



**БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ**

ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Министерство образования РС(Я)

Управления образования городского округа «город Якутск»

МОБУ «Городская классическая гимназия»



# *Структура и свойства композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного борполимером в вязкотекучем состоянии*

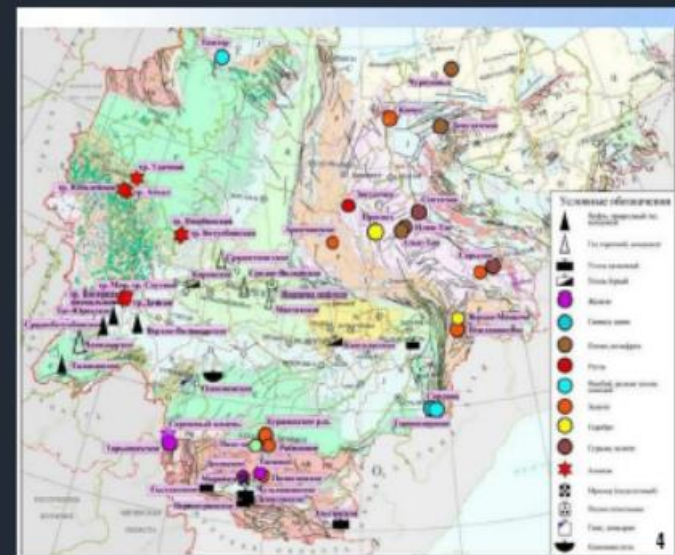
Выполнила работу: Ефимова Елена Софроновна, ученица 10 класса, МОБУ «ГКГ»

Научный руководитель: Данилова Сахаяна Николаевна, м. н. с. УНТЛ «Технологии полимерных композитов»

Якутск, 2023.

## Актуальность и проблема:

Сырьевое освоение **Северных регионов** нашей страны требует **развитие** транспортной и промышленной инфраструктуры, для этого необходимы **морозоустойчивые** и **высокопрочные материалы**. Разрабатывая полимерные **компози́ты**, получается **повысить** работоспособность деталей техники и оборудования.



**Научная новизна:** установлено влияние вязкотекучего полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты (борполимера) на свойства и структуру сверхвысокомолекулярного (СВМПЭ).

**Цель работы:** исследовать влияние вязкотекучего борполимера на физико-механические, трибологические свойства и структуру СВМПЭ в зависимости от его содержания.

### **План исследования:**

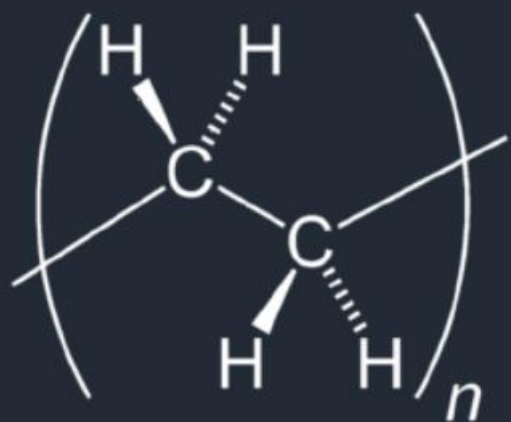
1. Провести анализ борполимера (СЭМ, РСА, ИКС);
2. Исследовать физико-механические характеристики ПКМ;
3. Исследовать термодинамические свойства ПКМ (ДСК);
4. Исследовать триботехнические свойства ПКМ;
5. Изучить структуру поверхности трения ПКМ (ИКС, СЭМ).

### **Личный вклад в исследование:**

Автор исследования приняла непосредственное участие в подборе рецептуры с дальнейшим получением композитов для исследований, присутствовала на физико-механических и надмолекулярных исследованиях (оператором проводилось: СЭМ, ДСК), под присмотром научного руководителя. Автором проводилась статистическая и аналитическая обработка результатов (физических, надмолекулярных).



