

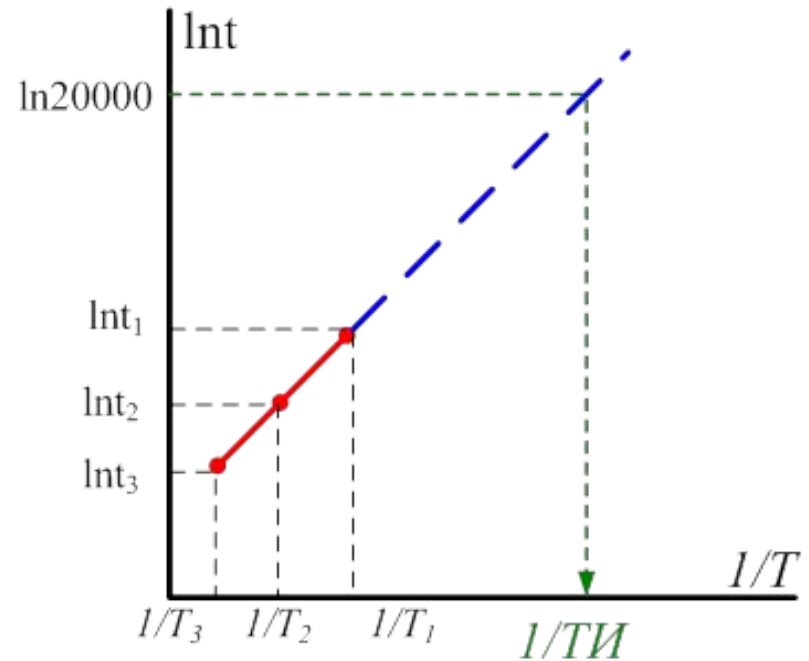
**Основные полимеры, используемые  
для производства  
электроизоляционных материалов и  
пропиточных составов**

**Основные параметры, характеризующие  
стойкость изоляции к воздействию  
температуры**

# 1. Нагревостойкость

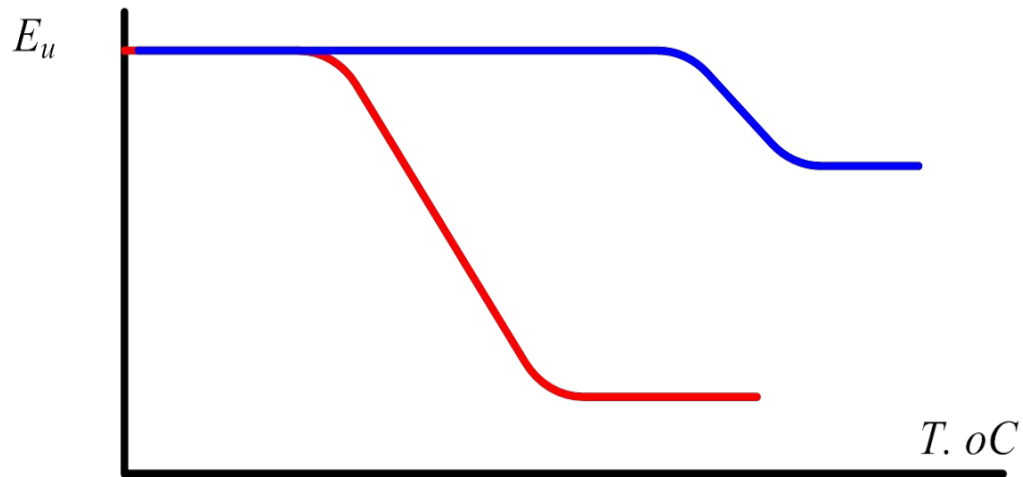
$$\ln t = G + \frac{W}{kT}$$

$$\ln\left(-\frac{1}{B} \cdot \ln \frac{A_t}{A_0}\right) = G$$



- Температурный индекс (ТИ)
- Класс нагревостойкости

**2. Теплостойкость** – способность полимерных материалов не размягчаться (сохранять жесткость) при повышении температуры



Теплостойкость

- по Мартенсу
- по Вика

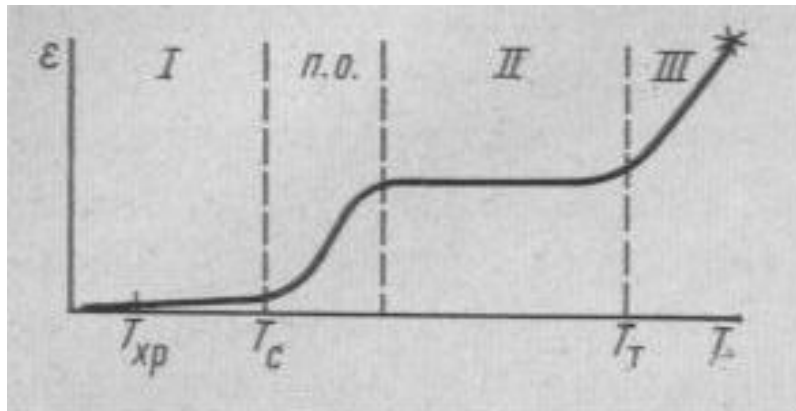
**3. Термостойкость** – стойкость полимеров к химическому разложению, происходящему под действием энергии теплового движения (способность материалов сохранять неизменным химическое строение)

**Теплостойкость < Нагревостойкость < Термостойкость**

# Стойкость к кратковременному нагреву

**1. Температура хрупкости ( $T_{хр}$ )** - температура, ниже которой полимер теряет способность сопротивляться ударным нагрузкам (разрушается при малых деформациях)

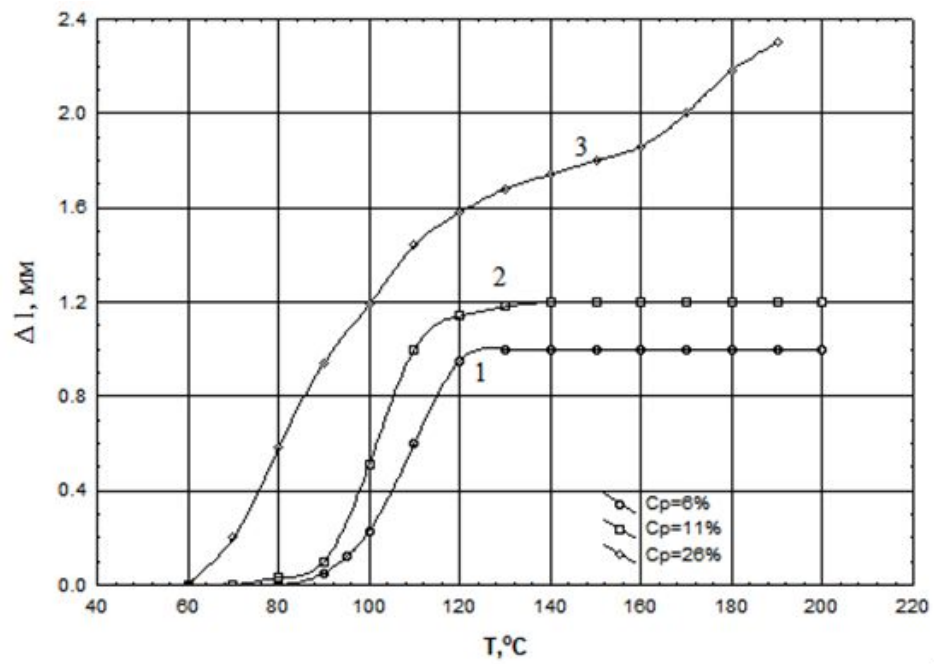
**2. Температура стеклования ( $T_c$ )** – температура, при которой полимер приобретает высокоэластические свойства (способен к большим обратимым деформациям при небольших нагрузках)



