

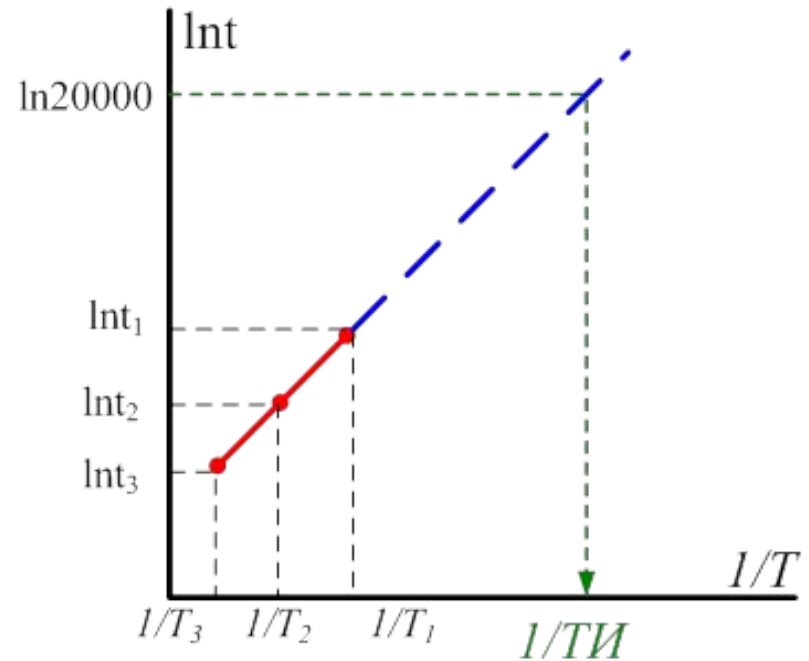
**Основные полимеры, используемые
для производства
электроизоляционных материалов и
пропиточных составов**

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

1. Нагревостойкость

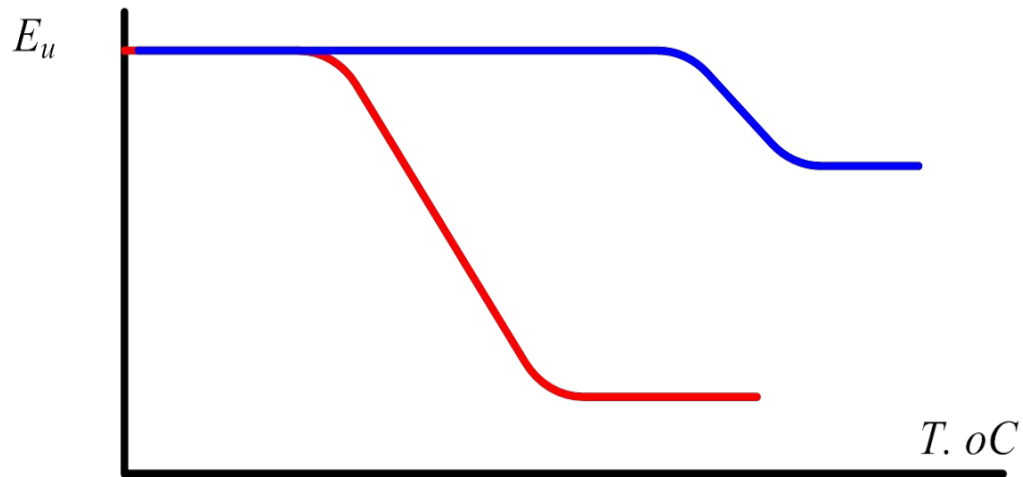
$$\ln t = G + \frac{W}{kT}$$

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



- Температурный индекс (ТИ)
- Класс нагревостойкости

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



Теплостойкость

- по Мартенсу
- по Вика

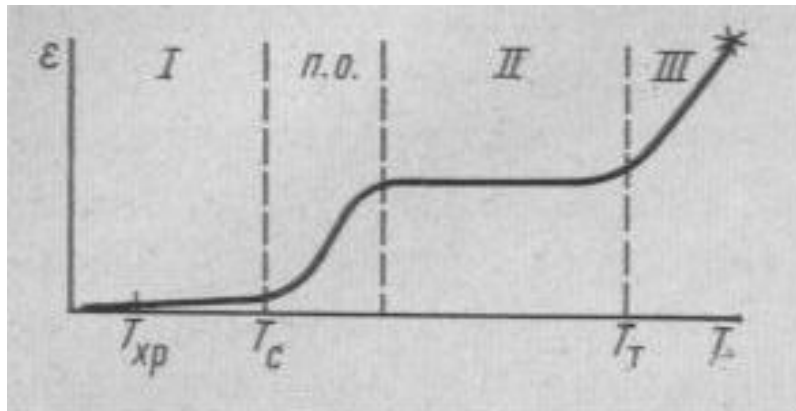
3. Термостойкость – стойкость полимеров к химическому разложению, происходящему под действием энергии теплового движения (способность материалов сохранять неизменным химическое строение)

Теплостойкость < Нагревостойкость < Термостойкость

Стойкость к кратковременному нагреву

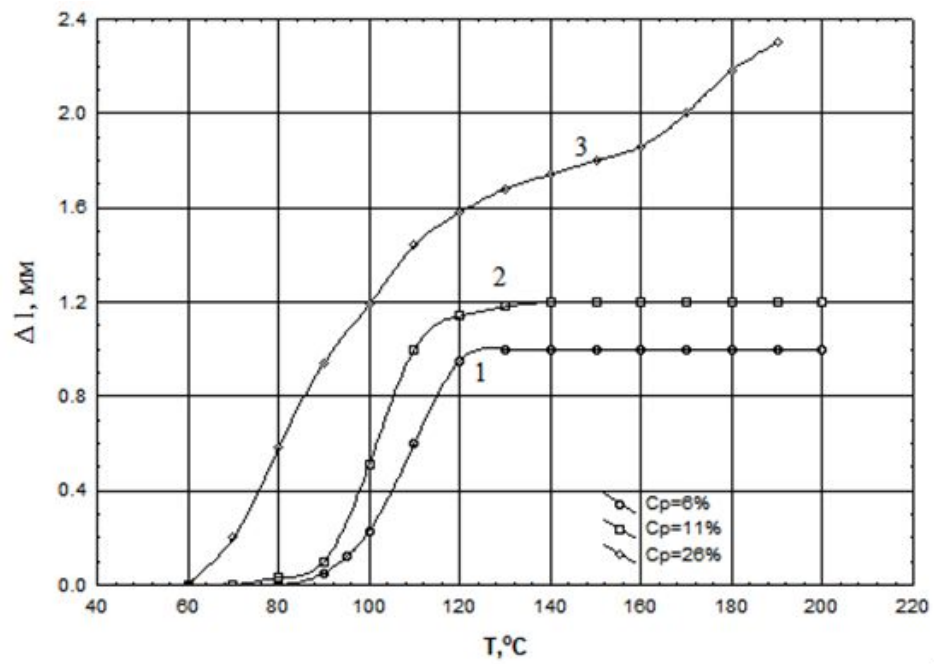
1. Температура хрупкости ($T_{хр}$) - температура, ниже которой полимер теряет способность сопротивляться ударным нагрузкам (разрушается при малых деформациях)

