

**В.В. Америк**

**Отечественная технология  
производства поликарбоната.  
Марочный ассортимент, смеси  
и сплавы с другими  
полимерами**

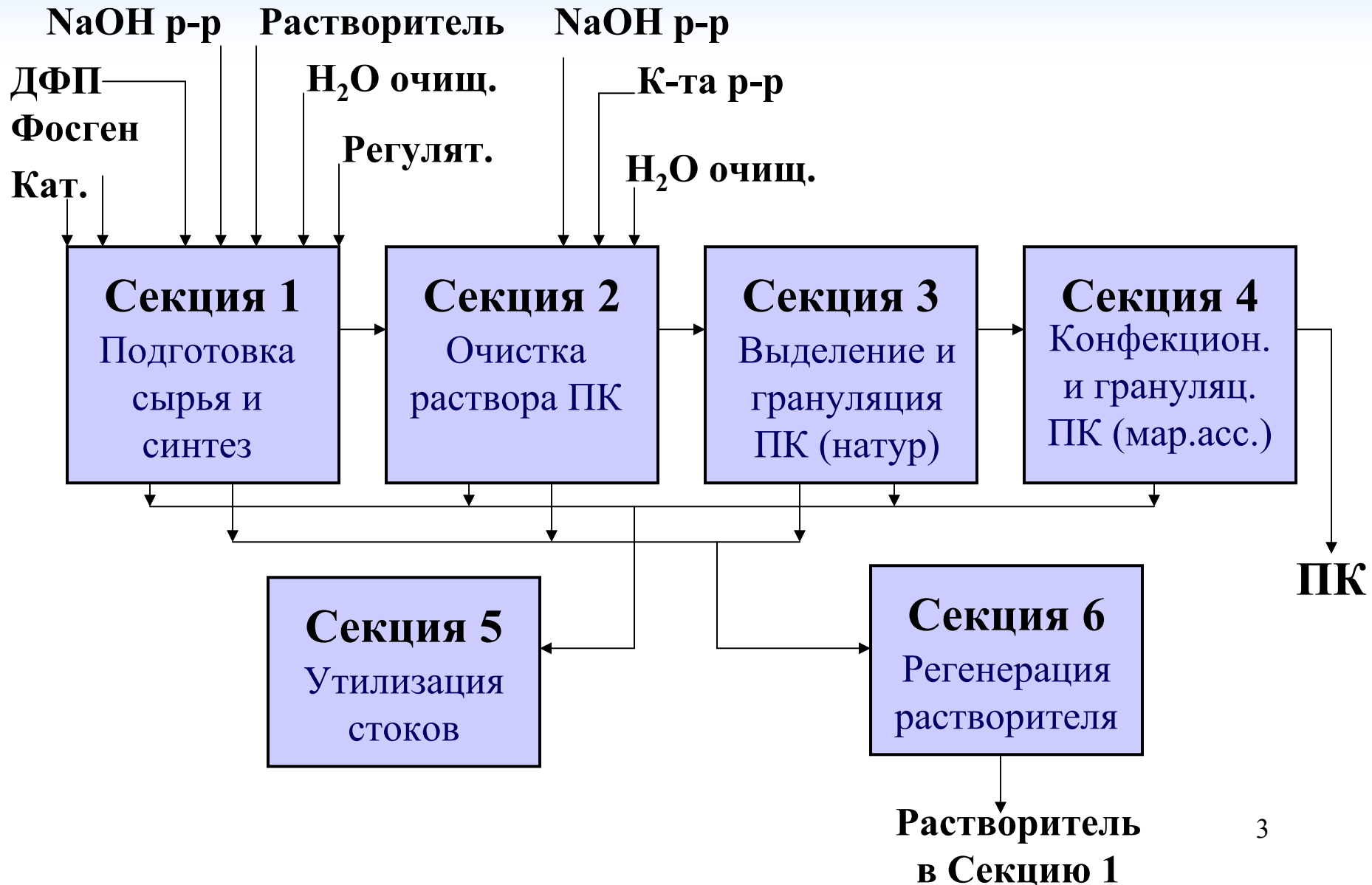
**ОАО “Институт пластмасс  
имени Г.С. Петрова”**

**г. Москва**

# Размещение крупнейших производств поликарбоната

№№	Страна, фирма, географич. расположение	Мощность, тыс.тонн/год
1.	США, GEP, Brukville, Alabama	265
2.	США, GEP, Mount Vernon, Indiana	245
3.	США, Bayer, Baytown, Texas	200
4.	США, Dow, Freeport, Texas	170
5.	Бразилия, PC of Brazil, Kamaraki	13
6.	Германия, Bayer, Liverkouzen	150
7.	Германия, Dow, Stade	105
8.	Нидерланды, GEP, Bergen-op-Zoom	120
9.	Бельгия, Bayer, Antwerpen	250
10.	Италия, Enichem, Nera-Montoro	12
11.	Испания, GEP, Cartagena	250
12.	Азия (Япония, Корея, Тайвань, Сингапур, Таиланд)	740
	<b>TOTAL:</b>	2520

# Блок-схема процесса производства поликарбоната



# Расход основных видов сырья при производстве поликарбоната

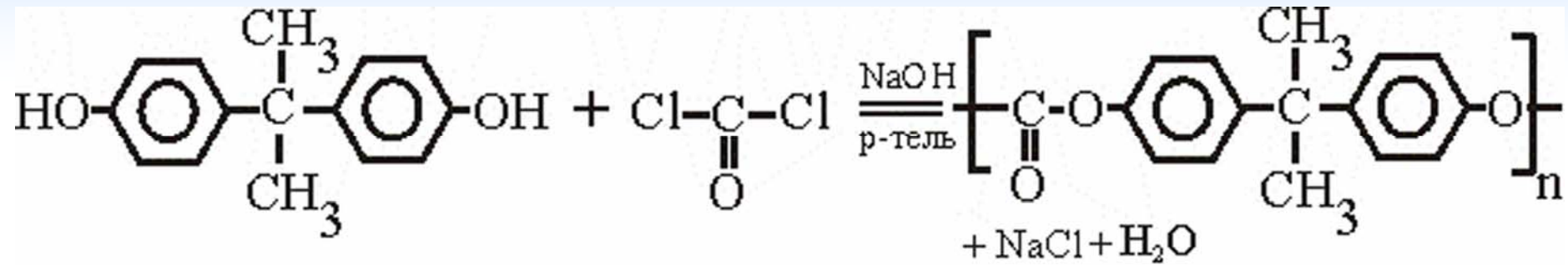
<b>№№ п/п</b>	<b>Наименование сырья</b>	<b>Расход, т/т</b>
<b>1.</b>	<b>Дифенилолпропан (Бисфенол А)</b>	<b>0,900</b>
<b>2.</b>	<b>Фосген</b>	<b>0,450</b>
<b>3.</b>	<b>NaOH (в пересчете на 100%)</b>	<b>0,450</b>
<b>4.</b>	<b>Растворители</b>	<b>0,01</b>