$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

**3. Температура текучести - размягчения ( $T_T$ )**





$$C_{\text{III}1} < C_{\text{III}2} < C_{\text{III}3}$$



# **Влияние строения полимера на нагревостойкость**

## Энергия связи, размер атома

### Внутри молекулы

0,75- 3 А°

100 – 200 ккал/моль

### Между молекулами

3 – 10 А°

0,5 – 10 ккал/моль

## Сопротивление связи зависит

- Взаимного влияния атомов и групп
- Экранирующего действия атомов

# Электроотрицательность

**F - 4,0**

**C - 2,5**

**H - 2,1**

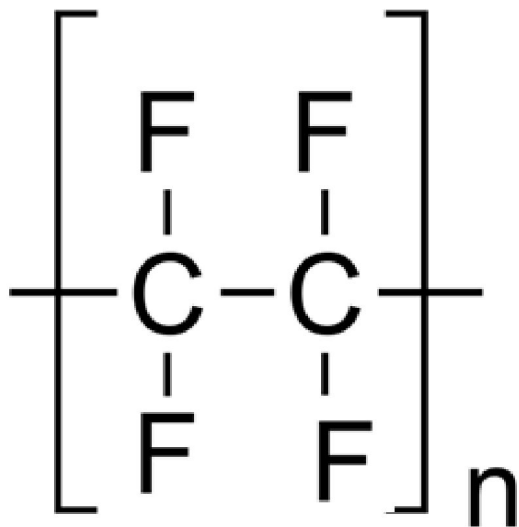
**O - 3,5**

**Cl - 3,0**

**Si - 1,8**

**N - 3,1**

## Политетрафторэтилен



C—F - 107 ккал/моль

C—H - 97 ккал/моль

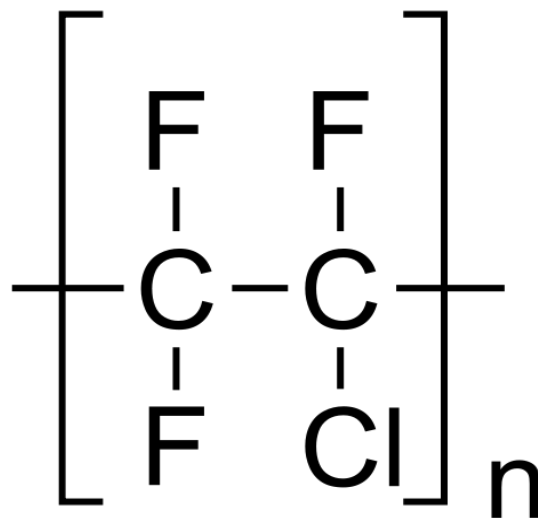
C—C - 90 ккал/моль - Ф-4

C—C - 79,3 ккал/моль - ПЭ

$R_F = 0.64 \text{ \AA}^0$

$T_{\text{пл}} = 260^\circ \text{C}$

## Политетрафторхлорэтилен



C—Cl - 91 ккал/моль

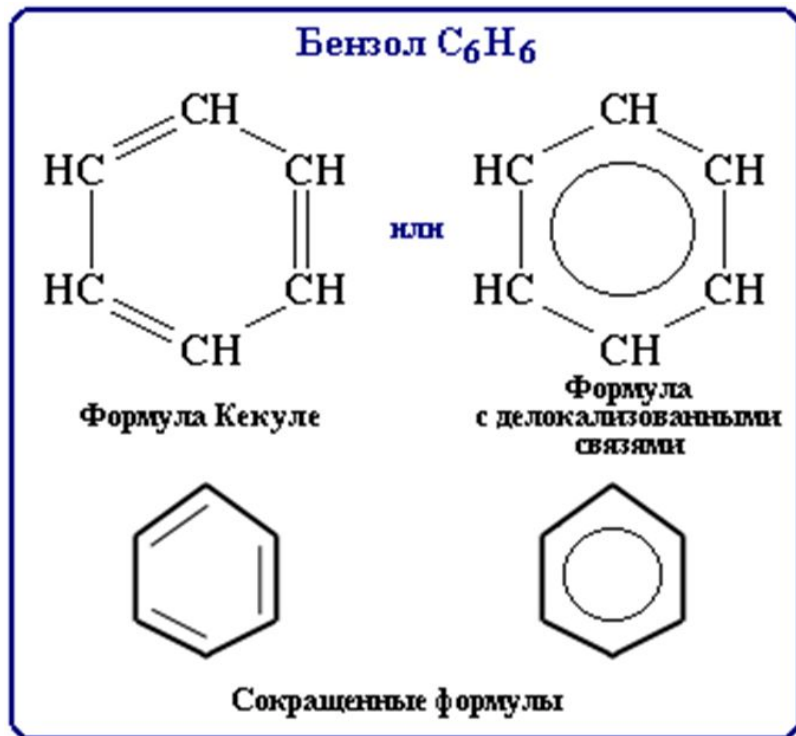
$R_{\text{Cl}} = 1.33 \text{ \AA}^0$  ( $R_{\text{H}} = 0.53 \text{ \AA}^0$ )

$T_{\text{пл}} = 150^\circ \text{C}$

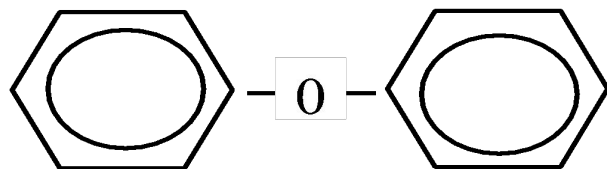
# Влияние кристалличности

1. Стеклообразное или кристаллическое состояние
2. Наличие объемных групп в цепи
3. Полярные группы
4. Водородная связь

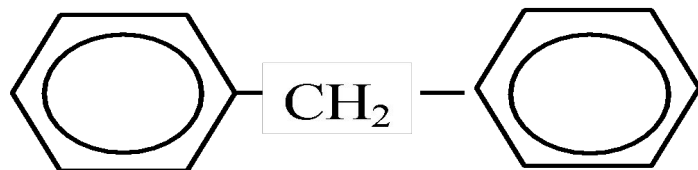
# Содержание ароматических колец и гетероциклов



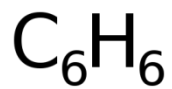
$T_{\text{разл}} = 620^{\circ}\text{C}$



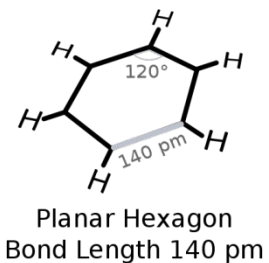
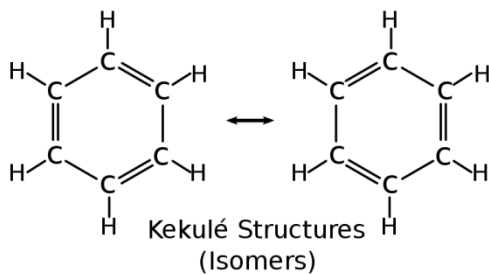
$T_{\text{разл}} = 510^{\circ}\text{C}$



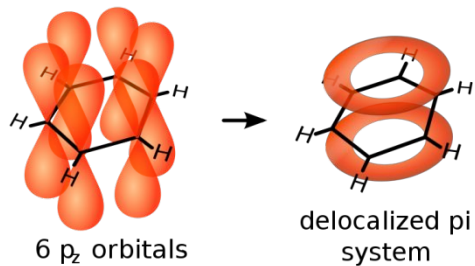
$T_{\text{разл}} = 450^{\circ}\text{C}$



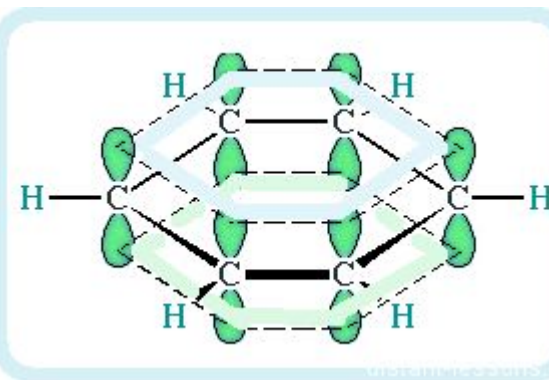
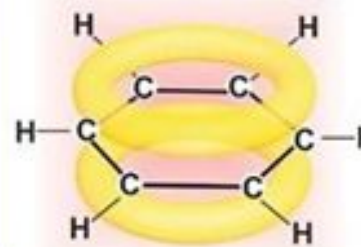
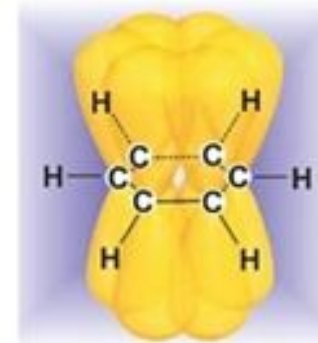
Benzene  
Molecular formula

