

*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 - φ_m об. д. (по насыпной плотности, по кривой уплотнения, по трем концентрациям);
2. Рассчитывают значение обобщенного параметра Θ для наполнителя с известным параметром φ_m варьируя содержание наполнителя φ_n ;
3. По значениям обобщенного параметра Θ определяют тип структуры ДНПКМ с заданным содержанием наполнителя φ_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 (φ_n) определяют объемную долю полимерной матрицы (φ_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.

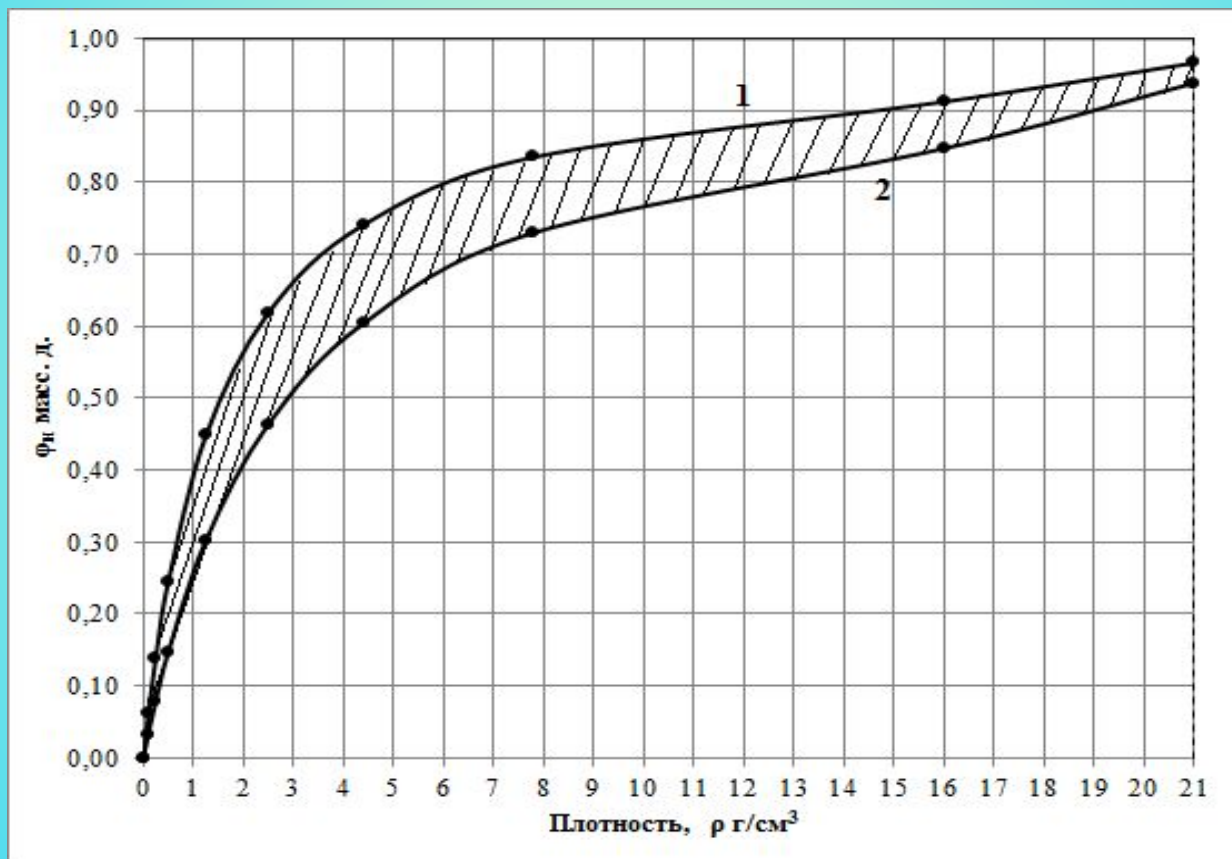


Рисунок – Зависимость массовой доли дисперсного наполнителя ($\varphi_{\text{масс. н}}$) в ДНПКМ с плотностью полимерной матрицы 0,8 г/см³ (1) и 1,5 г/см³ (2) при постоянной объемной доле дисперсного наполнителя - 0,52 об д . от плотности наполнителя.

