



VIII Российский конгресс переработчиков пластмасс

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРЫ
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
В 3D ПЕЧАТИ**



ХАШИРОВА СВЕТЛАНА ЮРЬЕВНА

д.х.н., профессор

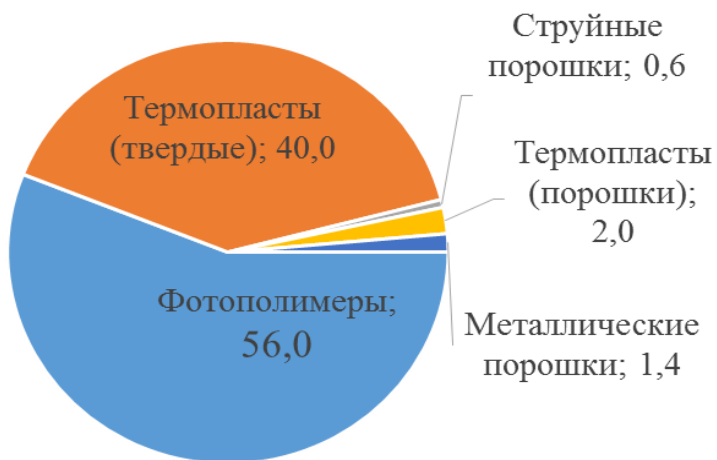
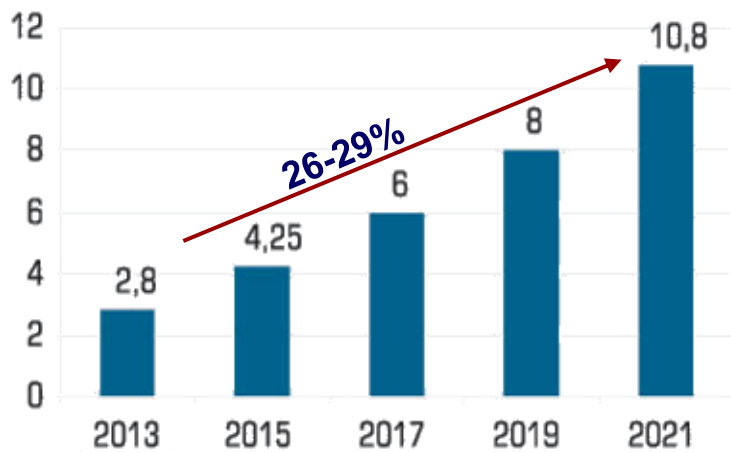
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский
государственный университет им.Х.М. Бербекова»

Москва, 3-4 апреля 2017 г.



