых электротехнических изделий.

Термоусаживаемые электротехнические изделия и кабельная изоляция производится на основе композиций из LDPE, HDPE, EVA и др. подвергаемых сшивке. **Степень сшивки** - одна из важнейших характеристик полимерных материалов обуславливающая химические, термомеханические, физико-механические характеристики полимерного материала (изделия).



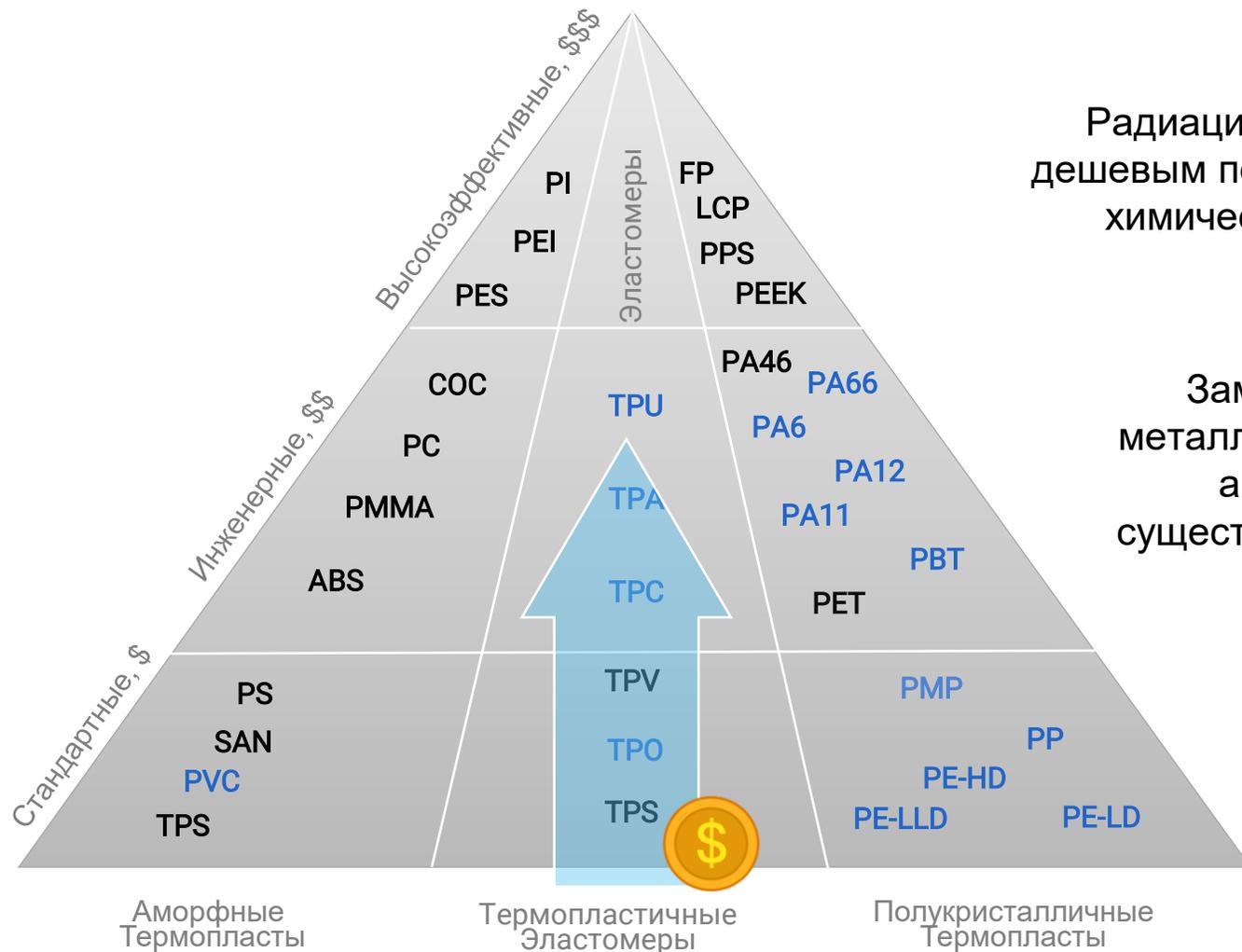
Correlation Gel-Sol / Hot-Set

Технологические свойства термоусаживаемых электротехнических определяют методом Hot set (Hot creep) по продольному растяжению при нагревании образца. Данный метод эффективен при определении степени сшивки материала с точки зрения его технологичности (способности к растяжению и усадке). Альтернативный метод определения степени сшивки - химический (измерение гель-золь)



# Целесообразность радиационной сшивки полимеров

Подход к модификации – переход термопластов в терморезактивные материалы



Радиационная сшивка придаёт товарным или дешевым полимерам механические, термические и химические свойства высокотехнологичных полимеров.

Замена ответственных деталей (в т.ч. металлов) сшитыми полимерами, имеющими аналогичные свойства, позволяет существенно сэкономить на стоимости сырья и его обработке

Для оценки изменения свойств после облучения, Акцентр может выполнить специальные испытания.

полимеры подходящие для **коммерчески** эффективной сшивки

# Изменение свойств сшиваемых полимеров



## температурные свойства

Улучшение стабильности размеров при изменении температуры

Увеличение температур выдержки механических нагрузок без изменения (Теплостойкость)

Увеличение рабочих температур полимера без деструкции (Термостойкость)

Увеличение сопротивления нагретому стержню

Повышение стойкости к температурному старению



## трибологические свойства

Повышенная износостойкость

Повышенная устойчивость к фрикционному нагреву: отсутствие плавления трущихся поверхностей

Повышенная точность размеров

Возможность использовать универсальные смазки

Повышенная механическая несущая способность (замещение металлических шестерен сшитыми полимерными)



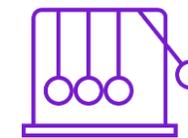
## химические свойства

Снижение растворимости

Уменьшение влагопоглощения и разбухания, повышение гидрофобности и олеофобности

Повышение стойкости к гидролизу, действию растворителей (нефтяных)

Повышение стойкости к химическому старению



## механические свойства

Увеличение модулей прочности, твердости и др.