# Основные показатели качества базовых марок поликарбоната

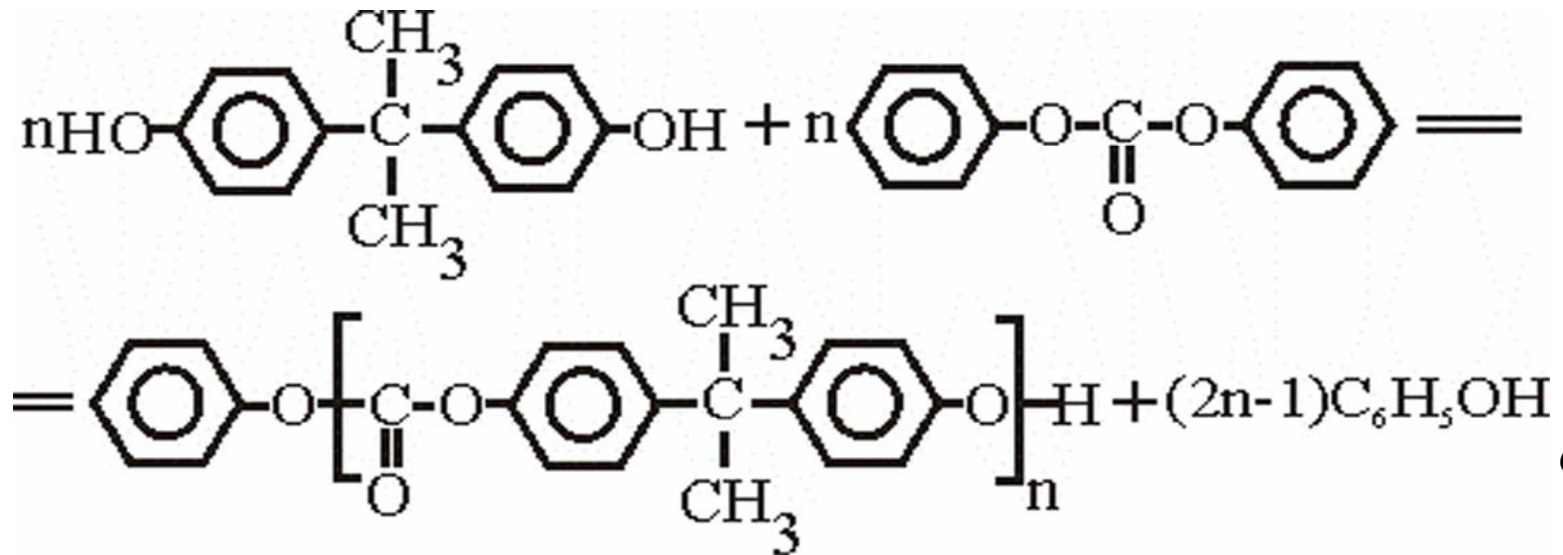
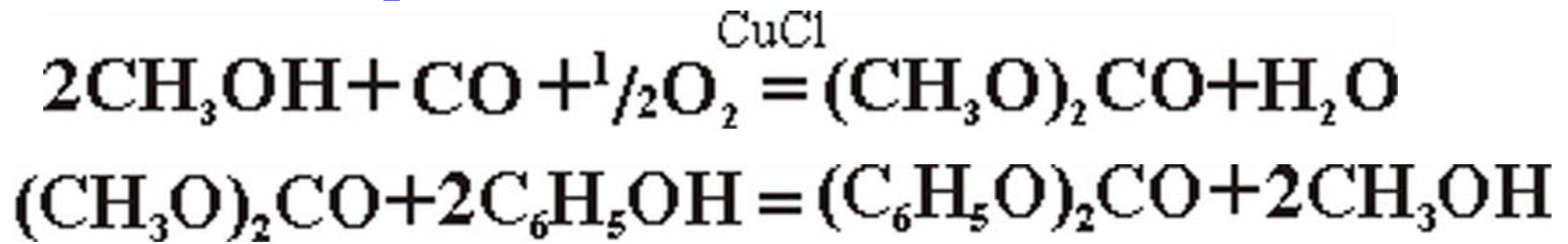
№№ п/п	Показатели	Единицы измерен.	Метод испы- тания	Базовые марки ПК			
				Высокая вязкость (экструзия)	Ср. вязкость (экструзия, литье)	Средняя вязкость (литье)	Низкая вязкость (литье)
1.	Показатель текучести расплава	г/10 мин	DIN 53735 t=300°C P=1,2 кг	1 - 4	4,1 - 7	7,1 - 12	12,1 - 18
2.	Относительное удлине- ние при разрыве	%	DIN 53455 (тип об- разца 3)	> 100	> 100	> 100	> 100
3.	Предел текучести при растяжении	МПа	- // -	> 60	> 60	> 60	> 55
4.	Ударная вязкость на образцах с надрезом	кДж/м <sup>2</sup>	DIN 53453	> 35	> 30	> 30	> 20
5.	Модуль упругости при растяжении	МПа	DIN 53455 (тип об- разца 3)	2400 - 2200	2400 - 2200	2400 - 2200	2400 - 2200
6.	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 <sup>6</sup> Гц		DIN 53483	в пределах			
				2,8 - 3,1	2,8 - 3,1	2,8 - 3,1	2,8 - 3,1
7.	Тангенс угла диэлектри- ческих потерь при частоте 10 <sup>6</sup> Гц		DIN 53483	0,009 - 0,011	0,009 - 0,011	0,009 - 0,011	0,009 - 0,011
8.	Светопропускание	%	ASTM	≥ 88	≥ 88	≥ 88	≥ 88

# Промышленные способы синтеза поликарбоната

*Традиционный способ:*



*Без использования фосгена:*



# Сравнительные результаты экономического анализа двух основных способов производства поликарбоната

Показатель \ Тип процесса	Межфазный процесс, включая производство фосгена	Перезтерификация в расплаве, включ. производство СО
Суммарные инвестиции, млн. долларов США	239,7	160,1
Оборотный капитал, млн. долларов США	17,4	13,0
Суммарный работающий капитал, млн. долларов США	257,1	173,1
<b>Расшифровка цены, доллар США/тонна ПК</b>		
Стоимость сырья	1089,4	915,5
Энергетические затраты	96,0	110,8
Эксплуатационные расходы	272,7	232,5
Амортизация оборудования	397,9	255,8
Прибыль на вложенный капитал	472,3	317,9
<b>ИТОГО:</b>	<b>2328,1</b>	<b>1832,5</b>

# Марки поликарбоната специального назначения

## 1. Марки, получаемые на стадии синтеза:

- полиэфиркарбонаты, поликарбонатсилоксаны;
- поликарбонаты с пониженной горючестью;
- разветвленные поликарбонаты;
- низковязкие поликарбонаты.