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

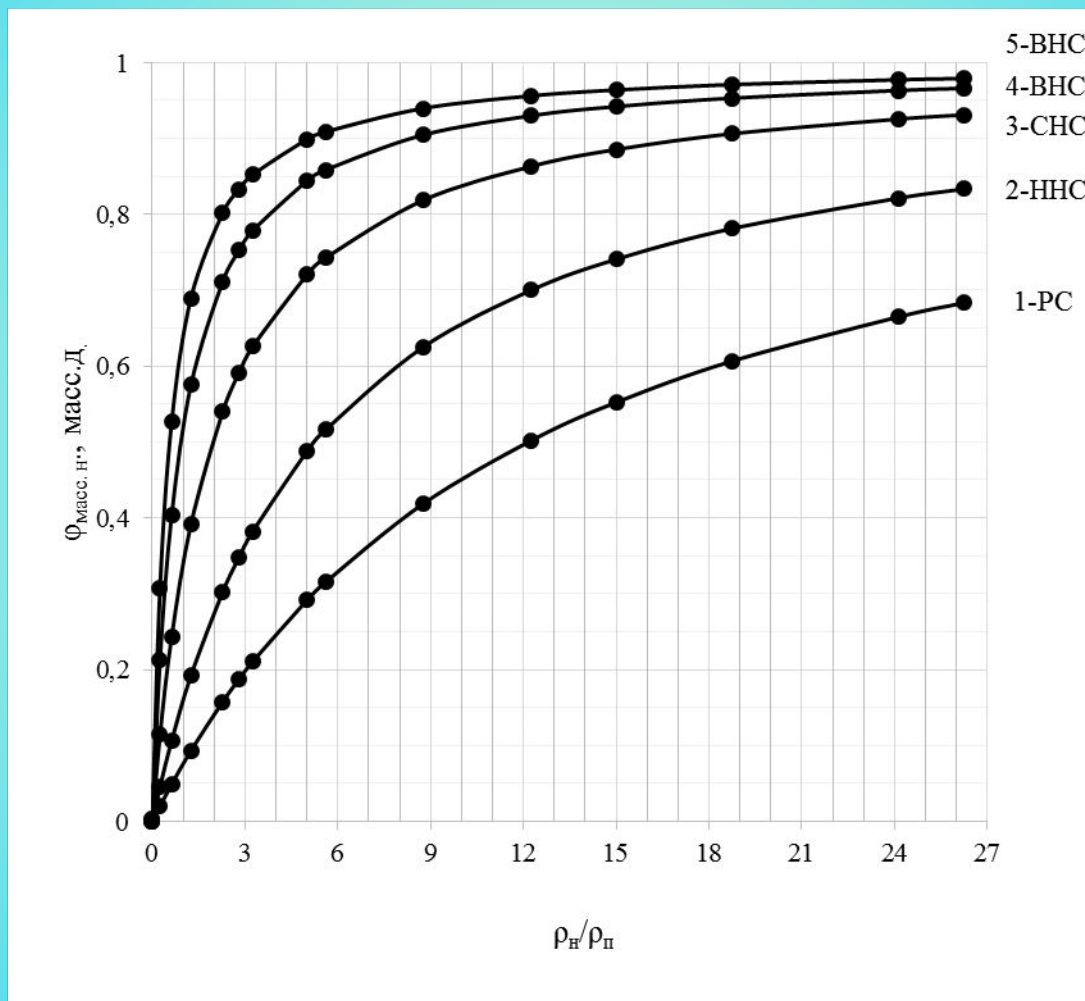


Рисунок 3.- Зависимость содержания наполнителя $\varphi_{\text{масс. н.}}$ в массовых долях (масс. д.) в ДНПКМ от отношения плотностей $\rho_{\text{н.}}/\rho_{\text{п.}}$ при постоянном объемном содержании $\varphi_{\text{об. н.}}$: 1 – РС, 0,076 об. д. ($\Theta = 0,90$ об. д.), 2 – ННС, 0,16 об. д.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

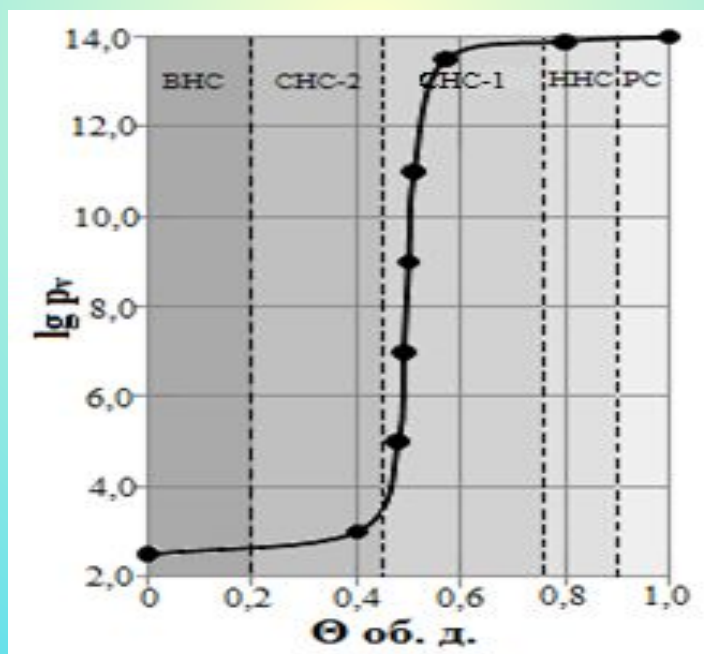
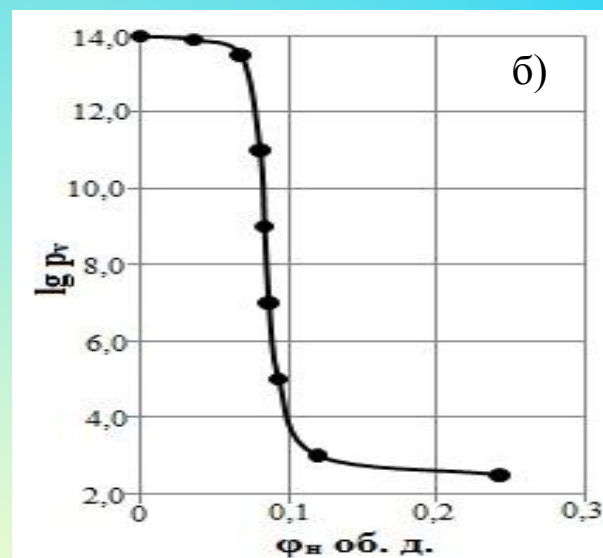
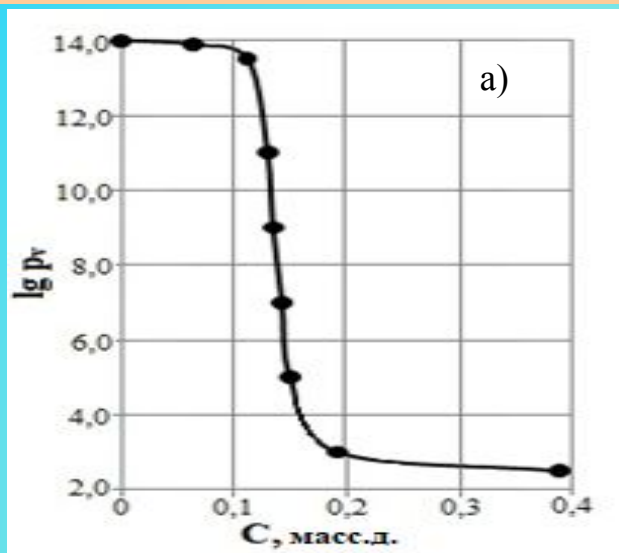


Рисунок — Зависимость $\lg \rho_r$ ДНКМ на основе каучука марки СКИ-3 и технического углерода марки С-600 от содержания ТУ в массовых (а) и объемных единицах (б), от обобщенного параметра Θ (в)