Улучшение свойств при сжатии, растяжении, изгибе

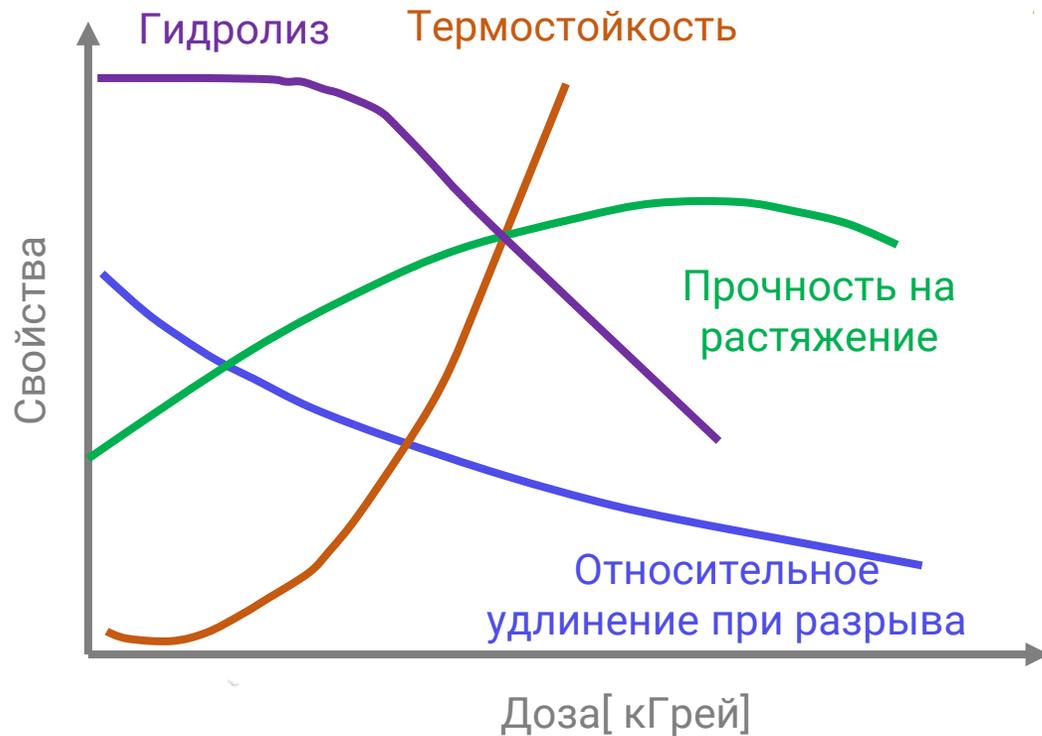
Уменьшение холодной ползучести

Повышение устойчивости к растрескиванию под напряжением

Повышение прочности сварной линии

Улучшение поведения ползучести под внутренним давлением

# Общие закономерности изменение свойств радиационно модифицируемых полимеров



## Механические свойства

- Увеличение модулей
- Снижение отн. удлинения при разрыве
- Снижение ползучести
- Повышение прочности
- Повышение устойчивости к абразивному износу
- Повышение устойчивости к трещинам при изгибе
- Эффект памяти формы