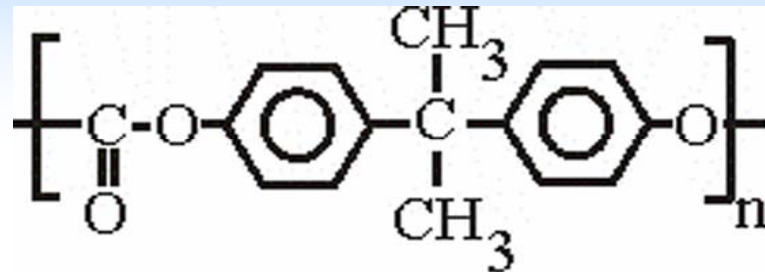
## 2. Марки, получаемые на стадии конфекционирования:

- стеклонаполненный поликарбонат;
- поликарбонат с огнезащитными добавками;
- поликарбонат с пониженной склонностью к растрескиванию.

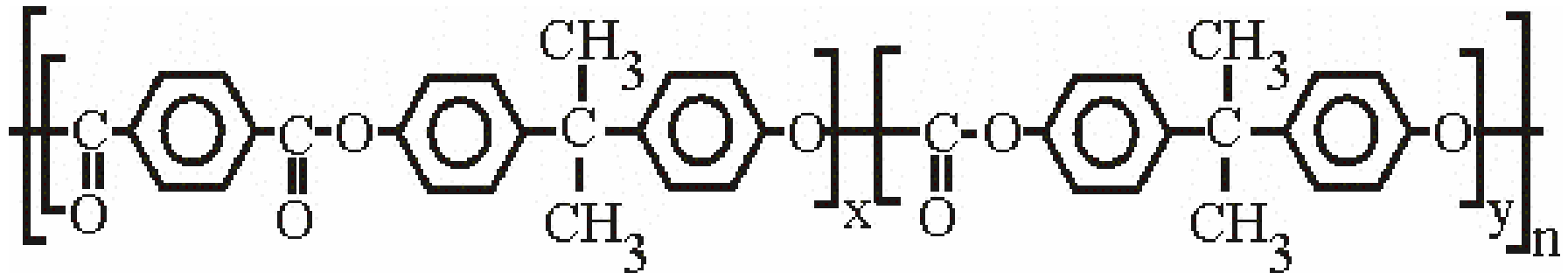
## 3. Смеси и сплавы ПК с другими полимерами.



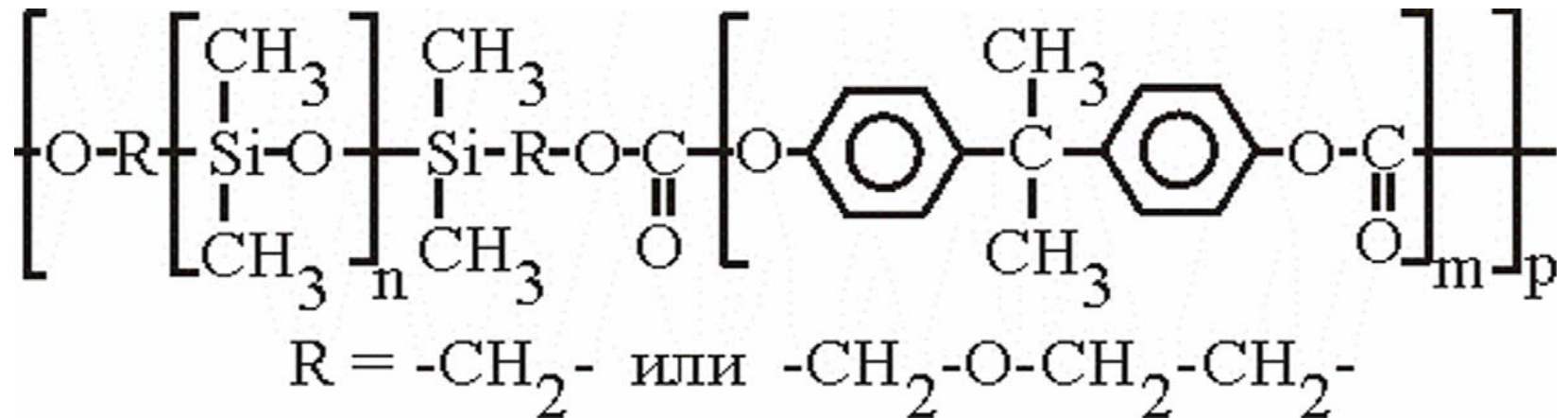
## Поликарбонат



## Полиэфиркарбонат



## Поликарбонатсилоксан



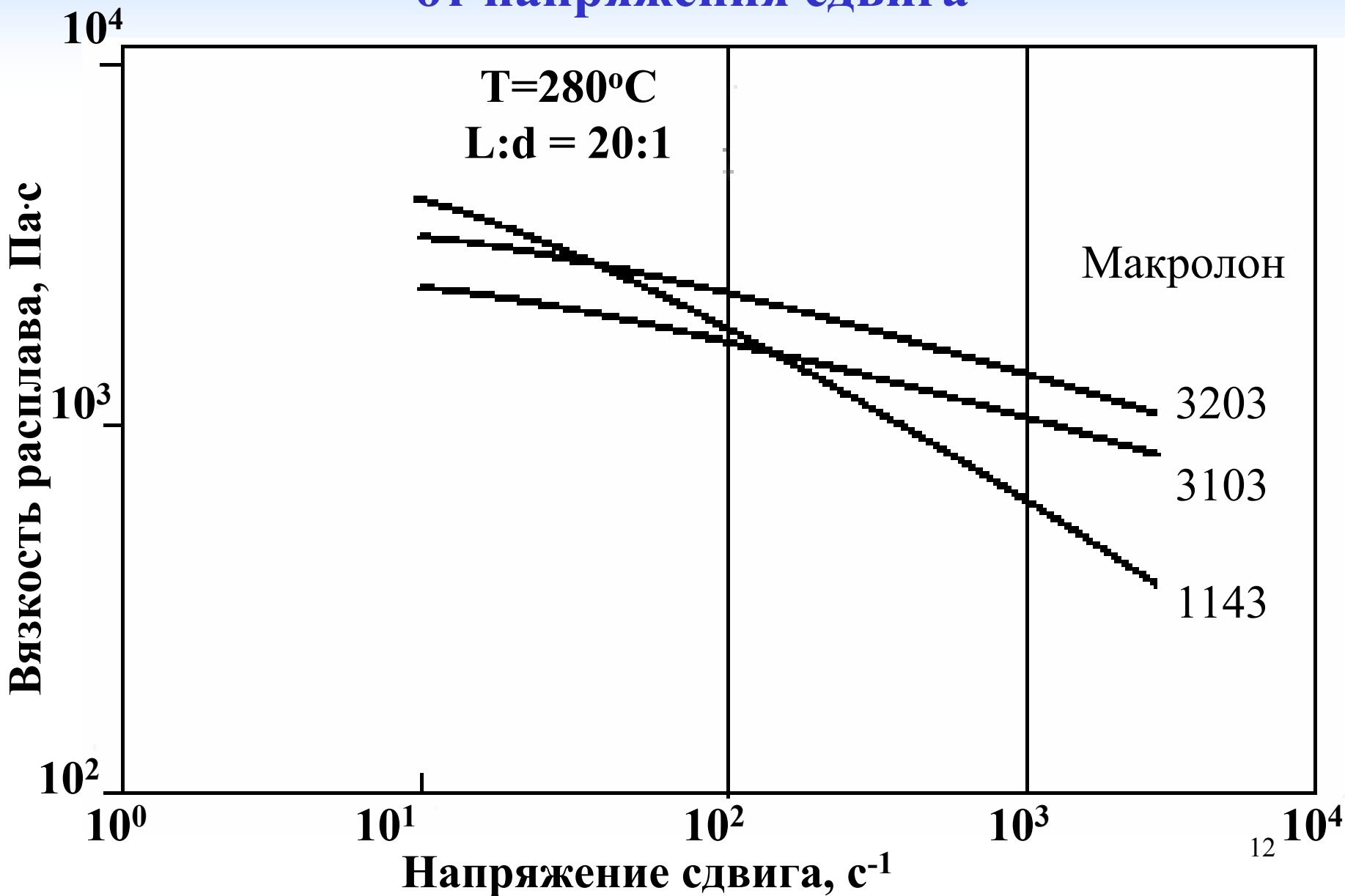
# Температура стеклования полиэфиркарбонатов различного состава