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 Å°

100 – 200 ккал/моль

Между молекулами

3 – 10 Å°

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

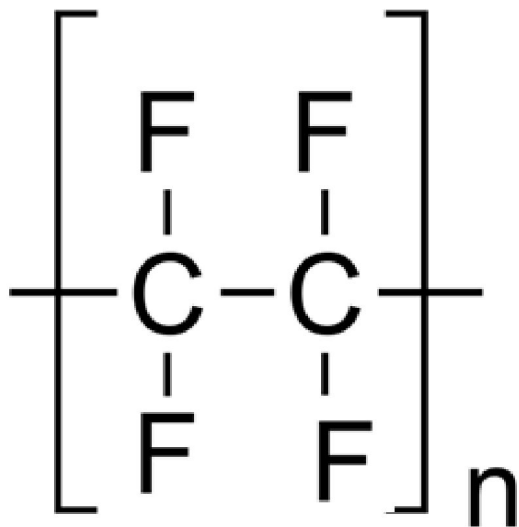
O - 3,5

Cl - 3,0

Si - 1,8

N - 3,1

Политетрафторэтилен



C—F - 107 ккал/моль

C—H - 97 ккал/моль

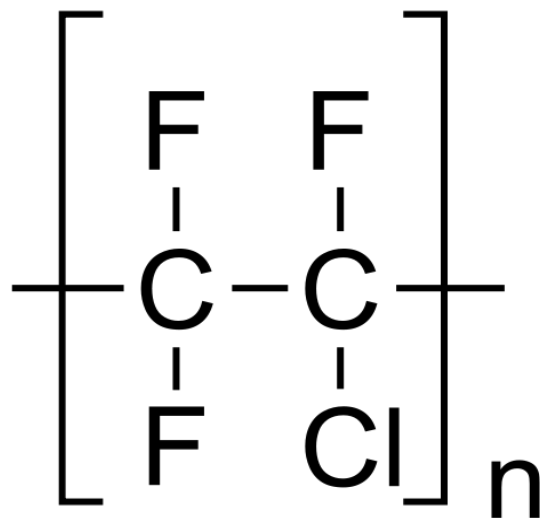
C—C - 90 ккал/моль - Ф-4

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

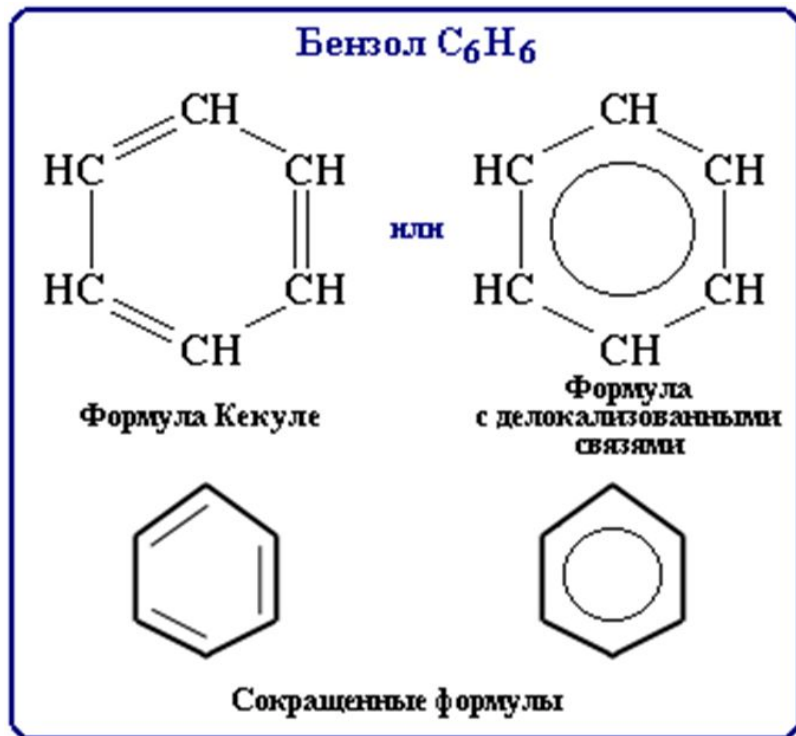
$R_{\text{Cl}} = 1.33 \text{ \AA}^0$ ($R_{\text{H}} = 0.53 \text{ \AA}^0$)

$T_{\text{пл}} = 150^\circ \text{C}$

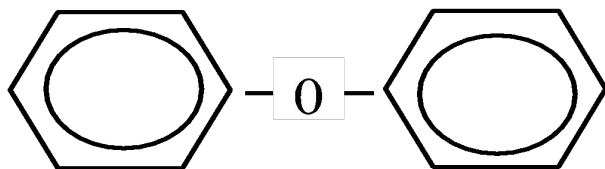
Влияние кристалличности

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

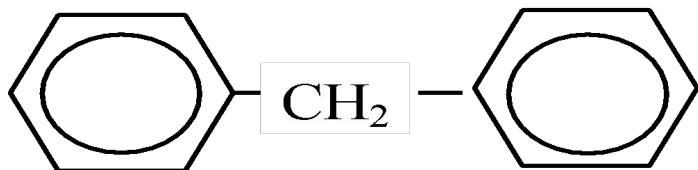
Содержание ароматических колец и гетероциклов