- Улучшение трибологических свойств

## Термические свойства

- Устойчивость к температурам
- Снижение возгораемости
- Снижение ТКЛР

## Химические свойства

- Повышение химической стойкости
- Снижение растворимости
- Снижение гидролиза
- Снижение влагопоглощения

Спектр получаемых свойств зависит от основного используемого полимера.

# Радиационно-сшиваемые полимеры.

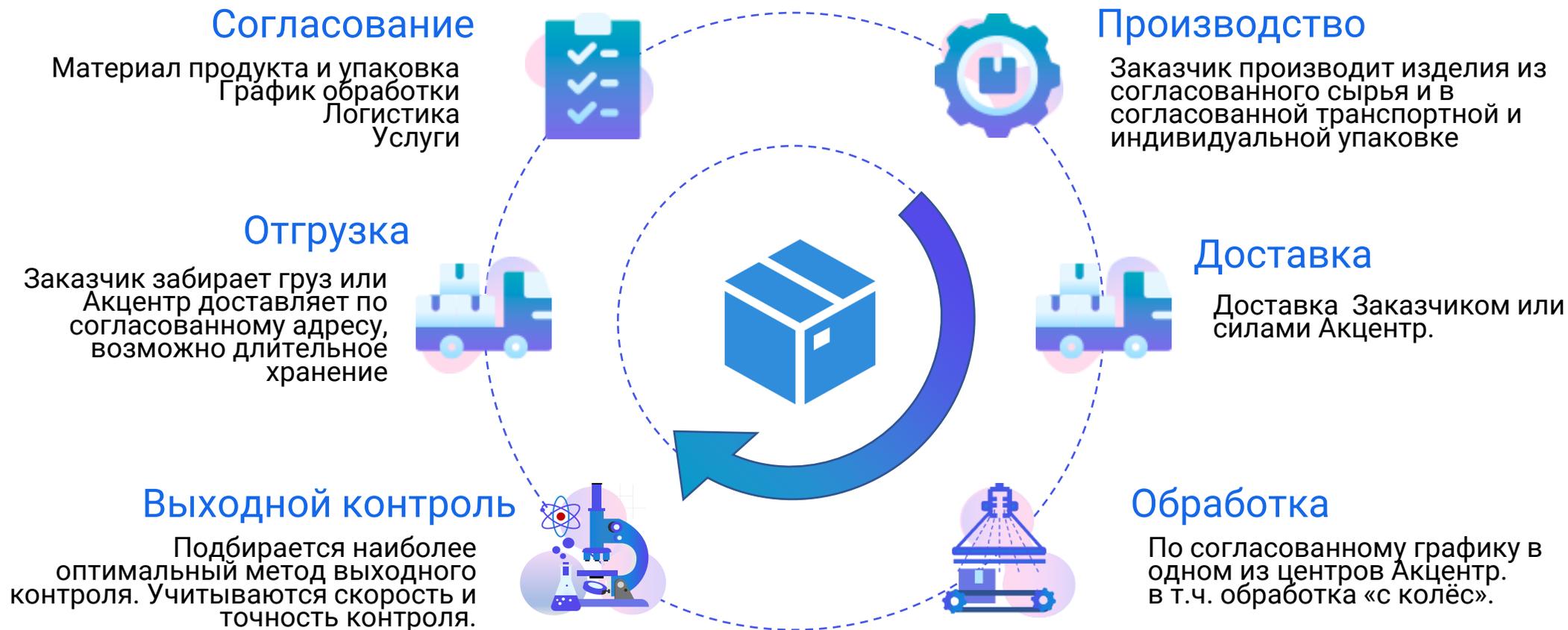
Для некоторых полимеров могут использоваться промоутеры сшивки. Сшивающие агенты можно добавлять во время производства гранулята (компаундирование) или непосредственно перед формованием (концентрат).