# Объекты исследования



Полимерная матрица: **сверхвысокомолекулярный полиэтилен/СВМПЭ** марки GUR 4022 (Celanese, Китай)

Средняя молекулярная масса:  $5 \cdot 10^6$  г/моль

Плотность:  $0,93$  г/см<sup>3</sup>

Средний размер частиц: 155 мкм

Температурный интервал эксплуатации: от  $-80$  до  $+100^\circ\text{C}$

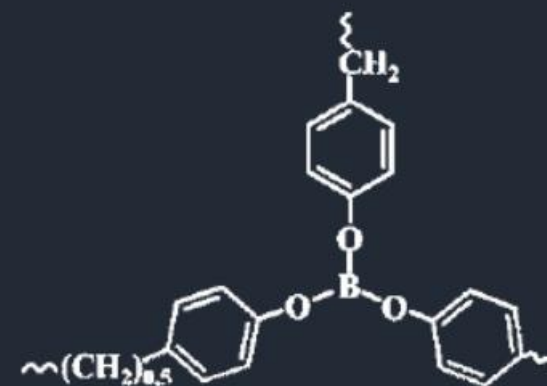
Наполнитель: **полиметилен-*p*-трифениловый эфир борной кислоты, доведенный до вязкотекучего**

**состояния/борполимер** (БП) (ООО «Боропласт», Россия)

Средняя молекулярная масса: 2500–3000 г/моль

Температура плавления: 150–160 °C

Содержание наполнителя: от 0,5 до 5 масс.%.



# Методы исследования



## Параметры:

1. Предел прочности при растяжении
2. Относительное удлинение при разрыве
3. Модуль упругости
4. Деформация при сжатии

Autograph Shimadzu AGS-J по ГОСТ 11262 при скорости движения подвижных захватов 50мм/мин

**Параметр:**  
Рентгенограмма борполимера



## Параметры:

1. Скорость линейного изнашивания
2. Скорость массового изнашивания
3. Коэффициент трения



Трибометр UMT-3M  
схема «палец-диск»,  
ГОСТ 11629

Широкоугольный рентгеновский дифрактометр марки ARL X'Tra (фирма Thermo Fisher Scientific, Zug, Швейцария)



**Параметр:**  
Морфология  
борполимера и  
полимерных  
КОМПОЗИТОВ

Сканирующий электронный  
микроскоп (СЭМ) марки  
JSM-7800F (фирма Jeol,  
Akishima, Япония)

**Параметры:**  
1. Температура  
плавления  
2. Энтальпия плавления  
3. Степень  
кристалличности



Дифференциально  
сканирующий калориметр  
(ДСК) DSC 204 F1 Phoenix  
(фирма NETZSCH, Германия)

**Параметр:**  
ИК-спектрограмма  
борполимера и  
полимерных  
КОМПОЗИТОВ



ИК-спектрометр с Фурье-  
преобразованием 7000 FTIR  
(фирма Varian, США)