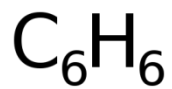
$T_{\text{разл}} = 620^{\circ}\text{C}$



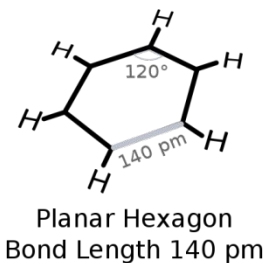
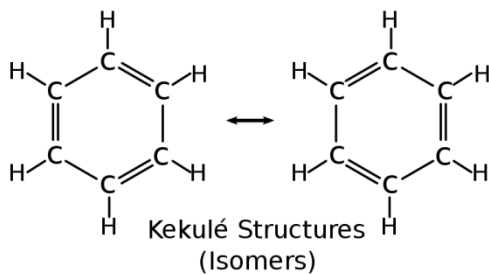
$T_{\text{разл}} = 510^{\circ}\text{C}$



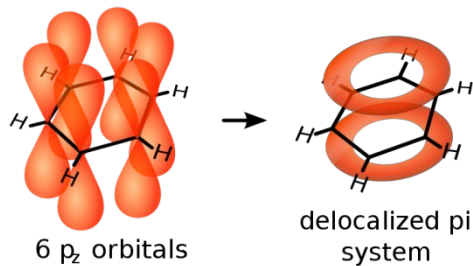
$T_{\text{разл}} = 450^{\circ}\text{C}$



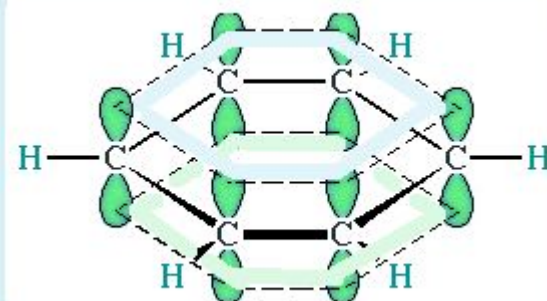
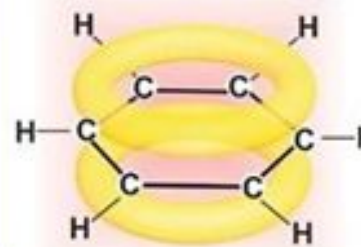
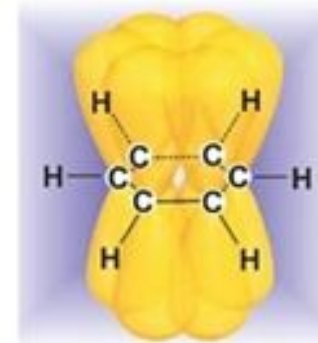
Benzene
Molecular formula

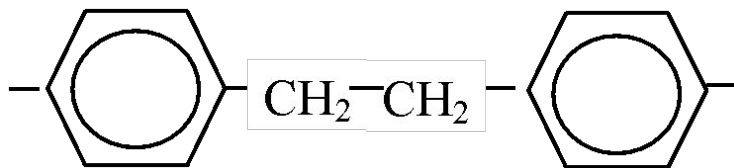
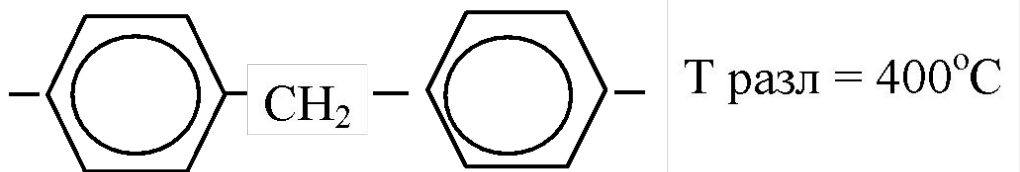
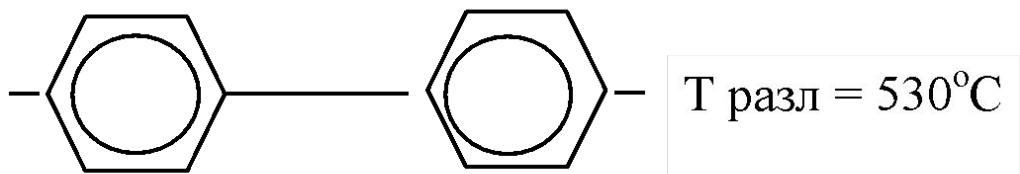