№№ п/п	Длина полиэфирного блока, $L_x$	Соотношение терефталевой и изофталевой кислот	Температура стеклования, $T_g$ , °C	Мол. масса
1.	3	2 : 1	190	39000
2.	3	4 : 1	195	36000
3.	3	1 : 4	177	32000
4.	3	изофталевая	167	-
5.	2	изофталевая	164	30000
6.	2	терефталевая	190	37000
7.	3	терефталевая	210	32000
8.	1	2 : 1	170	29000
9.	1	1 : 1	183	45000
10.	3	1 : 2	182	-
11.	3	2 : 1	198	148000
12.	8	4 : 1	215	-
13.	Поликарбонат	-	153	3000

# Свойства полиэфиркарбонатов различного состава

№№ п/п	Показатели	Единицы измерен.	Состав образцов полиэфиркарбоната		
			$L_x = 3$ тере : изо 80 : 20	$L_x = 3$ тере : изо 67 : 33	$L_x = 8$ тере : изо
1.	Предел текучести при растяжении	МПа	64	69	70
2.	Предел прочности при растяжении	МПа	60	63	60
3.	Относительное удлине- ние при растяжении	%	-	-	50
4.	Ударная вязкость на образцах с надрезом U-образный надрез V-образный надрез	кДж/м <sup>2</sup>	16 -	23 38	28 38
5.	Теплостойкость по Вика	°С	183	180	175

# Зависимость вязкости расплава поликарбоната от напряжения сдвига



# Формула зависимости вязкости расплава поликарбоната от степени разветвления

Высокая чувствительность значений наибольшей ньютоновской вязкости ( $\eta_0$ ) расплава ПК к степени разветвления ( $q_v$ ) позволяет использовать реологические методы для определения степени разветвления поликарбоната.

$$\eta_0 = A \cdot M_w^{\alpha_1} g^{\alpha_2} \cdot q_v^{\alpha_3}$$

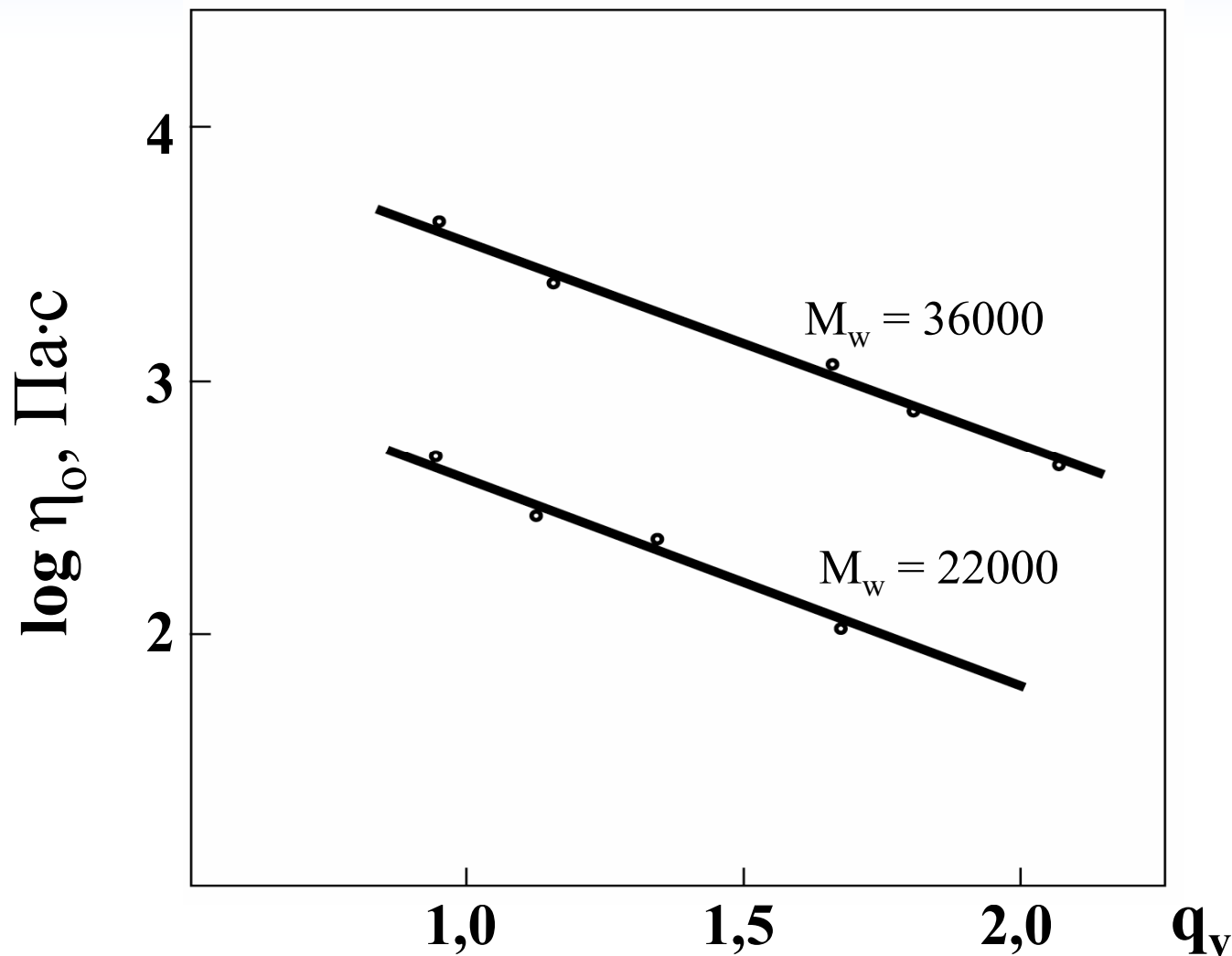
где:

$A$ ;  $\alpha_1$ ;  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  – эмпирические константы, равные  $3,6 \cdot 10^{-3}$  Па·с; 4,23; 0,79 и 2,83 соответственно.

