



Пятая международная конференция • Школа молодых учёных

# ФИЗИКА — НАУКАМ О ЖИЗНИ

Санкт-Петербург • 16–19 октября • 2023



## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Докладчик: **Ольга Андреевна Москалюк,**

канд. техн. наук, доцент,

зав. лаб. полимерные и композиционные материалы SmartTextiles МНИЦ «Когерентная рентгеновская оптика для установок Мегасайенс» БФУ им. И. Канта,

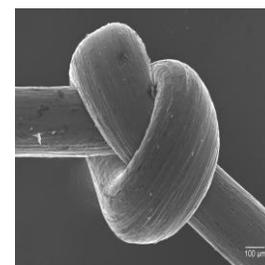
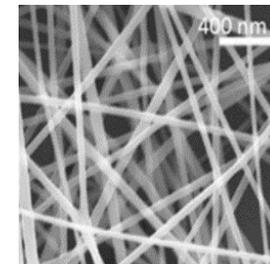
доцент кафедры инженерного материаловедения и метрологии СПбГУПТД,

основатель шести deertech стартапов в Северо-Западном наноцентре ФИОП ВЭБ.РФ, член совета директоров стартап-студии СПбГУВМ,

амбассадор Федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства»



**БФУ**  
ИМЕНИ И. КАНТА



Октябрь 2023

# Актуальность исследования

1

# АКТУАЛЬНОСТЬ

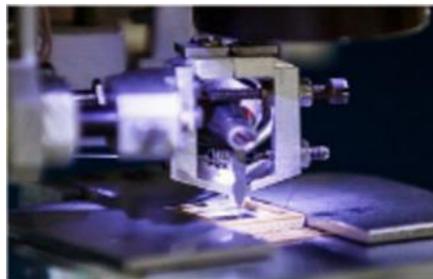
Полимерные композиционные материалы широко используются во всех отраслях промышленности



Авиастроение



Судостроение



Приборостроение



Ракетно-космическая техника



Мостостроение



Оборонная промышленность



Машиностроение,  
транспортное  
машиностроение

## Тренд в текстиле

- создание высокотехнологичных, высокоэффективных тканей, предназначенных не только для того, чтобы выглядеть привлекательно, но и для того, чтобы предлагать значительную добавленную стоимость с точки зрения функциональности (мультифункциональности)



Agrotech



Buildtech



Clothtech



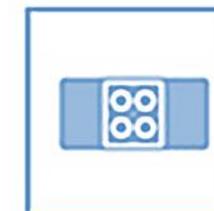
Geotech



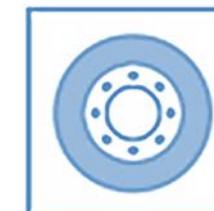
Hometech



Indutech



Medtech



Mobiltech



Ecotech



Packtech



Protech



Sporttech

# Электропроводящие композиты

- создание путем смешивания и последующей экструзии синтетических нитей на основе базовых волокнообразующих полимеров с электропроводящими добавками

ПОЛИМЕРЫ:

**PP полипропилен**

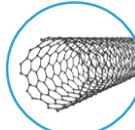
**PA полиамид**

**PET полиэтилентерефталат**

ДОБАВКИ:



**Технический углерод**



**Углеродные нанотрубки / нановолокна**



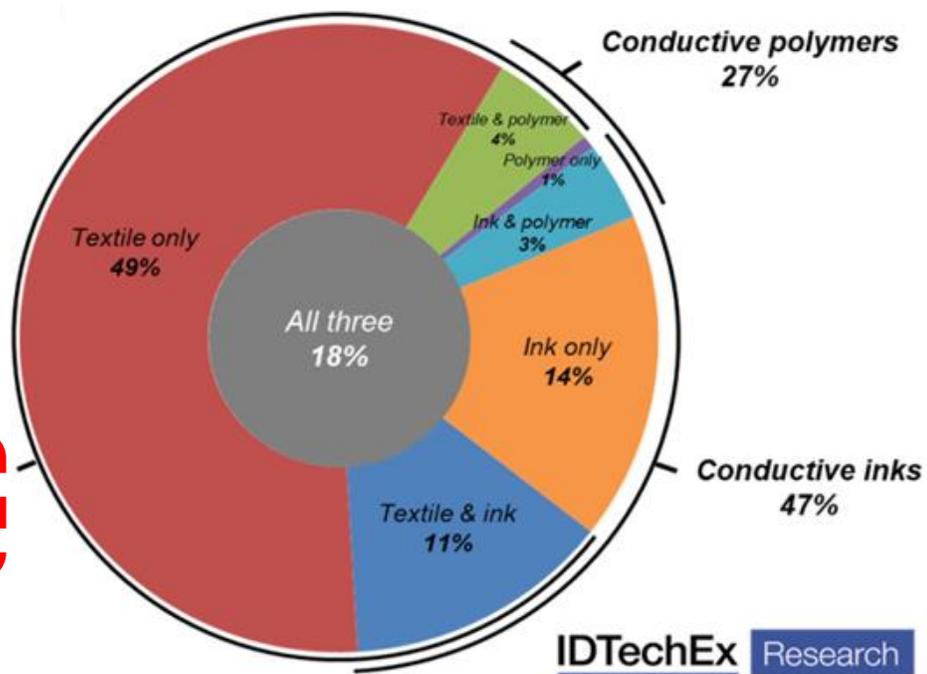
**Углеволокна**



**Порошки металлов**

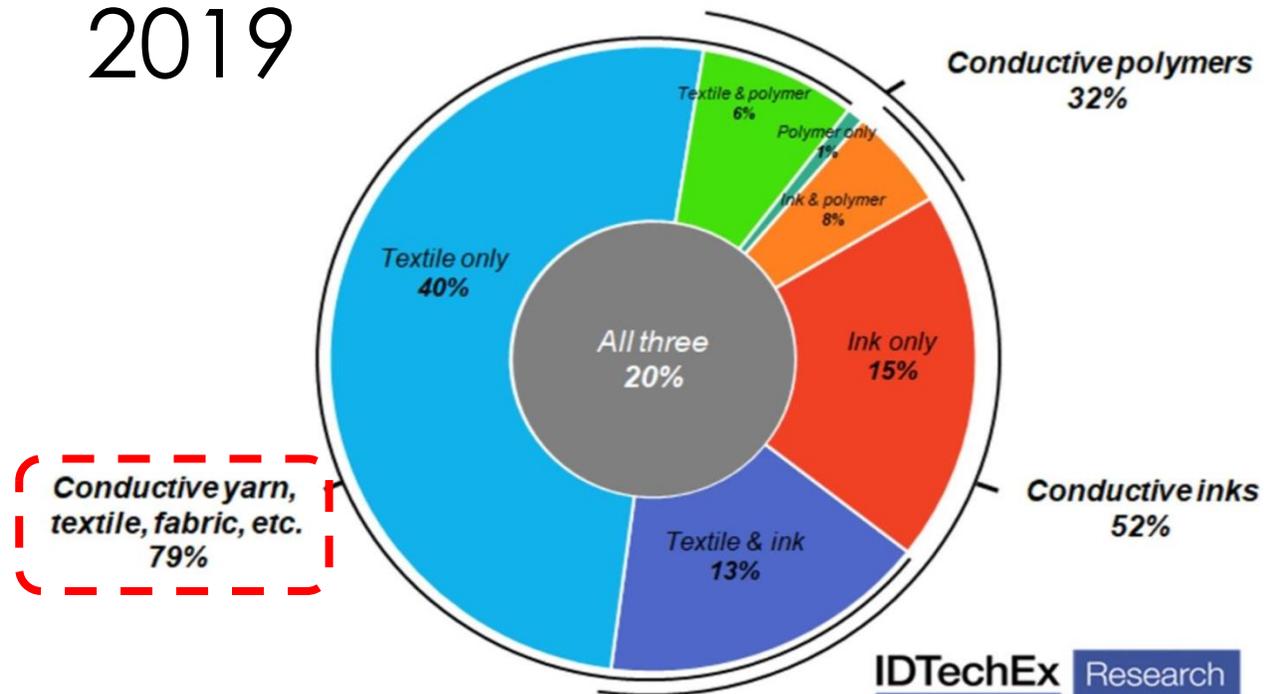
# Электропроводящие композиты

2021



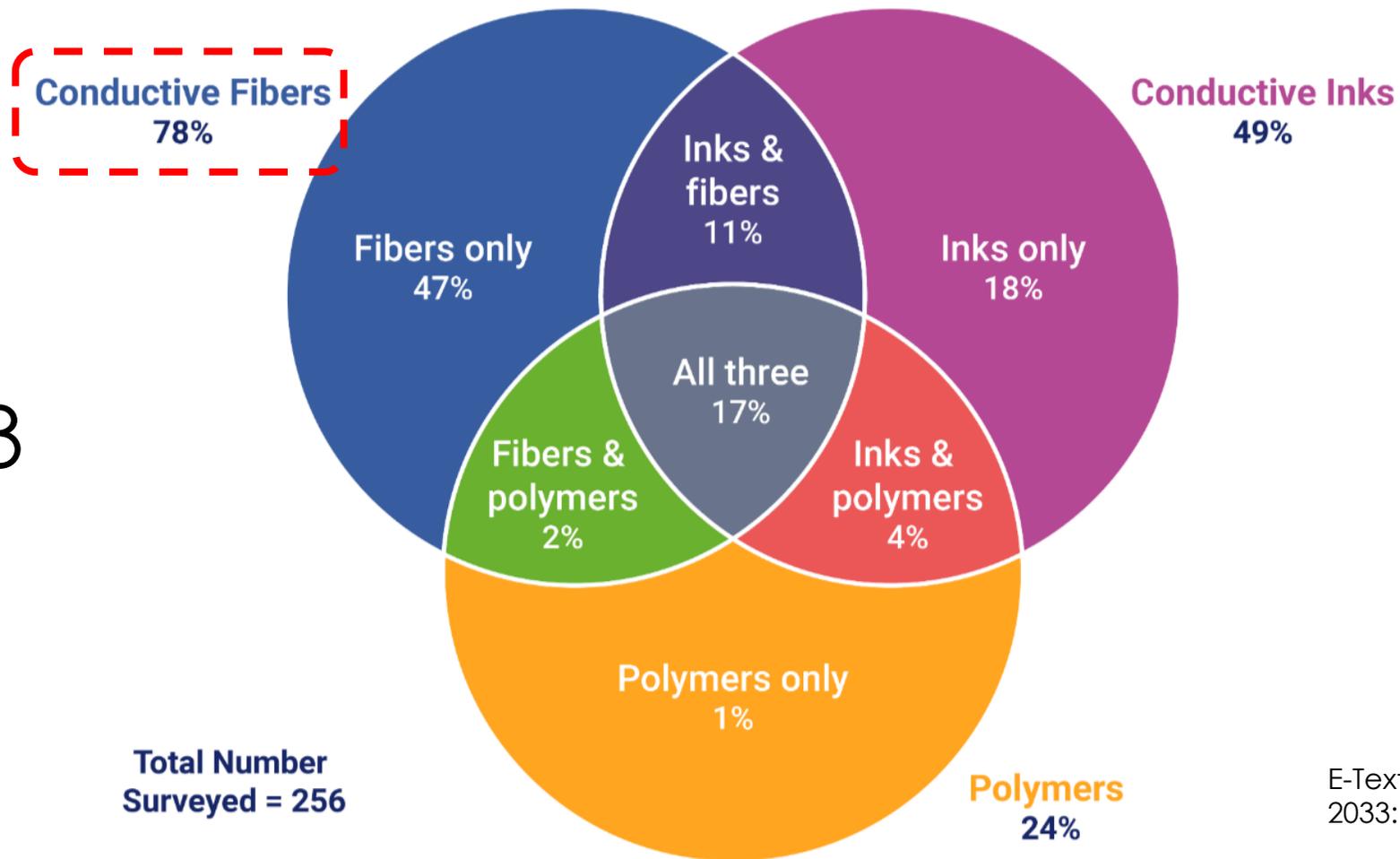
Total number surveyed = 247

2019



# Электропроводящие композиты

2023



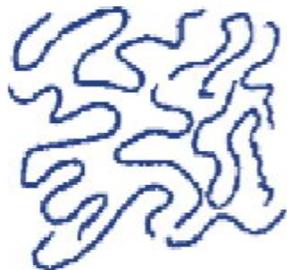
**IDTechEx**

E-Textiles and Smart Clothing Markets 2023-2033: Technologies, Players, and Applications