Sigma Bonds
 sp^2 Hybridized orbitals



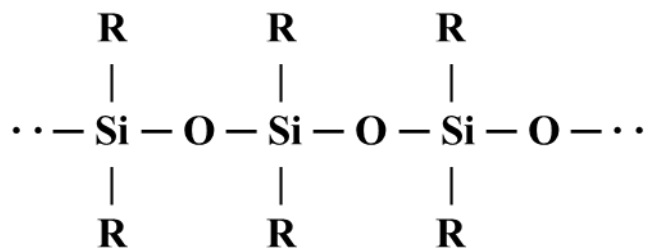
ОБРАЗОВАНИЕ π -ОБЛАКА





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

Наличие силоксановой (Si-O) связи



где R – органические радикалы: CH₃, C₂H₅, C₆H₅ и др

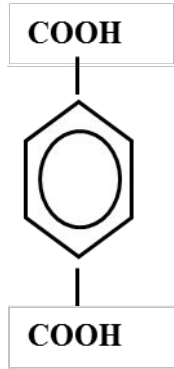
Si - 1,8

O - 3,5

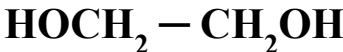
C - 2,5

Виды полимеров

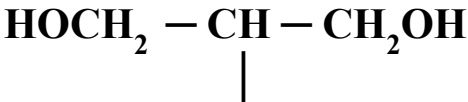
Полиэфирные смолы



Терефталевая кислота

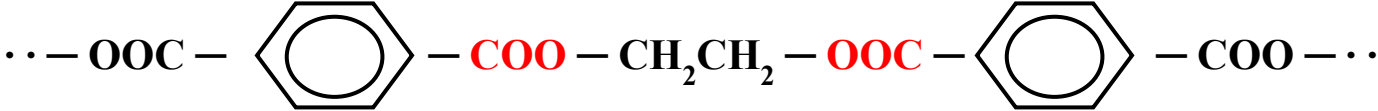


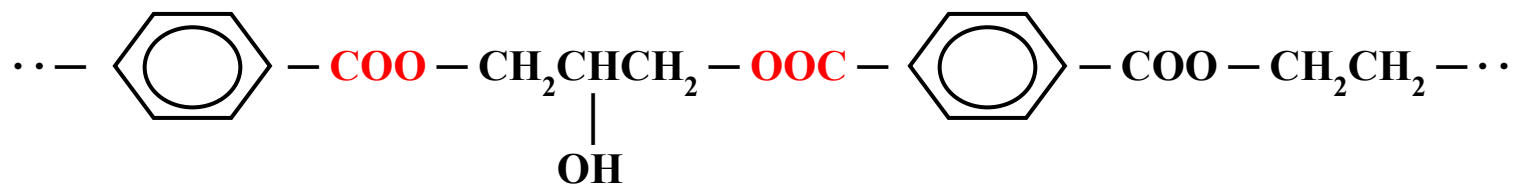
Этиленгликоль



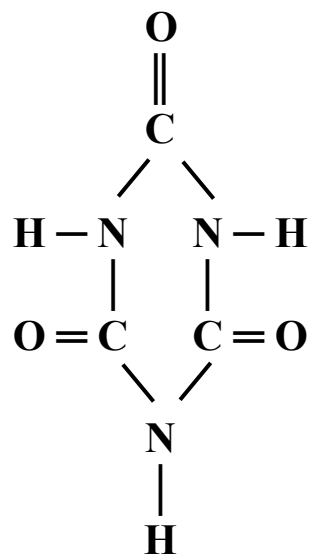
Глицерин

Термопластичные полиэфирные смолы

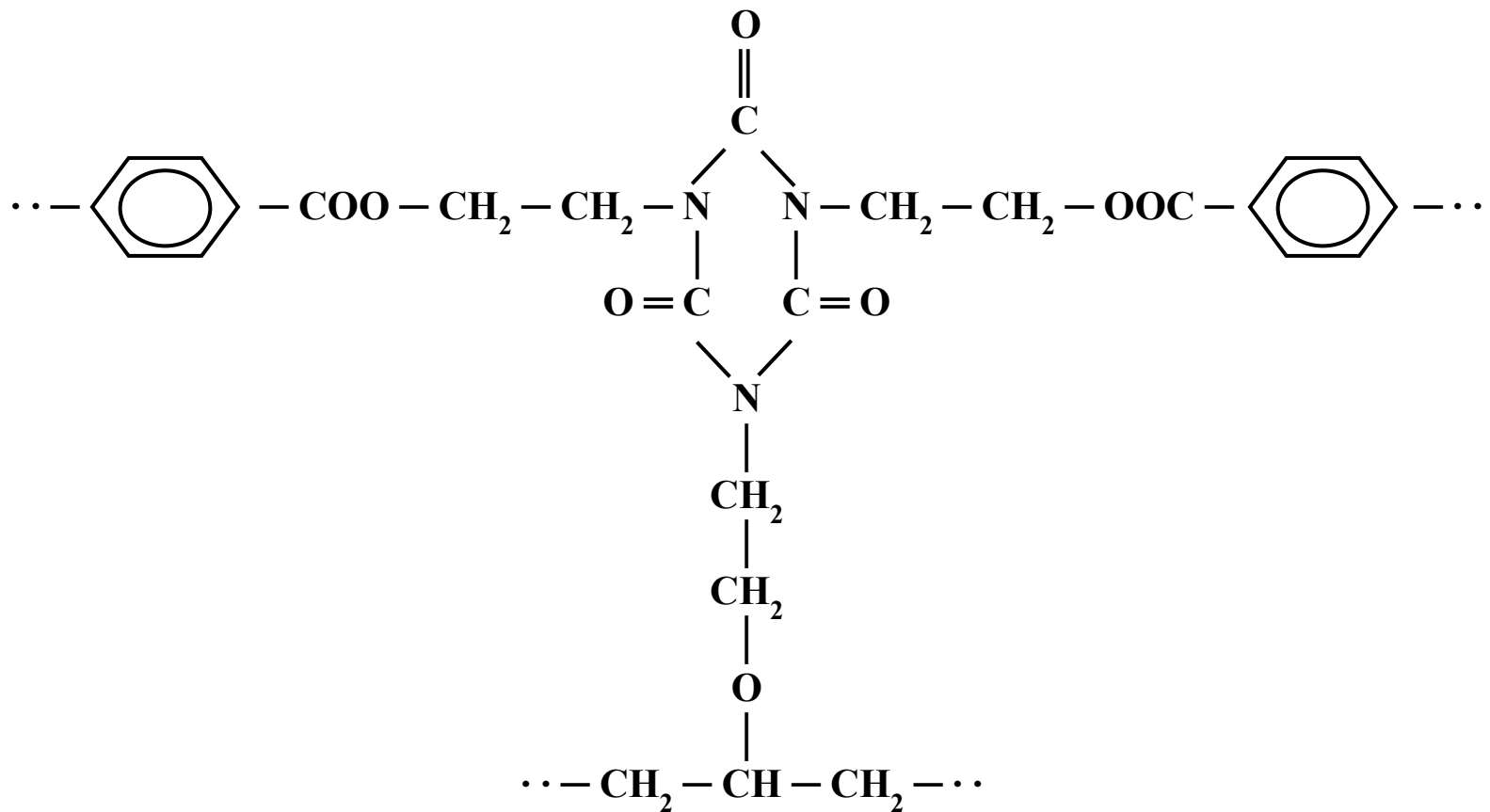




Полиэфиры модифицируют производными изоциануровой кислоты:



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



Полиамиды



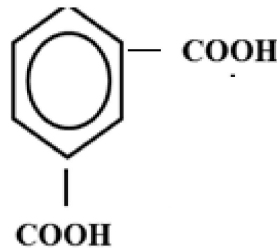
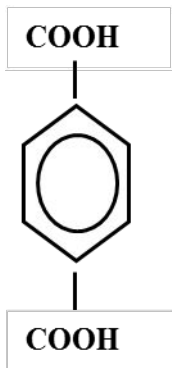
полиамиды, получаемые конденсацией
диаминов с дикарбоновыми кислотами