# Структура борполимера

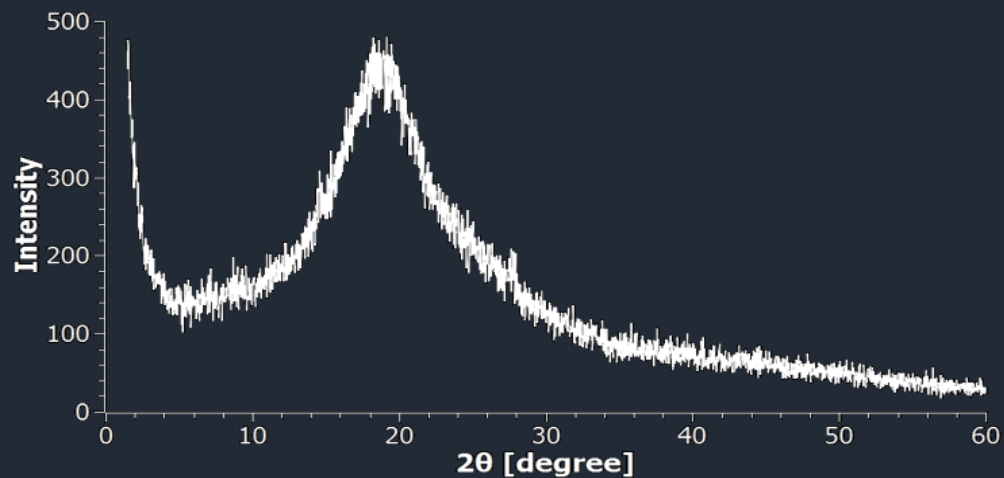


Рис. 1. Рентгенограмма борполимера

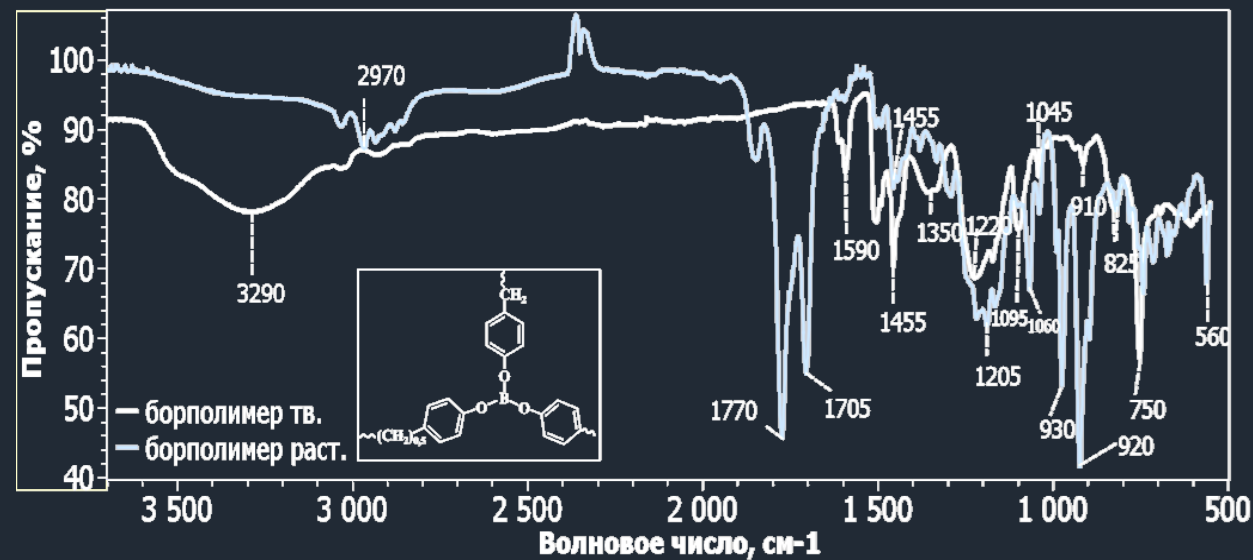


Рис. 2. ИК-спектры борполимера

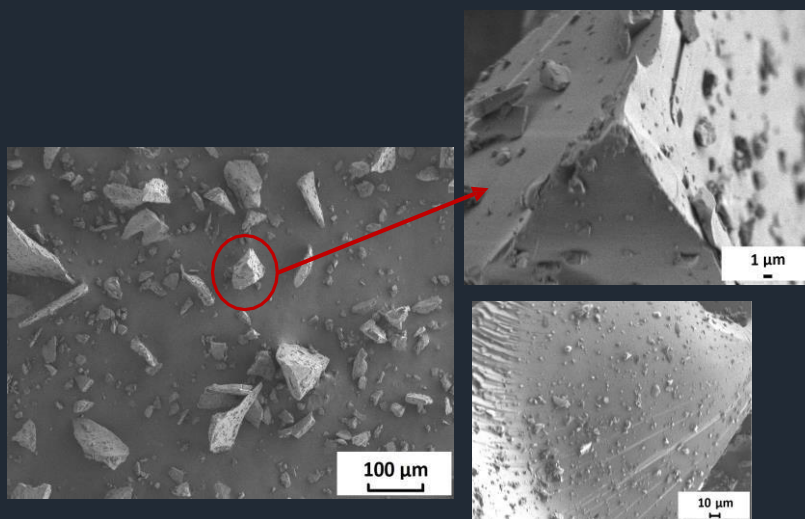
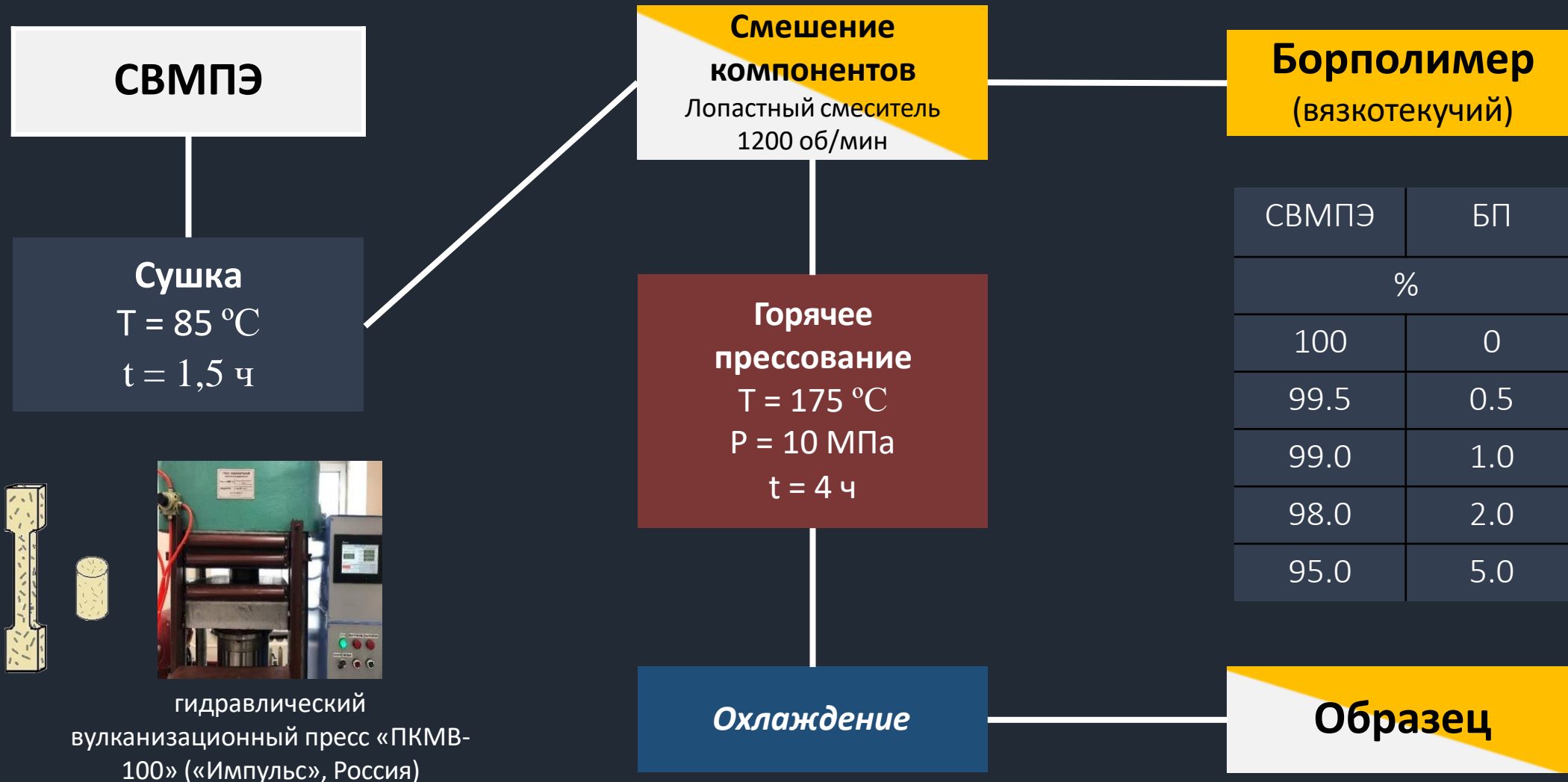


Рис. 3. Микрофотографии частиц БП x150, x500, x3000

# Технологическая схема получения ПКМ на основе СВМПЭ методом горячего прессования





Исследование *физико-механических свойств ПКМ* на основе СВМПЭ и БП в зависимости от содержания наполнителя *при растяжении*