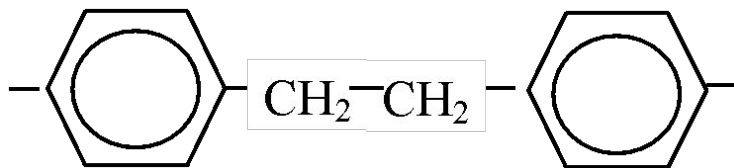
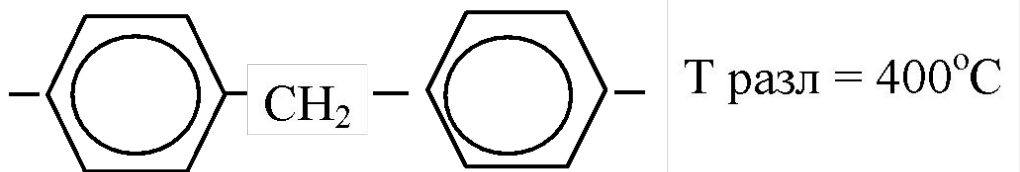
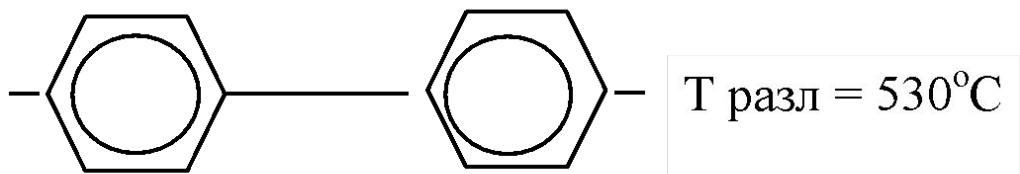


Sigma Bonds  
 $sp^2$  Hybridized orbitals



ОБРАЗОВАНИЕ  $\pi$ -ОБЛАКА

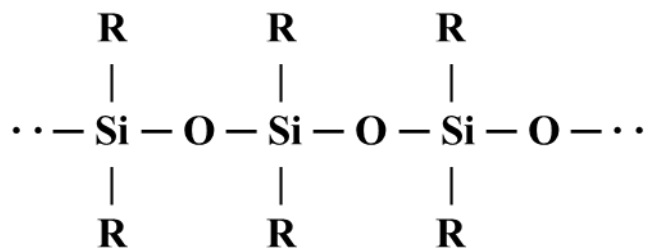




$$T = A \cdot x + B$$



# Наличие силоксановой (Si-O) связи



где R – органические радикалы: CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> и др

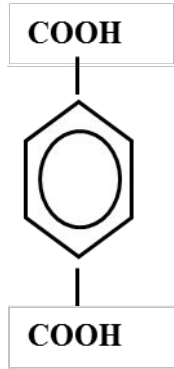
**Si - 1,8**

**O - 3,5**

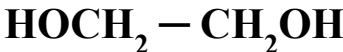
**C - 2,5**

# **Виды полимеров**

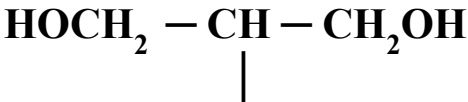
# Полиэфирные смолы



Терефталевая кислота

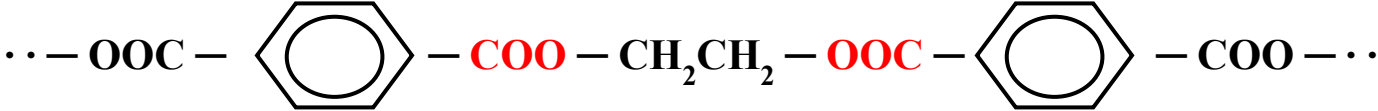


Этиленгликоль



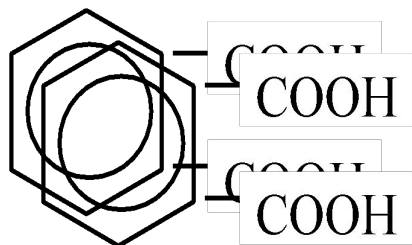
Глицерин

# Термопластичные полиэфирные смолы

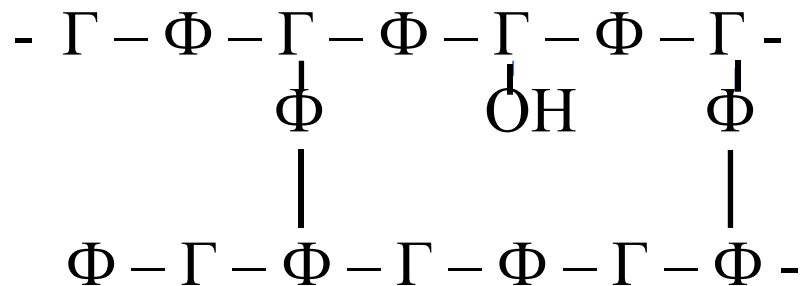


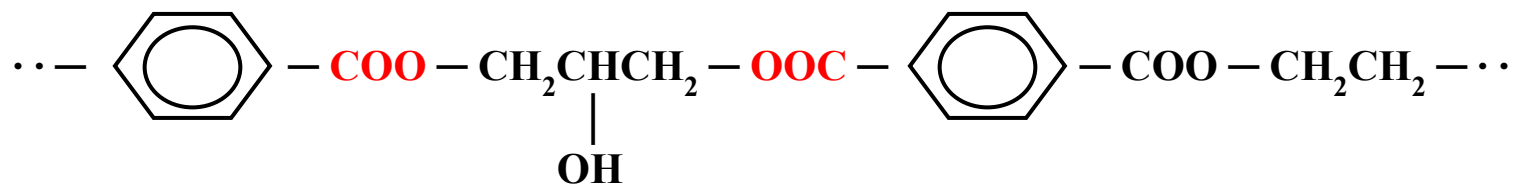
# Термореактивные полиэфиры терефталевой кислоты

1.