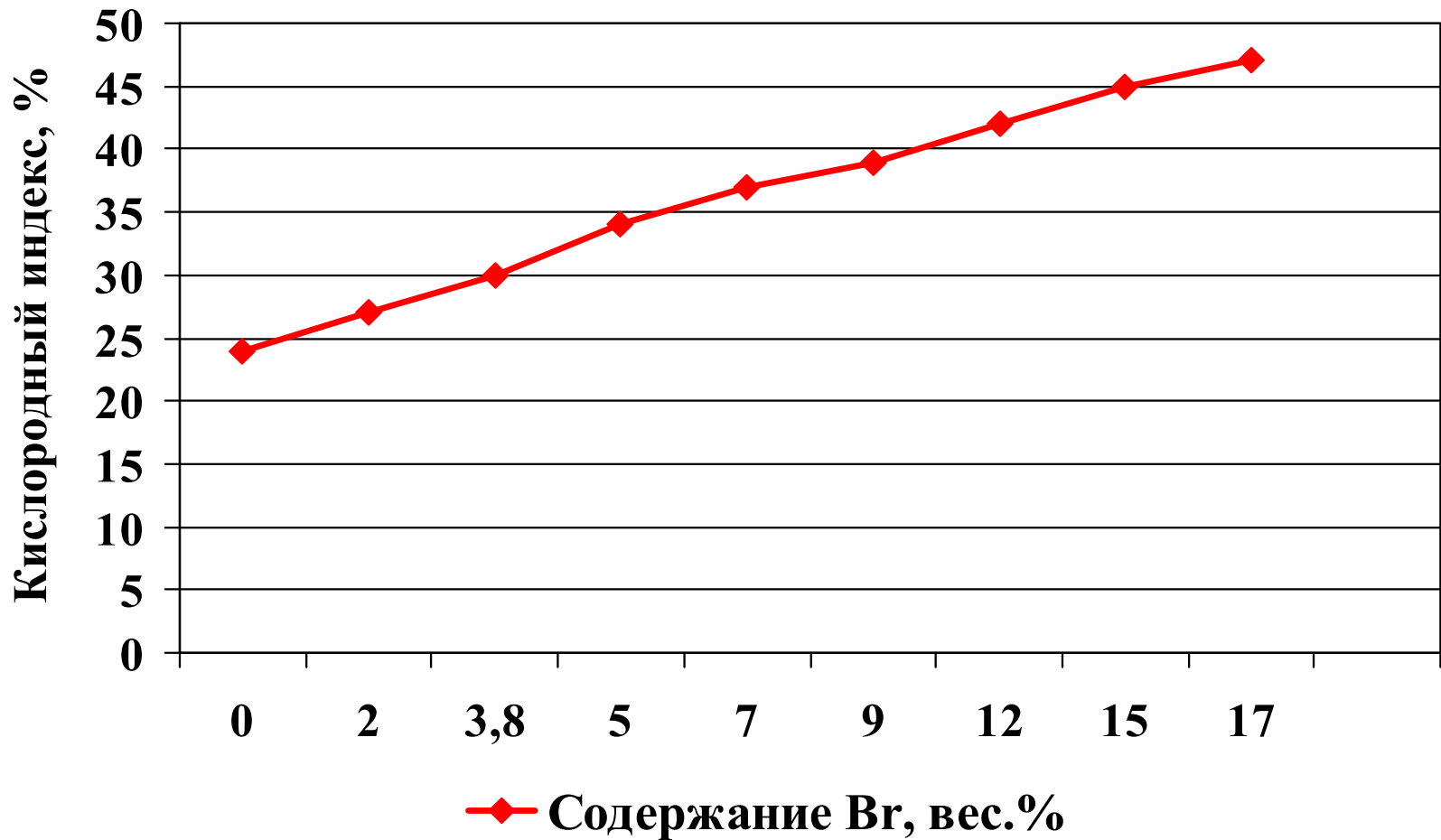
$M_w$  – величина молекулярной массы полимера, определенная методом светорассеяния.

$g$  – степень полидисперсности.