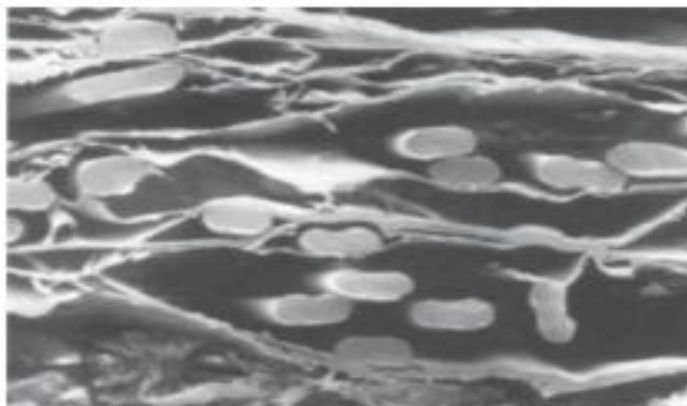
полиамиды, получаемые конденсацией
аминокислот

Найлон

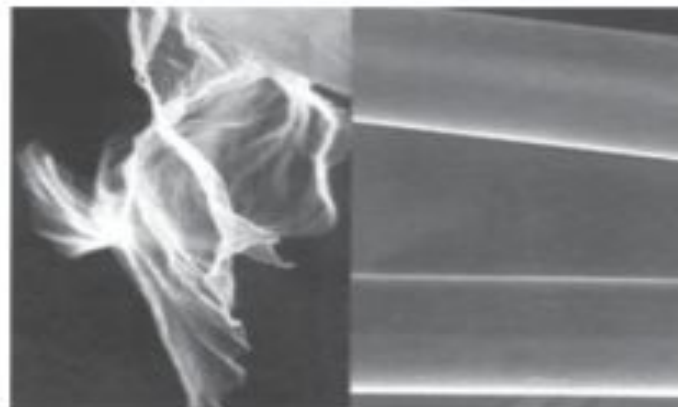
капрон.

Поликонденсацией ароматических дикарбоновых кислот (изофталевой или терефталевой) и ароматических диаминов получают высоко нагревостойкие полиамиды с температурой плавления около 350°C :





Флок

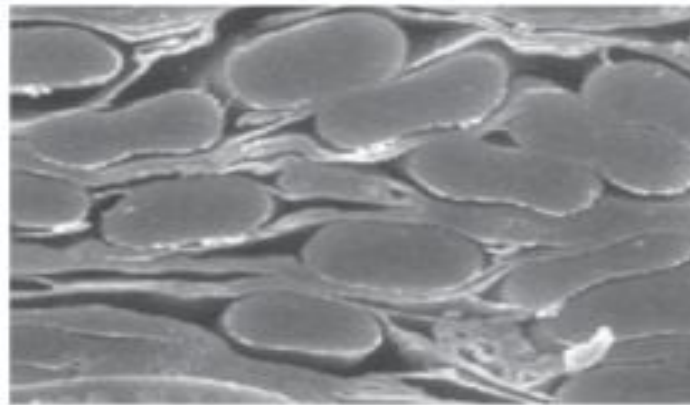


Фибриды

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 листовый 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).



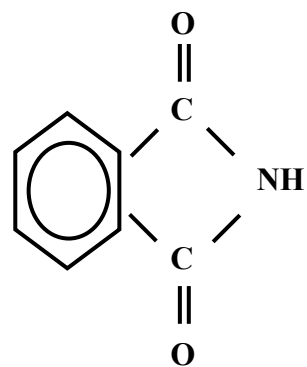
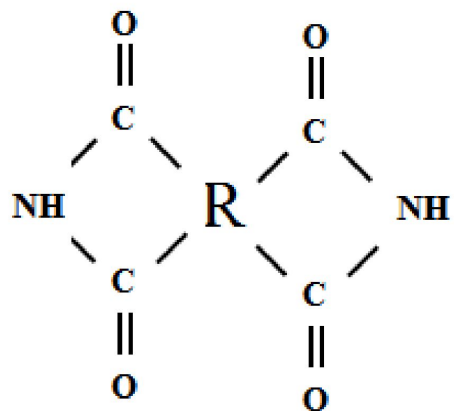
Поперечный разрез арамидной бумаги «Номекс»

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

Номекс 410 - каландрированный

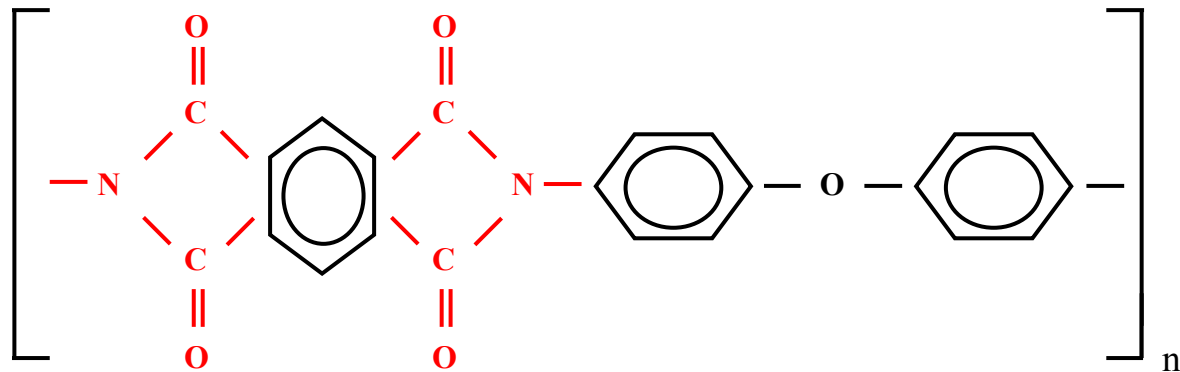
Номекс 411 - некаландрированный

Полиимиды

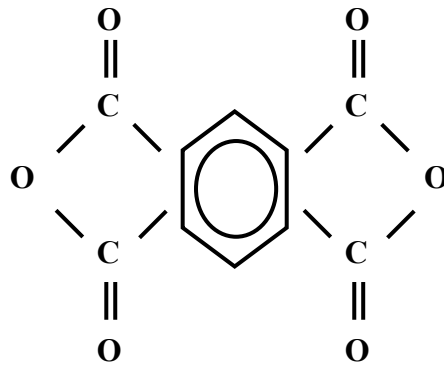


**Имид фталевой кислоты
(фталимид)**

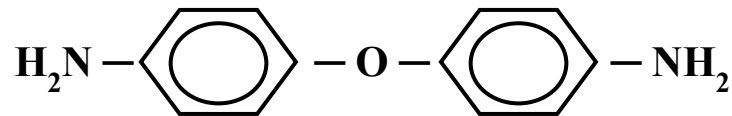
Цепь молекулы полиимидов, кроме имидных циклов, содержит ароматические ядра, связанные гетероатомом (O, S) или атомом углерода. Типичным представителем этой группы является полиимид следующего строения:



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



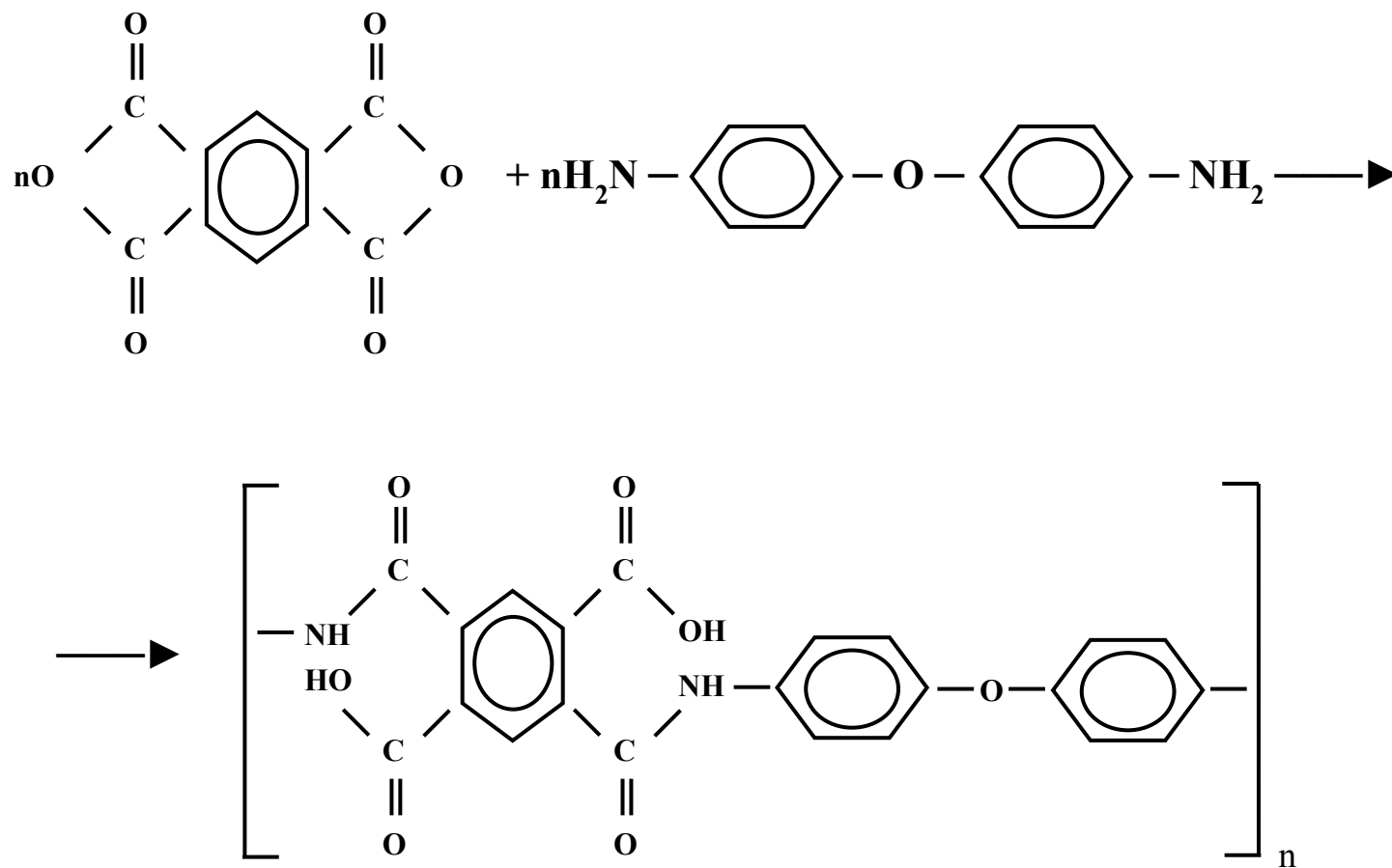
диаминодифенилоксид (диаминодифениловый эфир)



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

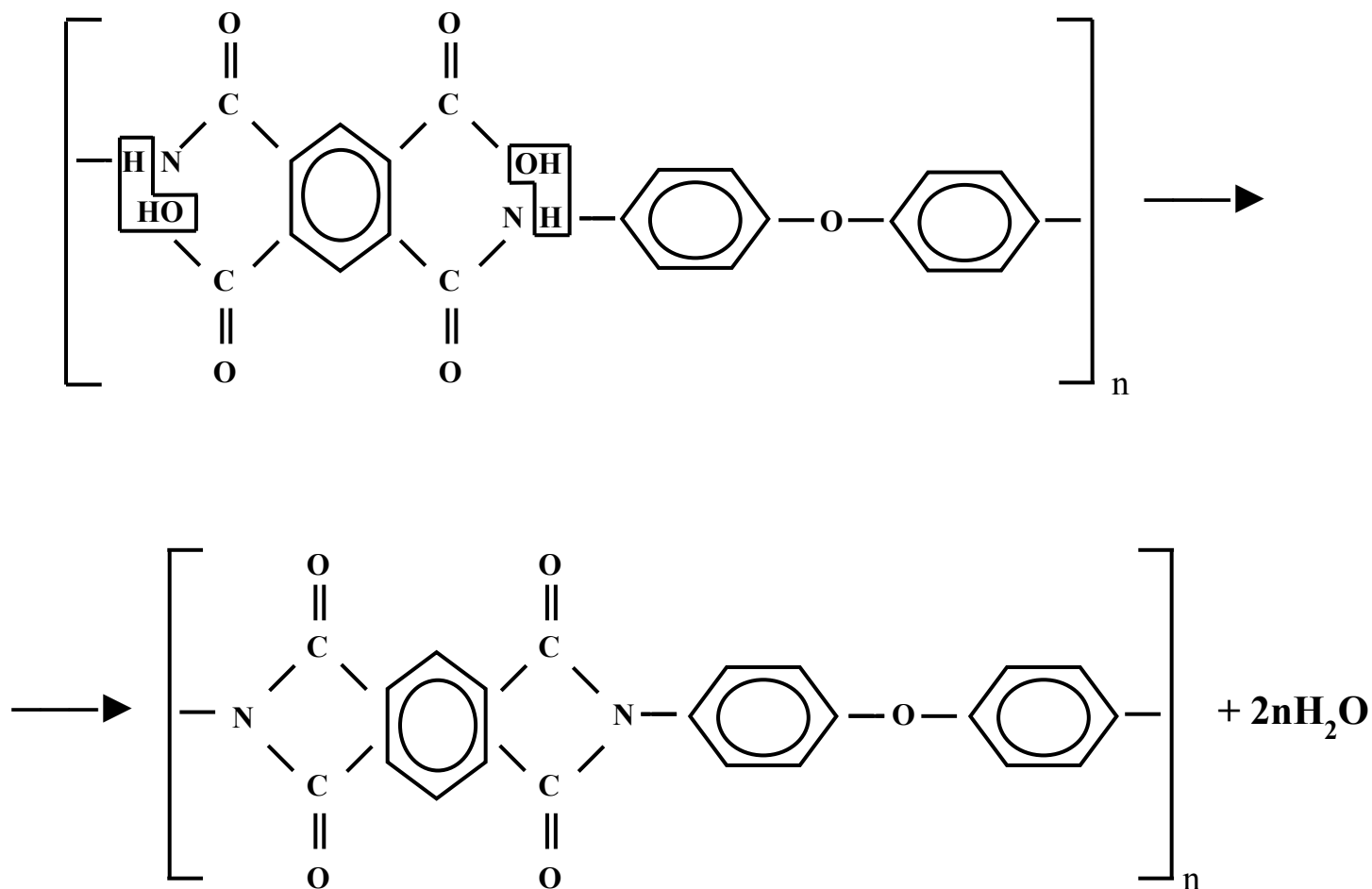
Полиимиды получают в две стадии. Сначала в среде растворителя (диметилформамида, диметилацетамида и др.) получают полиамидокислоту по реакции:

I стадия

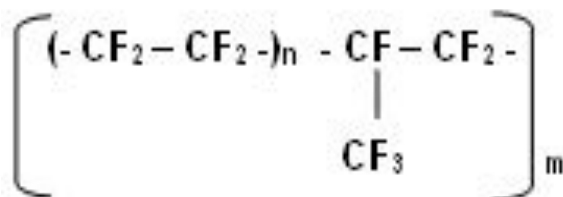


Вторая стадия образования полиимида протекает в твердой фазе — в тонких слоях пленок после удаления растворителя при высокой температуре (300 – 500⁰С). Реакция превращения полиамидокислоты в полиимид сопровождается выделением воды вследствие образования циклов по реакции:

II стадия



Фторопласт 4МБ



Сополимер тетрафторэтилена с
гексафторпропиленом

Полиэфиримид

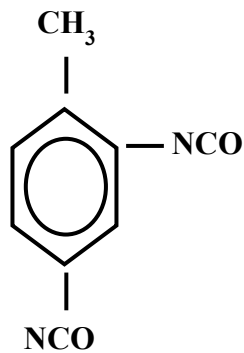
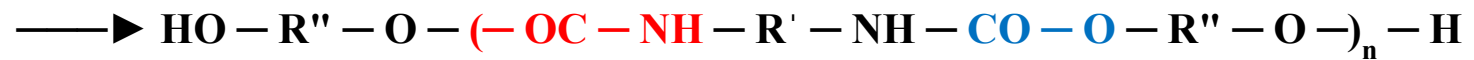
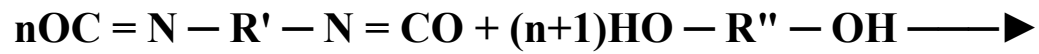
Лак	ЭД – 9152
Компаунды	Элпласт 155, 180, 200

Полиамидимид

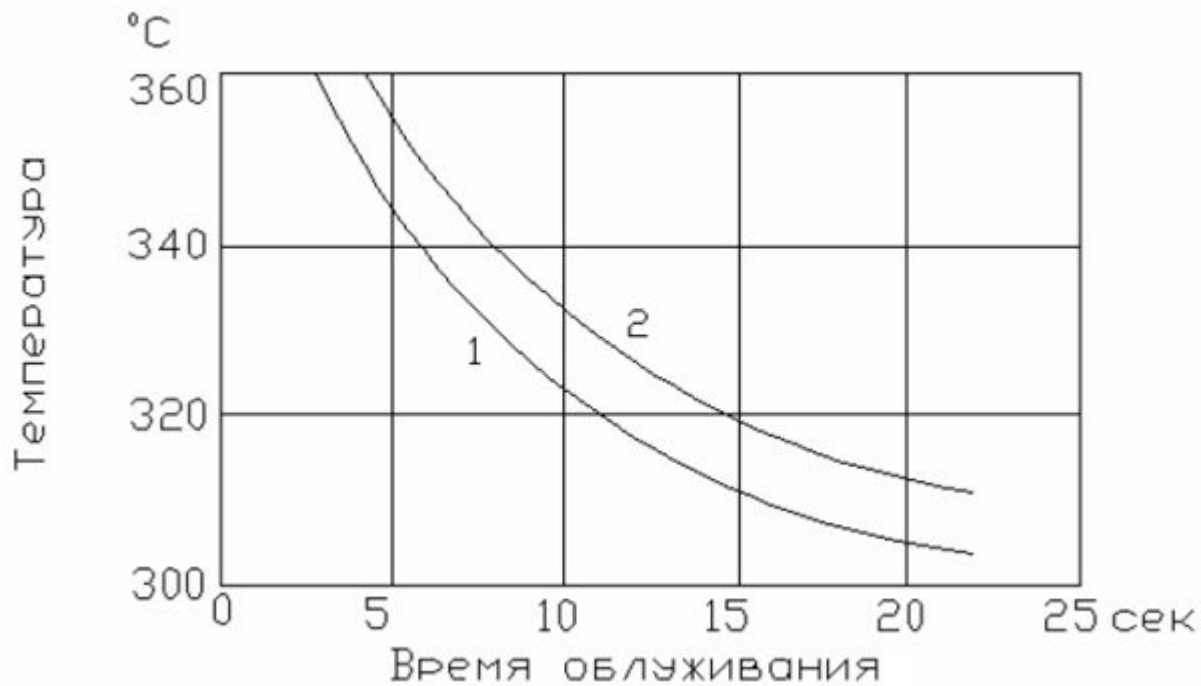
Провод	ПЭТ 200
--------	---------

Полиуретаны

ДИИЗОЦИАНАТ



Основное применение полиуретанов – получение лаков для эмалирования проводов.