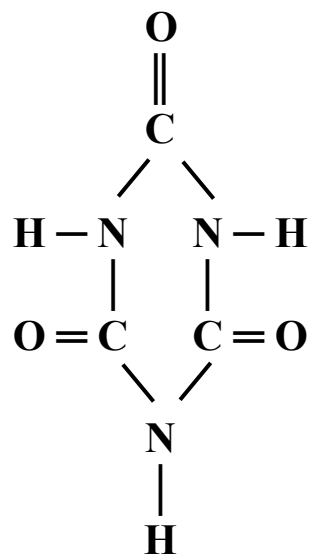


Фталевая кислота

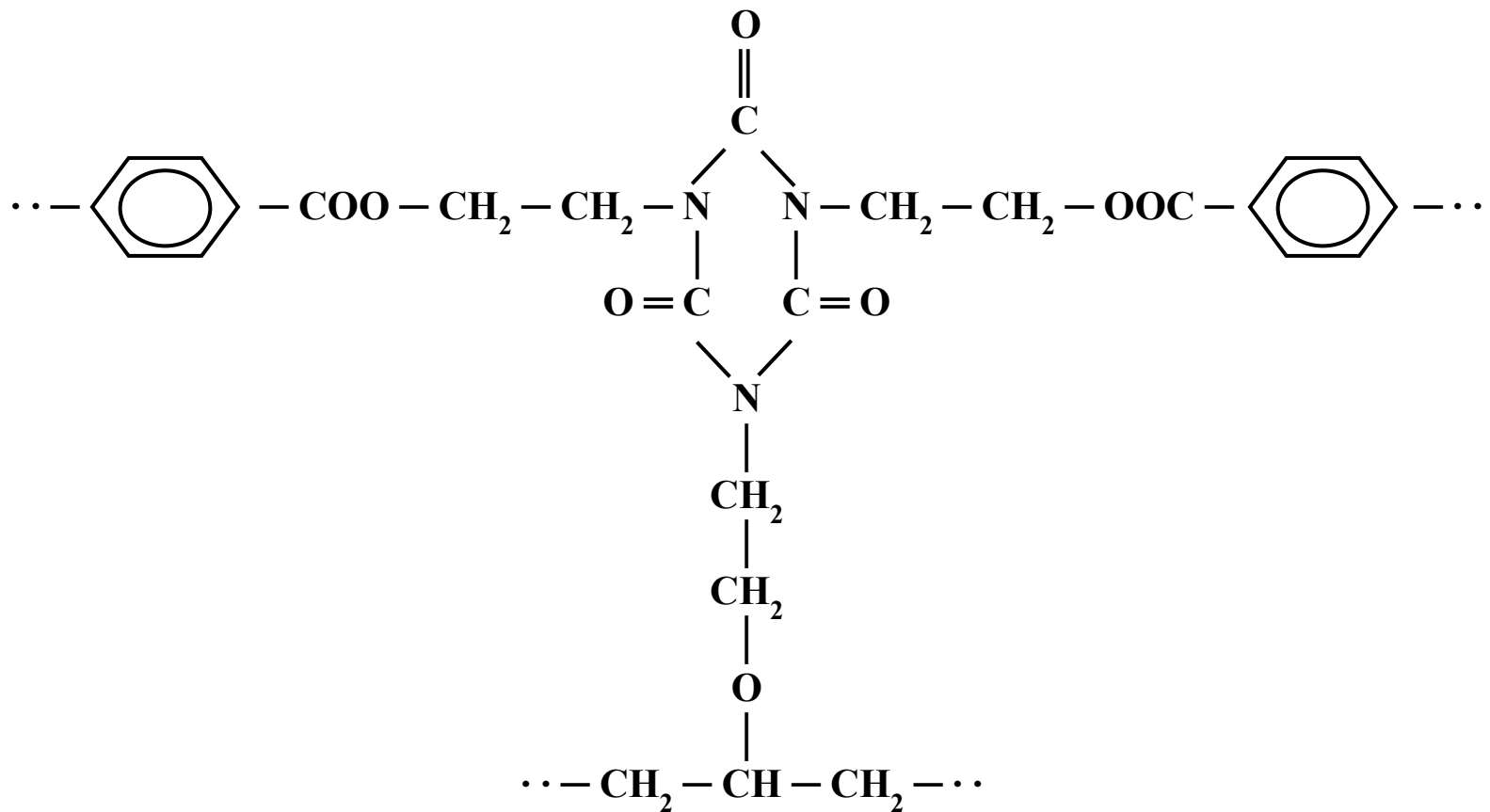




Полиэфиры модифицируют производными изоциануровой кислоты:



При этом образуется при запекании полимер (полиэфирцианурат) пространственной структуры:



# Полиамиды



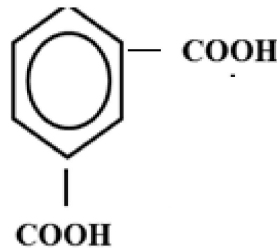
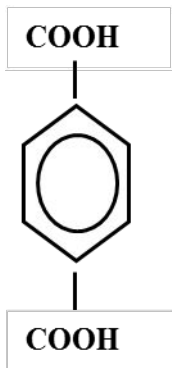
полиамиды, получаемые конденсацией  
диаминов с дикарбоновыми кислотами

полиамиды, получаемые конденсацией  
аминокислот

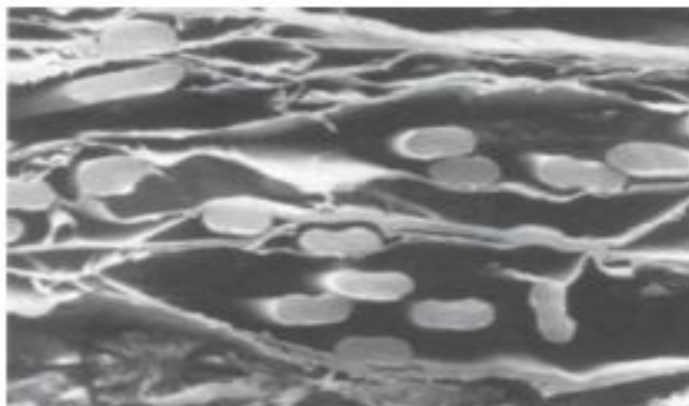
Найлон

капрон.

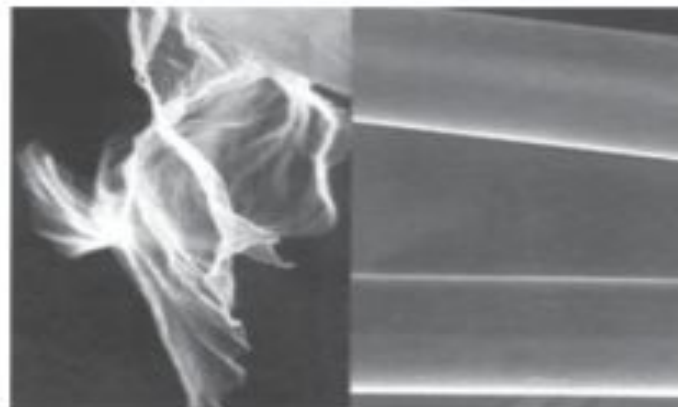
Поликонденсацией ароматических дикарбоновых кислот (изофталевой или терефталевой) и ароматических диаминов получают высоко нагревостойкие полиамиды с температурой плавления около  $350^{\circ}\text{C}$ :







**Флок**

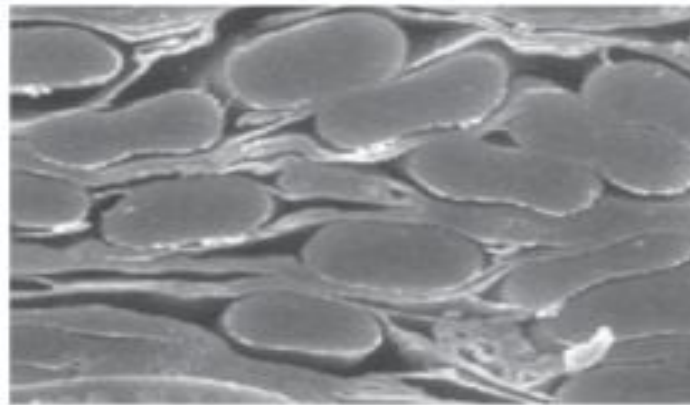


**Фибриды**

По химическому составу бумага «Номекс» представляет собой ароматический полиамид и в целом известна под названием «арамид»:

Оба компонента – флок и фибриды – смешиваются в пульпу на водной основе, из которой на специальной бумагоделательной машине производится непрерывный листовой материал.

Последующее уплотнение и упрочнение внутренних связей осуществляется с помощью высокотемпературного каландрования. Получаемая в результате бумага обладает механической прочностью, гибкостью и хорошими электрическими свойствами, которые сохраняются при высоких температурах (обугливаются при температурах свыше 400 °С и способны выдержать короткое воздействие температур до 700 °С).