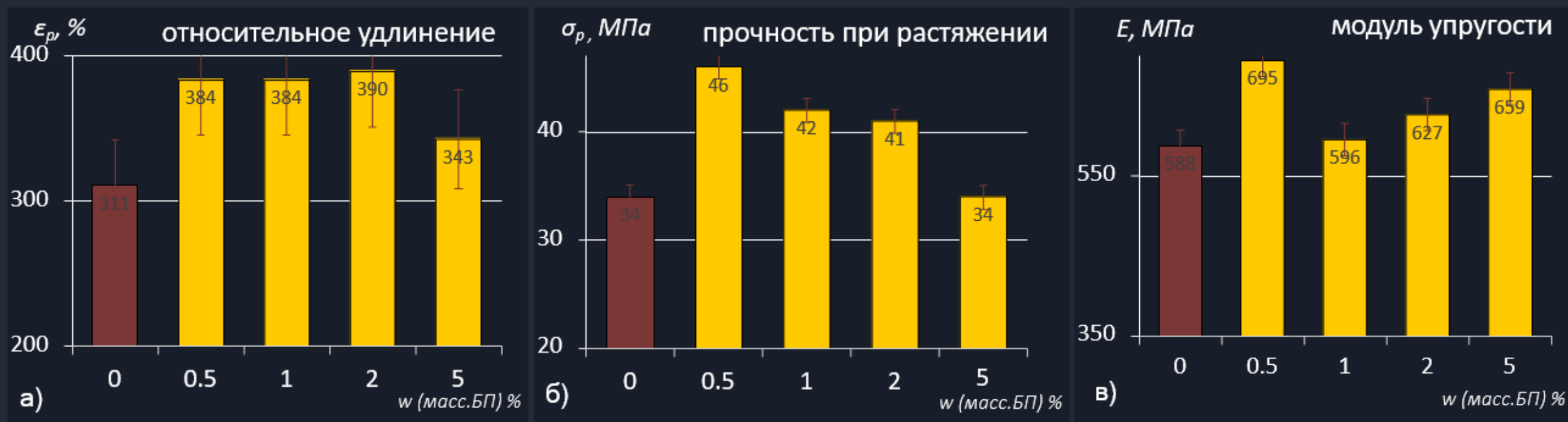


Рис. 4. Зависимость физико-механических свойств ПКМ от содержания борполимер

Исследование *физико-механических свойств ПКМ* на основе СВМПЭ и БП в зависимости от содержания наполнителя *при сжатии*

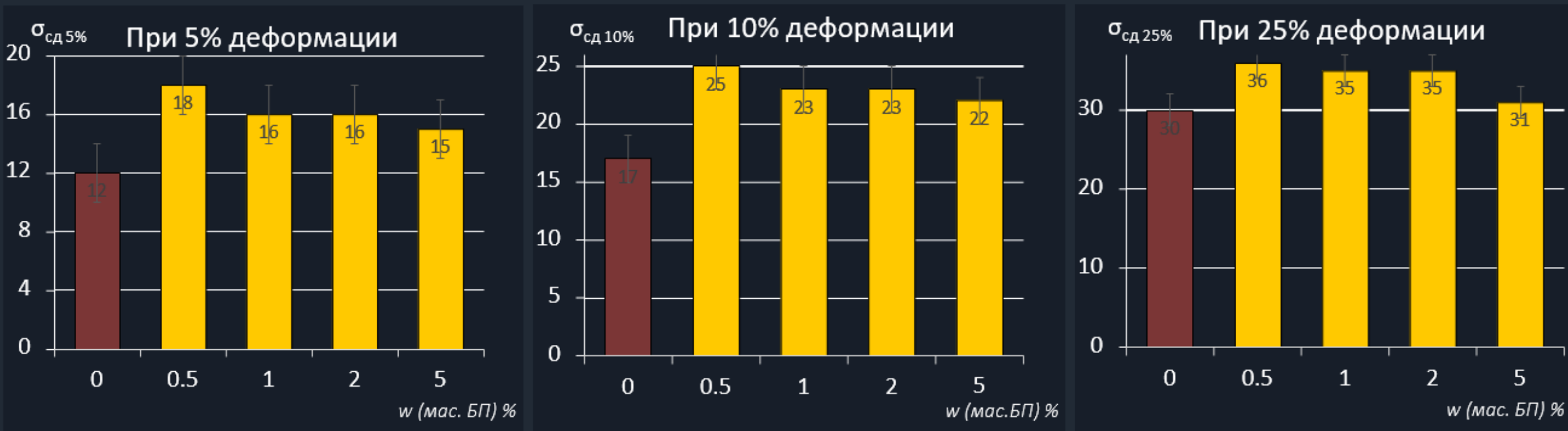


Рис. 5. Прочности при сжатии ПКМ в зависимости от содержания борполимера при установленной относительной деформации (МПа)