# Зависимость вязкости расплава поликарбоната ( $\eta_o$ ) от степени разветвления ( $q_v$ )



# Зависимость кислородного индекса от содержания брома в поликарбонате

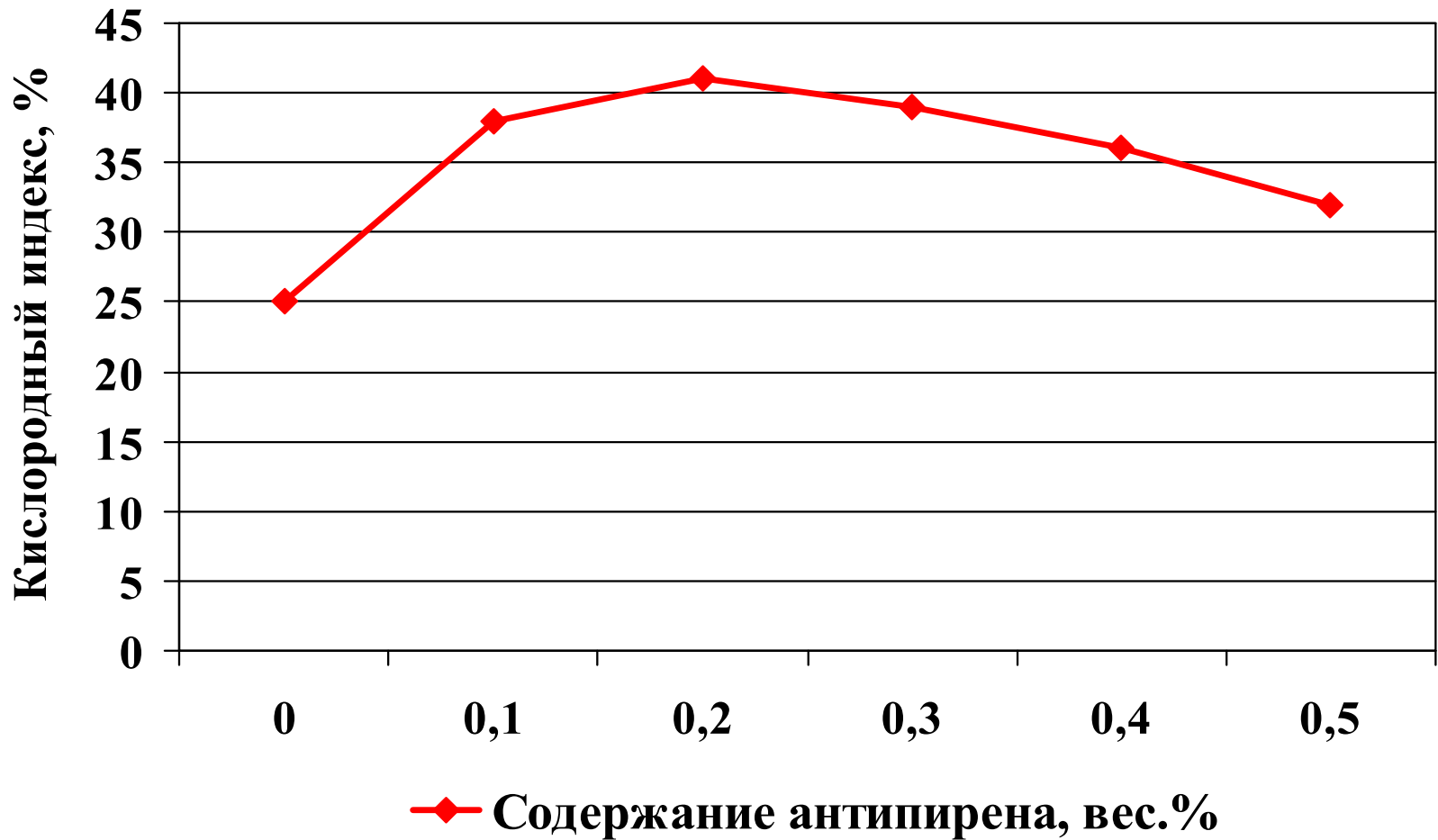


# Свойства стеклонаполненных марок поликарбоната

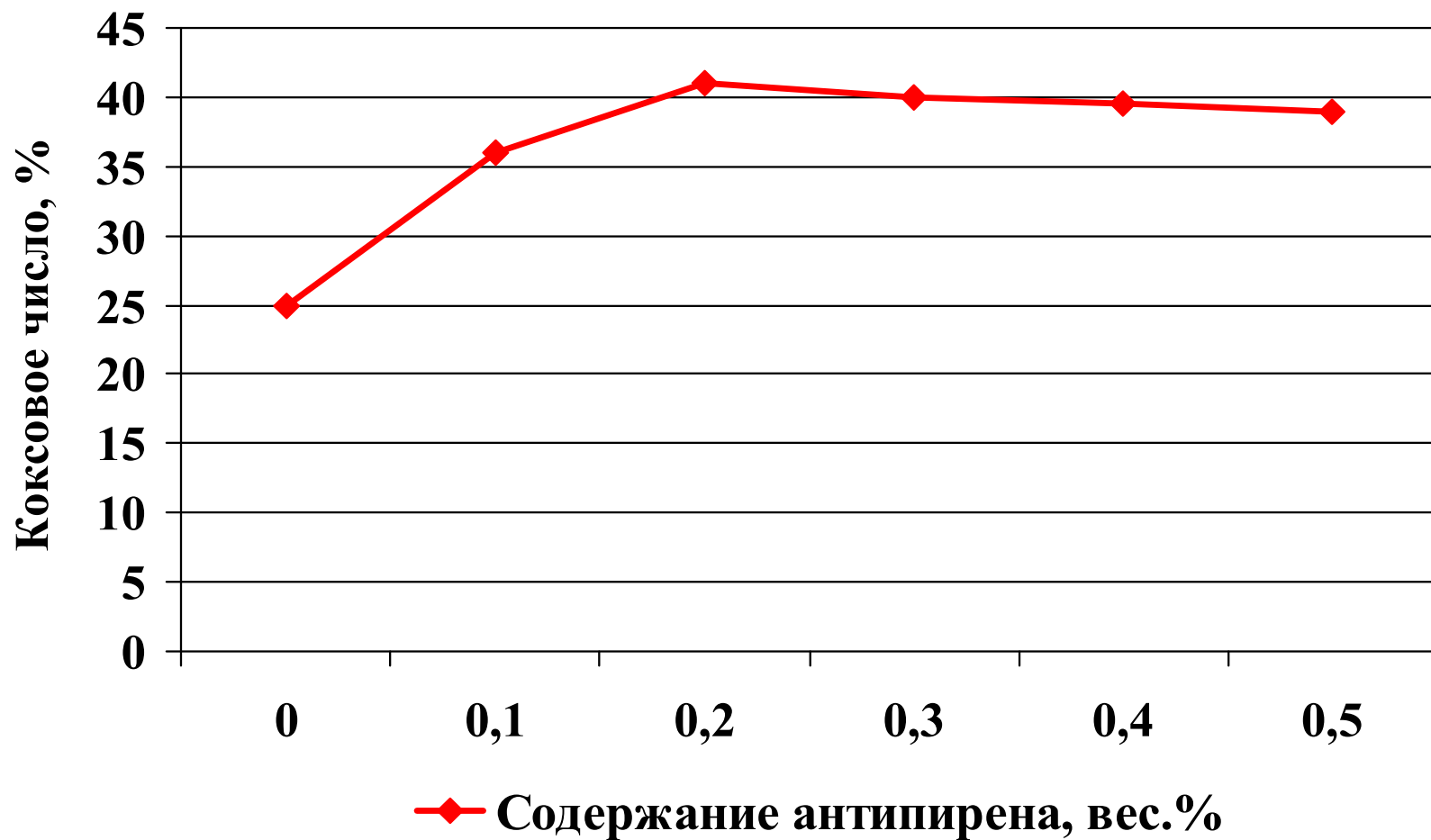
№№ п/п	Показатели	Единицы измерен.	Величина показателя			
			Содержание стекловолокна, % вес.			
			0	20	30	40
1.	Предел прочности при растяжении	МПа	60-70	≥ 80	≥ 100	≥ 110
2.	Ударная вязкость по Шарпи	кДж/м <sup>2</sup>	без разрушения	30-45	30-40	30-35
3.	Теплостойкость по Вика	°С	150	160	160	160
4.	Температура изгиба под нагрузкой 1,8 МПа	°С	138	145	145	145