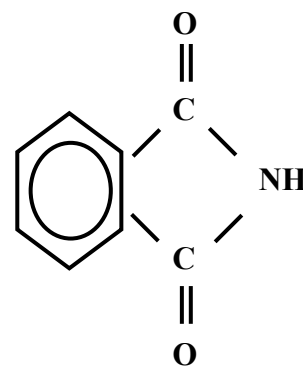
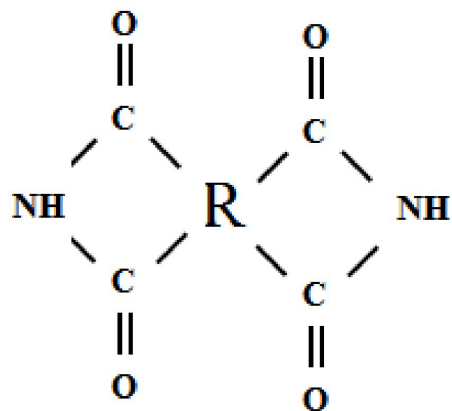
**Поперечный разрез арамидной бумаги «Номекс»**

1. Механическая прочность
2. Рабочая температура 220°C
3. Длительная работа при 98% влажности

Номекс 410 - каландрированный

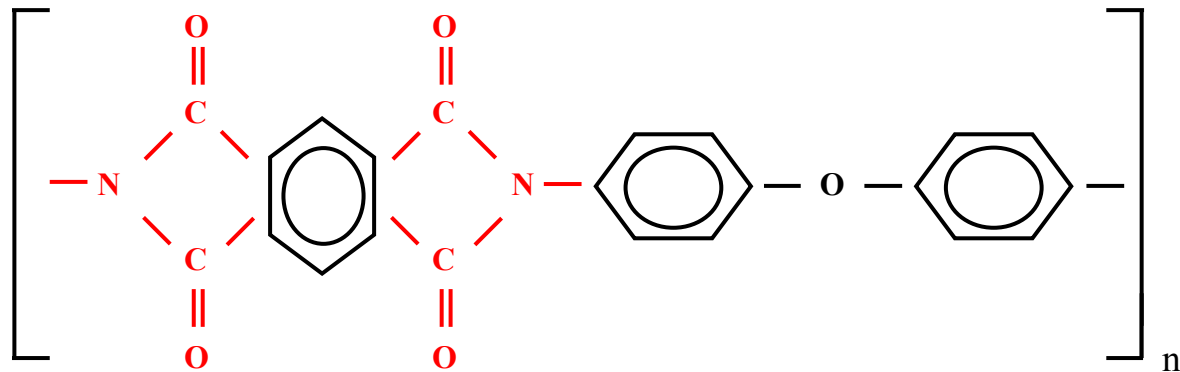
Номекс 411 - некаландрированный

## Полиимиды

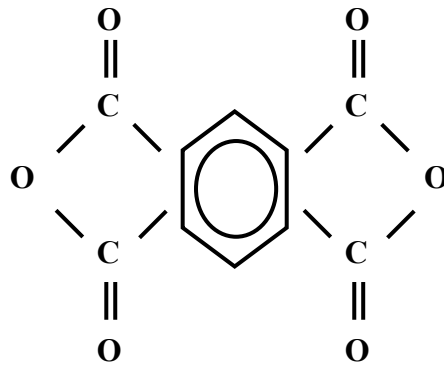


**Имид фталевой кислоты  
(фталимид)**

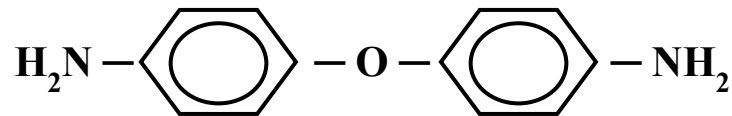
Цепь молекулы полиимидов, кроме имидных циклов, содержит ароматические ядра, связанные гетероатомом (O, S) или атомом углерода. Типичным представителем этой группы является полиимид следующего строения:



Получение полиимидов основано на реакции поликонденсации диангидридов тетракарбоновых кислот и ароматических диаминов.  
диангидрид пиромеллитовой кислоты:



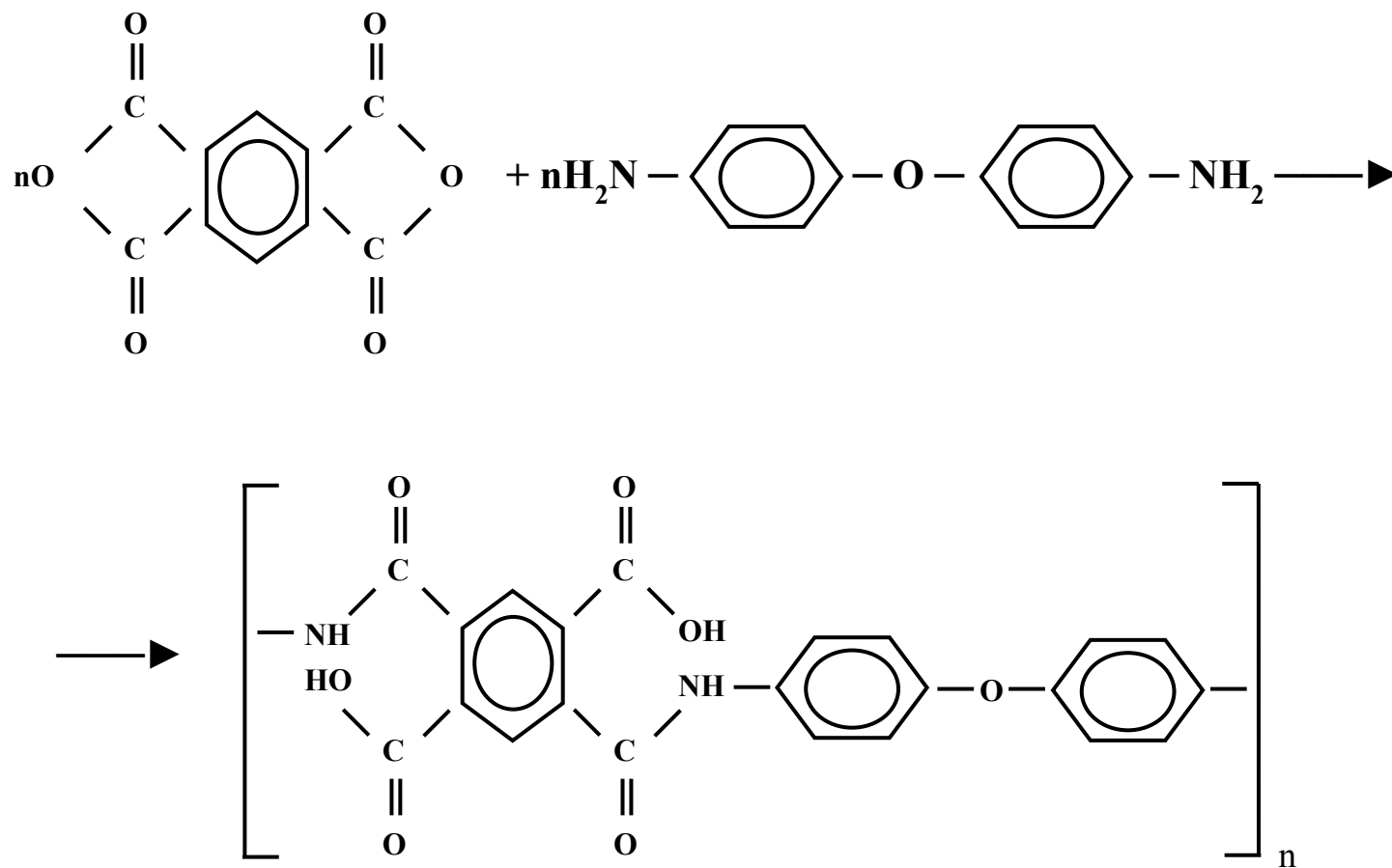
диаминодифенилоксид (диаминодифениловый эфир)



Полиимиды, в получении которых участвует диангидрид пиромеллитовой кислоты, называют полипиромеллитимидами.

