

*МИРЭА - Российский технологический университет  
Институт тонких химических технологий  
имени М. В. Ломоносова*

**КАФЕДРА  
ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС  
и ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
(ХТПП и ПК)**



## Бакалавриат (академический)

Направление подготовки:

18.03.01 «Химическая технология»

Профиль: «Технология и переработка полимеров»

Дисциплина:

Б1.В.ДВ.10.3 «Принципы создания полимерных композиционных материалов»

Лектор:

доктор технических наук, профессор

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

**Лекция 6. Структура,  
параметры, тип дисперсной  
структуры и свойства ДНПКМ**

**доктор технических наук,  
профессор  
И. Д. Симонов-Емельянов**

# Алгоритм прогнозирования различных типов структур и расчет составов ДНПКМ с заданными свойствами

1. Экспериментально по известным методикам для конкретного дисперсного наполнителя с диаметром  $d$  определяют максимальный параметр упаковки -  $\varphi_m$  об. д. (по насыпной плотности, по кривой уплотнения, по трем концентрациям);
2. Рассчитывают значение обобщенного параметра  $\Theta$  для наполнителя с известным параметром  $\varphi_m$  варьируя содержание наполнителя  $\varphi_n$ ;
3. По значениям обобщенного параметра  $\Theta$  определяют тип структуры ДНПКМ с заданным содержанием наполнителя  $\varphi_n$ ;
4. Строят зависимость  $\Theta = f(\varphi_n)$  и указывают содержание наполнителя для разных типов структур ДНПКМ;
5. Выбирают тип дисперсной структуры ДНПКМ и определяют содержание наполнителя для конкретного полимерного композиционного материала
6. Проектирование состава ДНПКМ с заданным типом структуры и параметрами решетки – по рассчитанному значению содержания наполнителя ( $\varphi_n$ ) определяют объемную долю полимерной матрицы ( $\varphi_p$ ) как:  $\varphi_p = 1 - \varphi_n$

## Расчет составов ДНПКМ в объемных (об. д.) и массовых (масс. д.) единицах

Связь между объемными и массовыми единицами содержания наполнителя ( $\varphi_{об. н}$  и  $\varphi_{масс. н}$ ) в двухфазном ДНПКМ (наполнитель + полимерная матрица) определяется соотношениями:

1 - расчет параметров структуры в объемных единицах:

$$\varphi_{об. н} = (\rho_{п} / \rho_{н}) / [(1 / \varphi_{масс. н}) + (\rho_{п} / \rho_{н}) - 1], \text{ об. д. (об. \%)}$$

2 - расчет навесок в массовых единицах:

$$\varphi_{масс. н} = \varphi_{об. н} / [\varphi_{об. н} (1 - \rho_{п} / \rho_{н}) + \rho_{п} / \rho_{н}], \text{ масс. д. (масс. \%)}$$

где:  $\rho_{н}$  и  $\rho_{п}$  - истинная плотность наполнителя и полимерной матрицы, соответственно

Зависимость содержания наполнителя ( $\varphi_{\text{масс. н}}$ ) в ДНПКМ для разных полимерных матриц и плотности наполнителей при постоянном объемном содержании наполнителя.

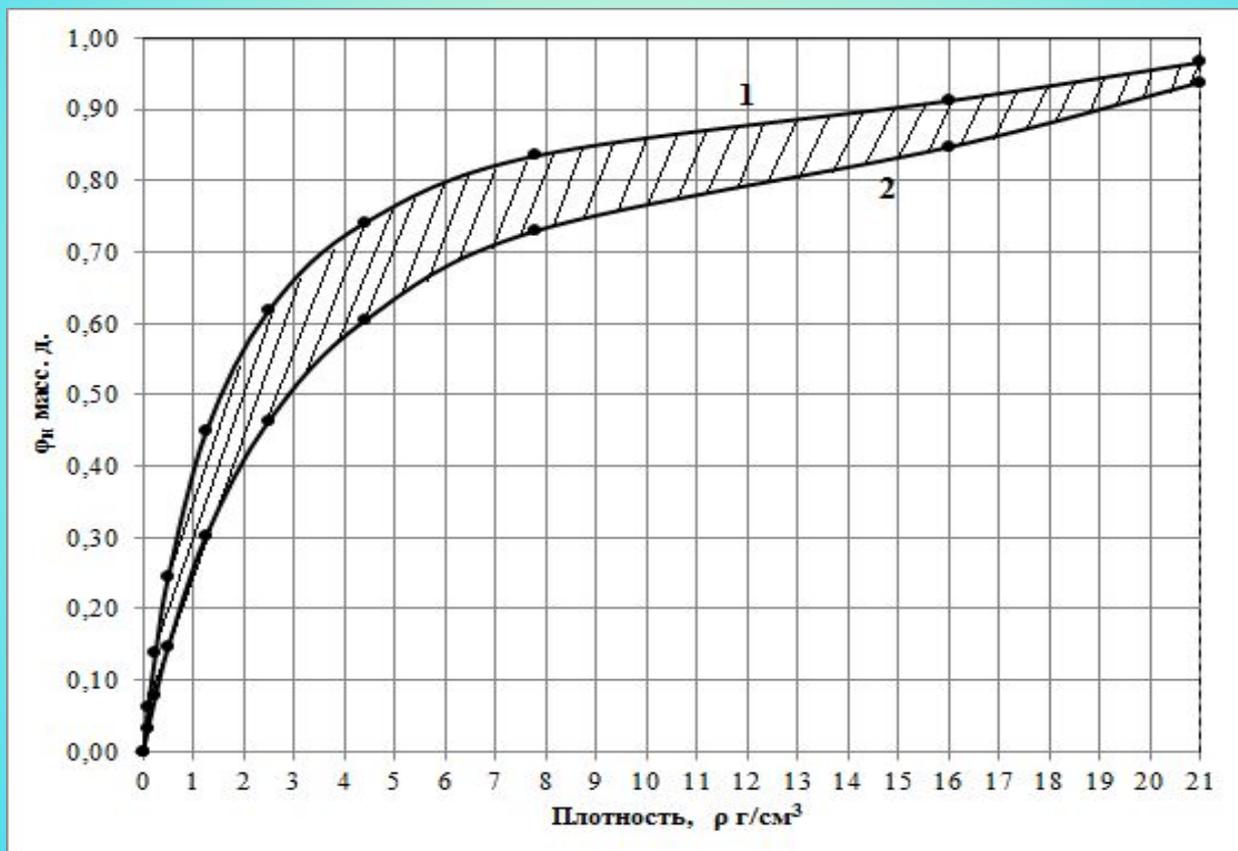


Рисунок – Зависимость массовой доли дисперсного наполнителя ( $\varphi_{\text{масс. н}}$ ) в ДНПКМ с плотностью полимерной матрицы 0,8 г/см<sup>3</sup> (1) и 1,5 г/см<sup>3</sup> (2) при постоянной объемной доле дисперсного наполнителя - 0,52 об. д. от плотности наполнителя.