Зависимость вязкости ДНПКМ с разной структурой

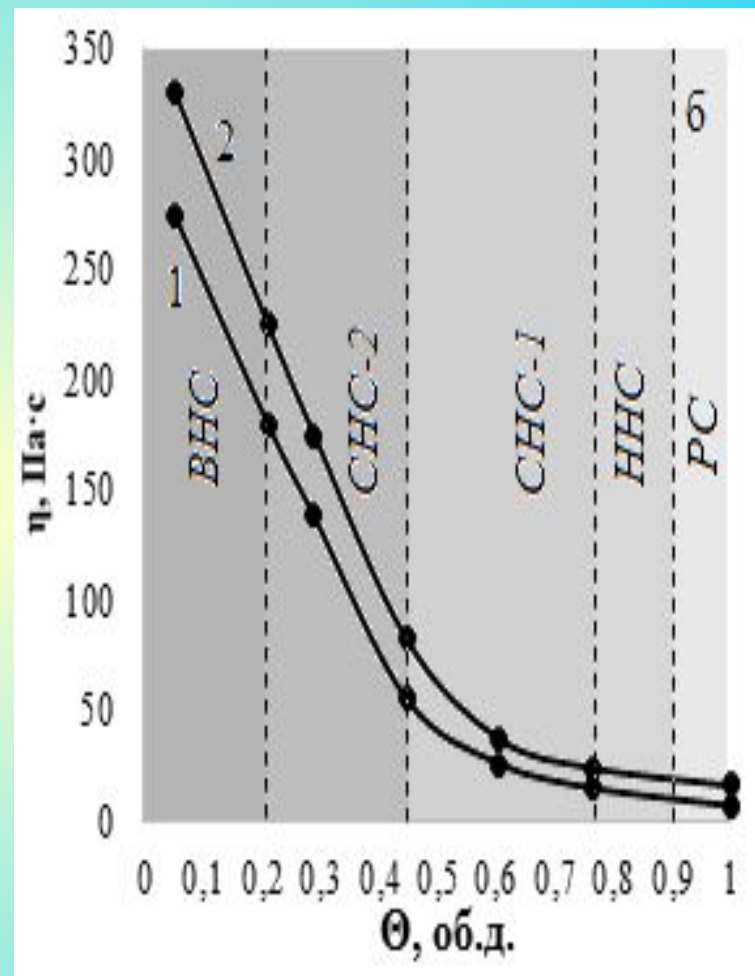
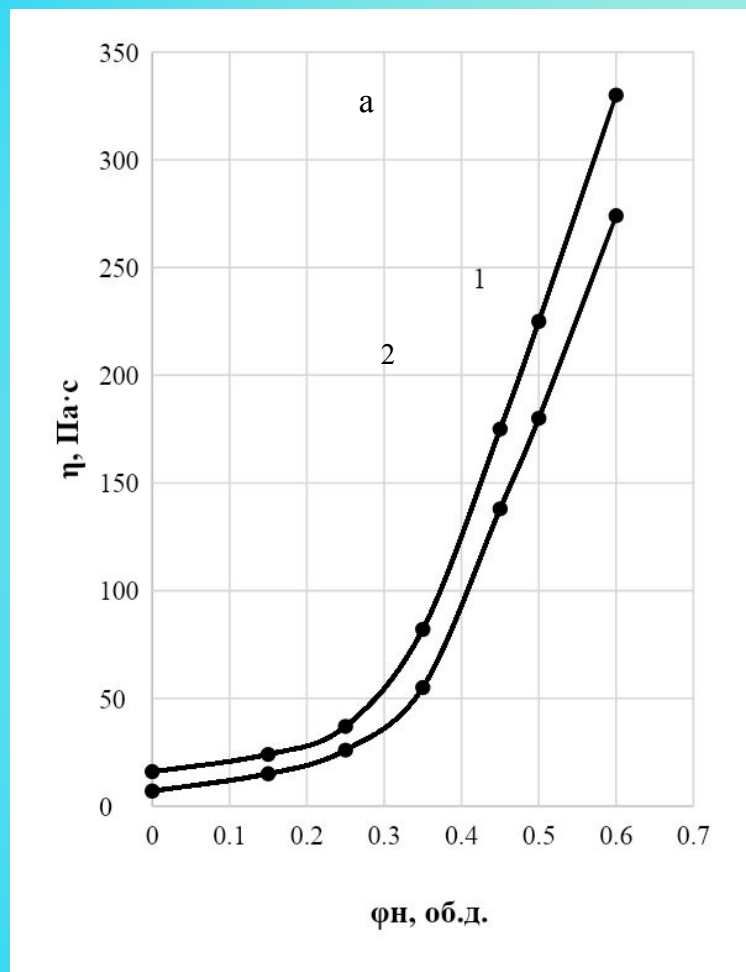
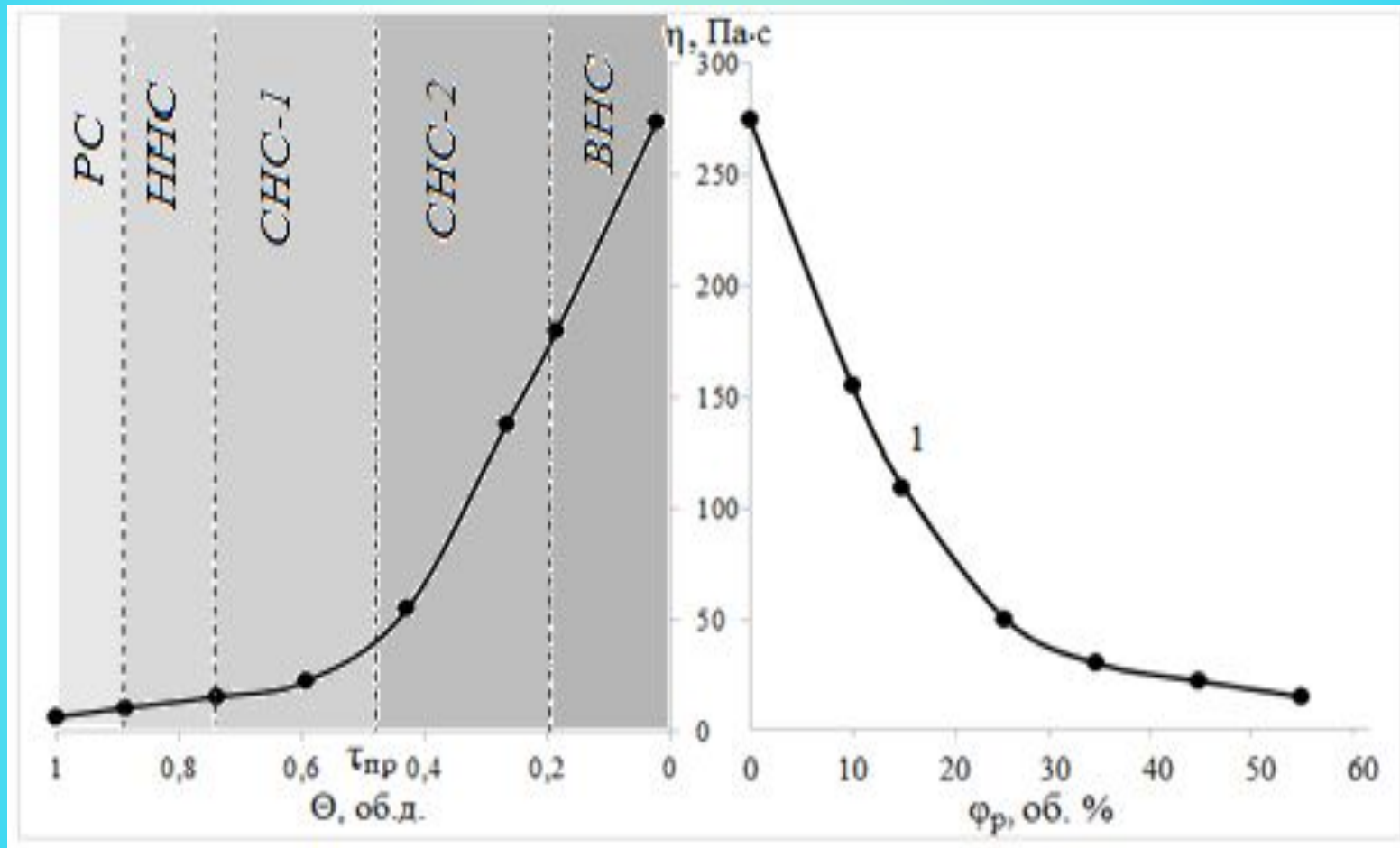