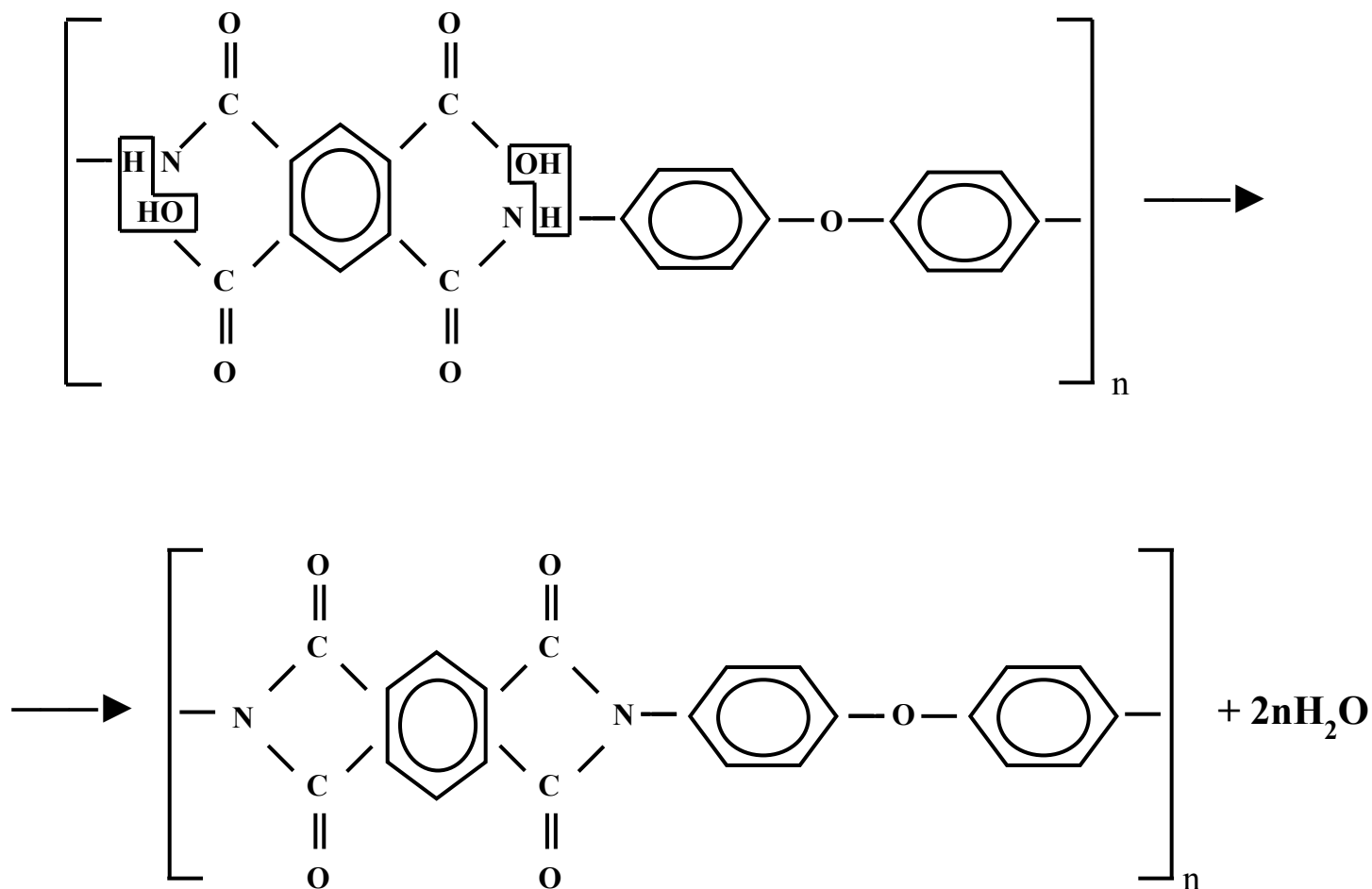
Полиимиды получают в две стадии. Сначала в среде растворителя (диметилформамида, диметилацетамида и др.) получают полиамидокислоту по реакции:

**I стадия**



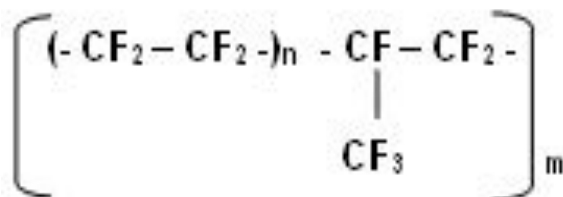
Вторая стадия образования полиимида протекает в твердой фазе — в тонких слоях пленок после удаления растворителя при высокой температуре (300 – 500<sup>0</sup>С). Реакция превращения полиамидокислоты в полиимид сопровождается выделением воды вследствие образования циклов по реакции:

### II стадия





## Фторопласт 4МБ



Сополимер тетрафторэтилена с  
гексафторпропиленом

## **Полиэфиримид**

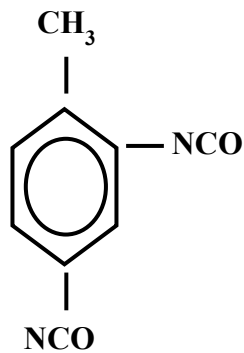
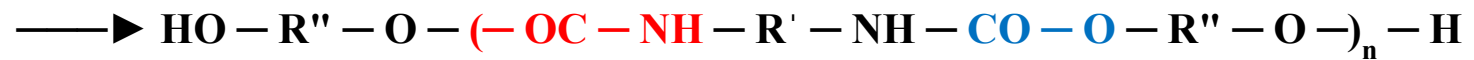
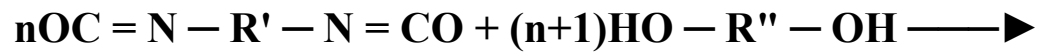
Лак	ЭД – 9152
Компаунды	Элпласт 155, 180, 200

## **Полиамидимид**

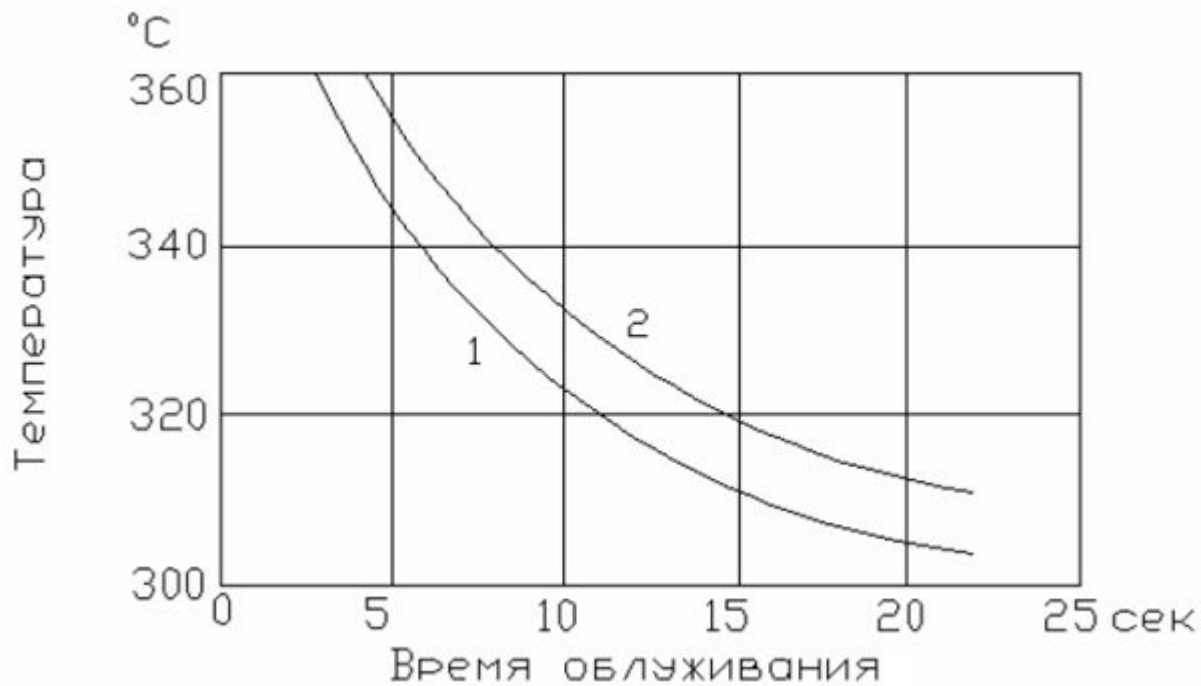
Провод	ПЭТ 200
--------	---------

# Полиуретаны

ДИИЗОЦИАНАТ



Основное применение полиуретанов – получение лаков для эмалирования проводов.