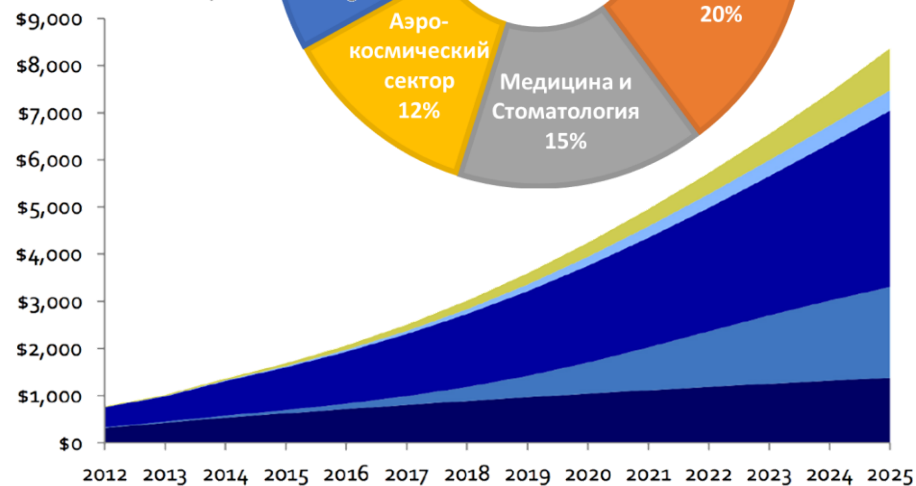
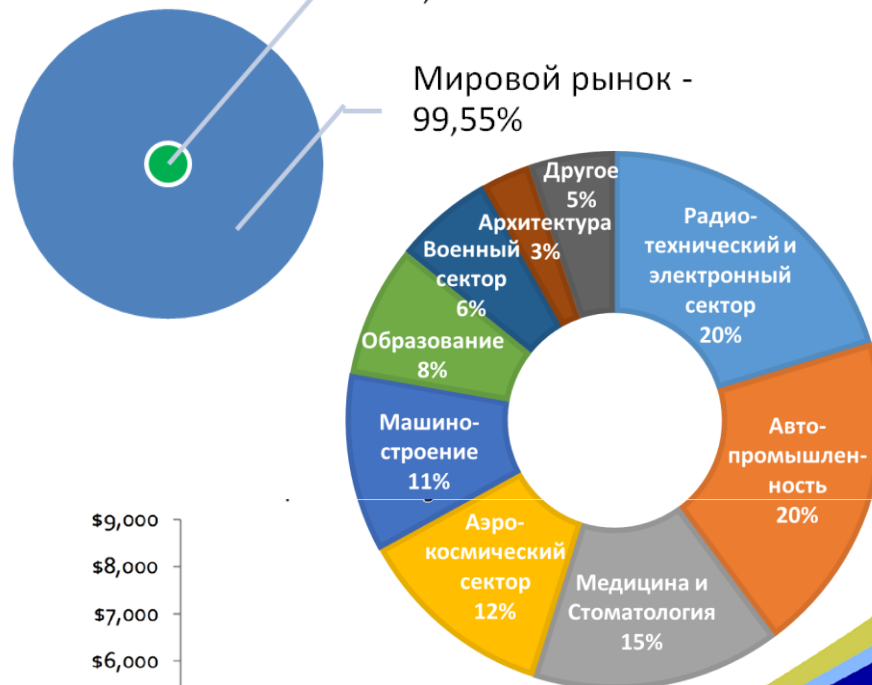
РЫНОК 3D ПЕЧАТИ

Прогноз роста объема аддитивного производства в мире, млрд долларов



Российский рынок - 0,45%

Мировой рынок - 99,55%



■ авиация космос ■ медицина ■ автомобилестроение ■ электроника ■ другое



Примеры внедрения 3D печати



БЦЛА PTERA (BOEING)