Рисунок — Зависимость вязкости эпоксидной системы DER-330 + ПСМС (1) и ЭД-20 + ПСМС (2) от содержания ПСМС (а) и обобщенного параметра Θ (б)

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 Θ (а) и содержания инактивного растворителя (ϕ_p) (б)

Реология ДНПКМ термопластов на основе ПЭНП

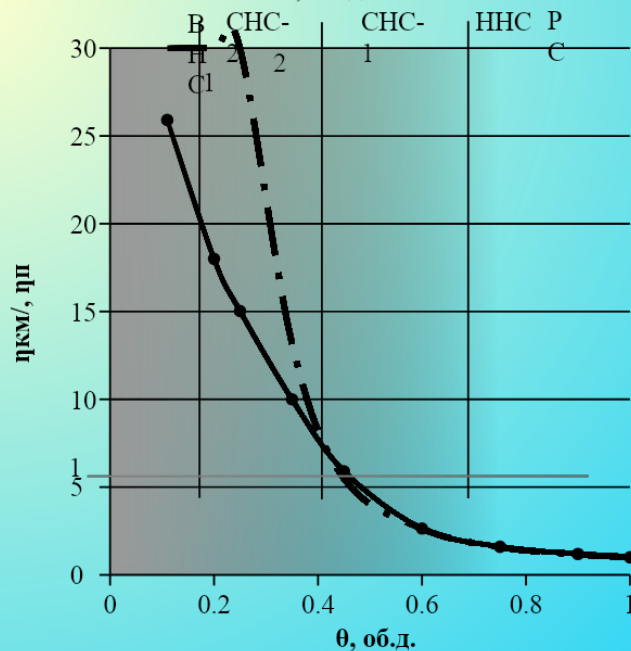
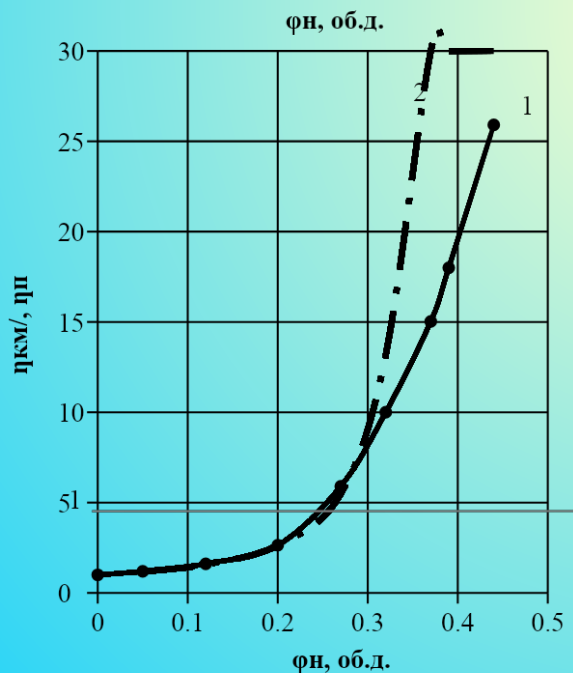
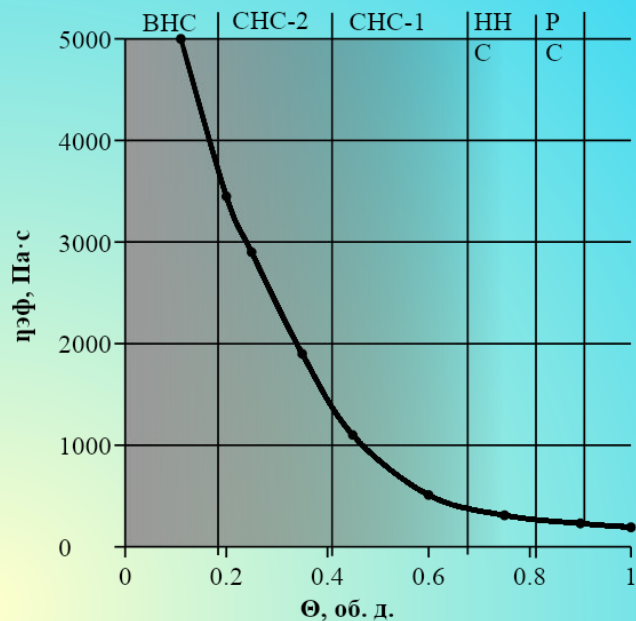
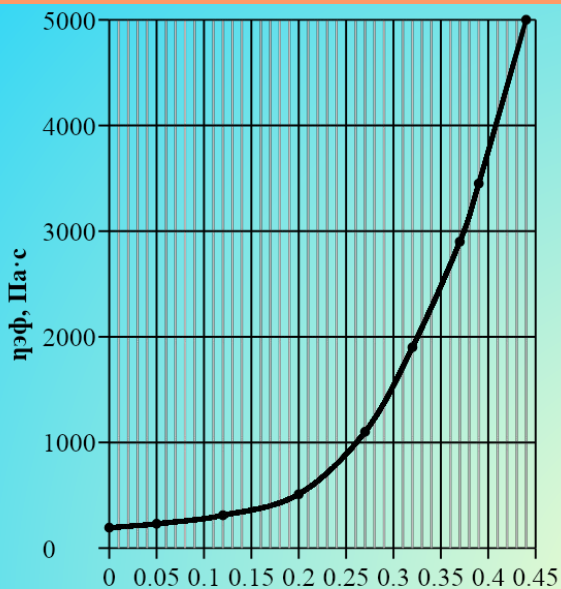