# Расчет составов ДНПКМ в массовых единицах (масс. д.) при постоянных объемных (об. д.) единицах

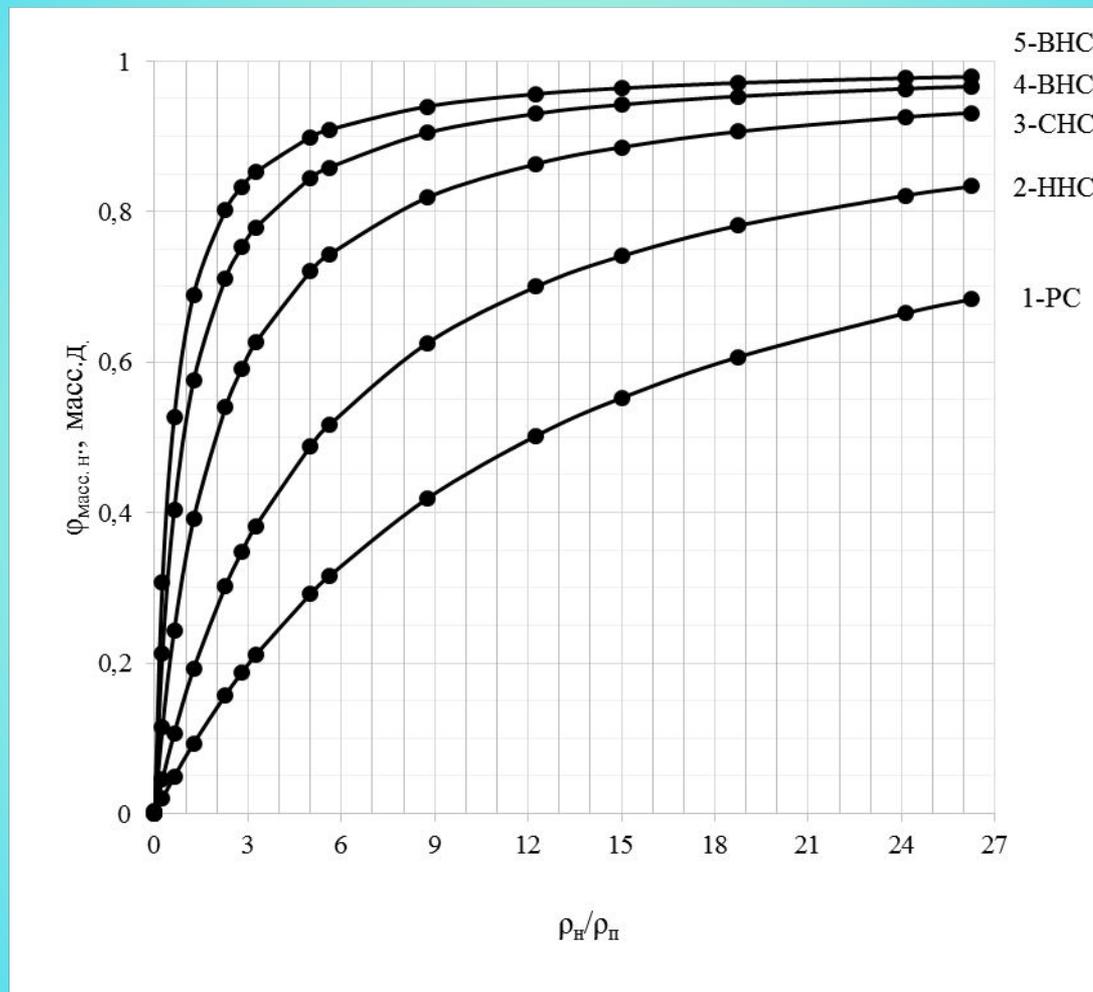


Рисунок 3.- Зависимость содержания наполнителя  $\varphi_{\text{масс. н.}}$  в массовых долях (масс. д.) в ДНПКМ от отношения плотностей  $\rho_{\text{н.}}/\rho_{\text{п.}}$  при постоянном объемном содержании  $\varphi_{\text{об. н.}}$ : 1 – РС, 0,076 об. д. ( $\Theta = 0,90$  об. д.), 2 – ННС, 0,16 об. д. ( $\Theta = 0,75$  об. д.); 3 – СНС, 0,255 об. д. ( $\Theta = 0,60$  об. д.), 4 – ВНС, 0,52 об. д. ( $\Theta = 0,20$  об. д.) и 5 – ВНС, 0,64 об. д. ( $\Theta = 0,0$  об. д.).

# Электрофизические характеристики ДНКМ с разными структурами

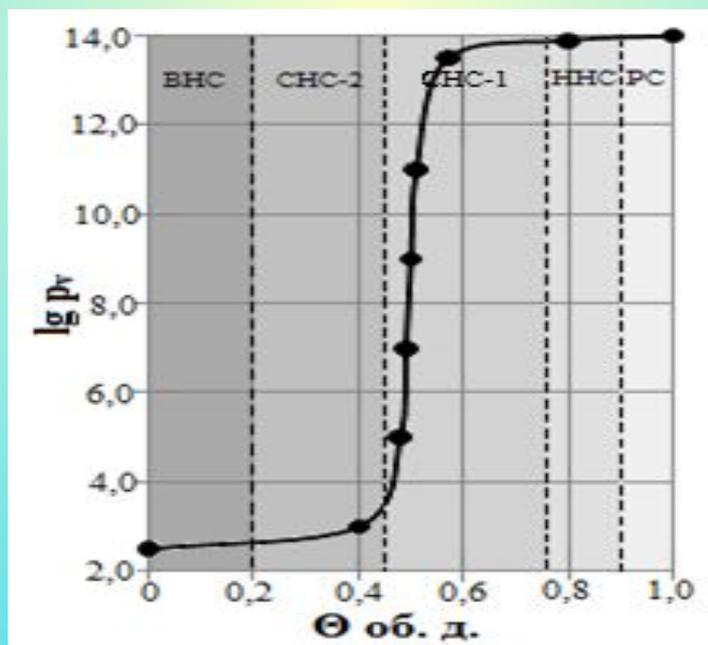
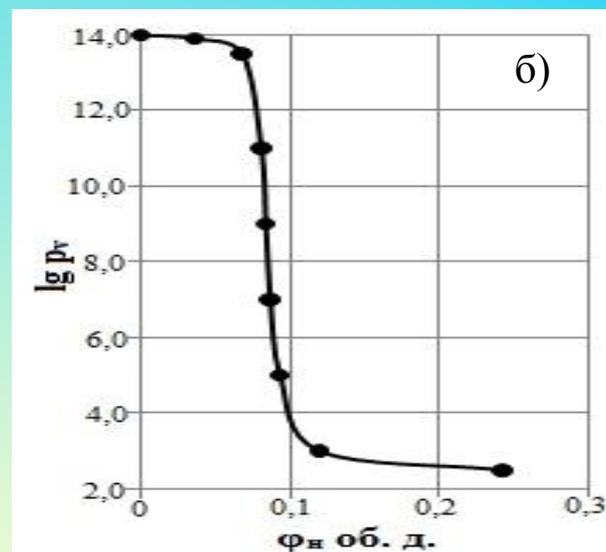
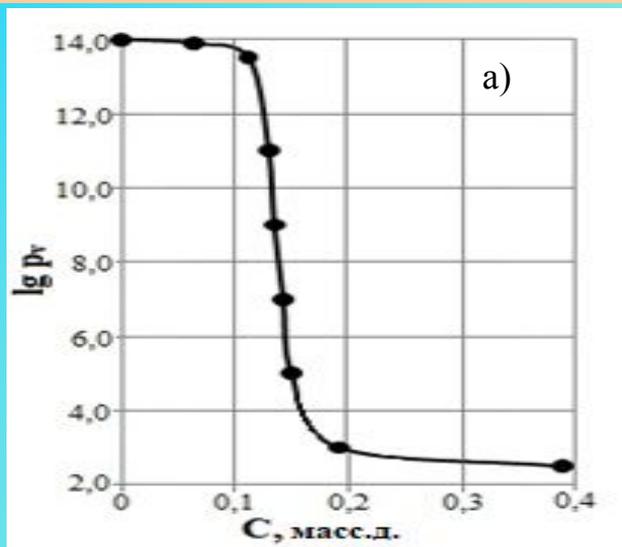