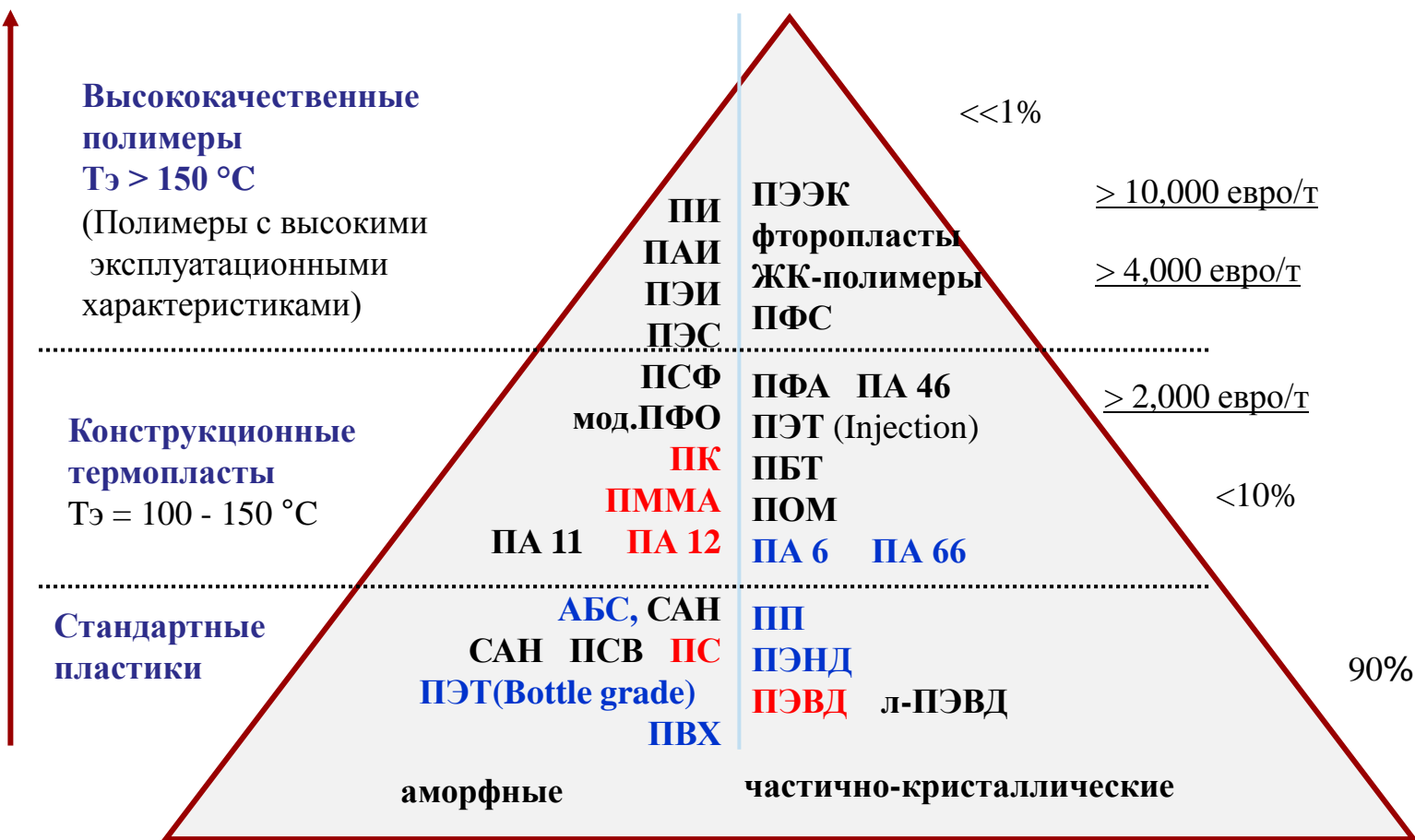
Протезы



Автомобиль Local Motors

- Стремительный рост объема 3D печати в мире (по оценкам Wohlers Report - 10,8 млрд. долларов к 2021 г.).
- Необходимость сокращения времени выхода изделий на рынок с одновременным сокращением затрат на производство и логистику с целью повышения конкурентоспособности отечественных предприятий на мировом рынке.
- Возможность получения деталей сложной формы, которые невозможно получить традиционным способом.
- Повышение импортонезависимости отечественных предприятий от зарубежных поставщиков оборудования и материалов для 3D-печати из США и Европы.
- Ограниченность свойств существующих материалов для получения высокопрочных и высокоточных изделий путем 3D печати.
- Высокая стоимость зарубежных специальных полимеров (СП) в целом из-за сложности технологии.
- Отсутствие технологий производства специальных полимеров для 3D печати в России.

ПОЛИМЕРЫ В 3D ПЕЧАТИ



■ Полимеры используемые в SLS технологии 3 D

■ Полимеры используемые в FDM технологии 3 D



НОВИЗНА ПОДХОДОВ

Повышение технологичности и снижение стоимости СП для 3D печати

ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД к получению ПЭС, ПЭК

- многостадийность
- длительность реакции (6-7 часов)
- использование токсичных азеотропообразователей (бензол, толуол, хлорбензол)
- сложность получения полимера с высокой молекулярной массой
- использование взрывоопасных высокотоксичных газов для дезактивации остаточных реакционных групп
- трудоемкость очистки полимера от побочных продуктов поликонденсации
- сложность получения мелкодисперсного порошка

НОВЫЙ ПОДХОД

- сокращение стадий
- высокая скорость реакции (3 часа)
- исключение токсичных азеотропообразователей
- исключение токсичных взрывоопасных газов
- исключение операции фильтрования реакционного раствора от побочных продуктов
- совмещение операций выделения полимера и получения порошка