Рисунок 2 – Зависимость вязкости ДНПКМ при 220°C от содержания ШСО-30 (а) и обобщенного параметра Θ (б); 2 - уравнение Муни

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

Усадка ДНПКМ с разной структуры на основе эпоксидных олигомеров

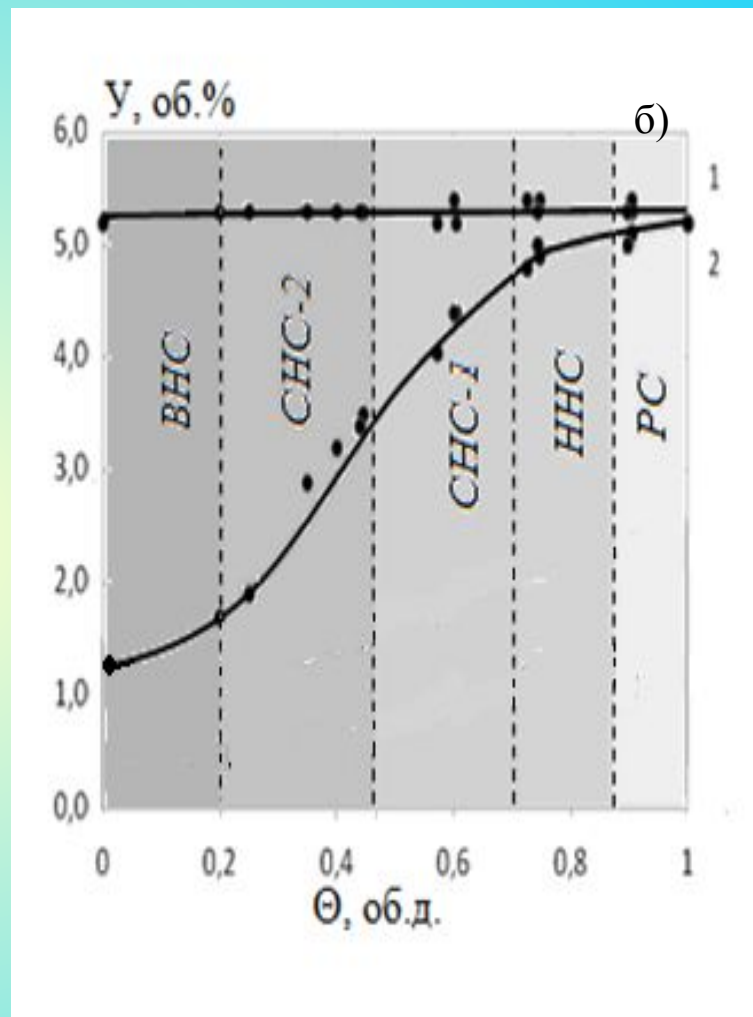
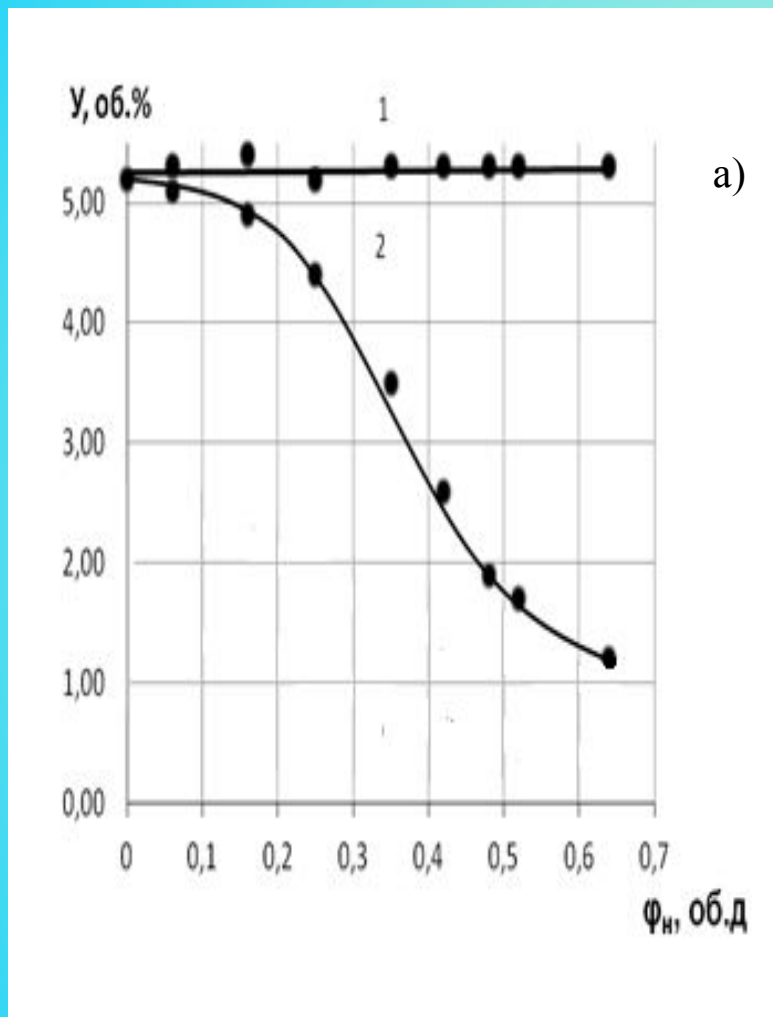


Рисунок – Зависимость усадки полимерной матрицы Y_m (1) в ДНПКМ и Y_k (2) наполненной системы (ЭД-20 + ТЭТА) + ПСМС при отверждении от содержания полых стеклянных микросфер (а) и обобщенного параметра Θ (б)