## Расплавная технология

### 01 Формование волокон и нитей

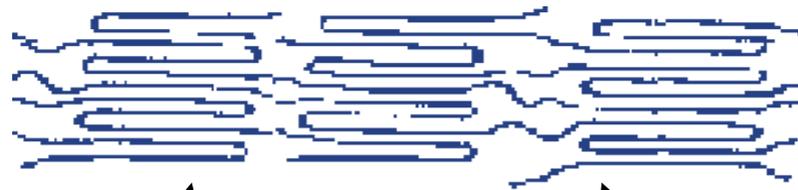
Свернутая  
структура



сферолиты

### 02 Высокотемпературная ориентационная вытяжка

Полимерная фибрилла



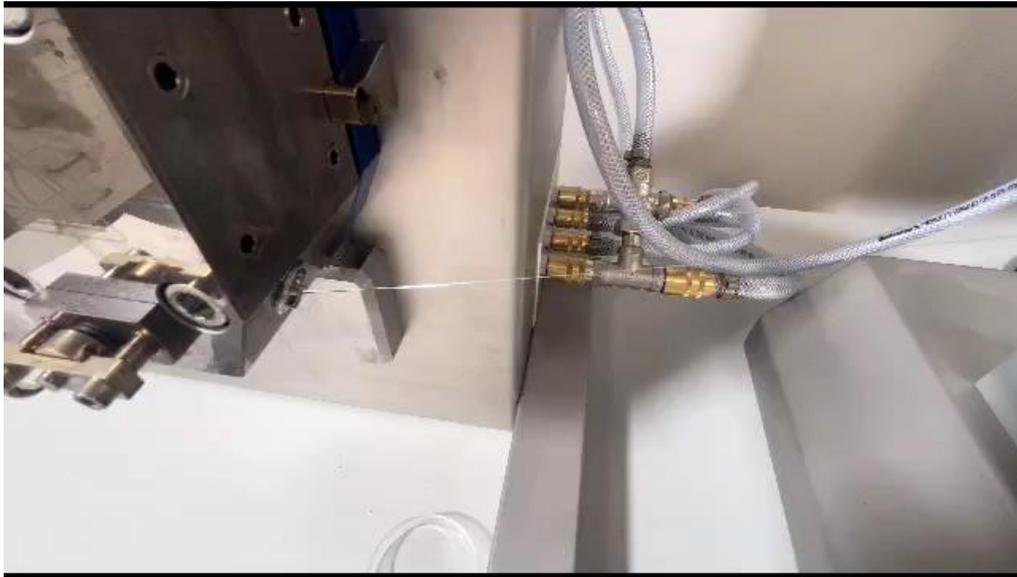
↑  
кристаллические  
области

↑  
аморфные  
области

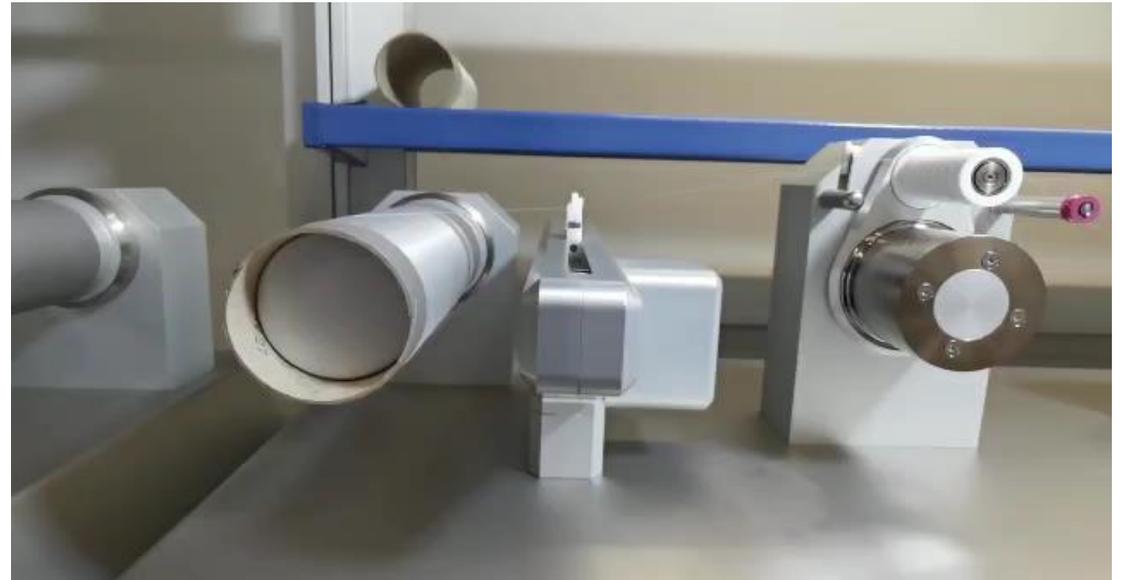
**Повышение  
прочности  
и жесткости  
в 8-10 раз**

## Расплавная технология

### 01 Формование волокон и нитей

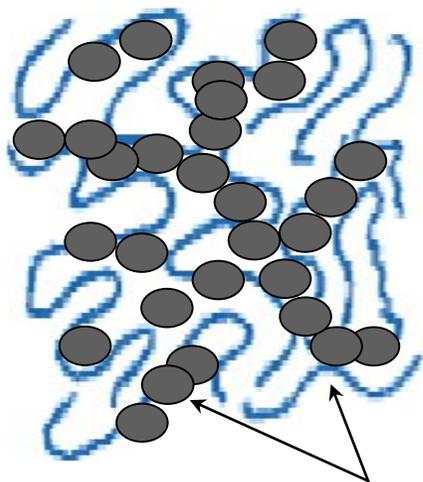


### 02 Высокотемпературная ориентационная вытяжка



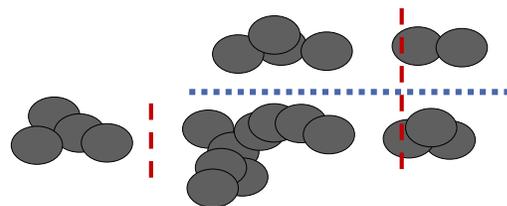
## Расплавная технология

### 01 Формование волокон и нитей



Наполнители

### 02 Высокотемпературная ориентационная вытяжка



#### 1 путь

Наполнители способствуют ориентации полимерных фибрилл, формированию более совершенной структуры

#### 2 путь

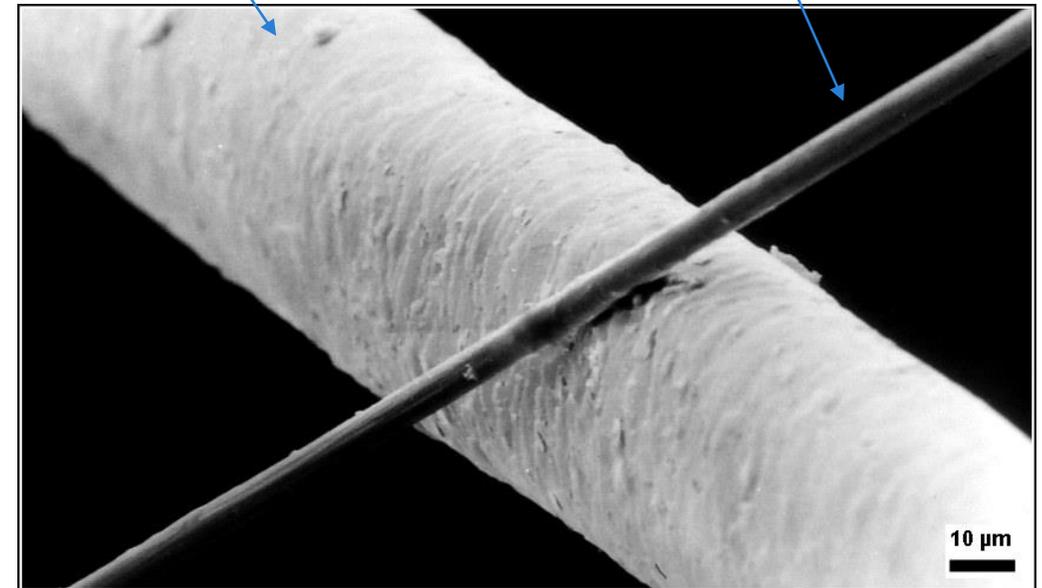
Наполнители разрыхляют структуру и препятствуют конформационным процессам в момент ориентационной вытяжки полимерной матрицы

# Требования к наполнителям

- должны быть небольшого размера для создания полимерных волокон и нитей ( $D \leq 20$  мкм)
- не мешать вытяжке полимерных волокон и нитей
- не снижать механические свойства композитных волокон и нитей
- сохранять специальные свойства композита при ориентационной вытяжке

**Человеческий  
ВОЛОС**  
 $D = 60$  мкм

**Композитное  
ВОЛОКНО**  
 $D = 8$  мкм



# Цель и задачи работы

разработка технологии создания композитных волокон и нитей с заданным уровнем физико-механических и специальных свойств на основе волокнообразующей полимерной матрицы и дисперсных наноаддитивов различной химической природы, формы и размеров

1

Выбор полимерных матриц и дисперсных наноаддитивов различной формы, природы и структуры. Отработка режимов изготовления композитных нитей и волокон по расплавной технологии

2

Исследование зависимости электропроводящих, механических свойств и структуры композитных волокон и плоских нитей на основе волокнообразующего полимера от типа, концентрации и формы наполнителей, степени вытяжки и формы образца

3

Моделировании процесса электропереноса в композитных волокнах и нитях, полученных на основе волокнообразующего полимера

4

Практическое внедрение разработок:

- антистатические материалы
- материалы для систем обогрева

# Материалы и методы исследований

2

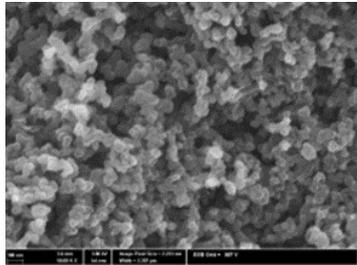
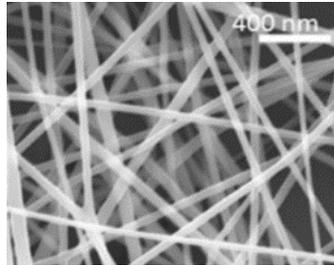
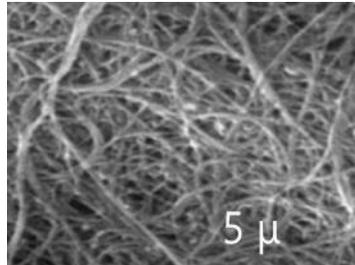
## Электропроводящие композитные волокна и нити

### Полимерная матрица

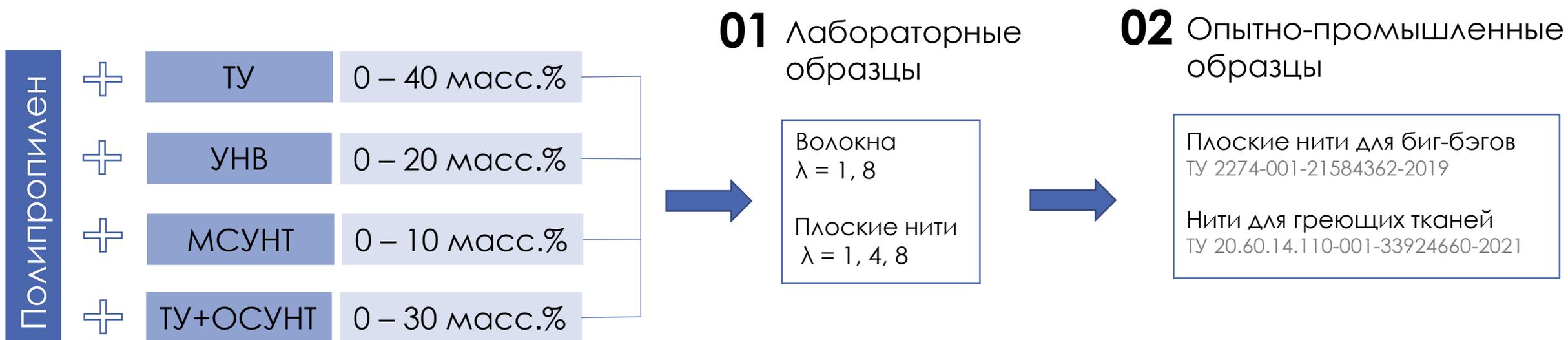
Изотактический полипропилен (ПП) Бален 01270