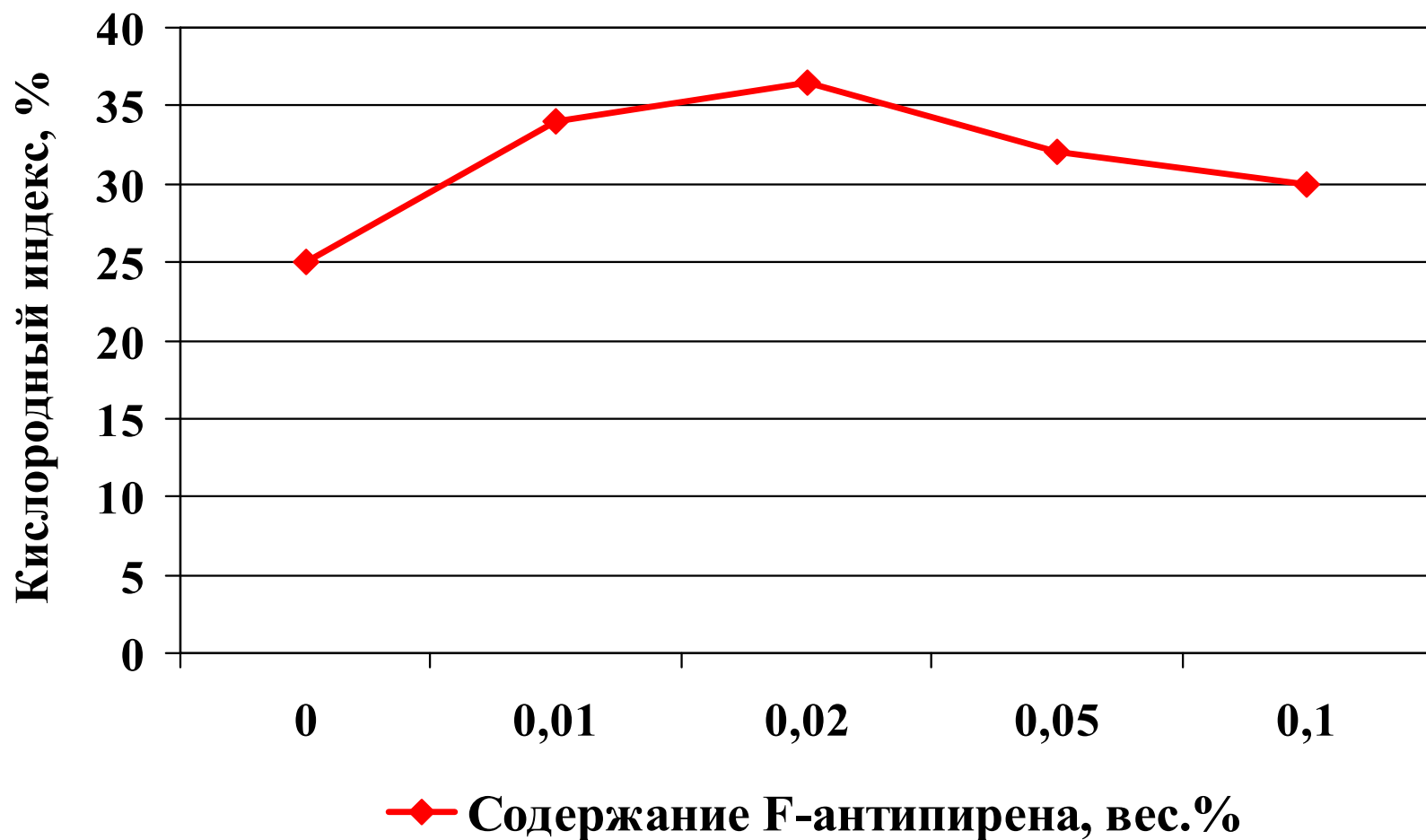
# Зависимость кислородного индекса от содержания антипирена в поликарбонате



# Зависимость «коксового числа» от содержания антипирена в поликарбонате



# Зависимость кислородного индекса от содержания фторсодержащего антипирена в поликарбонате

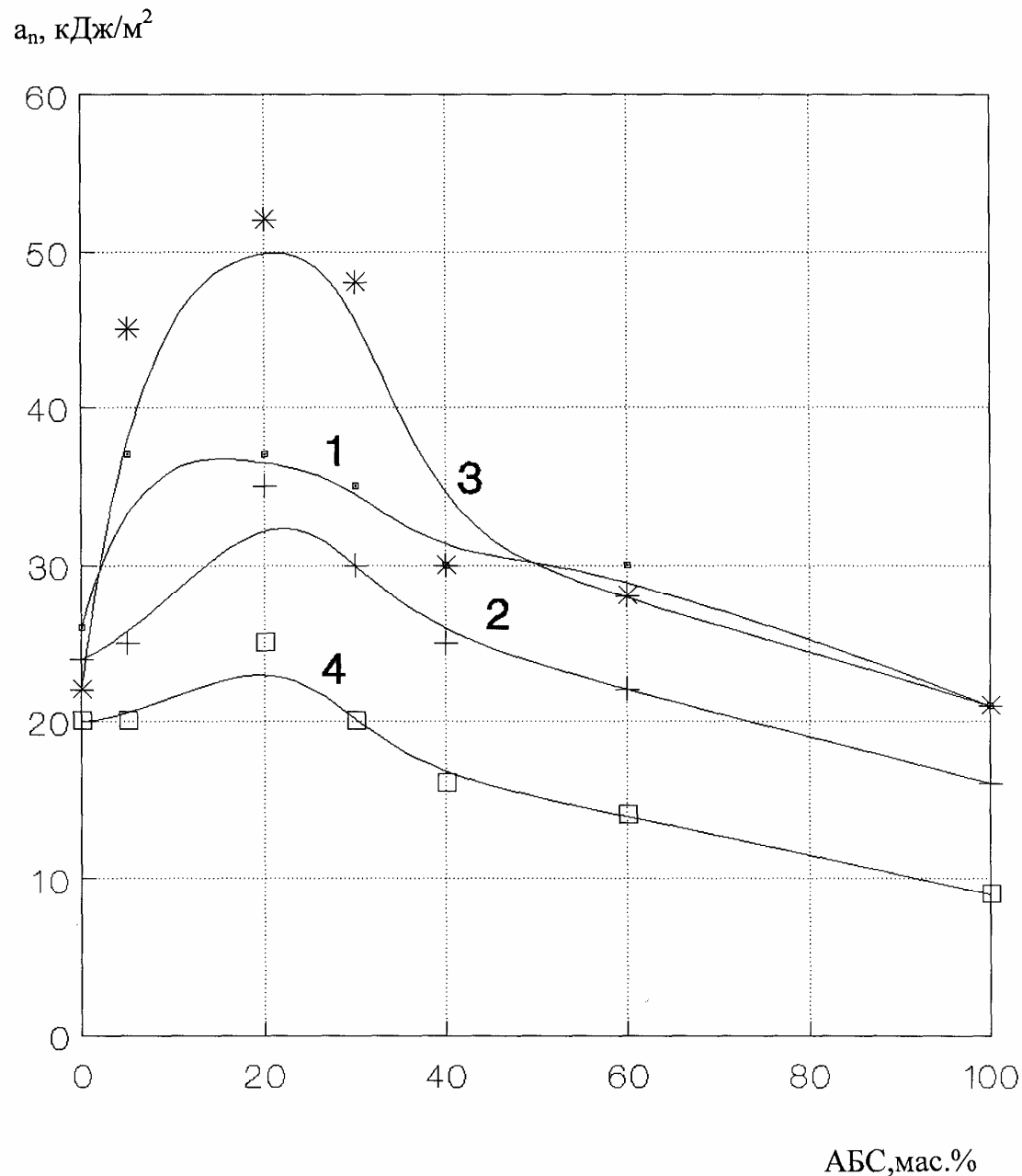


# Полимеры, используемые для получения полимер-полимерных композиций

Аморфные	Кристаллизующиеся	Каучуки (модификаторы удара)
АБС АСА СМА МБС ПММА	ПЭТФ ПБТФ ПА ПТФЭ ЖКП	ПЭ Сополимеры этилена акрилатные бутадиеновые этиленпропиленовые (ТРО) Каучуки акрилатные, бутадиеновые, этиленпропиленовые