Рисунок — Зависимость  $\lg \rho_r$  ДНКМ на основе каучука марки СКИ-3 и технического углерода марки С-600 от содержания ТУ в массовых (а) и объемных единицах (б), от обобщенного параметра  $\Theta$  (в)

# Зависимость вязкости ДНПКМ с разной структурой

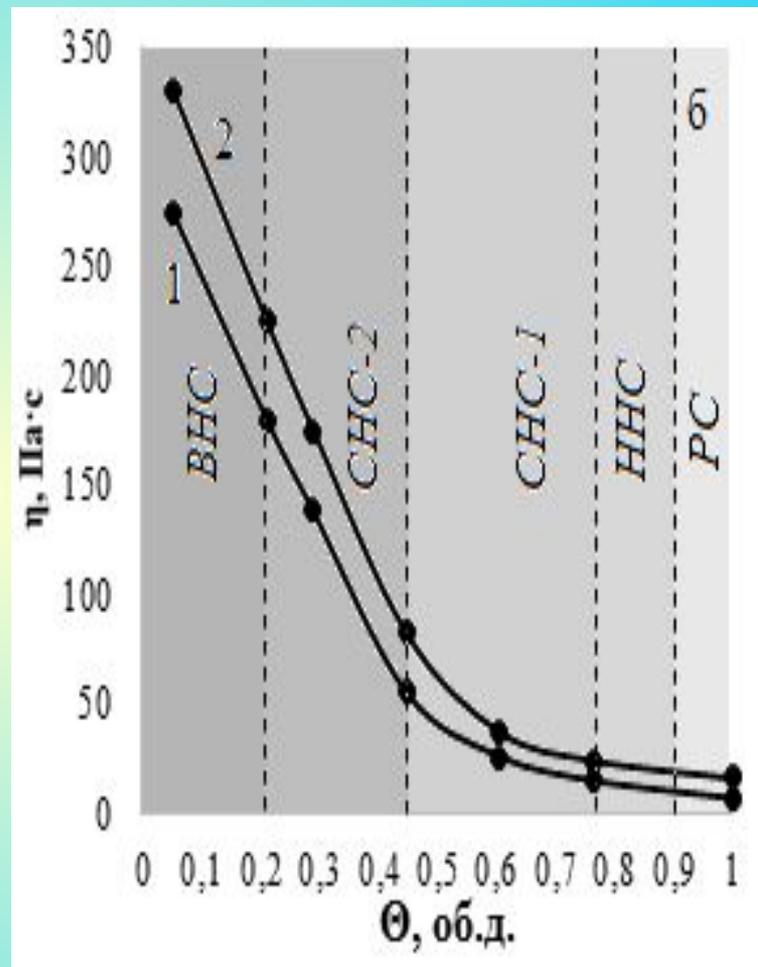
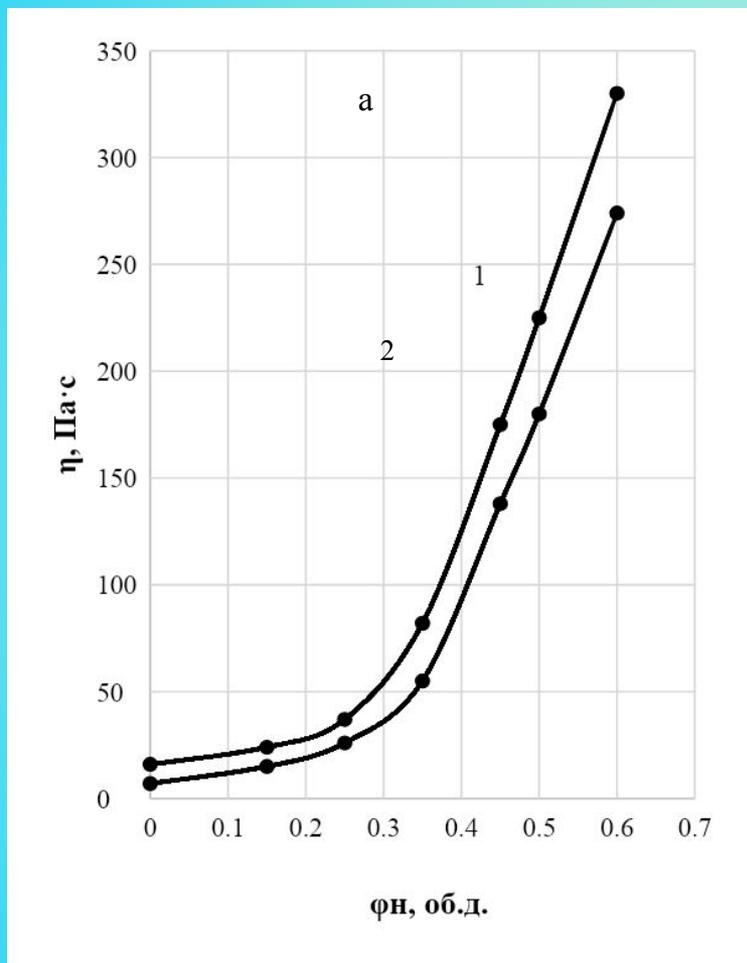
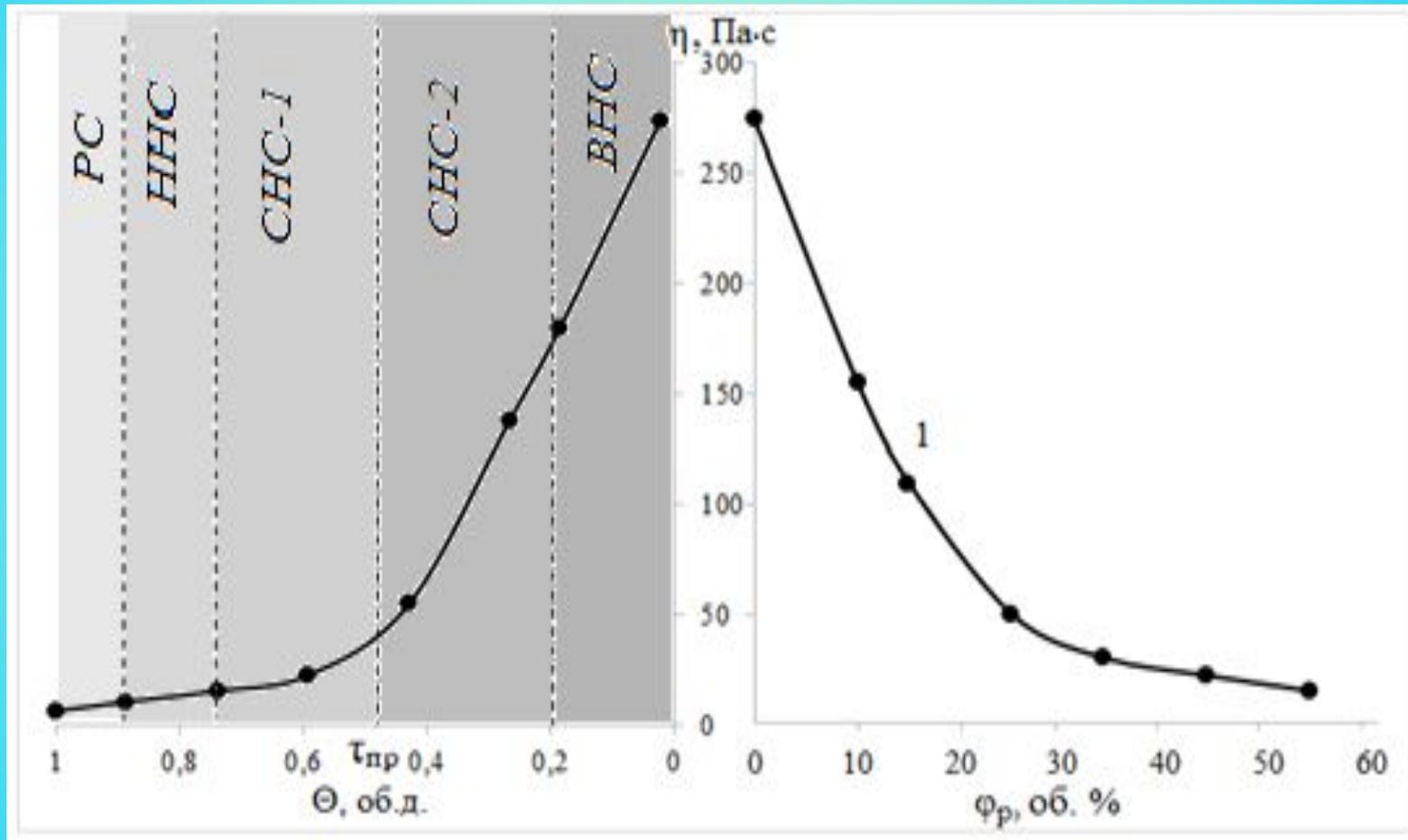