Плотность	0.95 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления	160 - 170 °С
Уд. электрическое сопротивление	10 <sup>15</sup> Ом·м

### Электропроводящие наноаддитивы

Технический углерод П-805Э (ТУ)	Углеродные нановолокна VGCF-H (УНВ)	Многостенные углеродные нанотрубки CTube-100 (МСУНТ)	Одностенные углеродные нанотрубки TUBALL (ОСУНТ)
			
D = 80 нм G/D ratio ~1	D = 150 нм L = 5 мкм G/D ratio ~ 30	D = 10-50 нм L = 1-25 мкм G/D ratio < 1000	D = 1,2-2 нм L ≤ 5 мкм G/D ratio >100

# Технология – метод экструзии



Полипропиленовые  
компазитные волокна  
и нити



## 01 Лабораторные образцы

- Электропроводящие свойства ( $\rho_V$ )
- Механические свойства (растяжение, ползучесть)
- Реологические характеристики
- ДСК и ТГА
- СЭМ, БУР



## 02 Опытно-промышленные образцы

- Электропроводящие свойства, в том числе при растяжении
- Механические свойства
- СЭМ
- Циклический нагрев-охлаждение

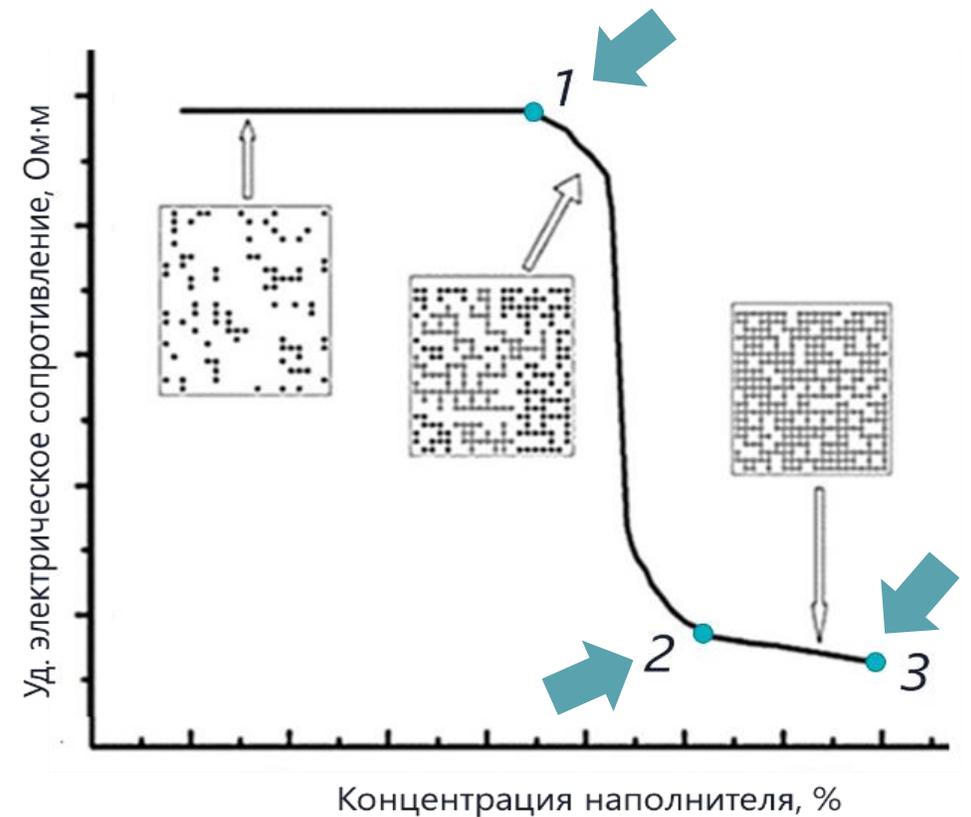
# Структура и свойства КОМПОЗИТНЫХ ВОЛОКОН и нитей

3

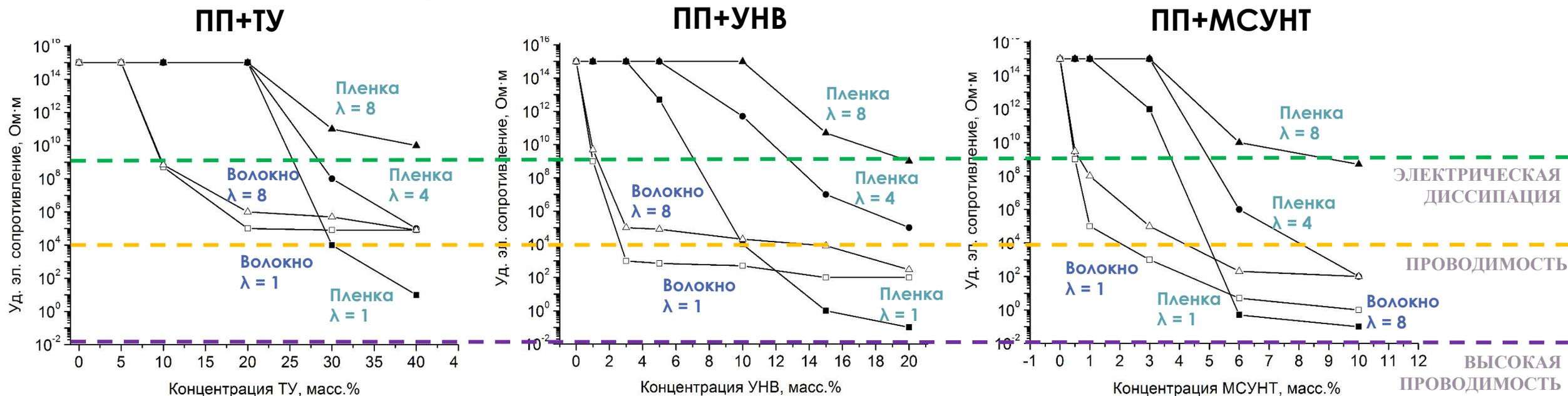
# Электропроводящие свойства

Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Область применения
$10^{14}$ <b>ИЗОЛЯЦИЯ</b>	Изоляторы
$10^9$ <b>ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДИССИПАЦИЯ</b>	Антистатический текстиль (спец.одежда и СИЗ), упаковочные материалы, биг-бэги, топливные баки, трубы в шахтах, антистатические контейнеры, соединительные элементы и др.
$10^4$ <b>ПРОВОДИМОСТЬ</b>	Сенсоры и защита от электромагнитного излучения, саморегулирующиеся нагревательные элементы, реагирующие на растяжение сенсоры, защита от перегрузки по току, проборы типа электронного носа, сенсоры органических жидкостей и др.
$10^{-2}$ <b>ВЫСОКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ</b>	Проводники: замена металлам, проводящие покрытия и связующие, биполярные пластины, термоэлектрические материалы и пр.
$10^{-6}$	

## Теория перколяции



# Электропроводящие свойства



## Порог протекания

волокна: 5-20 масс.% ТУ, 1-3 масс.% УНВ и 0,5-6 масс.% МСУНТ  
 плоские нити: 20-35 масс.% ТУ, 5-15 масс.% УНВ и 3-6 масс.% МСУНТ

## Предельные значения

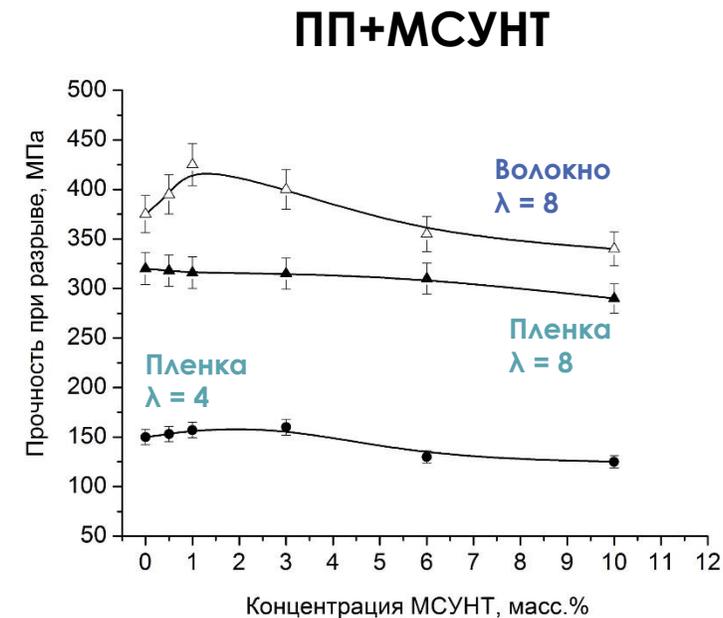
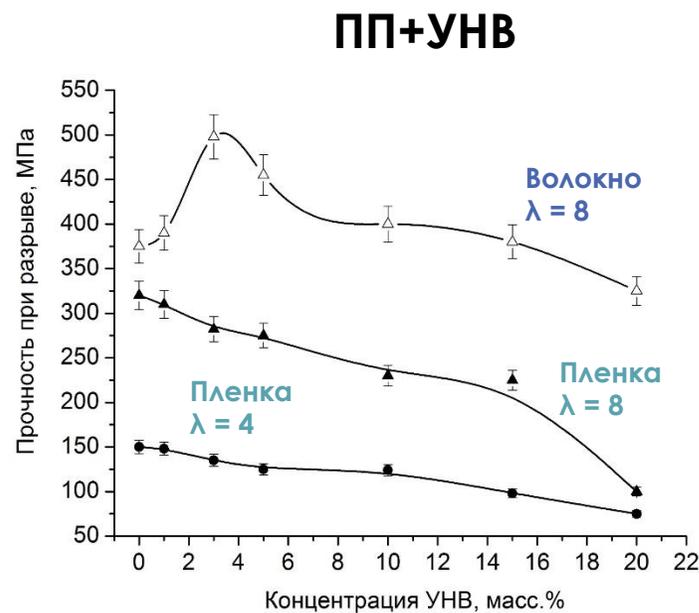
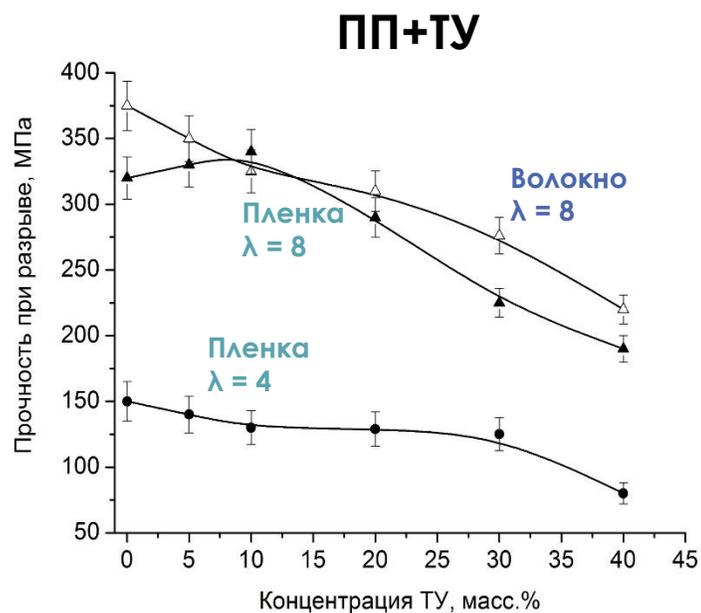
волокна:  $\sim 10^5$  Ом·м при 40% ТУ,  $\sim 10^2$  Ом·м при 15% УНВ и  $\sim 1$  при 10% МСУНТ  
 плоские нити:  $\sim 30$  Ом·м при 40% ТУ, 0,1-1 Ом·м при 15-20% УНВ или 6-10% МСУНТ