**Зависимость времени облуживания эмальпроводов от температуры**

1 – полиуретановая пленка

2 – полиуретановая пленка в сочетании с поливинилацетальной смолой

**2. Нагревостойкость проводов ниже полиэфирной изоляции**

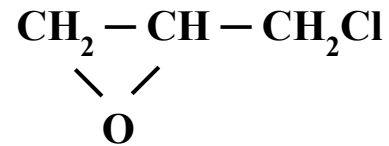
**3. Низкая стойкость к нагреву в режиме К.З.**

**4. Заливочные компаунды – хорошая морозостойкость и эластичность, но малая механическая прочность и снижение диэлектрических характеристик при повышенной температуре**

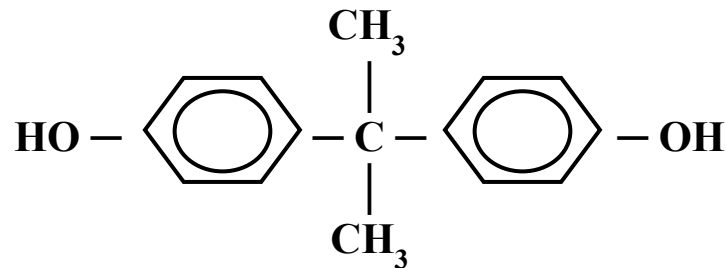
Полиуретановые каучуки

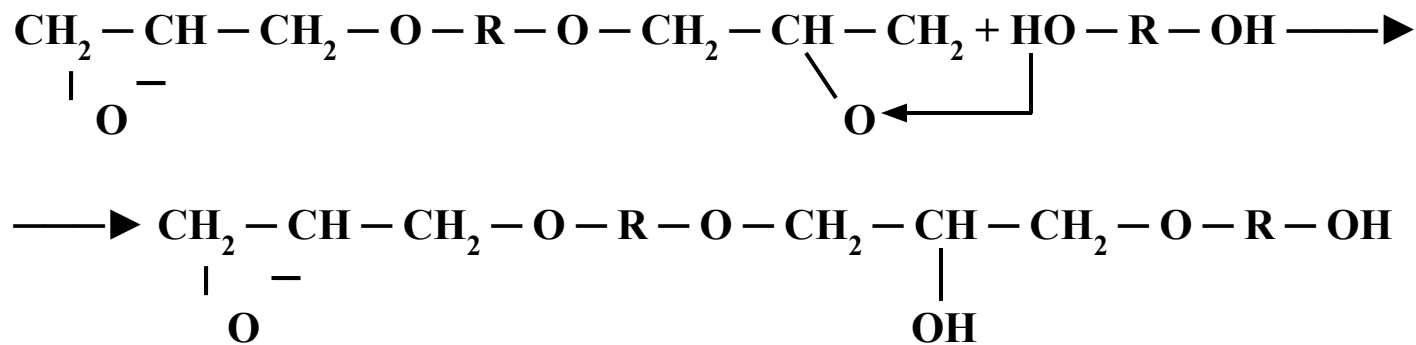
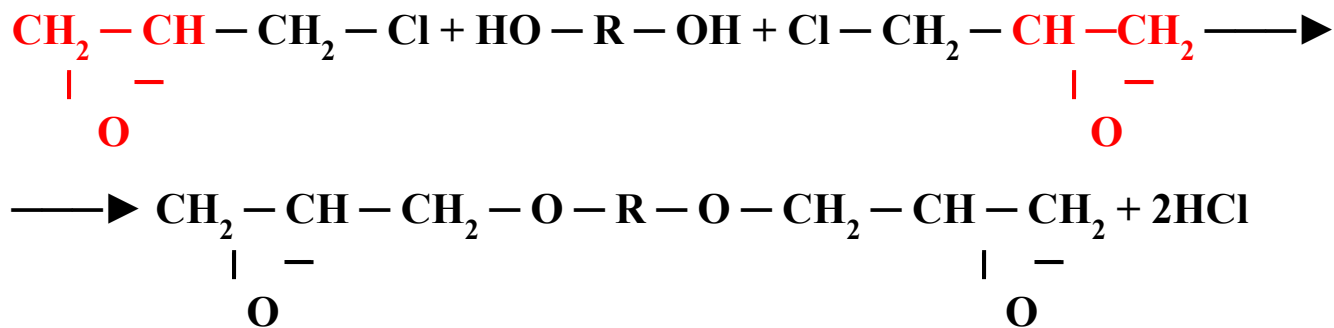
## Эпоксидные смолы и составы на их основе

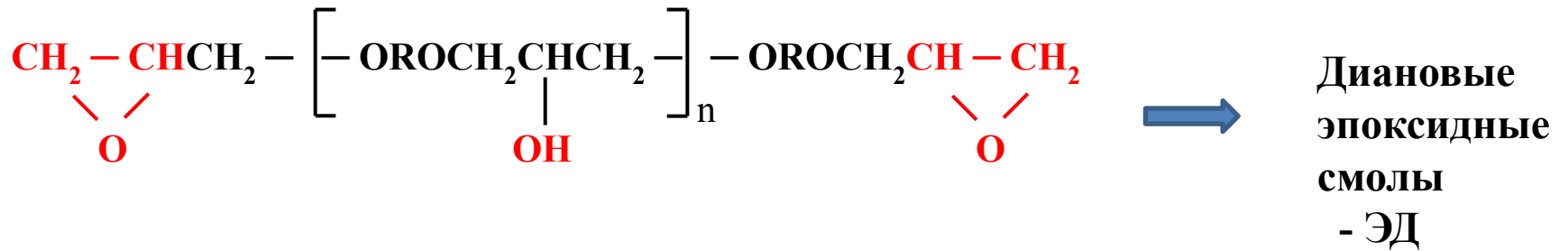
эпихлоргидрин



многоатомный фенол - дифенилолпропан (диоксидифенилпропан)







Вещества, добавляемые для превращения жидких смол в твердые полимерные соединения, называются отвердителями.