Рисунок — Зависимость вязкости эпоксидной системы DER-330 + ПСМС (1) и ЭД-20 + ПСМС (2) от содержания ПСМС (а) и обобщенного параметра  $\Theta$  (б)

# Вязкость дисперсных систем (ДНПКМ) на основе ЭО +ИНР с инактивным растворителем с разными структурами



а)

б)

Рисунок — Зависимость вязкости ДНПКМ на основе эпоксидного олигомера с 0,60 об. д. ПСМС от обобщенного параметра  $\Theta$  (а) и содержания инактивного растворителя ( $\phi_p$ ) (б)

# Реология ДНПКМ термопластов на основе ПЭНП

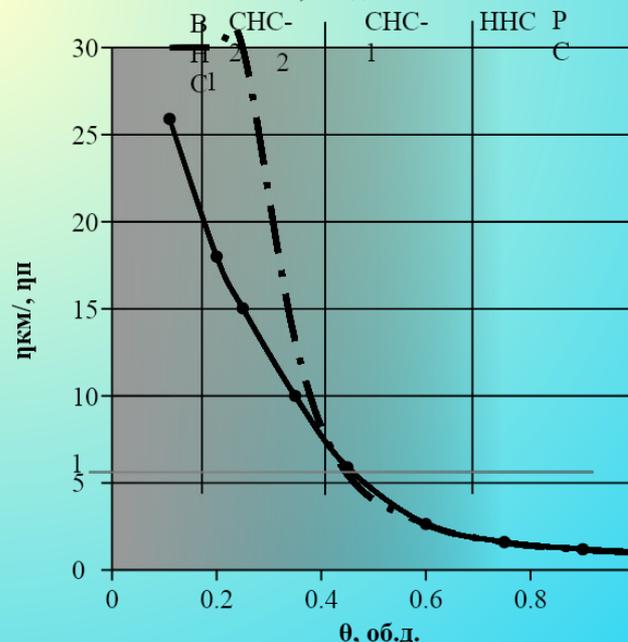
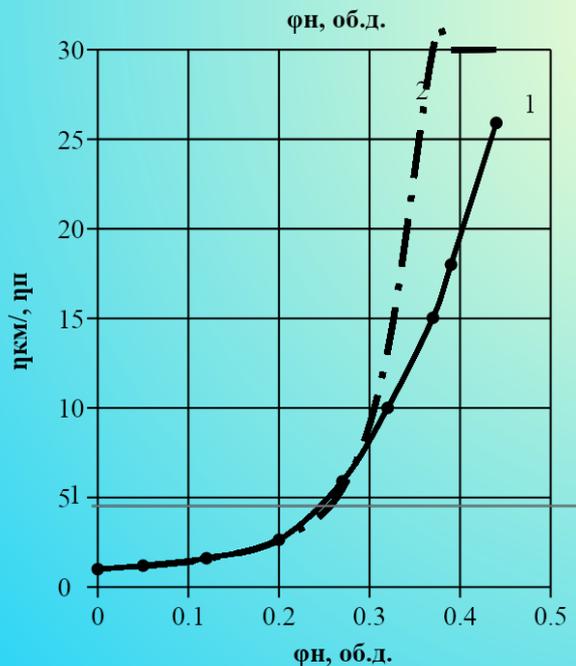
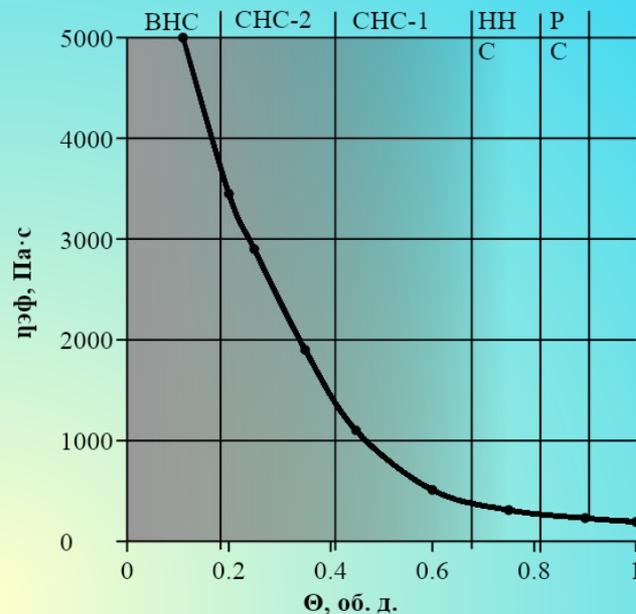
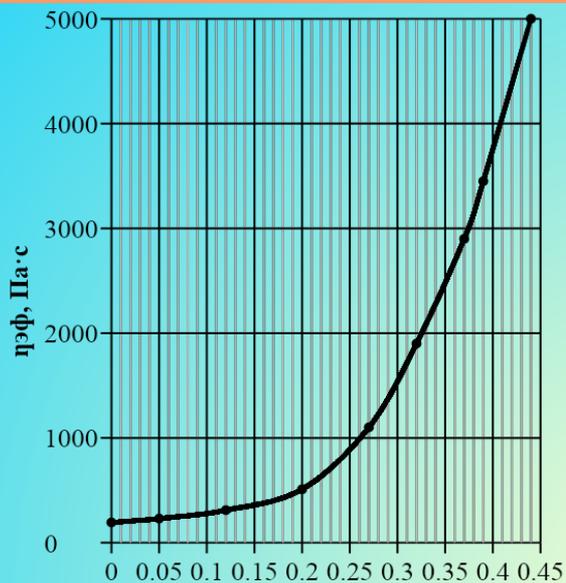