## Ориентационная вытяжка

волокна: электропроводность снижается на 1-2 порядка  
 плоские нити: электропроводность снижается на 8-10 порядков

# Механические свойства

## Прочность при разрыве



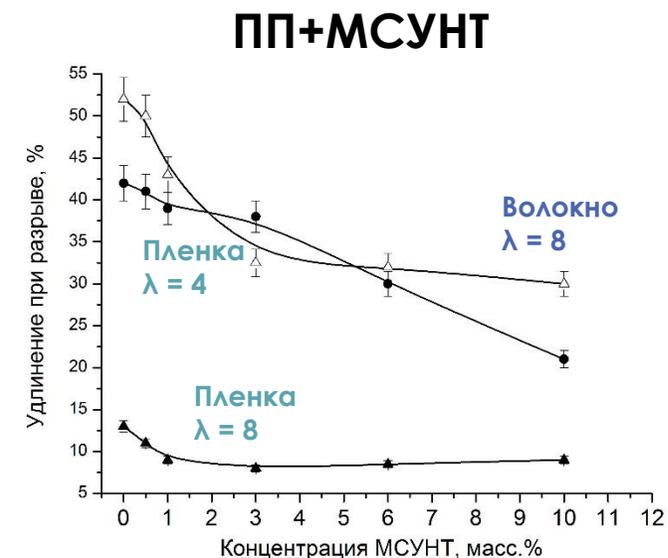
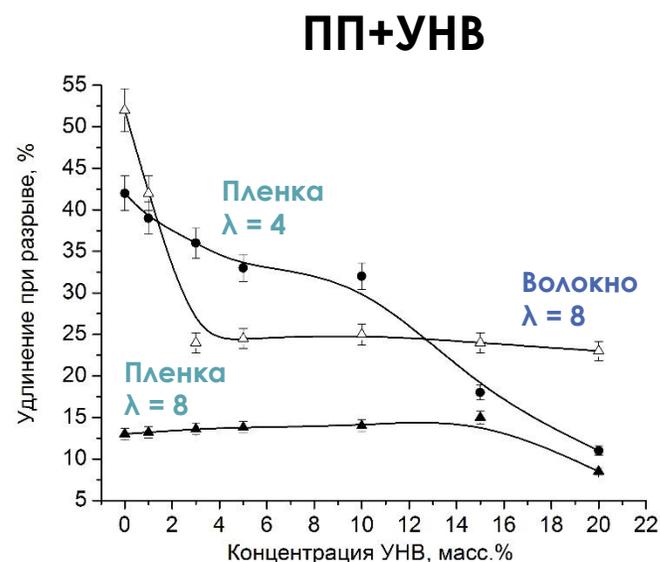
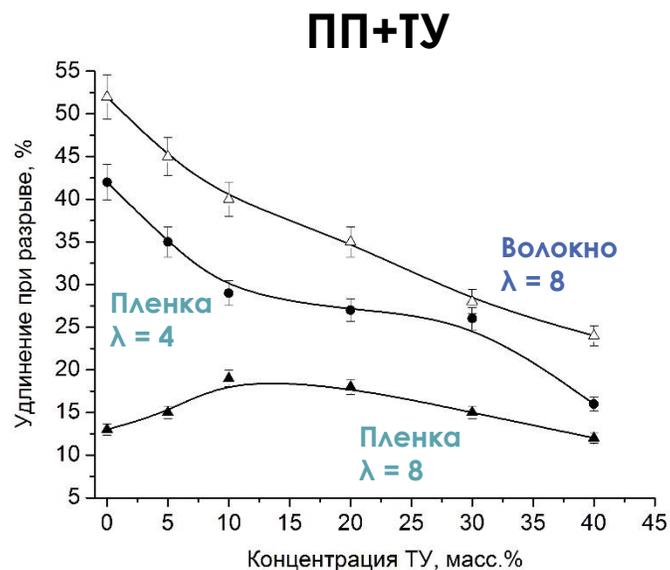
Прочность ориентированных волокон выше прочности ориентированных плоских нитей, в случае УНВ различия составляют в 2-3 раза

Прочность композитных плоских нитей снижается для всех наполнителей

Прочность композитных волокон возрастает на 30% при 2-5 масс.% УНВ и на 15% при 0,5-1,5 масс.% МСУНТ

# Механические свойства

## Удлинение при разрыве

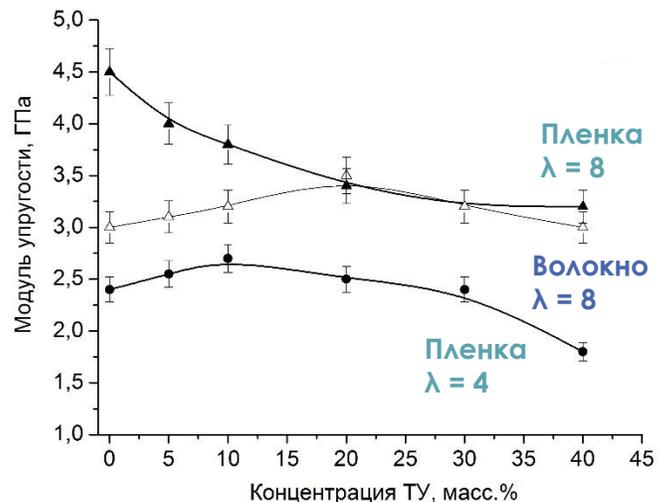


Удлинение при разрыве для всех композитов снижается, при максимальном наполнение наноаддитивами - до 2-х раз

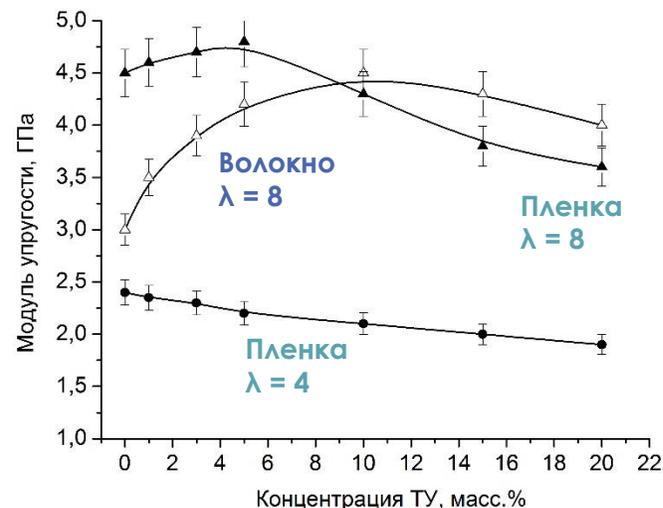
# Механические свойства

## Модуль жесткости

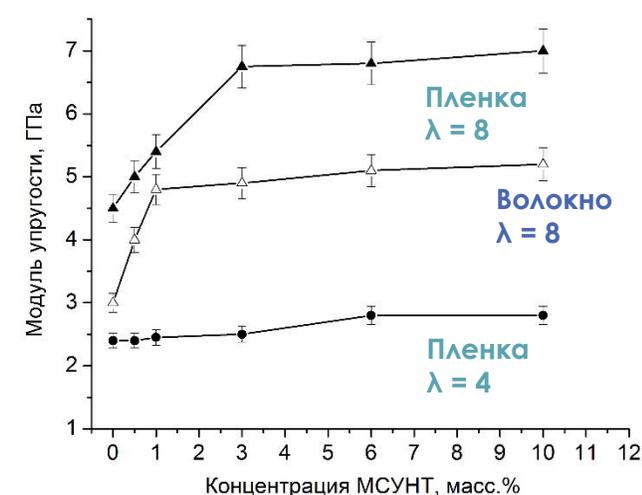
### ПП+ТУ



### ПП+УНВ



### ПП+МСУНТ



Плоские нити: жесткость снижается для композитов с ТУ и УНВ, для композитов с МСУНТ – повышается

Волокна: жесткость повышается для всех частиц, больший эффект для композитов с УНВ и МСУНТ

# Анализ – антистатические нити

Образец	Прочность, МПа	Удлинение при разрыве, %	Модуль жесткости, ГПа
<b>Плоские нити</b> вытяжка 4 раза 28-40 масс.% ТУ	100-75	15-10	3-3,1
<b>Плоские нити</b> вытяжка 4 раза 12-20 масс.% УНВ	125-100	25-10	2,0-1,8
<b>Плоские нити</b> вытяжка 4 раза 5,8-8 масс.% МСУНТ	135-128	30-25	2,5-2,6
<b>Волокно</b> вытяжка 8 раз 10-40 масс.% ТУ	325-225	40-25	3,0-3,4-2,8
<b>Волокно</b> вытяжка 8 раз 1-15 масс.% УНВ	380- <b>550</b> -375	38-18	3,5-4,2
<b>Волокно</b> вытяжка 8 раз 0,5-4,5 масс.% МСУНТ	400- <b>425</b> -375	50-32	3,5-5,0

## Незаполненный ПП

	Плоская нить $\lambda=4$	Плоская нить $\lambda=8$	Волокно $\lambda=8$
Прочность, МПа	150	325	475
Удлинение при разрыве, %	42	12	52
Модуль жесткости, ГПа	2,4	4,5	3,0

# Анализ – проводящие нити

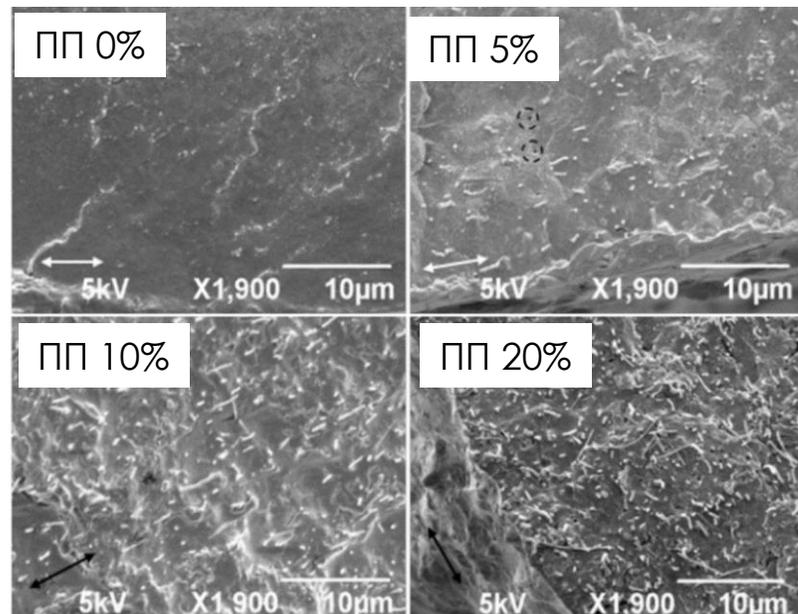
Образец	Прочность, МПа	Удлинение при разрыве, %	Модуль жесткости, ГПа
<b>Плоские нити</b> вытяжка 4 раза 8-10 масс.% МСУНТ	128-125	25-20	2,6
<b>Волокно</b> вытяжка 8 раз 15-20 масс.% УНВ	375-345	25-22	4,2-4.0
<b>Волокно</b> вытяжка 8 раз 4,5-10 масс.% МСУНТ	375-350	32-30	5,0-5,2