Добавки обеспечивают или ускоряют сшиваемость и могут дополнительно оптимизировать профиль свойств пластика.

Используемые сшивающие агенты хорошо известны в пластиковой и резиновой промышленности.

Полимеры		Активатор сшивки	
		Да требуется	Не требуется
Термопласты	Полиэтилен PE (LLDPE / LDPE / MDPE / HDPE / UHMWPE)		◆
	Полипропилен PP (гомополимеры / сополимеры)	◆	
	Полиамиды PA (PA 6 / 6,6 / 11/12)	◆	
	Полибутиленорейтат PBT	◆	
	Поливинилиденфторид PVDF	◆	
	Этилен-тетрафторэтилен ETFE	◆	
	Поливинилхлорид PVC (только пластифицированный)	◆	
	Этиленвинилацетат (EVA)		◆
	Хлорированный полиэтилен (CPE)		◆
Термопластические эластомеры	Полиэфирные ТЭП (TPE-E)		◆
	Термопластичные полиуретаны ТПУ (TPE-U)	◆	
	Термопластичные полиэфирные блок-амиды (TPE-A)		◆
Эластомеры	Бутадиен-стирольный каучук (SBR)	◆	
	Фторорганические каучуки, фторэластомеры (СКФ, FKM)		◆
	Этилен-пропиленовый каучук (EPDM)		◆
	Силиконовые резины		◆

# Процесс плановой обработки





# Контакты и адреса



Телефон  
+7 800 600 28 43



E-mail  
[info@axenter.ru](mailto:info@axenter.ru)



Веб-сайт  
[axenter.ru](http://axenter.ru)

○ **Акцентр Северо-Запад**  
19665, Санкт-Петербург,  
г. Колпино, ул. Финляндская. 35

○ **Акцентр Групп**  
141983, Московская обл.,  
г. Дубна, ул. Технологическая , д. 4

○ **Акцентр**  
155250, Ивановская обл.,  
г. Родники, ул. Советская, д. 20 лит. В

**Виталий Сохацкий**  
Исполнительный директор  
+7 921 958 7048  
[vitaliy.sohatskiy@axenter.ru](mailto:vitaliy.sohatskiy@axenter.ru)

**Артем Кузнецов**  
Директор по развитию  
+79099181515  
[antonk@axenter.ru](mailto:antonk@axenter.ru)

**Антон Александровский**  
Инженер-технолог, к.т.н.  
+79169520186  
[anton.alexandrovsky@axenter.ru](mailto:anton.alexandrovsky@axenter.ru)

○ **УК Акцентр, R&D -центр**  
Москва, Партийный переулок 1, корп. 57, стр. 3  
Пн-Пт, 9:00 – 18:00