Рисунок 2 – Зависимость вязкости ДНПКМ при 220°C от содержания ШСО-30 (а) и обобщенного параметра  $\Theta$  (б); 2 - уравнение Муни

**Составы, обобщенные, приведенные обобщенные параметры и тип структуры ДНПКМ на основе ПЭНП марки 10803-020 + стеклянные шарики марки ШСО-30 ( $\varphi_m = 0,5$  об. д.,  $d = 30$  мкм )**

Содержание ШСО-30	Обобщенные приведенные параметры структуры ДНПКМ						Вязкость при 220°C	
	$\Theta$ об.д.	B об.д.	M об.д.	$a_{cp}/d$	$\Theta/B$	$\Theta/S_n \cdot 10^3$	$\eta_{км}^*$ Па·с	$\eta_{км}/\eta_{ПЭНП}$
<b>Разбавленные ДНПКМ (РС) <math>1,0 \geq \Theta \geq 0,9</math> об. д.</b>								
<b>0,01</b>	0,98	0,01	0,0	5,34	98,0	50,0	190	1
<b>Низко-наполненные ДНПКМ (ННС) <math>0,9 \geq \Theta \geq 0,75</math> об. д.</b>								
<b>0,05</b>	0,9	0,05	0,0	2,4	18,0	9,0	230	1,2
<b>Средне-наполненные ДНПКМ (СНС) <math>0,75 \geq \Theta \geq 0,20</math> об. д.</b>								
<b>СНС-1- <math>0,75 \geq \Theta \geq 0,45</math> об. д. (до предела текучести)</b>								
<b>0,12</b>	0,75	0,13	0,0	1,2	6,0	3,0	310	1,6
<b>0,2</b>	0,6	0,2	0,0	0,6	3,0	1,5	510	2,6
<b>СНС-2 - <math>0,45 \geq \Theta \geq 0,2</math> об. д. (с пределом текучести)</b>								
<b>0,27</b>	0,45	0,28	0,0	0,45	1,50	0,8	1100	6,0
<b>0,32</b>	0,35	0,33	0,0	0,32	1,0	0,6	1900	10,0
<b>0,34</b>	0,3	0,35	0,01	0,27	0,80	0,4	2980	15,0
<b>Высоконаполненные ДНПКМ (ВНС) <math>0,20 \geq \Theta \geq 0</math> об. д.</b>								
<b>0,39</b>	0,2	0,4	0,01	0,15	0,5	0,3	3450	18,0
<b>0,44</b>	0,10	0,44	0,02	0,09	0,25	0,1	5000	26,0
<b>0,5</b>	0,0	0,45	0,05	0,0	0,0	0,0	-	-

## Усадка ДНПКМ с разной структуры на основе эпоксидных олигомеров

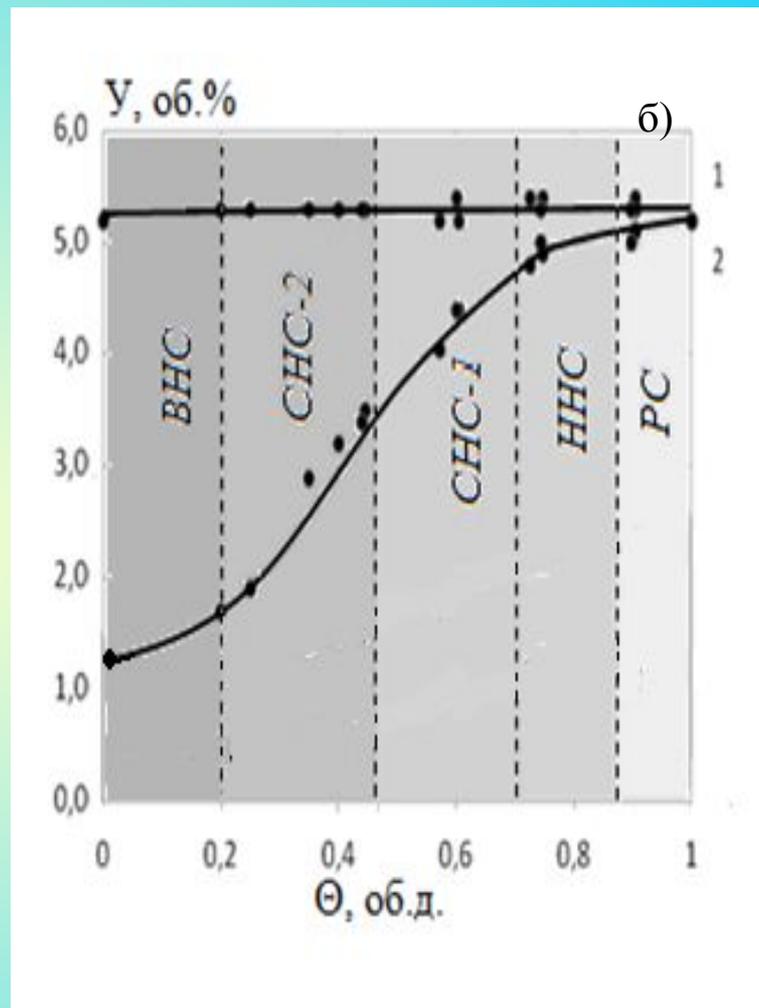
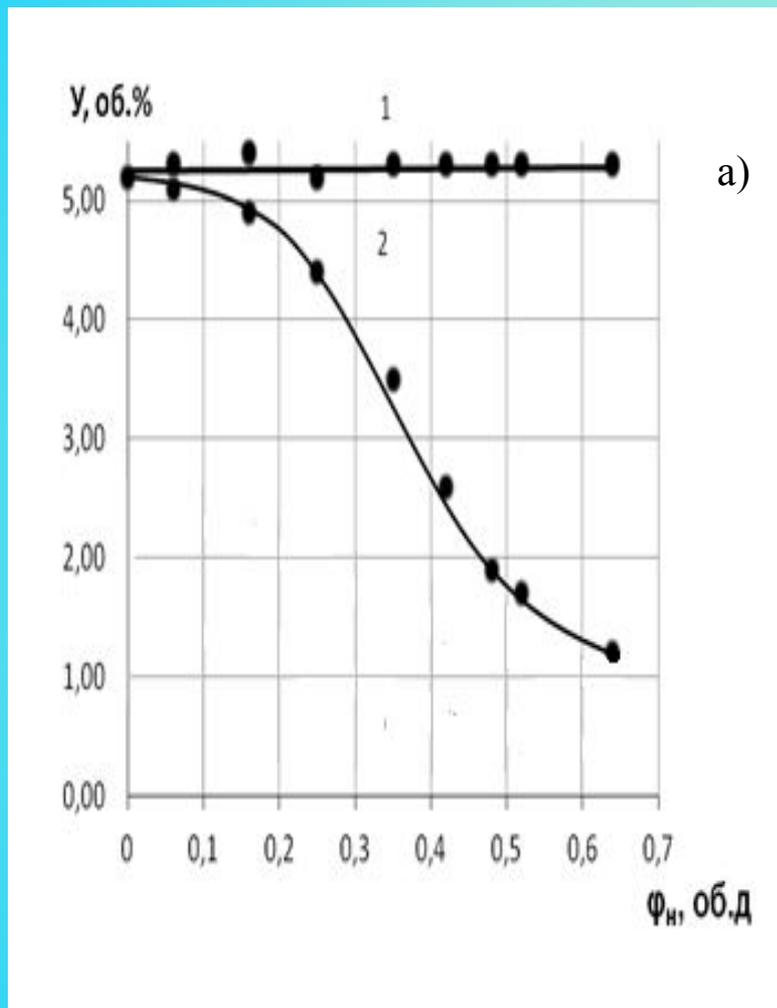