## Ненаполненный ПП

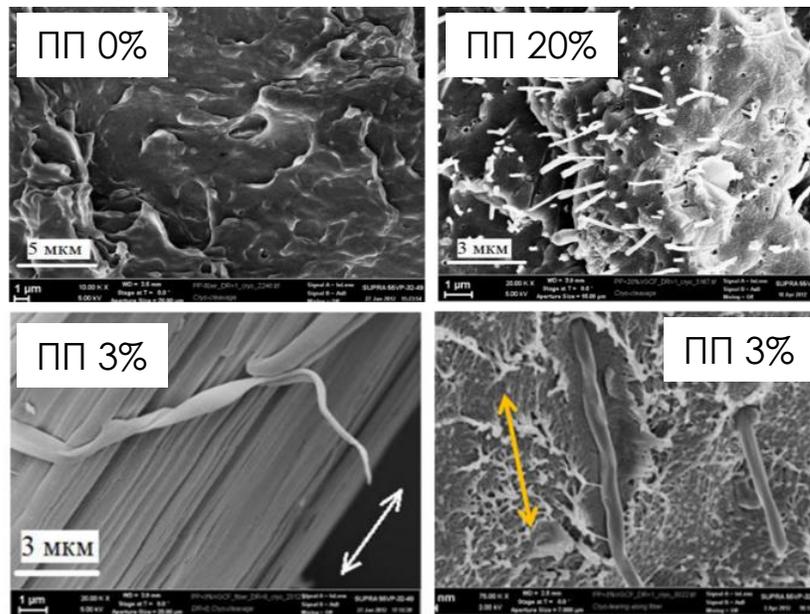
	Плоская нить $\lambda=4$	Плоская нить $\lambda=8$	Волокно $\lambda=8$
Прочность, МПа	150	325	475
Удлинение при разрыве, %	42	12	52
Модуль жесткости, ГПа	2,4	4,5	3,0

# Структура композитов

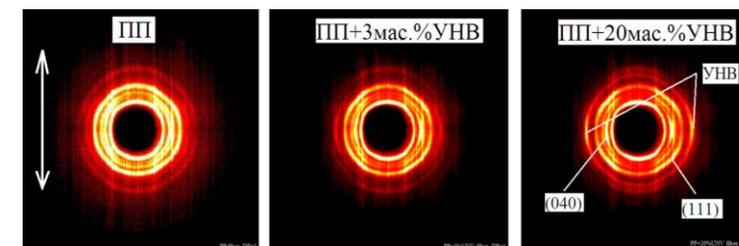
## Плоские нити



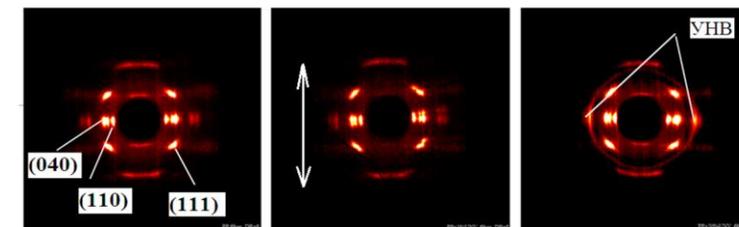
## Волокно



## Неориентированное волокно



## Ориентированное волокно



Углеродные нанoadдитивы - центры кристаллизации и повышают температуру кристаллизации в ПП матрице

В плоских нитях УНВ ориентированы под углом  $\sim 60^\circ$  относительно направления экструзии, а в волокнах – вдоль экструзии

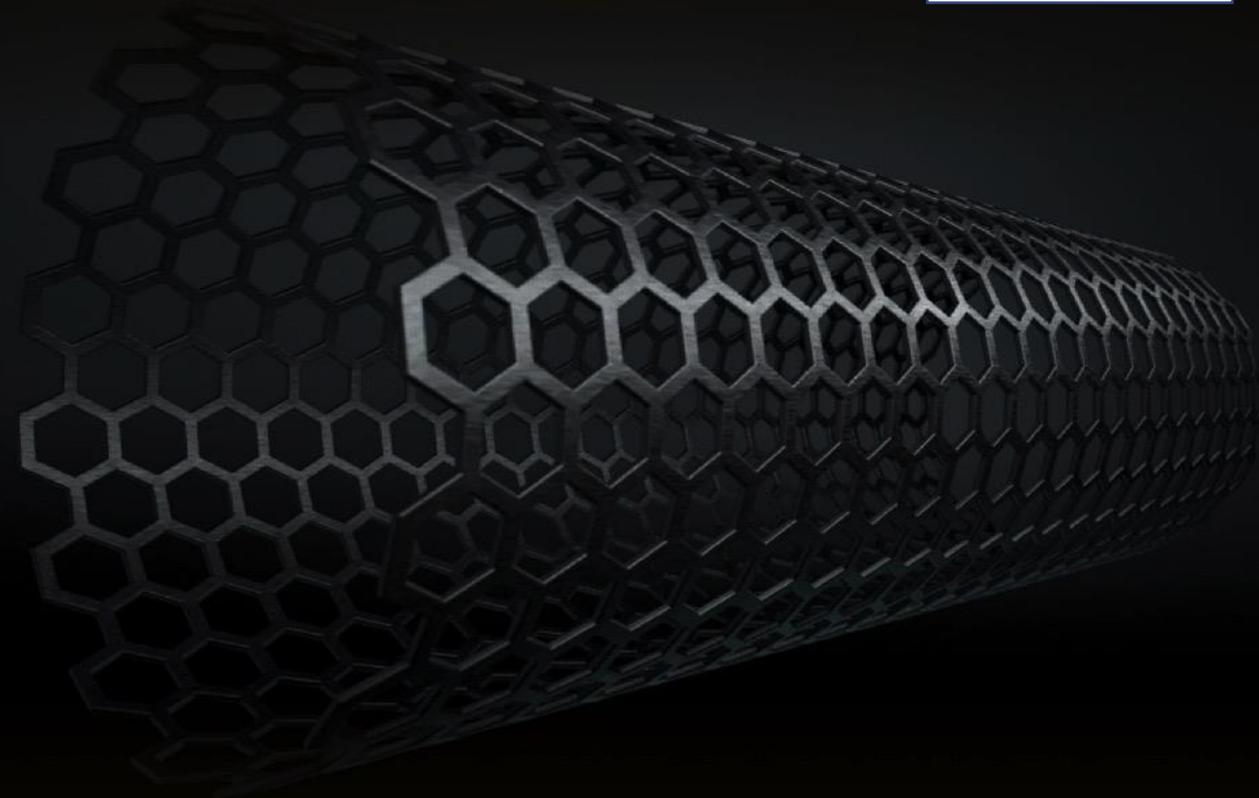
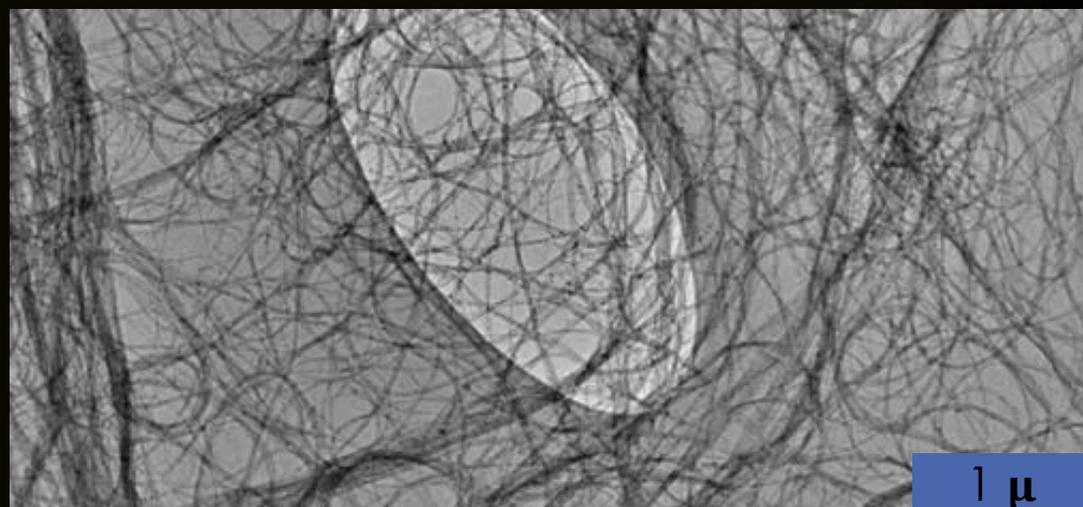
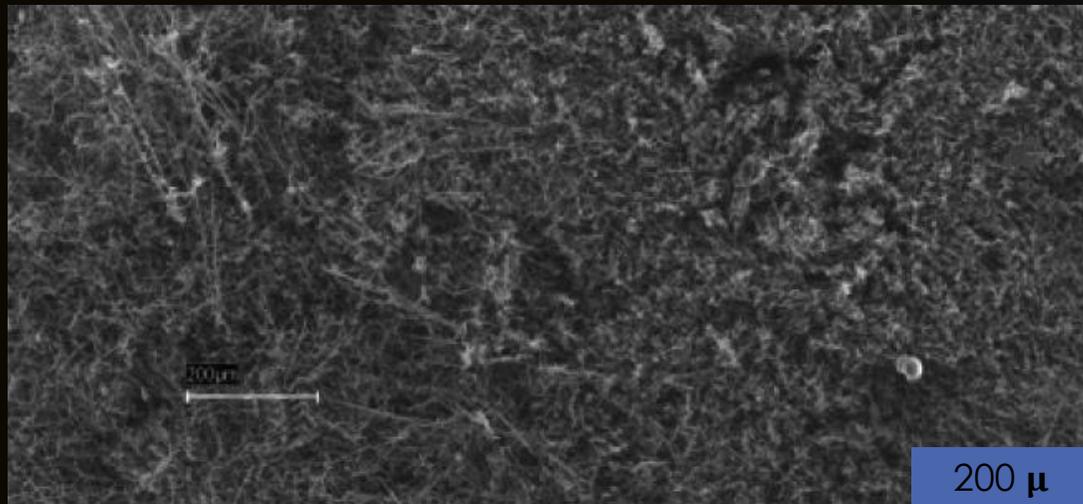
При малом наполнении нанoadдитивов формируется более совершенная надмолекулярная структура ориентированных волокон

# Промежуточные выводы

1. Показана возможность создания электропроводящих композитных волокон и плоских нитей на основе ПП матрицы и углеродных наноаддитивов
2. При ориентационной вытяжке электропроводность композитов снижается
3. Антистатические и электропроводящие плоские нити обладают пониженными механическими характеристиками
4. Антистатические композиты в виде волокон обладают повышенной прочностью и жесткостью при введении анизометричных наноаддитивов (УНВ и МСУНТ)
5. Электропроводящие композитные волокна обладают пониженными механическими характеристиками

# ГРАФЕНОВЫЕ НАНОТРУБКИ

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЙ АДДИТИВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ



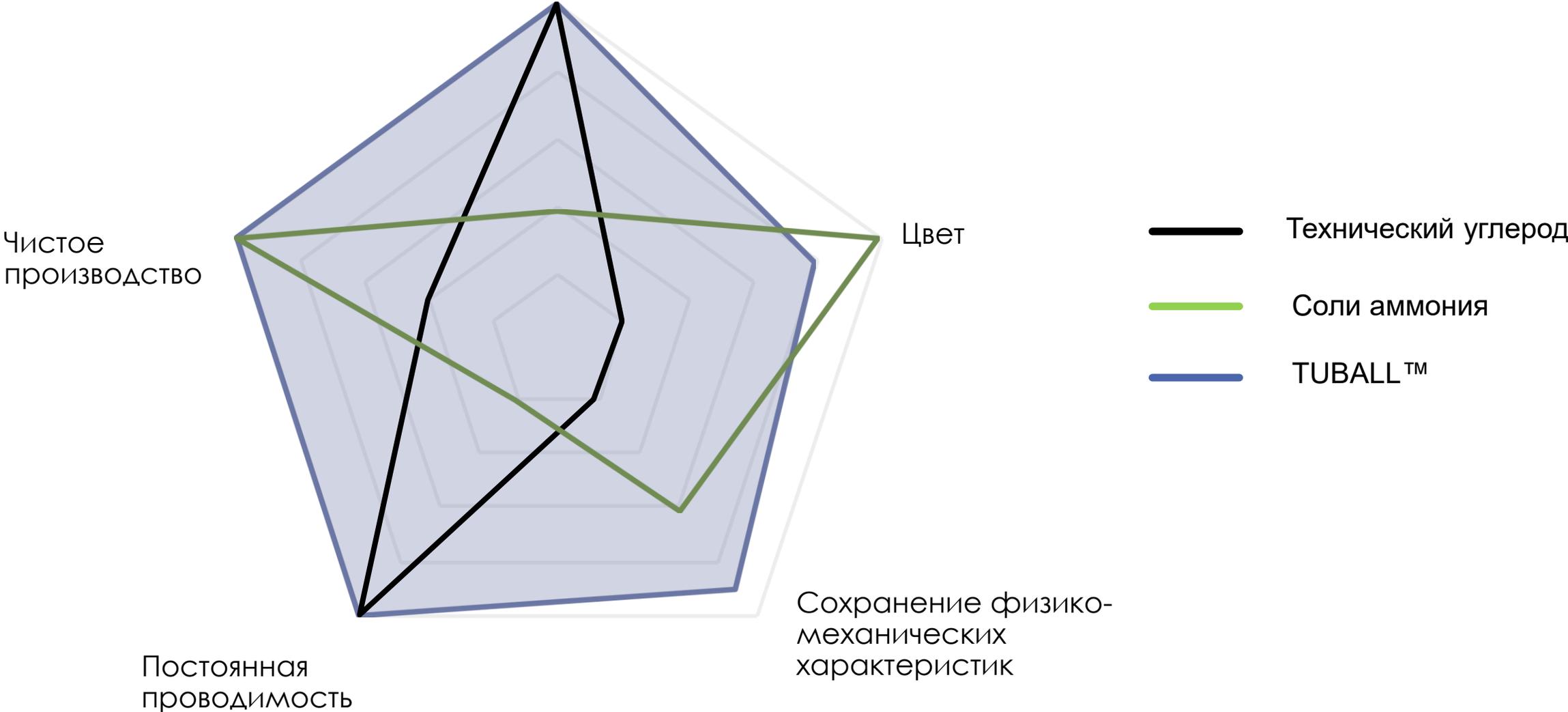
Диаметр  
1,6±0,4 нм

Длина  
>5 мкм

Толщина стенки  
1 атом

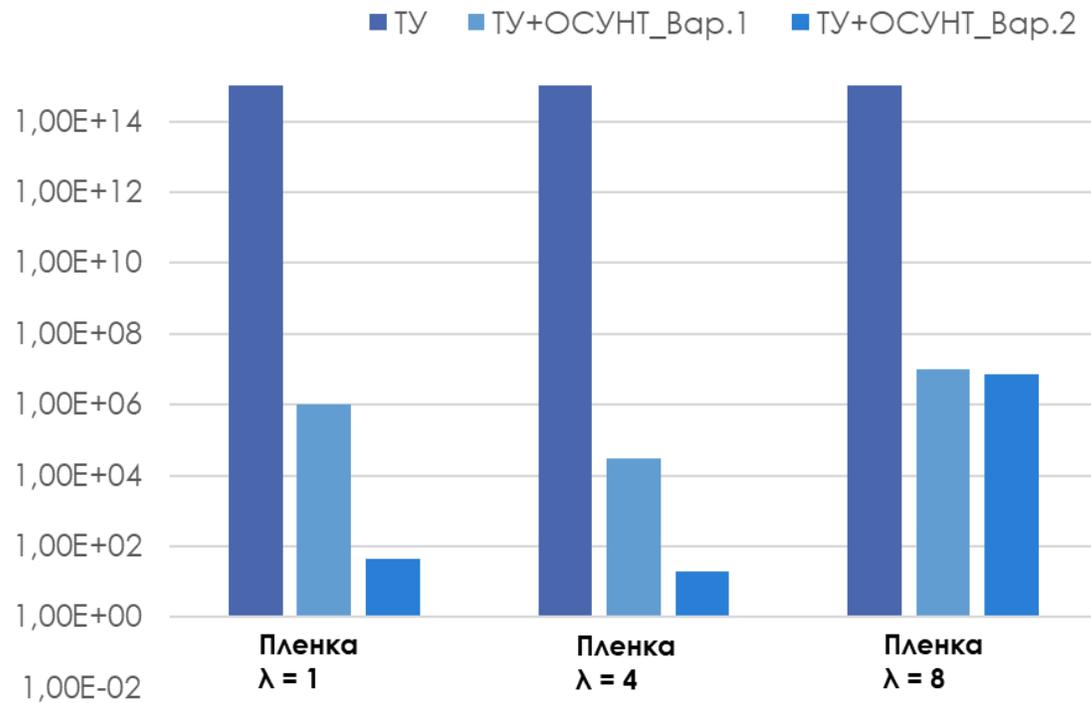
# ПРОВОДЯЩИЕ АГЕНТЫ: СТАНДАРТНЫЕ VS TUBALL™

Широкий диапазон удельного сопротивления

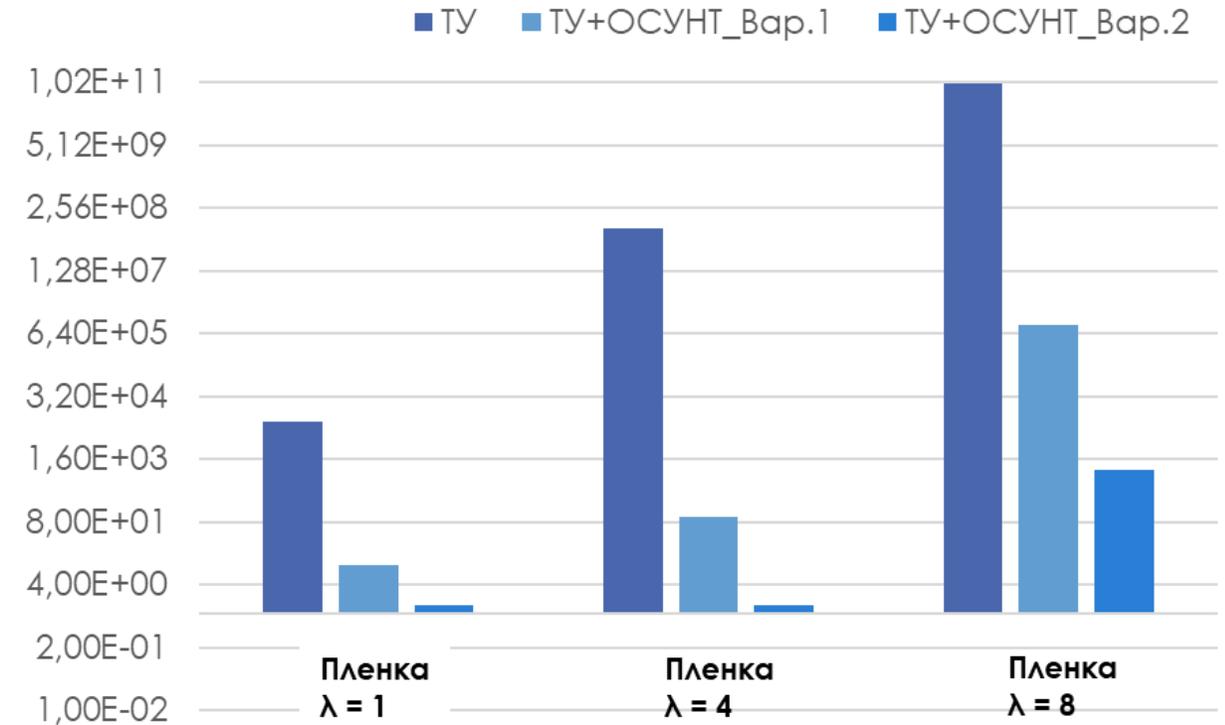


# Композиты с ТУ+ОСУНТ

Значение  $\rho_v$  при 20 масс.% наполнении



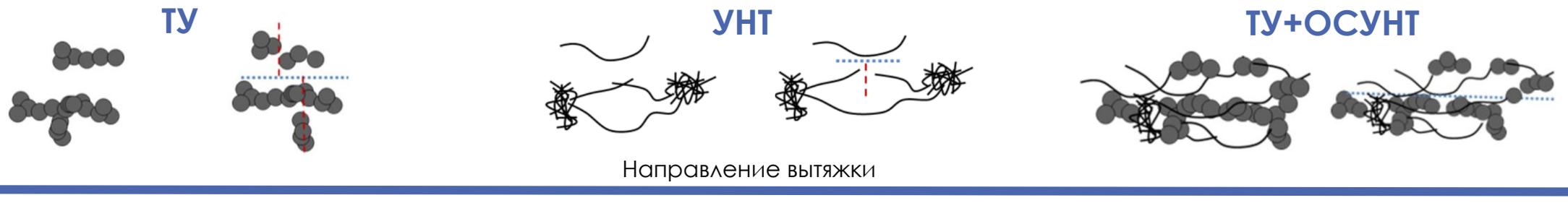
Значение  $\rho_v$  при 30 масс.% наполнении



# Композиты с ТУ+ОСУНТ

Добавление ОСУНТ к ТУ позволяет создать более проводящие композиты

Механические свойства на уровне исходной матрицы или ниже до 30%



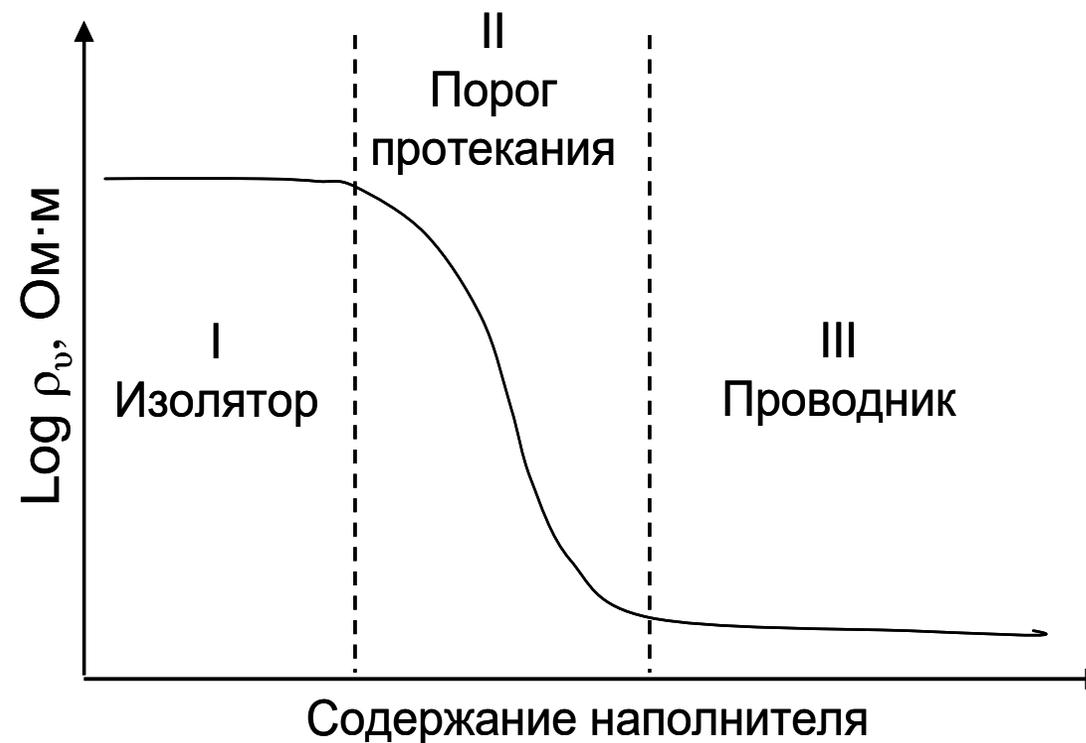
**Описание и прогнозирование  
электропроводности  
КОМПОЗИТНЫХ ВОЛОКОН  
и нитей**

**5**

# Теория перколяции

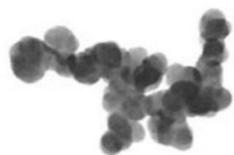
**Важнейшими характеристиками данного процесса являются:**

1. величина порога протекания, т.е. при каком значении концентрации наполнителя начнет формироваться проводящий кластер
2. значение концентрации наполнителя полимерной матрицы, при котором достигаются такие значения электрического сопротивления, которые обеспечивают материалу требуемые проводящие свойства



разработка методики моделирования и прогнозирования порога протекания и величины концентрации наноаддитива, при которой материал будет иметь антистатические свойства, в зависимости от вида углеродного наноаддитива и степени ориентационной вытяжки образца без использования эксперимента

Схематическое изображение проводящего кластера



ТУ



УНВ



МСУНТ

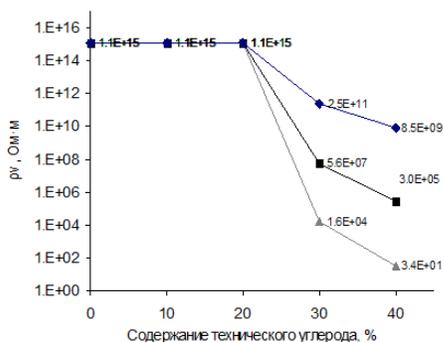
*Технический углерод (ТУ)* – сферические частицы группируются между собой и образуют агломераты. Не существуют поодиночке

*Углеродные нановолокна (УНВ)* – частицы представляют собой вытянутые структуры примерно одинаковой длины, не склонные к агломерации

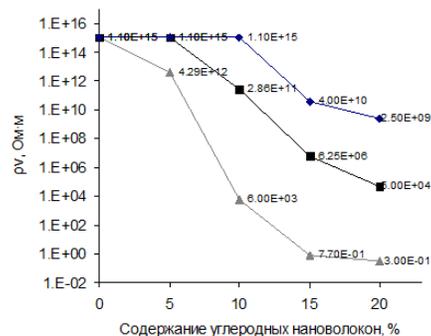
*Углеродные нанотрубки (МСУНТ)* – частицы обладают различным осевым отношением – от совсем коротких с большим диаметром до длинных с малым диаметром. Склонны к агломерации.