Светотехнические (оптические) характеристики ДННК

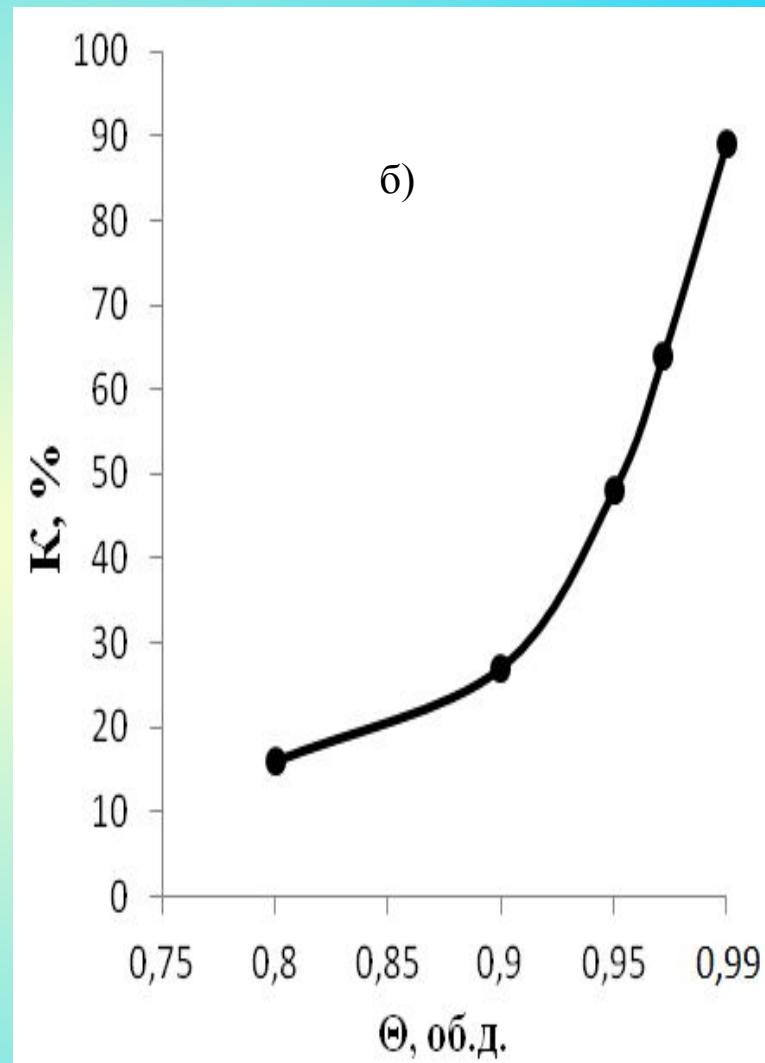
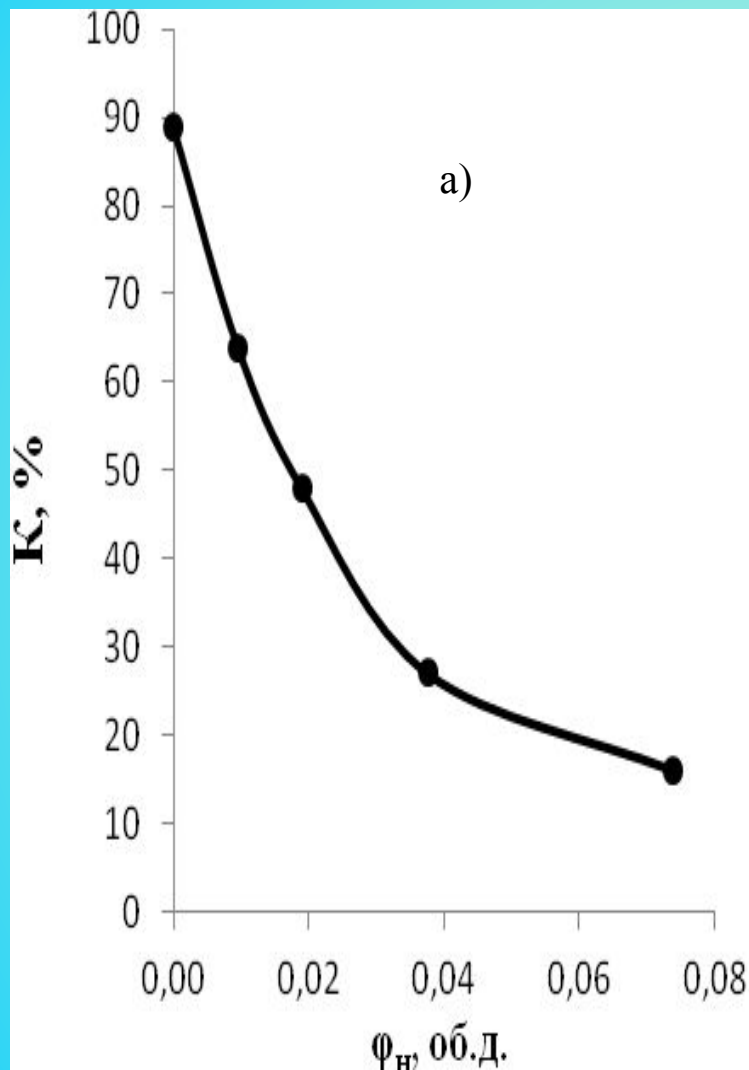


Рисунок - Зависимость коэффициента светопропускания (K) дисперсно-наполненной наносистемы ПК + Aerosil OX-50 от содержания нанонаполнителя (а) и обобщенного параметра Θ (б)