Рисунок – Зависимость усадки полимерной матрицы  $Y_m$  (1) в ДНПКМ и  $Y_k$  (2) наполненной системы (ЭД-20 + ТЭТА) + ПСМС при отверждении от содержания полых стеклянных микросфер (а) и обобщенного параметра  $\Theta$  (б)

# Светотехнические (оптические) характеристики ДННК

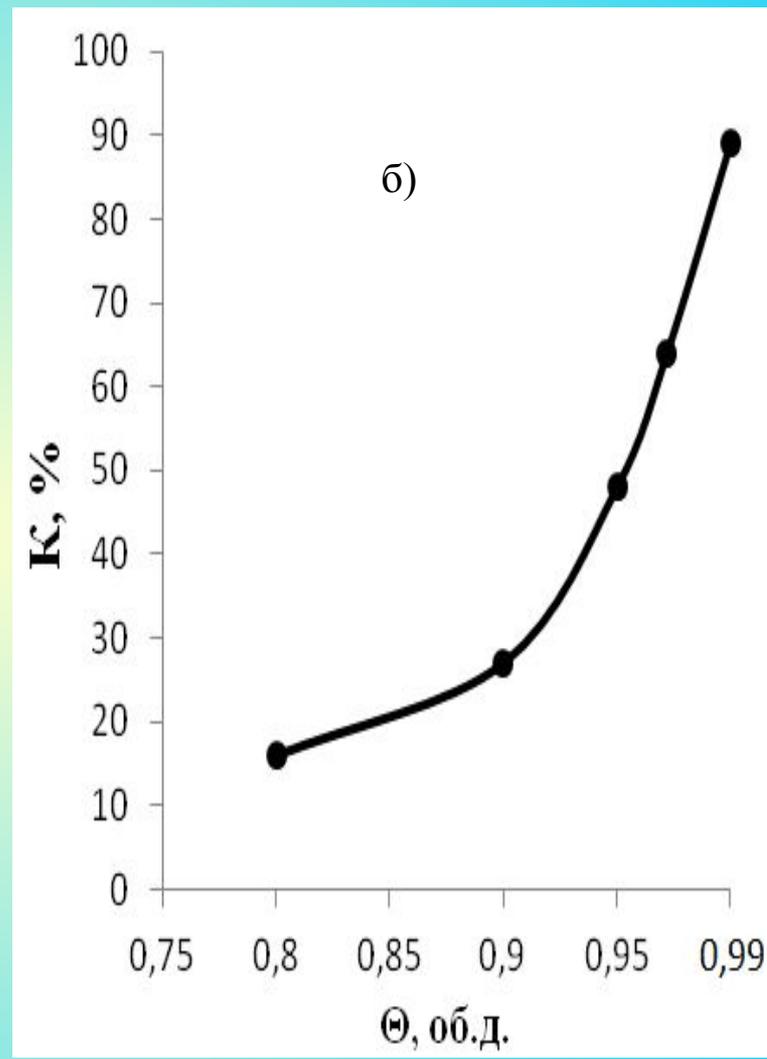
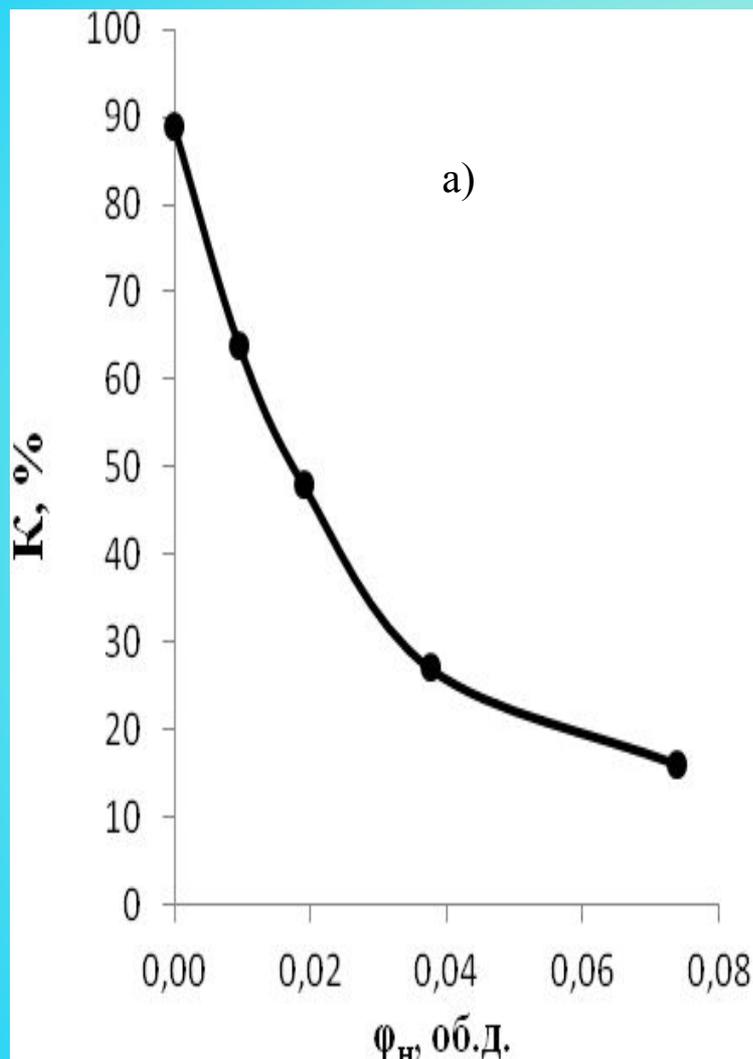