# Исследования структуры ПКМ методом сканирующей электронной микроскопии

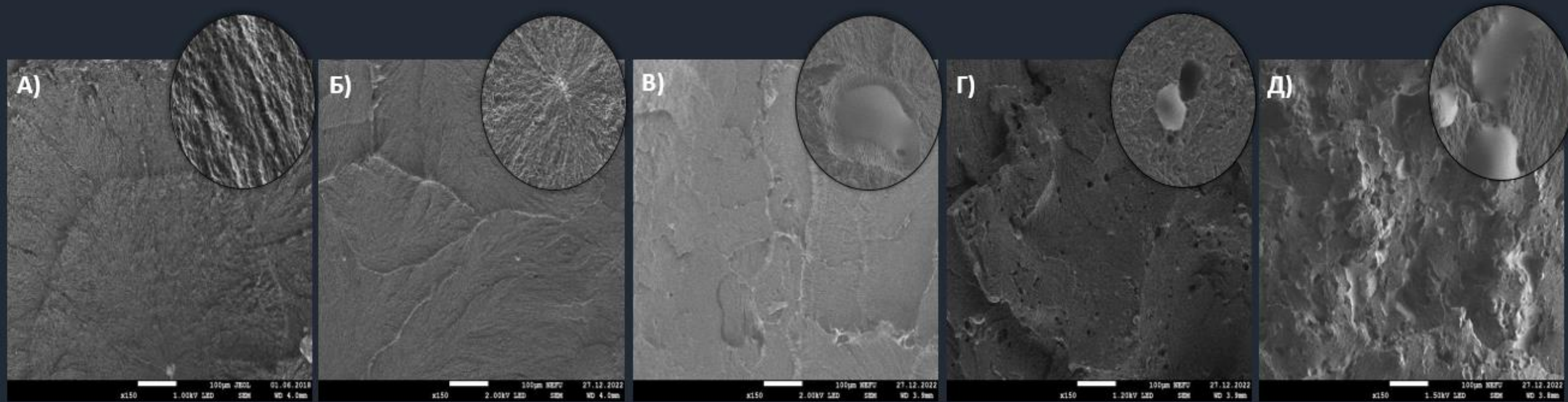


Рис. 6. Надмолекулярная структура поверхности СВМПЭ и ПКМ с увеличением x150 и x3000: А) СВМПЭ; Б) СВМПЭ+0,5%БП; В) СВМПЭ+1%БП; Г) СВМПЭ+2%БП; Д) СВМПЭ+5%БП

## Исследование термодинамических свойств методом ДСК

Образец	$T_{\text{нач.пл.}}^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_{\text{пл}}$ Дж/г	Степень кристалличности, $\alpha$ , %
исходный СВМПЭ	127,7	171,1	58,7
СВМПЭ + 0,5%БП	126	159,9	54,6
СВМПЭ + 1%БП	126,5	154,3	52,6
СВМПЭ + 2%БП	126,4	152,3	52,0
СВМПЭ + 5%БП	125,7	150,7	51,4

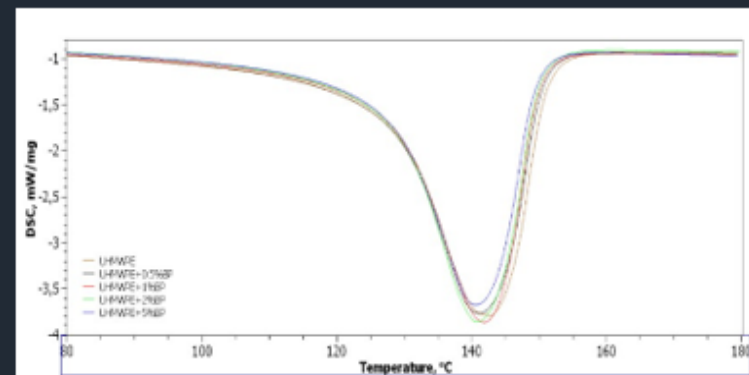


Рис. 9. ДСК СВМПЭ и ПКМ, в зависимости от содержания борполимера

# Исследование *трибологические свойства ПКМ* на основе СВМПЭ и БП

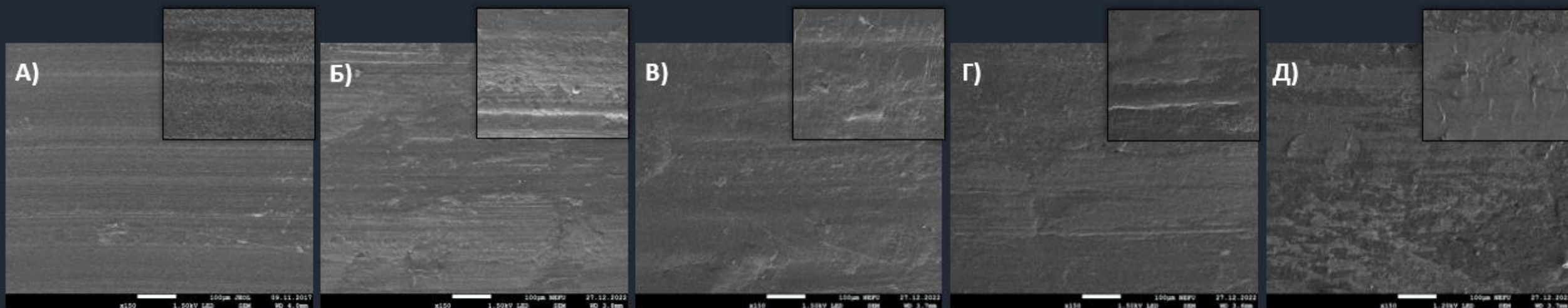


Рис. 7. Структура поверхности трения СВМПЭ и ПКМ с увеличением x150, 3000: А) СВМПЭ; Б) СВМПЭ+0,5%БП; В) СВМПЭ+1%БП; Г) СВМПЭ+2%БП; Д) СВМПЭ+5%БП