### *Отвердители*

1) полиамины

2) полиамиды

3) ангидриды кислот

4) отвердители каталитического типа

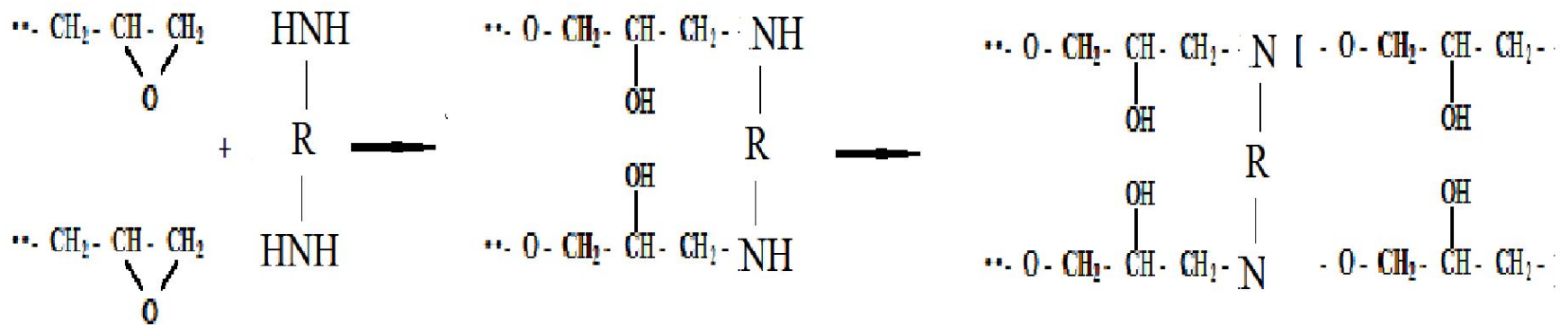


## **Отвердители**

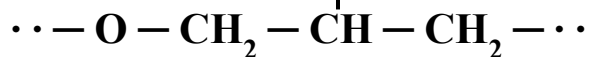
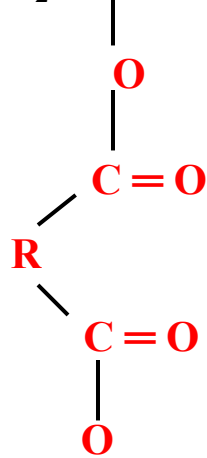
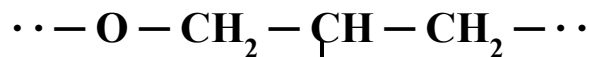
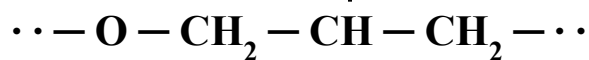
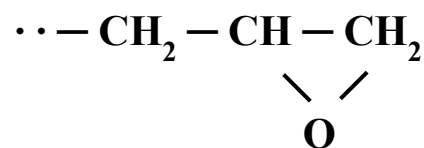
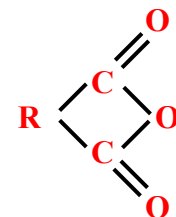
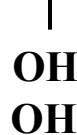
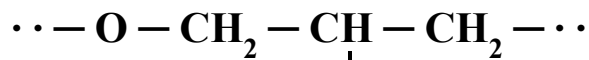
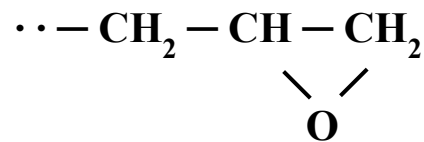
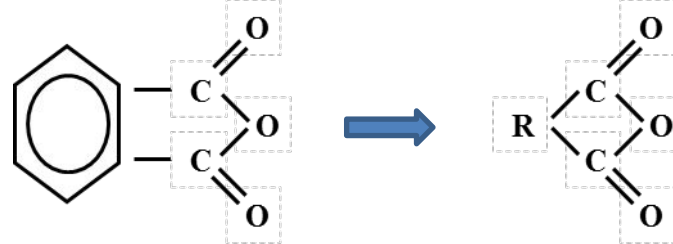
1. отверждающие на холоду (холодного отверждения) - амины
2. отверждающие при нагревании (горячего отверждения) – кислоты и ангидриды кислот

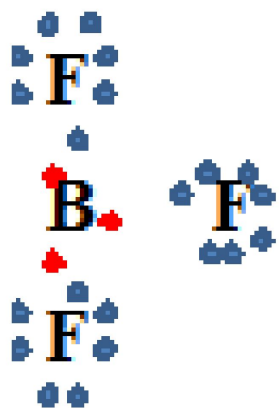
:

# АМИНЫ

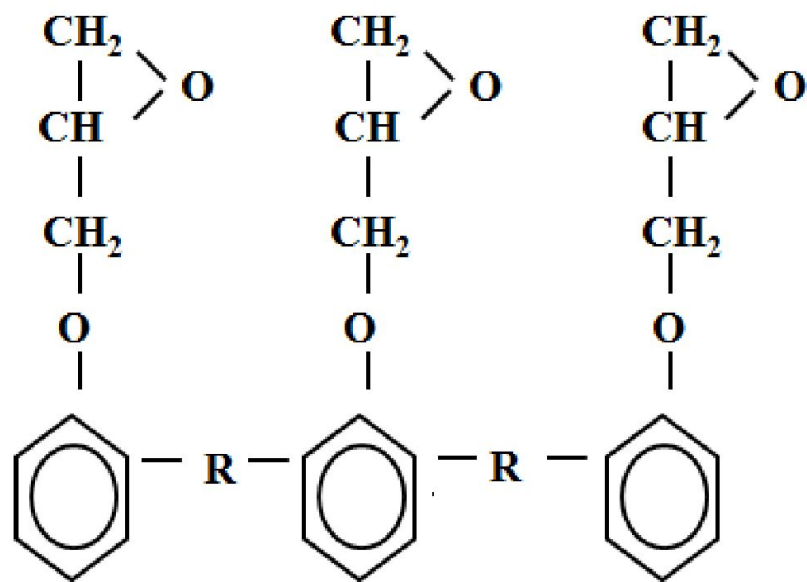


отвердитель ангидридного типа





## ЭПОКСИНОВОЛАЧНЫЕ СМОЛЫ



# Эпоксидные смолы

## Преимущества

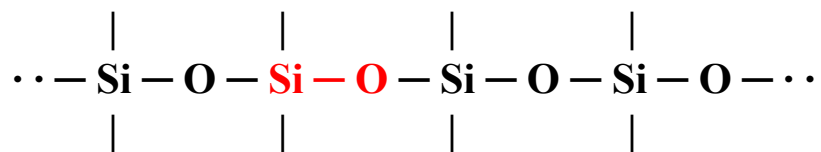
1. В процессе отверждения не выделяется летучих веществ
2. Стабильность размеров , малая усадка ( $\leq 2\%$ )
3. Химическая стойкость
4. Химическая инертность
5. Долговечность
6. Высокая адгезия
7. Универсальность в выборе отвердителя и условий отверждения
8. Низкая вязкость до отверждения

## Недостатки

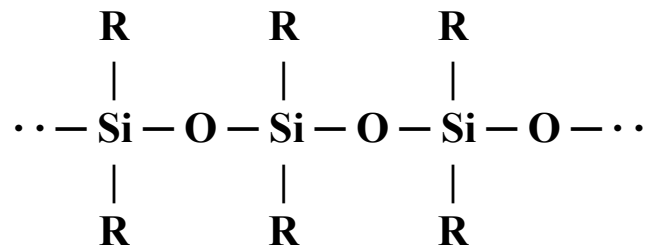
Высокий ТКЛР –  $45 \div 65 \cdot 10^{-6}$  1/град

## Кремнийорганические полимеры

Кремнийорганические полимеры — это класс высокомолекулярных соединений, в построении главной цепи которых участвует атом **кремния**.

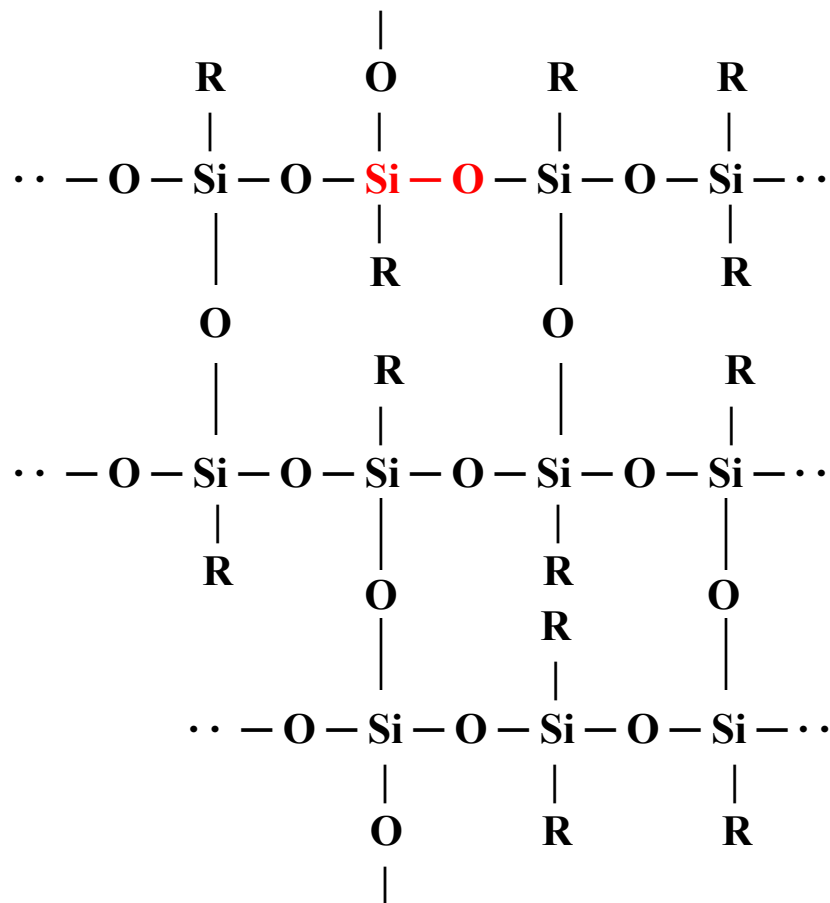


Структура линейного полиорганосилоксана:



где R – органические радикалы:  $\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5$  и др.

В пространственной структуре атомы кремния отдельных цепей соединены через кислород (силоксановая связь):





## Достоинства

1. Высокая нагревостойкость
2. Высокая хладостойкость
3. Высокая водостойкость
4. Химическая инертность

## Недостатки

1. Недостаточная механическая прочность
2. Абразивный эффект  $\text{Si O}_2$
3. Длительное время сушки