# Математический подход

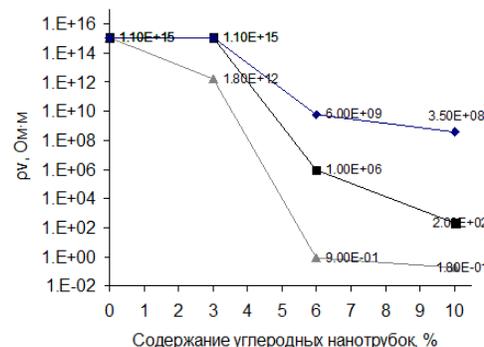
ПП+ТУ



ПП+УНВ

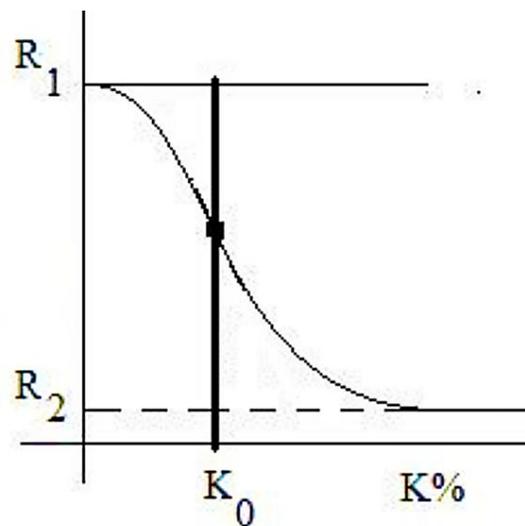


ПП+УНТ



$$R = A + \frac{B}{C + De^x} \rightarrow \text{функция Больцмана}$$

где  $A, B, C, D$  - некоторые числа



$$R = R_2 + \frac{R_1 - R_2}{1 + a \frac{K - K_0}{\Delta K}} \quad (1)$$

где

$R_2$  – значение логарифма конечного удельного электрического сопротивления

$R_1$  – значение логарифма удельного электрического сопротивления полимерной матрицы

$(R = \lg \rho)$ , – критическая точка, соответствующая порогу протекания

$\Delta K$  – постоянная величина, зависящая от размера системы

# Математический подход

Подставляя выражение  $K=K_0$  в формулу (1) вычисляется значение логарифма электрического сопротивления полимера и получается выражение:

$$R = \frac{1}{2} R_1 + R_2 \quad (2)$$

Значения логарифмов электрического сопротивления полимерной матрицы

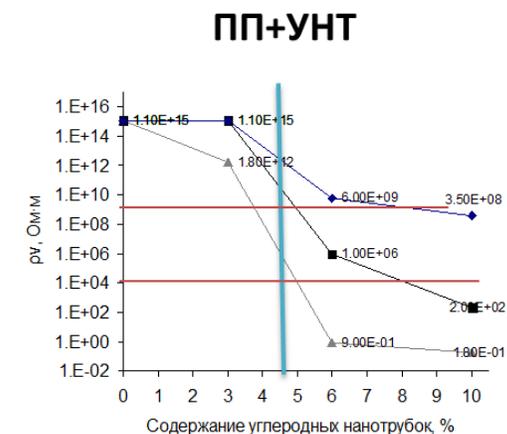
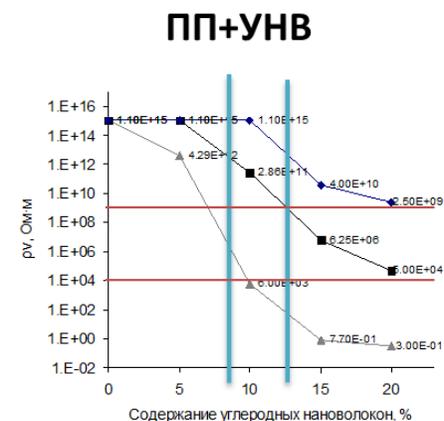
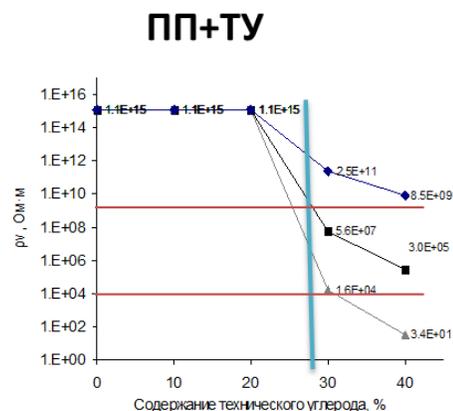
Степень вытяжки	ПП+ТУ		ПП+УНВ		ПП+УНТ	
	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$
1	15	1	15	-1	14	1
4	15	5	15	5	15	2
8	15	10	15	10	15	9

Для вычисления концентрации наполнителя, при которой материал получит антистатические свойства, из формулы (1) выразим:

$$K = K_0 + \Delta K \log_a \frac{R_1 - R}{R - R_2} \quad (3)$$

# Значение порога протекания

Степень ВЫТЯЖКИ	ТУ	УНВ	УНТ
1	29	8	4,5
4	29	10	5
8	29	12	5



- Для композитов ПП-ТУ и ПП-МСУНТ значение порога протекания практически не изменяется в зависимости от ориентационной вытяжки
- Для композитов ПП-УНВ при вытяжке значение концентрации наполнителя, при котором появляется порог протекания, увеличивается на 2 масс.%
- При этом концентрация анизотропных наполнителей (УНВ и МСУНТ) значительно меньше, чем агломерирующего изотропного (ТУ)
- **Важную роль при формировании проводящих цепочек играет размер и форма частиц наполнителя**

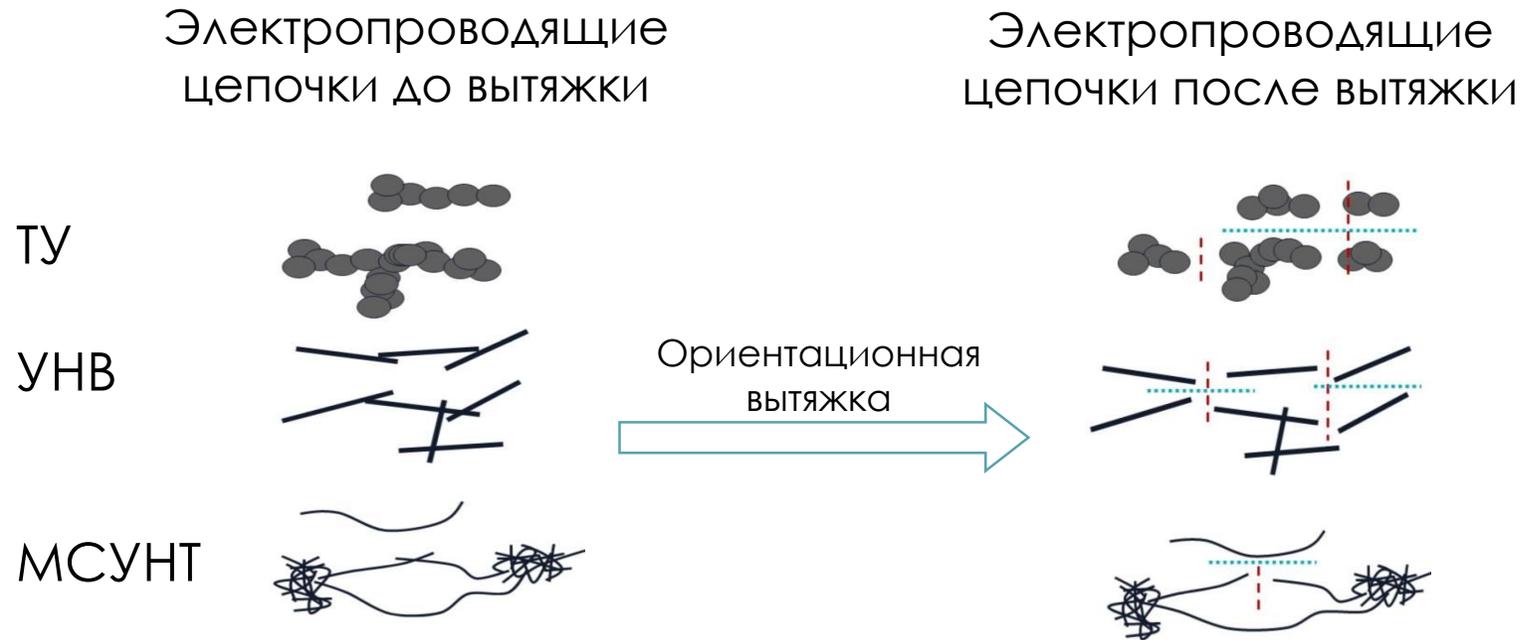
# АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Значения концентрации наполнителя для придания полимеру антистатических свойств

$\lambda$	$K, \%$		
	ТУ	УНВ	УНТ
1	30 – 32,5	7 – 9	3,5 - 4
4	30 – 32,5	11 – 19	5,5 – 6,5
8	-	-	7

- Концентрация УНВ у невытянутого полимера примерно в 4 раза меньше, чем у ТУ, а МСУНТ - почти в 10 раз чем у ТУ
- Уменьшение концентрации в несколько раз наблюдается и для образца, вытянутого в 4 раза
- Вытяжка в 8 раз не понижает электрического сопротивления до необходимого уровня за исключением полимера ПП-МСУНТ при концентрации наполнителя 7 масс.%

# ВЫТЯЖКА КОМПОЗИТОВ



- При вытяжке образовавшиеся агломераты ТУ просто рвутся и выдерживают вытяжку только самые крупные агломераты, возникающие при больших концентрациях
- УНВ анизотропны, равномерно распределены по всему объему композита, не склонны к агломерации, в процессе формирования цепляются друг за друга и образуют проводящие кластеры, при вытяжке скользят друг по другу
- МСУНТ образуют как агломераты, так и структуры такого же типа, как и у УНВ

# Промежуточные выводы

1. Разработана методика прогнозирования порога протекания и величины электрического сопротивления при различных видах наполнителя и степени ориентационной вытяжки образца без использования эксперимента; а также методика вычисления концентрации наполнителя, при которой полимер будет иметь антистатические свойства
2. Показано, что величина порога протекания зависит от вида наполнителя, но практически не изменяется при ориентационной вытяжке полимера
3. Выявлено, что неоднородность распределения наполнителя по матрице может быть и достоинством, при больших длинах волокон, и недостатком, при малых длинах
4. Установлено, что электрическое сопротивление полимера зависит от геометрии наполнителя, более длинные волокна проскальзывают друг по другу при вытяжке, и от его склонности к агломерации

# Промышленное внедрение

4

# Апробация

Научные публикации:

**31** – издания **WoS, Scopus и ВАР**

**25** – прочие издания

Видеосюжеты на федеральных и региональных СМИ

**3 патента** РФ (RU 2585667 от 15.02.2012г., RU 2735321 от 20.09.2019г., RU 2790823 от 27.06.2022г.)

Более **50 докладов** на международных и всероссийских конференциях

Отраслевые выставки: Technotextile (2019г., 2022г.), Химия (2020г.), Российский промышленник (2019г.) и др.