Образец	Коэффициент трения, $f$	Скорость массового изнашивания, мг/ч	Линейный износ, мм
исходный СВМПЭ	0,38 ±0,01	0,12±0,01	0,31±0,01
СВМПЭ + 0,5%БП	0,39±0,01	0,12±0,01	0,01±0,01
СВМПЭ + 1%БП	0,39±0,01	0,11±0,02	0,04±0,01
СВМПЭ + 2%БП	0,39±0,02	0,25±0,02	0,02±0,02
СВМПЭ + 5%БП	0,30±0,01	0,28 ±0,01	0,11±0,01

# Исследование структуры поверхности трения ПКМ методом ИК-спектроскопии

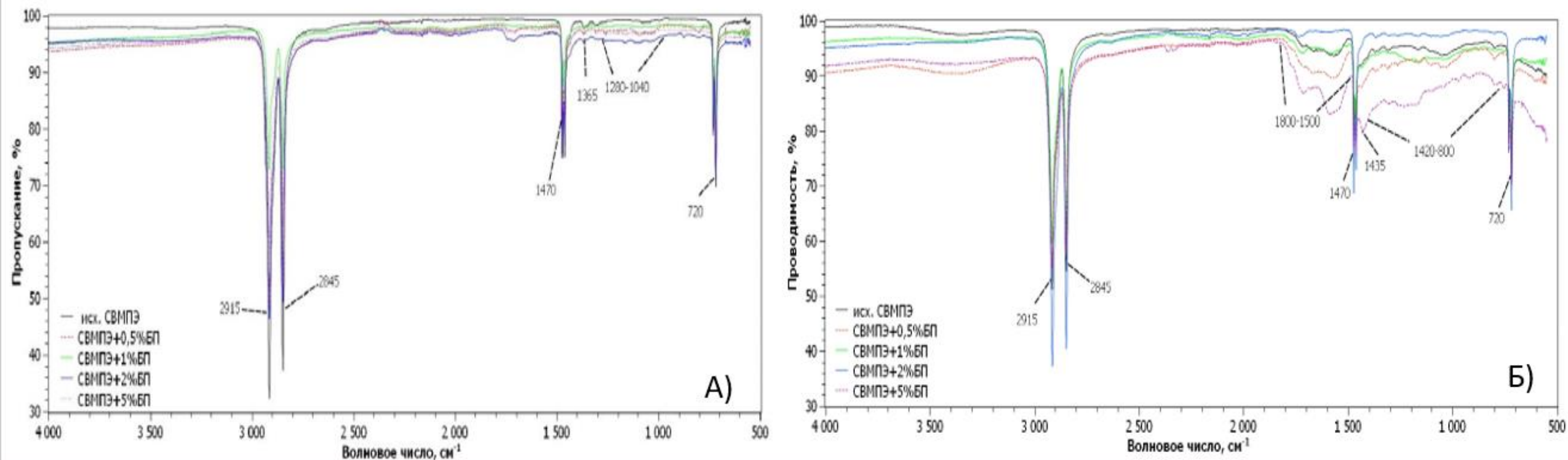


Рис. 8. ИК-спектры СВМПЭ и ПКМ до (А) и после трения (Б) в зависимости от содержания БП

## Сравнение с ПКМ на основе СВМПЭ, опубликованных за последние 5 лет

<i>Матрица</i>	<i>Наполнитель</i>	$\varepsilon_p, \%$	$\sigma_p, \text{МПа}$	$E_p, \text{МПа}$	$f$	$I, \text{мг/ч}$	$L, \text{мм}$	<i>Источн ик</i>
<i>СВМПЭ</i>	10%х-СВМПЭ	316±18	36±1	658±39	0,45±0,01	0,09±0,01	0,12±0,01	Данилова С. Н., Ярусова С.Б., Охлопкова А.А. и др..
<i>СВМПЭ</i>	10%HDPE-g- SMA	-	15,700	505,556	0,226	-	-	S. Wannasri, S.V. Panin, L.R. Ivanova, L.A. et al..
<i>СВМПЭ</i>	5%Ф4	422±41	33,9±2	474±22	0,077	-	-	Панин С. В., Алексенко В. О., Корниенко Л. А.
<i>СВМПЭ</i>	0,5%БПж	384±23	44±3	695±30	0,36±0,02	0,12±0,01	0,01±0,01	Данная работа