# Влияние содержания АБС на величину ударной вязкости по Шарпи для бинарной смеси АБС/поликарбонат

1. Образец с литевым надрезом
2. Образец с v-образным надрезом, +23°C
3. Образец с □-образным надрезом, +23°C
4. Образец с v-образным надрезом, -40°C



# Свойства различных марок АБС и смесей АБС/ПВХ, АБС/поликарбонат

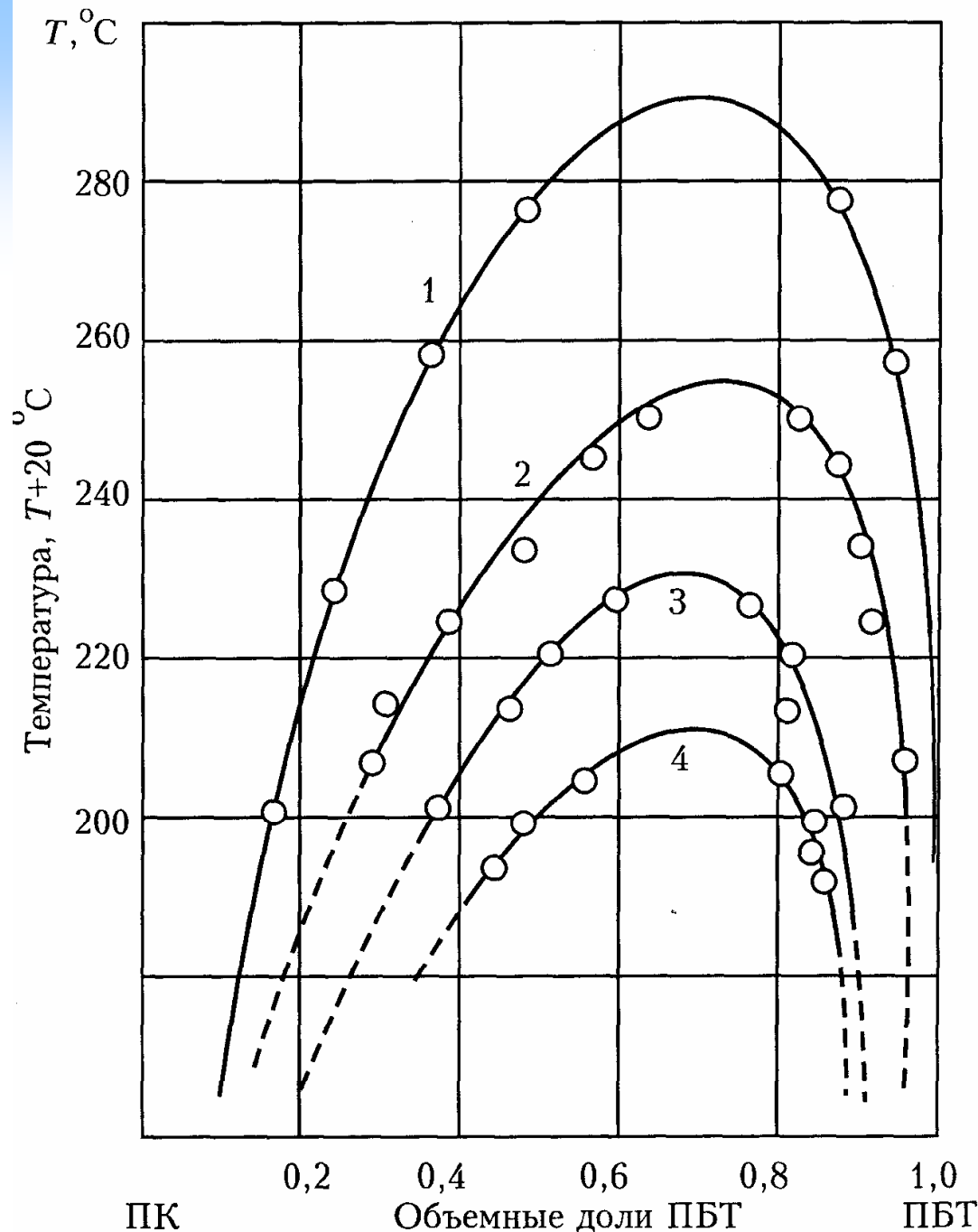
<b>№№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Ед. изм.</b>	<b>Средняя ударная вязкость</b>	<b>Высокая ударная вязкость</b>	<b>Тепло- стойкие</b>	<b>Огне- стойкие</b>	<b>АБС- ПВХ</b>	<b>АБС- Поликарбонат</b>
<b>1.</b>	<b>Ударная вязкость по Изоду</b>	<b>Дж/м</b>	<b>215 - 373</b>	<b>375 - 440</b>	<b>120 - 320</b>	<b>185 - 280</b>	<b>340 - 695</b>	<b>370 - 560</b>
<b>2.</b>	<b>Разрушающее напряжение при растяжении</b>	<b>МПа</b>	<b>41 - 47</b>	<b>33 - 44</b>	<b>41 - 52</b>	<b>40- 50</b>	<b>30 - 41</b>	<b>45 - 60</b>
<b>3.</b>	<b>Модуль упругости</b>	<b>ГПа</b>	<b>2,1 - 2,4</b>	<b>1,7 - 2,1</b>	<b>2,1 - 2,6</b>	<b>2,1 - 2,5</b>	<b>2,1 - 2,3</b>	<b>2,4- 2,6</b>
<b>4.</b>	<b>Прогибающее напряжение</b>	<b>МПа</b>	<b>68 - 80</b>	<b>55 - 68</b>	<b>68 - 90</b>	<b>69 - 86</b>	<b>54 - 73</b>	<b>79 - 90</b>
<b>5.</b>	<b>Модуль упругости при изгибе</b>	<b>ГПа</b>	<b>2,2 - 2,5</b>	<b>1,8 - 2,2</b>	<b>2,1 - 2,8</b>	<b>2,3 - 2,8</b>	<b>2,1 - 2,3</b>	<b>2,2 - 2,6</b>

# Диаграмма фазового состояния бинарного сплава поликарбонат/ПБТ

$M_w$  ПК = 30000

$M_w$  ПБТ =

- 1) 28000;
- 2) 12100;
- 3) 9700;
- 4) 6000



# Механические свойства бинарной смеси поликарбонат - ПБТ (60/40 вес.%)

<b>№№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Еди- ницы измерен.</b>	<b>Значение</b>
<b>1.</b>	<b>Предел текучести при растяжении</b>	<b>МПа</b>	<b>66</b>
<b>2.</b>	<b>Предел прочности при растяжении</b>	<b>МПа</b>	<b>52</b>
<b>3.</b>	<b>Относительное удлине- ние при разрыве</b>	<b>%</b>	<b>136</b>
<b>4.</b>	<b>Ударная вязкость на образцах без надреза</b>	<b>кДж/м<sup>2</sup></b>	<b>не разрушается</b>
<b>5.</b>	<b>Теплостойкость по Вика</b>	<b>°С</b>	<b>132</b>