Результаты представлены:

- на встрече Президента России Владимира Путина с молодыми учёными в рамках II Конгресса молодых ученых (2022 г., г. Сочи)
- на фотовыставке «Наука в лицах», посвященной Дню российской науки, организаторы Администрация президента и Координационный совет по делам молодежи в научной и образовательных сферах Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию (2023г., г. Москва)

Создана R&D лаборатория «Полимерные и композиционные материалы «SmartTextiles» БФУ им. И. Канта совместно с индустриальным партнером

# Внедрение в производство

**2** производства

**10** стартапов

**3** гранта ФСИ (УМНИК, Студенческий стартап, СТАРТ)

**Одно** из направлений стратегического проекта «Приоритет 2030» СПбГУПТД

**01**

Биг-беги типа С для транспортировки опасных грузов



**02**

Системы обогрева



**03**

Экипировка специального назначения и СИЗ

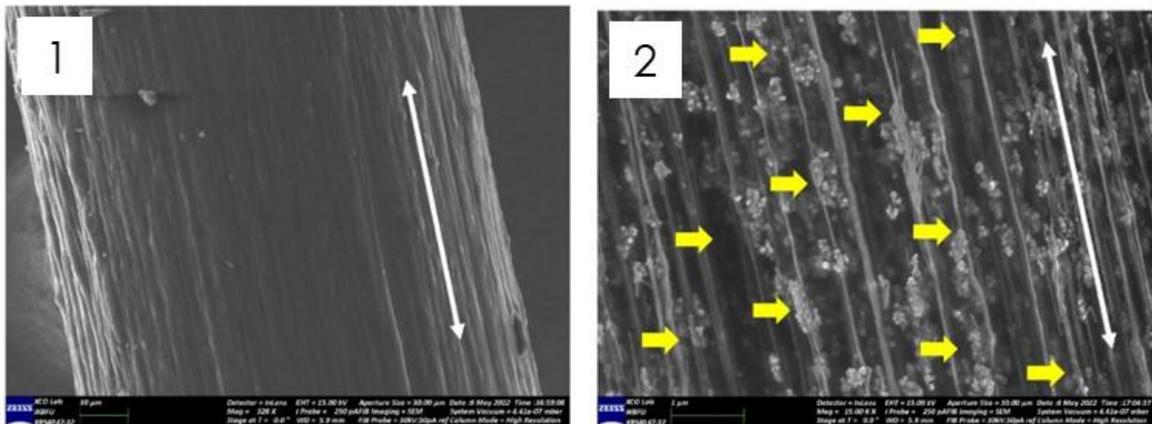


**04**

Гибкая печатная электроника



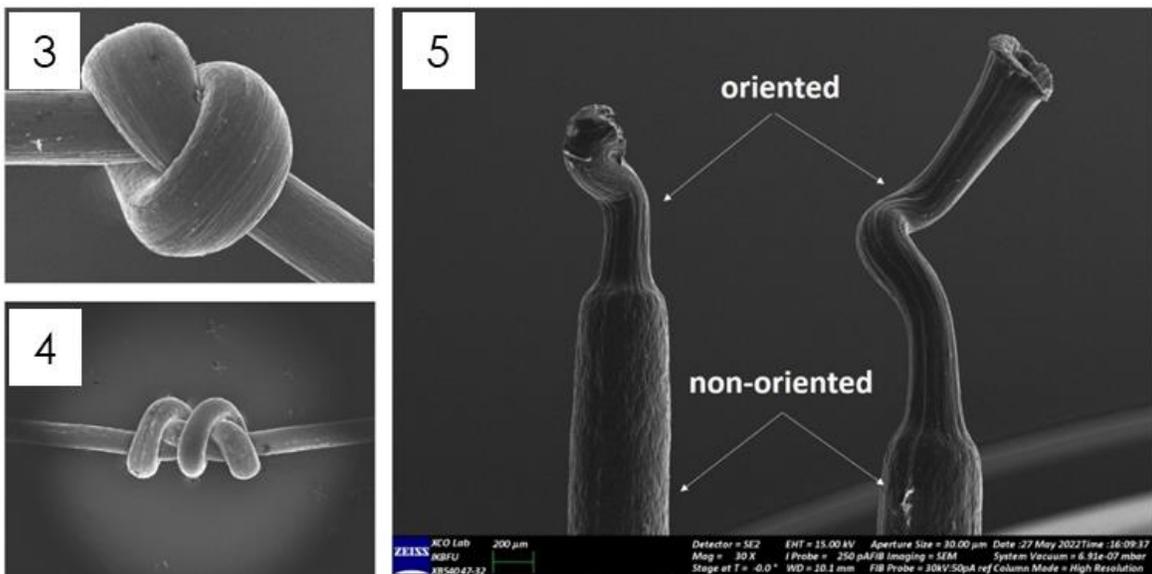
# Промышленные образцы



## Электропроводящие нити производства компании AMPERETEX

Микроструктура электропроводящих композитных нитей:

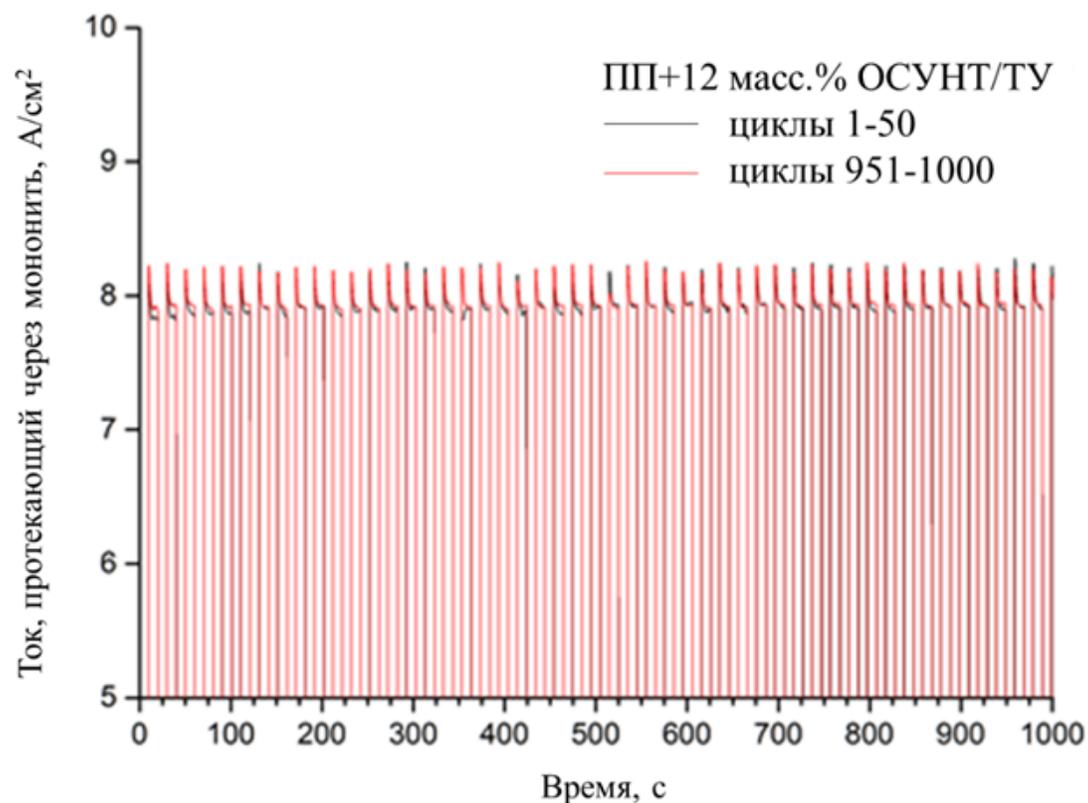
- 1 – поверхность нити,
- 2 - продольное сечение,
- 3 и 4 – мононить, завязанная в узел,
- 5 - процесс ориентационной вытяжки нити.



Направление ориентации показано белой стрелкой.  
Смесевой наполнитель, расположенных в межфибрилярном пространстве полимерной матрицы, показан желтым цветом

# Промышленные образцы

Стабильность электропроводящих свойств при растяжении, циклическом нагреве-охлаждении



Устойчивость к истиранию в петле



Композитная нить  
**2 000** циклов



Нить с покрытием  
**5** циклов

# Проводящие нити AMPERETEX



Пятая международная конференция • Школа молодых учёных  
**ФИЗИКА —  
НАУКАМ О ЖИЗНИ**  
Санкт-Петербург • 16–19 октября • 2023



1. Получен модельный ряд лабораторных образцов композитных волокон и нитей на основе полипропиленовой матрицы и дисперсных наноаддитивов различной формы, размера и химической природы и степени ориентационной вытяжки образцов
2. Установлена взаимосвязь физико-механических электропроводящих и специальных свойств с особенностями надмолекулярной структуры композитных волокон и нитей
3. Показана возможность создания электропроводящих композитных волокон и плоских нитей на основе ПП матрицы и углеродных наноаддитивов
4. Антистатические композиты в виде волокон обладают повышенной прочностью и жесткостью при введении анизометричных наноаддитивов (УНВ и МСУНТ)
5. Разработана методика прогнозирования порога протекания и величины электрического сопротивления при различных видах наполнителя и степени ориентационной вытяжки образца без использования эксперимента, а также методика вычисления концентрации наполнителя, при которой полимер будет иметь антистатические свойства
6. Разработанная технология получила внедрение в промышленную практику. Организовано производство электропроводящих нитей на основе волокнообразующих полимерных матриц и смесового наполнителя из углеродных наноаддитивов.

# Благодарности

## Научные консультанты



**Цобкалло Екатерина Сергеевна**  
Заведующий кафедрой инженерного материаловедения и метрологии, научный руководитель лаборатории механики ориентированных полимеров, член Ученого совета, доктор технических наук, профессор (СПбГУПТД)



**Юдин Владимир Евгеньевич**  
Заведующий лабораторией механики полимеров и композиционных материалов, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник (ИВС РАН), профессор Высшей школы биомедицинских систем и технологий (СПбПУ)

- Сотрудникам и аспирантам кафедры инженерного материаловедения и метрологии СПбГУПТД: **Васильевой В.В., Вольновой Д.В., Коптиловой А.А.**
- Коллективу лаборатории механики полимеров и композиционных материалов ИВС РАН: **Добровольской И.П., Смирновой В.Е., Елоховскому В.Ю., Ивановой Е.М., Камалову А.М., Ваганову Г.В., Поповой Е.Н.**
- Сотрудникам МНИЦ «Рентгеновская оптика для установок Мегасайенс» БФУ им. И. Канта
- Коллективу лаборатории «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» СПбПУ, в частности **Малафееву К.В.**
- Сотрудникам ФТИ им. Иоффе: **Алешину А.Н., Марихину В.А., Мясниковой Л.П.**
- Сотруднику Ресурсного центра СПбГУ **Кириченко С.О.**
- Сотруднику Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий **Молоканову Г.О.**

Спасибо  
за внимание!

**Ольга  
Москалюк**

*канд. техн. наук, доцент,  
зав. лаб. полимерные и композиционные материалы  
SmartTextiles МНИЦ «Когерентная рентгеновская оптика  
для установок Мегасайенс» БФУ им. И. Канта,  
доцент кафедры инженерного материаловедения и  
метрологии СПбГУПТД,  
основатель шести deeptech стартапов в Северо-  
Западном наноцентре ФИОП ВЭБ.РФ,  
член совета директоров стартап-студии СПбГУВМ*

тел.: +7 921 951 58 54  
olga-moskalyuk@mail.ru