Остаточные напряжения в ДНПКМ

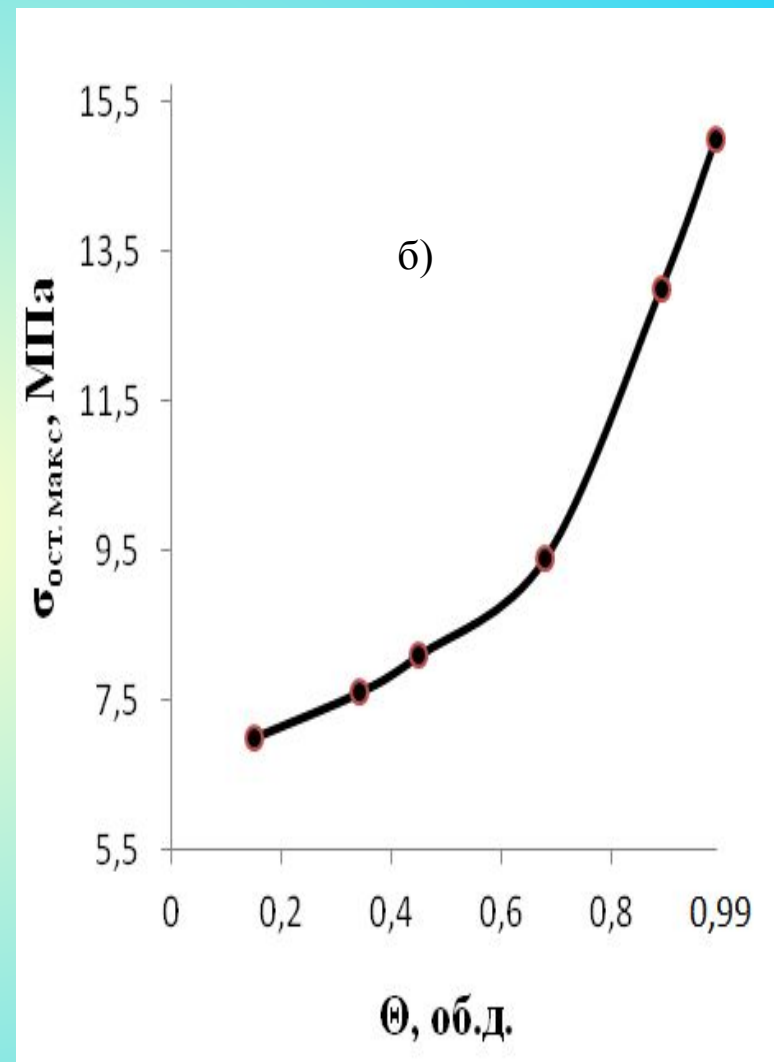
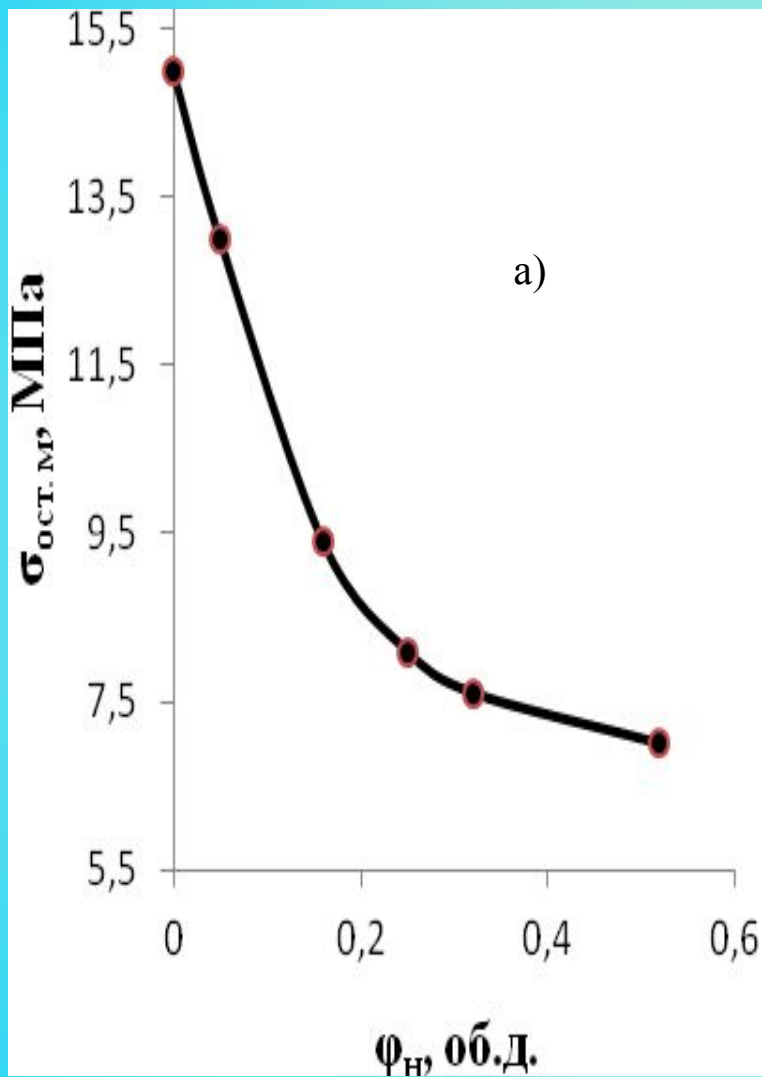


Рис. Зависимость $\sigma_{\text{ост}}$ для ДНПКМ от содержания ПСМС (а) и обобщенного параметра Θ (б)

Физико-механические характеристики ДНПКМ на основе ПСФ+стекловолокно

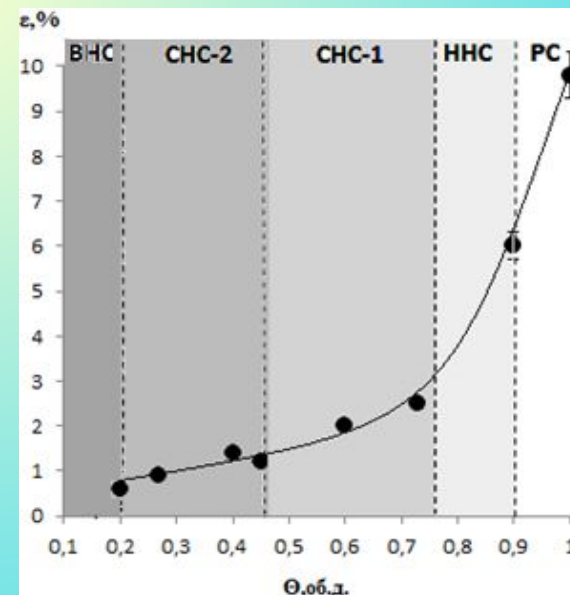
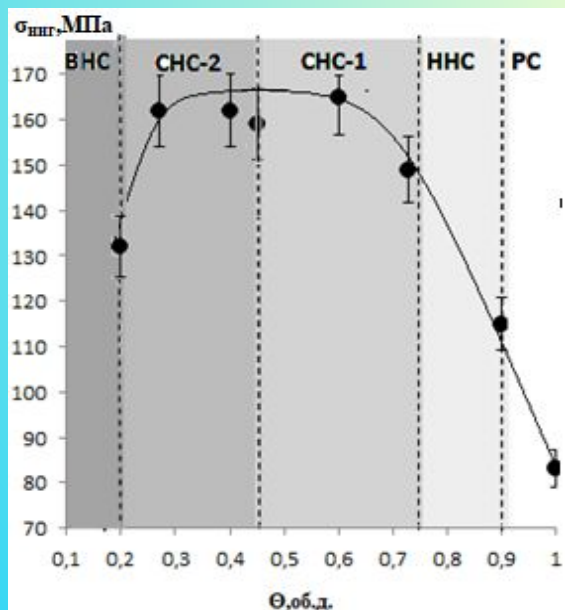
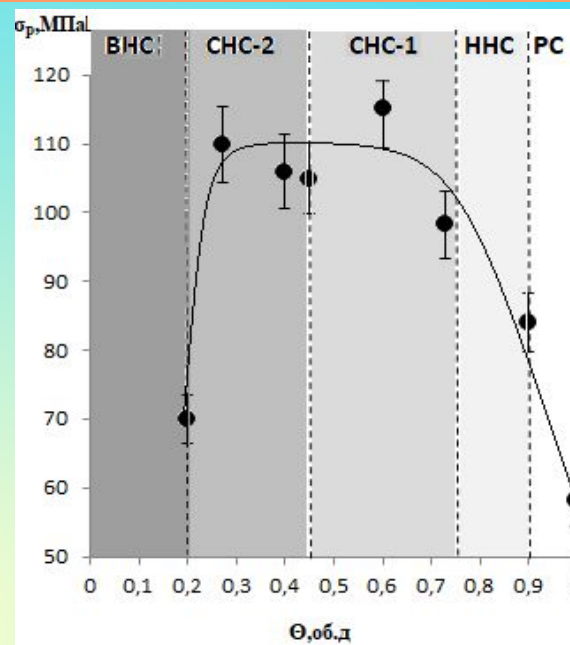
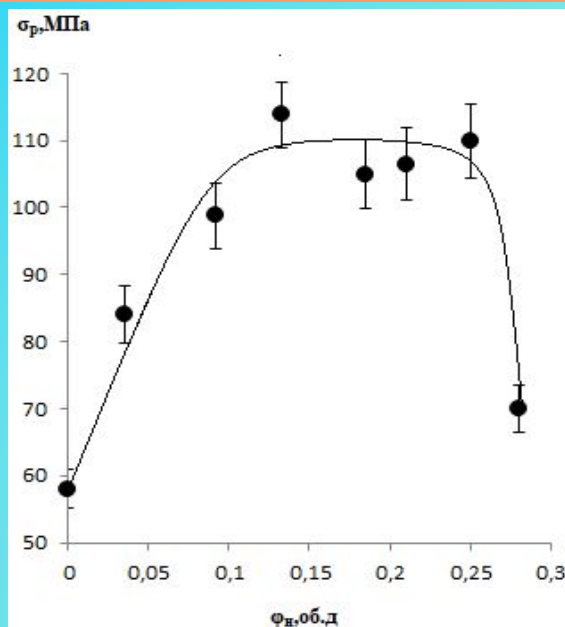