# Заключение

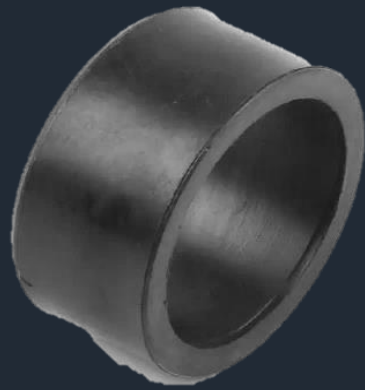
- По РСА было выяснено, что исходный БП является аморфным соединением;
- Показано, что ИКС растворенного борполимера соответствует твердому БП и используемого растворителя;
- Композиты, содержащие борполимер, отличаются повышением значений прочности при растяжении и при сжатии.
- Структурными исследованиями показано, что композиты характеризуются формированием сферолитных образований, а при увеличении содержания БП наблюдается трансформацию структуры в рыхлую;
- Трибологическими исследованиями выявлено, что введение БП сопровождается повышением износостойкости композита и снижением коэффициента трения;
- Исследование поверхности трения показал, что морфология поверхности композитов характеризуется снижением шероховатости и формированием вторичных структур.



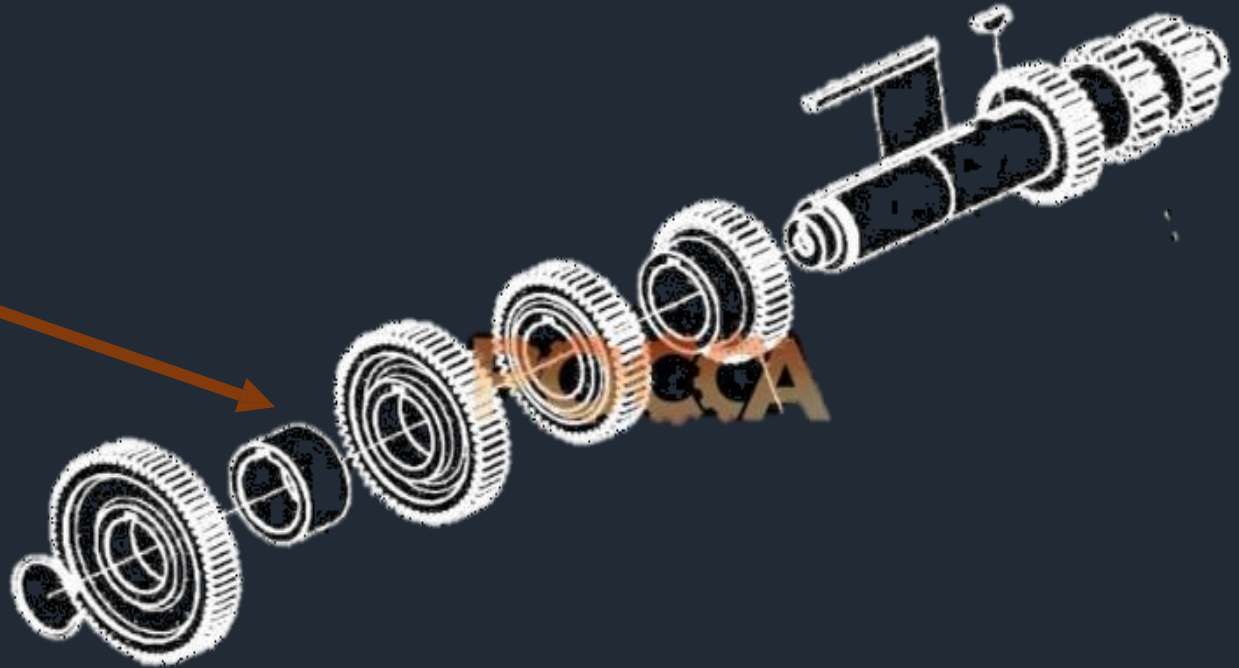


# Вторичный вал коробки передач

(SHAANXI SHACMAN F3000)



Втулка вала задней  
передачи



*Спасибо за внимание!*