Рисунок - Зависимость коэффициента светопропускания ( $K$ ) дисперсно-наполненной наносистемы ПК + Aerosil OX-50 от содержания нанонаполнителя (а) и обобщенного параметра  $\Theta$  (б)

## Остаточные напряжения в ДНПКМ

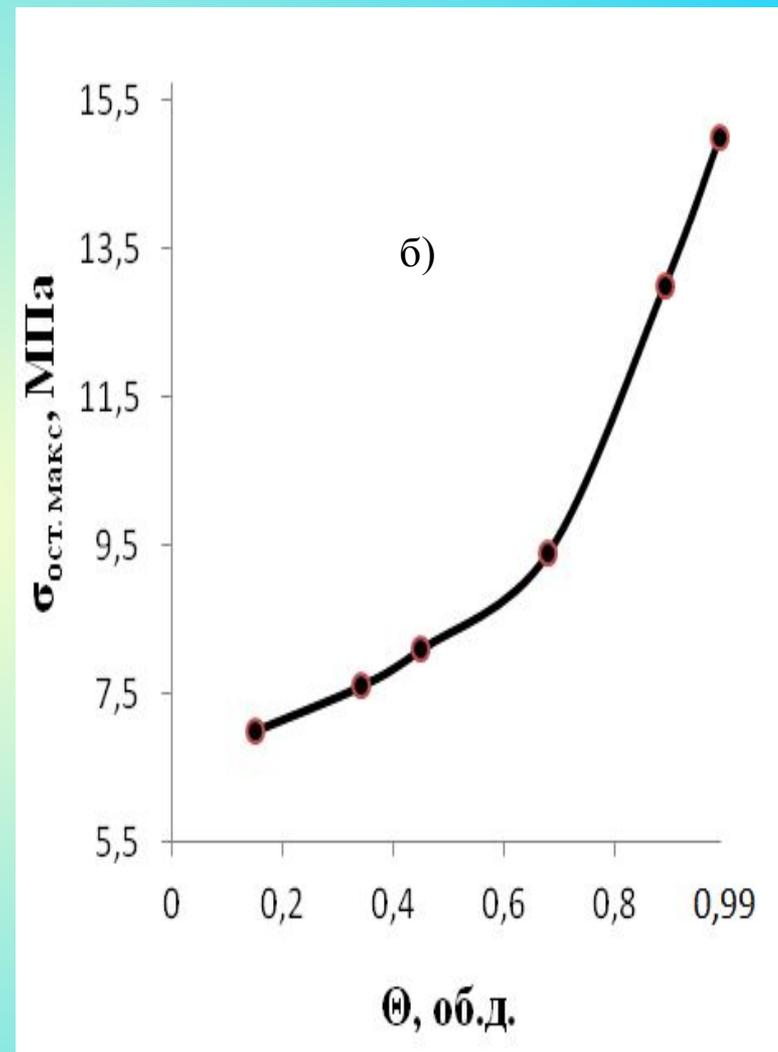
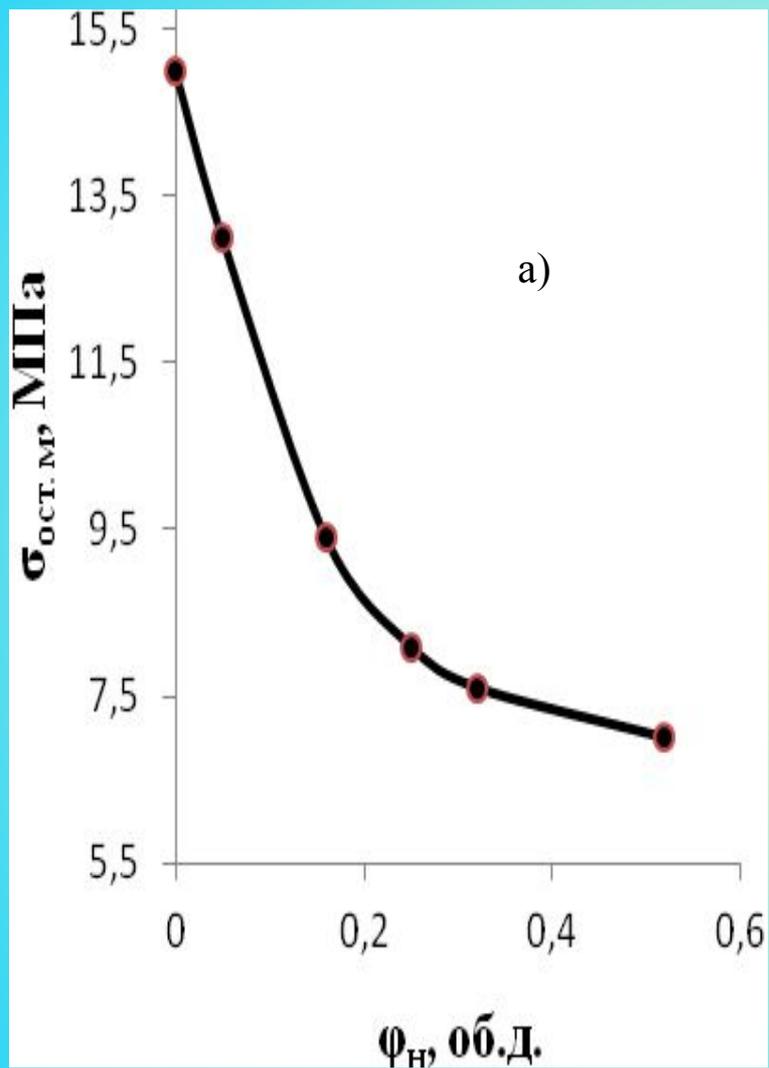


Рис. Зависимость  $\sigma_{\text{ост}}$  для ДНПКМ от содержания ПСМС (а) и обобщенного параметра  $\Theta$  (б)