Рисунок - Зависимость σ_p , $\sigma_{изг}$ и ϵ_p ДНПКМ на основе ПСФ-190 + СВ от содержания СВ (а) и обобщенного параметра Θ

Классификация по структурным параметрам и методы переработки различных групп ДПКМ

Группа	Структура ДПКМ	Параметр Θ , 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;**

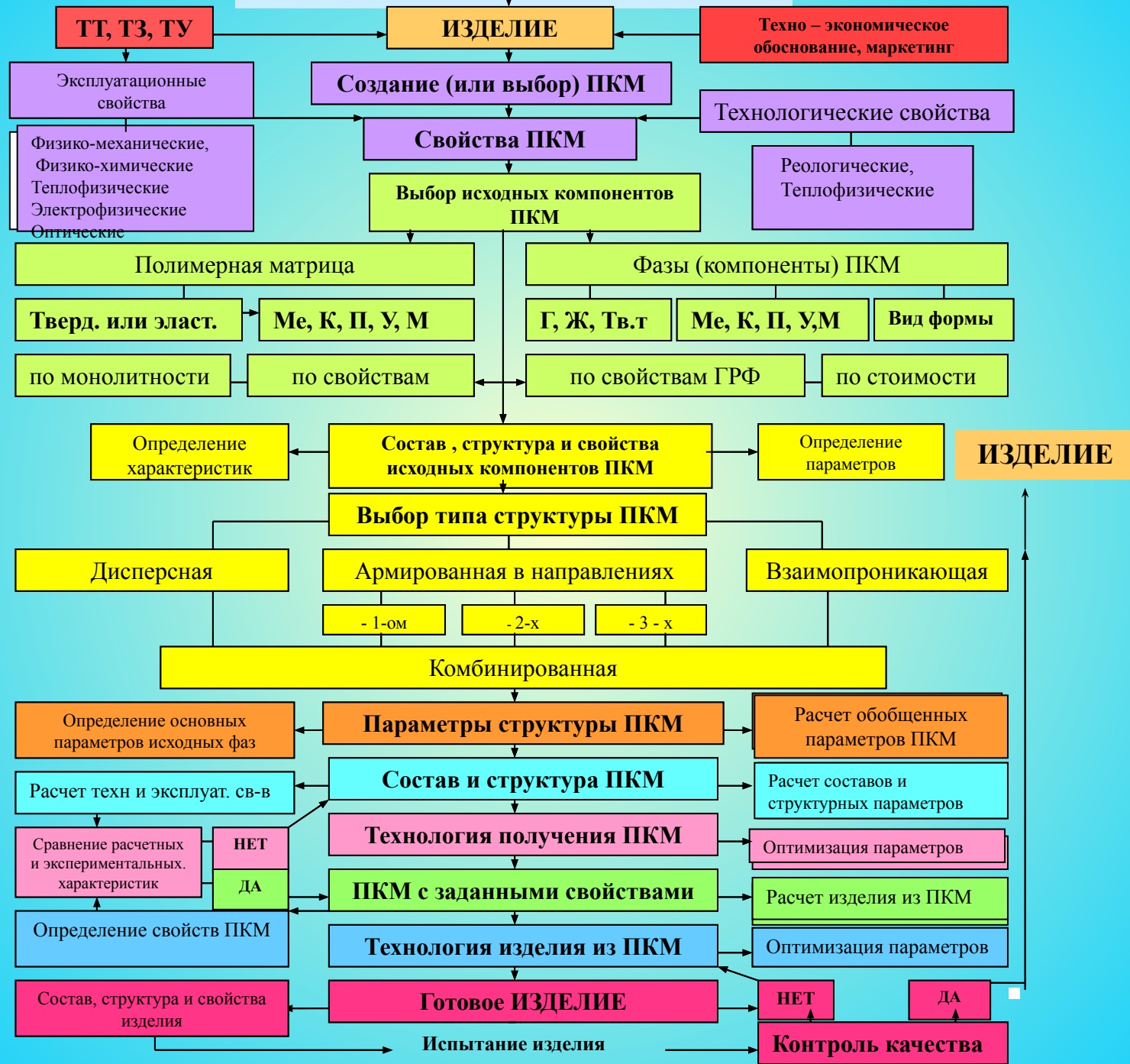
→ **формирование границы раздела фаз** (молекулярный контакт, смачивание, адсорбция, диффузия и др.);

→ **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**

Алгоритм создания ПКМ и получения изделий



СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ