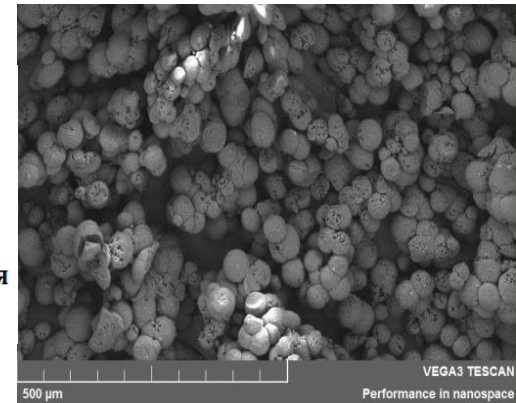
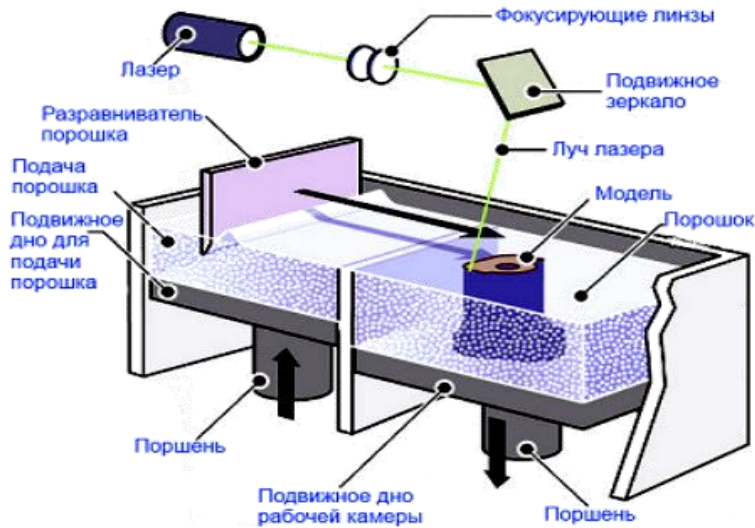
Новая технология получения полиэфирсульфонов и полиэфиркетонов, адаптированных для 3D печати



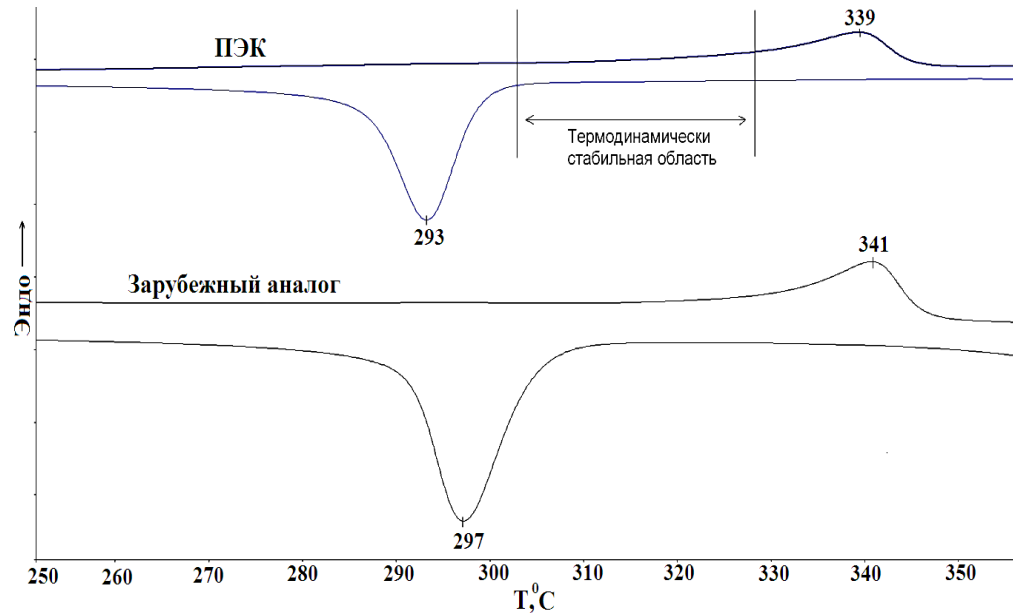
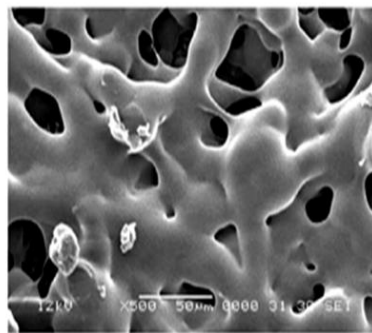
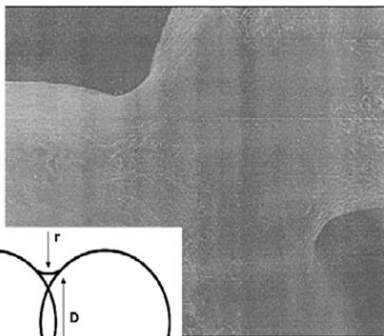
ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПЕЧАТИ

Метод селективного лазерного спекания

Требования метода СЛС к полиэфиркетонам

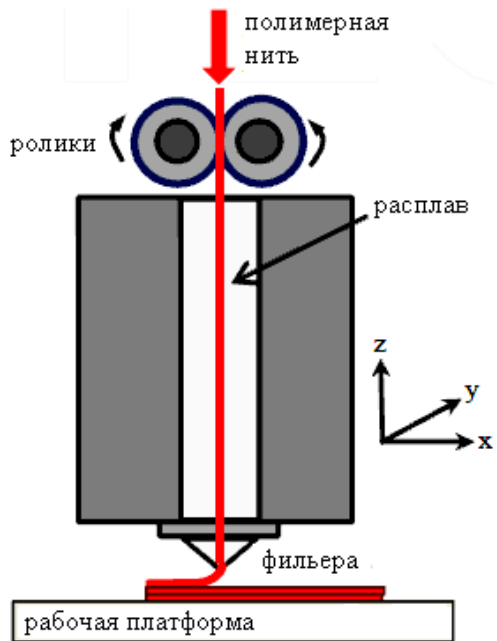


Спекание и сплавление частиц

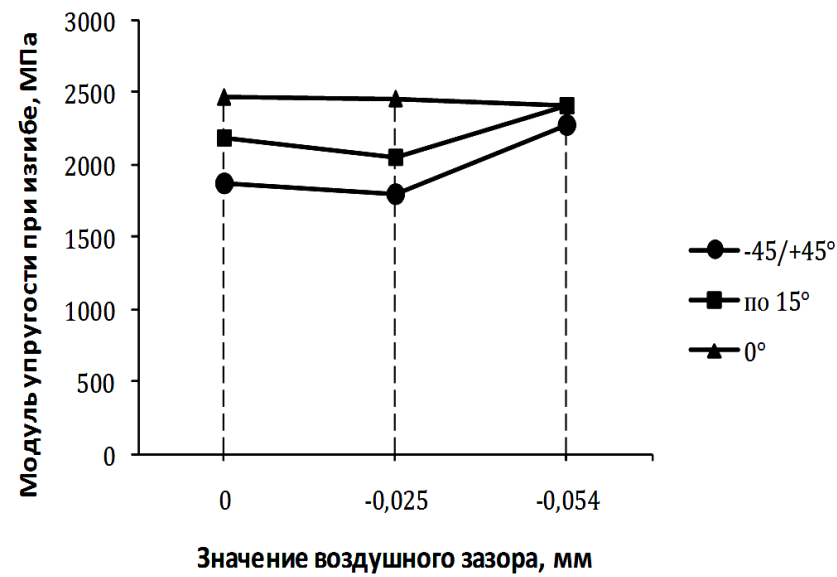
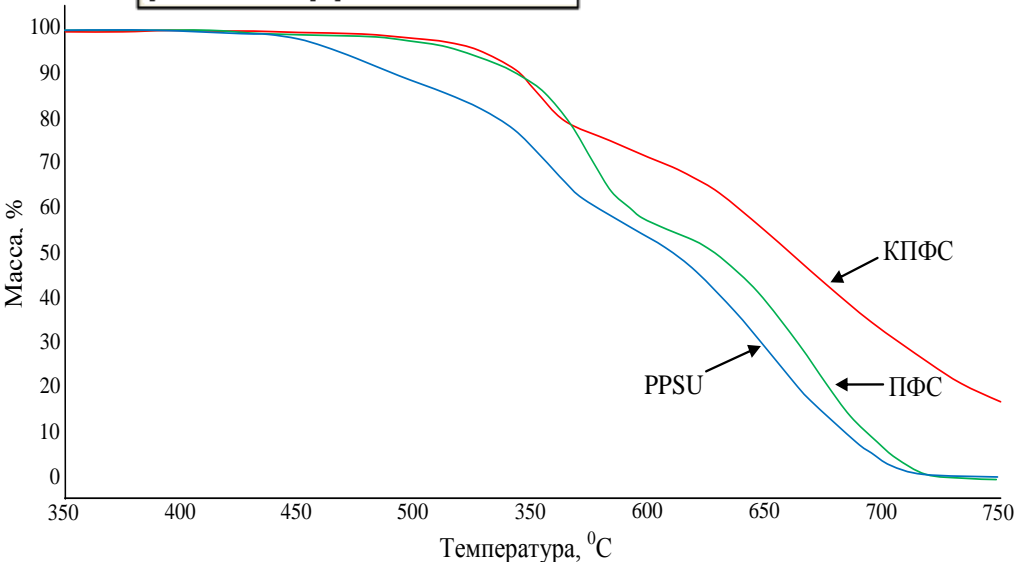
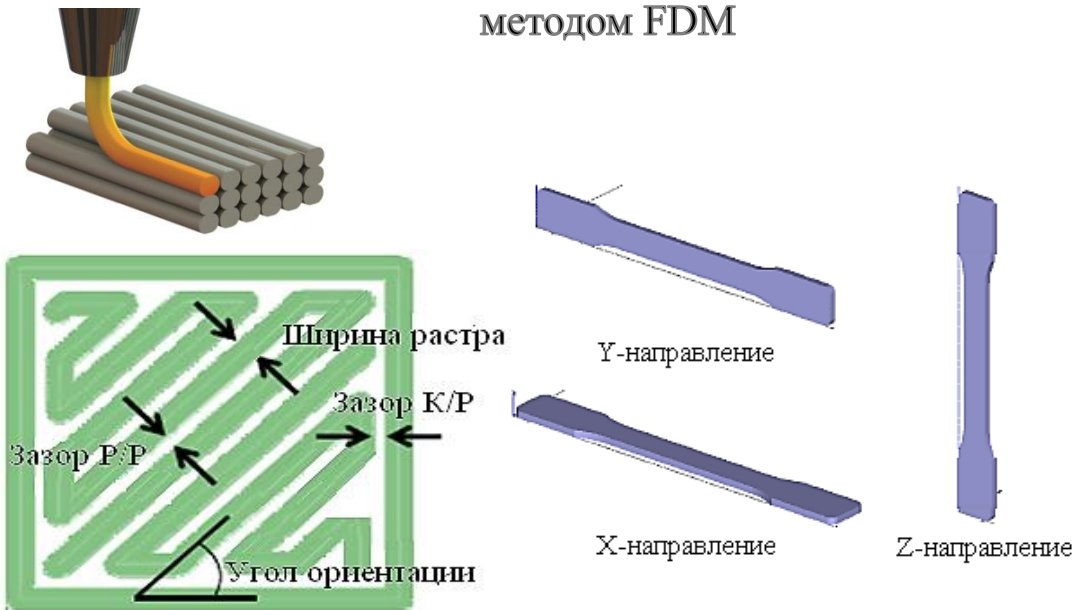


ТЕХНОЛОГИЯ 3Д ПЕЧАТИ


Схематическое изображение процесса FDM



Регулируемые параметры печати методом FDM



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ 3D ПЕЧАТИ МЕТОДОМ FDM

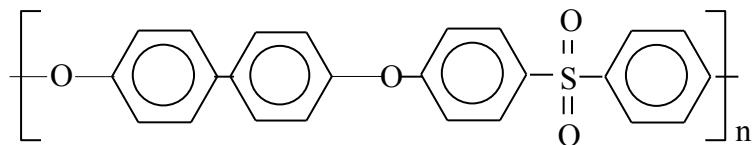


| СОСТАВ | $A_p, \text{кДж/м}^2$ | | E изг, МПа | E раст, МПа | σ разр, МПа | σ тек, МПа | $\varepsilon, \%$ |
|-----------------------|-----------------------|------|---------------|----------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| | б/н | с/н | | | | | |
| PPSU-литьевой | не разр. | 20 | 2420 | 1620 | 60 | 76 | 30 |
| P/P=0 (45/45°) | 25 | 17 | 1875 | 1395 | 35 | - | 5 |
| P/P=-0,025 (+45/-45°) | 60,5 | 7,4 | 2190 | 1605 | 42 | - | 6 |
| P/P=-0,054 (+45/-45°) | 55,5 | 10,5 | 2470 | 1830 | 49 | - | 6 |
| P/P=0 (по 15°) | 20 | 4,2 | 1800 | 1440 | 30 | - | 5 |
| P/P=-0,025 (по 15°) | 21 | 8,5 | 2050 | 1590 | 38 | - | 6 |
| P/P=-0,054 (по 15°) | 23 | 9,9 | 2460 | 1820 | 46 | - | 6 |
| P/P=0 (0°) | 86 | 80 | 2280 | 1585 | 48 | - | 5 |
| P/P=-0,025 (0°) | не разр. | 10,5 | 2410 | 1725 | 64,5 | - | 4 |
| P/P=-0,054 (0°) | не разр. | 12 | 2415 | 1780 | 50 | - | 6 |



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ПОЛИЭФИРСУЛЬФОНЫ



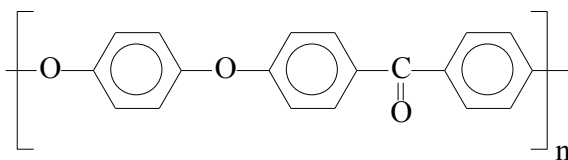
| Наименование показателя | | ПФСн* | | КПФСн-1** | | КПФСн-2** | |
|---|-------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | литье | 3D печать | литье | 3D печать | литье | 3D печать |
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ² | без надреза | н/р | н/р | 155 | н/р | н/р | н/р |
| | с надрезом | 20 | 25,4 | 8,8 | - | 12,5 | - |
| Модуль упругости при изгибе, ГПа | | 2,50 | 2,55 | 3,45 | 3,55 | 3,3 | 4,1 |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа | | 2,20 | 2,10 | 3,2 | 2,76 | 3,07 | 3,15 |
| Предел текучести, МПа | | 87,5 | - | 91,0 | - | 89 | - |
| Прочность при разрыве, МПа | | 70 | 79 | 75 | 70 | 70 | 70 |
| Относительное удлинение, % | | 16 | 8,0 | 14 | 5,0 | 13 | 5,0 |
| Теплостойкость по Вика, °С | | 225 | 225 | 230 | 234 | 228 | 236 |
| ПТР, г/10 мин. при 350°С | | 25 | 25 | 32 | 32 | 33 | 33 |

*ненаполненные, **наполненные



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ПОЛИЭФИРКЕТОНЫ



| Наименование показателя | | СПЭК | ПЭК | СПЭК 1 | СПЭК 2* | СПЭК 3* |
|---|-------------|--------|-------|--------|---------|---------|
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ² | без надреза | н/р | н/р | н/р | 50 | 25 |
| | с надрезом | 6 | 9,4 | 9,7 | 11,7 | 8,5 |
| Модуль упругости при изгибе, ГПа | | 2,95 | 3,85 | 4,05 | 23,3 | 20,3 |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа | | 2,30 | 2,92 | 3,10 | 14,0 | 13,1 |
| Прочность при разрыве, МПа | | 82 | 105 | 125 | 243 | 210 |
| Предел текучести при растяжении, МПа | | 83 | 99 | 108 | - | - |
| Относительное удлинение, % | | 100 | 86 | 92 | 4,0 | 3,5 |
| Теплостойкость по Вика, °С | | 150 | 345 | 360 | - | - |
| ПТР, г/10 мин. при 350°С | | 13/130 | -/7,4 | -/5,2 | 16,5 | 59,0 |

*наполненные



КОНКРЕТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА НОВЫХ ПОЛИСУЛЬФОНОВ

| Наименование показателя | Зарубежный аналог | Предлагаемая продукция | | | Уровень предлагаемой продукции |
|---|-------------------|------------------------|--------|--------|--------------------------------|
| | | ПФС | КПФС-1 | КПСФ-2 | |
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ² , без надреза | н/р | н/р | н/р | н/р | на уровне |
| Модуль упругости при изгибе, ГПа | 2,20 | 2,55 | 3,55 | 4,1 | превышает |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа | 1,68 | 2,10 | 2,76 | 3,15 | превышает |
| Прочность при разрыве, МПа | 75 | 79 | 70 | 70 | на уровне |
| Относительное удлинение, % | 9,0 | 8,0 | 5,0 | 5,0 | на уровне |
| Теплостойкость по Вика, °С | 207 | 225 | 234 | 236 | превышает |
| ПТР, г/10 мин. при 350°С | 23 | 25 | 32 | 33 | превышает |
| Кислородный индекс, % | 43 | 48 | 49 | 49,7 | превышает |
| Тепловыделение при горении, кВт/м ² | 113 | 108 | 63,0 | 52,0 | превышает |

* Образцы для испытаний изготовлены методом 3D печати



КОНКРЕТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА НОВЫХ ПОЛИЭФИРКЕТОНОВ

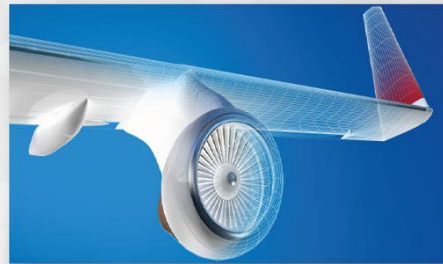
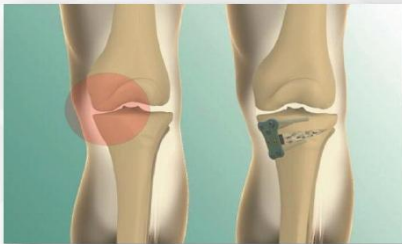
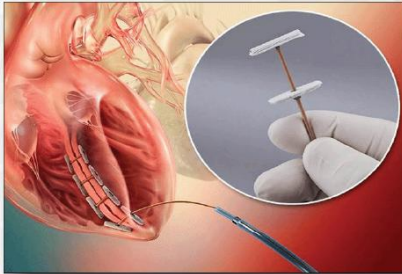
| Наименование показателя | Зарубежный аналог | Предлагаемая продукция | Уровень предлагаемой продукции |
|---|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| | | СПЭК | |
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ² , без надреза | н/р | н/р | на уровне |
| Модуль упругости при изгибе, ГПа | 3,74 | 4,05 | превышает |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа | 2,98 | 3,10 | превышает |
| Прочность при разрыве, МПа | 117 | 125 | превышает |
| Предел текучести, МПа | 98,2 | 108 | превышает |
| Относительное удлинение, % | 120 | 92,5 | на уровне |
| ПТР, г/10 мин. при 350°С | 10 | 7,4 | на уровне |

* Образцы для испытаний изготовлены методом литья



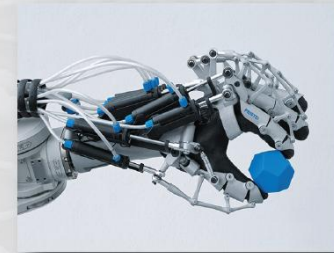
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

▼ Медицина



▲ Авиакосмическая отрасль

▼ Мехатроника



медицина

16,4



авиация
и космос

10,2



автомоби-
лестроение

18,6



потреб.
товары в т.ч.
электроника

21,8



ВПК

5,2



архитектура

3,9



промышлен-
ность

13,4



наука

6,8



другое

3,7

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Робототехника



Медицина



ЛАБОРАТОРИЯ ПРОГРЕССИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ



**360004, Россия, КБР,
г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173,
тел. (88662) 72-30-48**

E-mail: new_kompozit@mail.ru