# Физико-механические характеристики ДНПКМ на основе ПСФ+стекловолокно

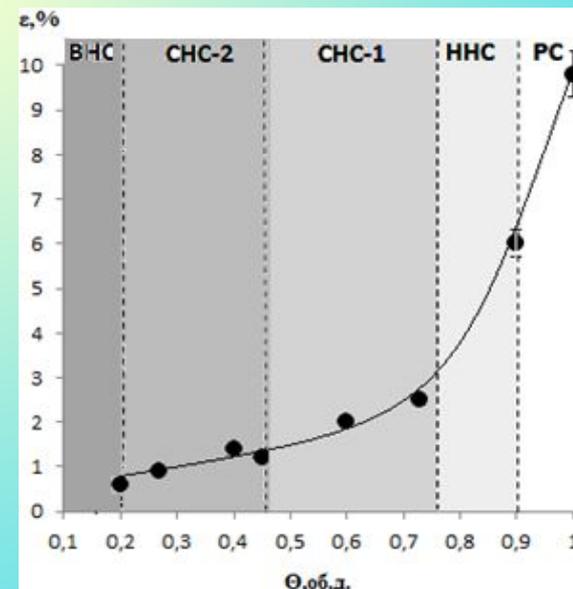
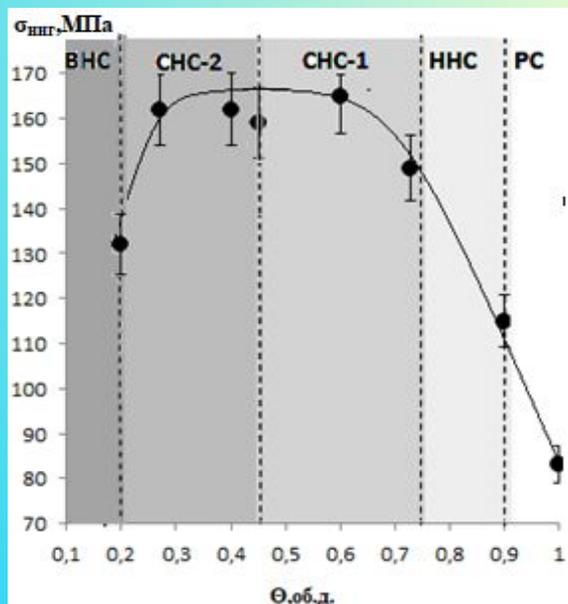
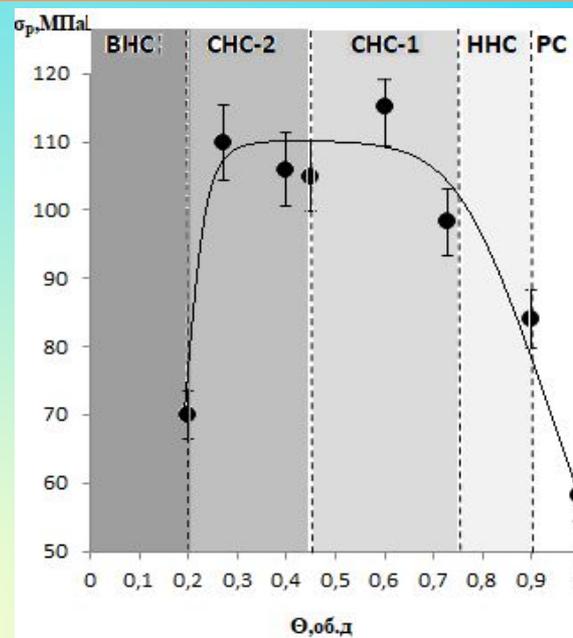
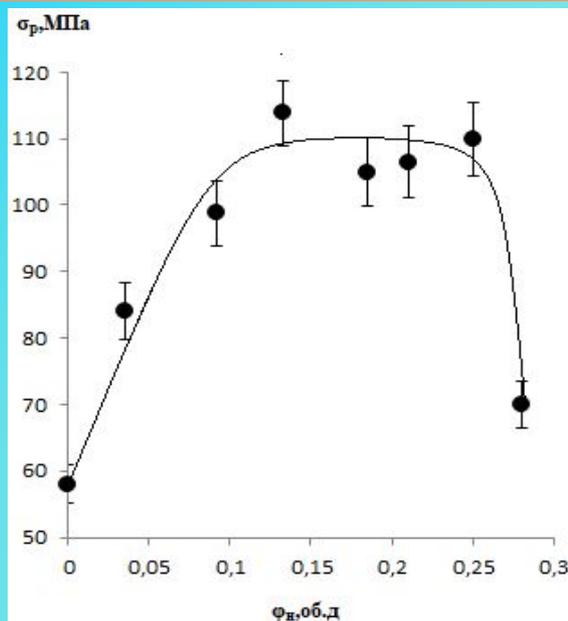


Рисунок - Зависимость  $\sigma_p$ ,  $\sigma_{изг}$  и  $\epsilon_p$  ДНПКМ на основе ПСФ-190 + СВ от содержания СВ (а) и обобщенного параметра  $\Theta$

## Классификация по структурным параметрам и методы переработки различных групп ДПКМ

Группа	Структура ДПКМ	Параметр $\Theta$ , об. д.	Методы переработки ДПКМ
I	РС и ННС	$1,0 \geq \theta \geq 0,75$	Заливка, литье без давления, литье под давлением, экструзия, пневмовакуумформавание, каландрование, литьевое прессование, прессование и т.д.
II	СНС	$0,75 > \theta > 0,20$	Экструзия, литье под давлением при $\Theta > 0,35$ , литьевое прессование, каландрование, вальцевание, прессование, штранг-прессование
III	ВНС	$0,20 > \theta > 0,0$	Литьевое прессование, прессование, штранг-прессование, виброформование, спекание, контактное формование, виброформование, спекание
IV	СВНС	$\theta = 0,0;$	Прессование, виброформование, пофазное формование, спекание



# Основные принципы создания КМ с заданным комплексом свойств

→ **многокомпонентность** (состав, гетерофазность КМ);

→ **монолитность** (сплошность, компактность) - наличие матрицы непрерывной в 3-х направлениях, соединяющей в единое целое все элементы структуры;

→ **сочетание (совмещение, смешение) исходных компонентов:**

- ♦ **разного агрегатного состояния** (газообразное, жидкое, твердое);
- ♦ **разных классов материалов** (металлы, керамики, полимеры, углерод и минеральные вяжущие);
- ♦ **разных типов структур - выпускных форм** (порошки, крошка, короткие, длинные и непрерывные волокна, нити, ровинги, жгуты, пряжа; пленки, листы, сетки, ткани, шпоны, объемные ткани, пакеты, каркасные системы, пористые каркасы и т.д.)

→ **организация фазовой гетерогенной и гетерофазной структуры** (изотропная и анизотропная структуры КМ, разные выпускные формы исходных компонентов):

- дисперсная структура,
- армированная в 1-ом (армированные пластики), в 2-х (слоистые пластики) и 3-х направлениях (объемно-армированные, каркасные пластики) структура, с заданной анизотропией;
- взаимопроникающая структура (импрегнированные системы и смеси полимеров в области обращения фаз);
- комбинированные типы структур;

→ **регулирование параметров гетерогенных и гетерофазных структур различных типов;**

→ **формирование границы раздела фаз** (молекулярный контакт, смачивание, адсорбция, диффузия и др.);

→ **модификация** (отдельных фаз, модификация границы раздела фаз аппретами, модификаторами, микро – и макроструктуры - пластификация, эластификация и т. д.);

→ **технологичность** (возможность переработки и получения изделия различными методами требуемого качества и свойств);

→ **связь типа и параметров структуры со свойствами КМ**



СПАСИБО  
ЗА  
ВНИМАНИЕ