Зависимость времени облуживания эмалированных проводов от температуры

1 – полиуретановая пленка

2 – полиуретановая пленка в сочетании с поливинилацетальной смолой

2. Нагревостойкость проводов ниже полиэфирной изоляции

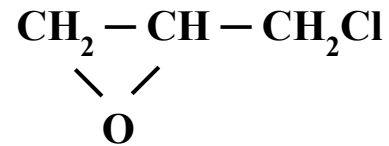
3. Низкая стойкость к нагреву в режиме К.З.

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

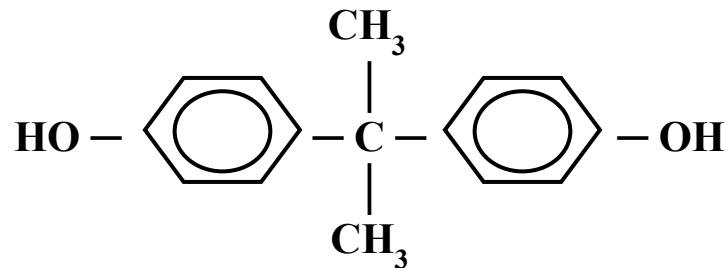
Полиуретановые каучуки

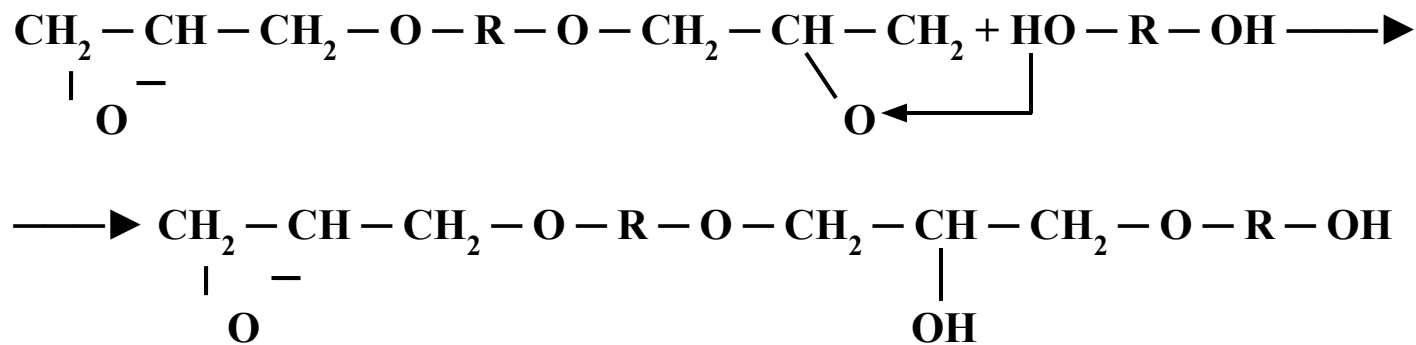
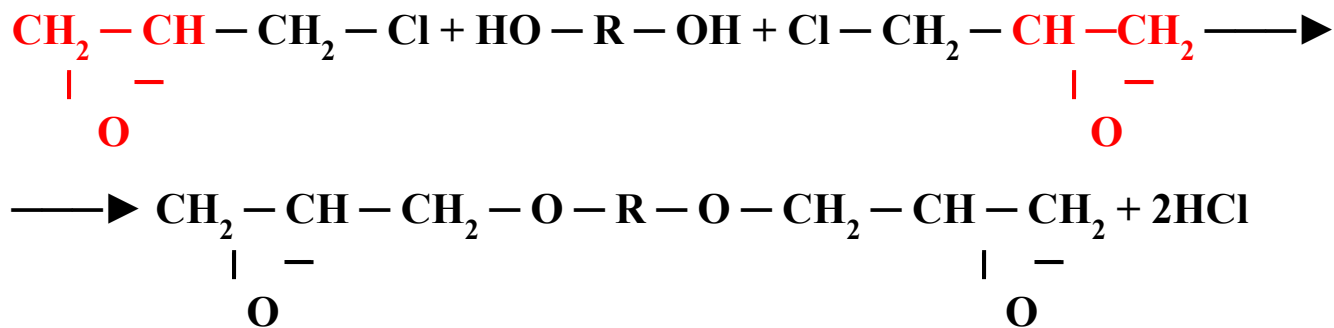
Эпоксидные смолы и составы на их основе

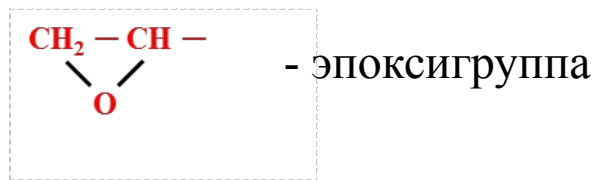
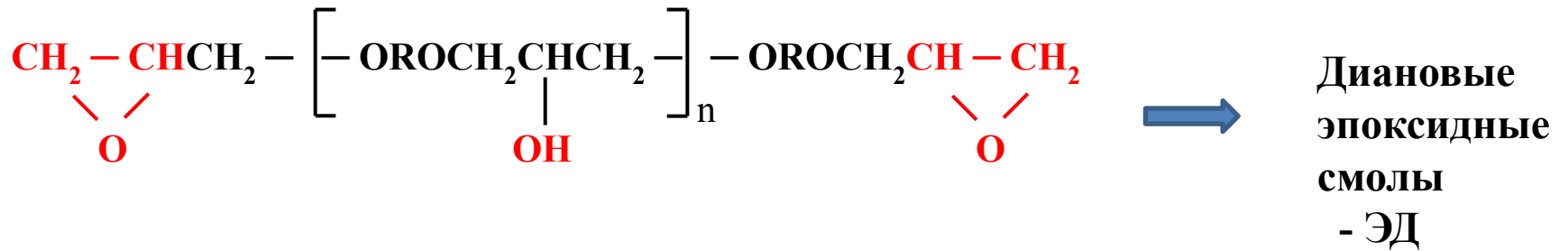
эпихлоргидрин



многоатомный фенол - дифенилолпропан (диоксидифенилпропан)







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

Отвердители

1) полиамины

2) полиамиды

3) ангидриды кислот

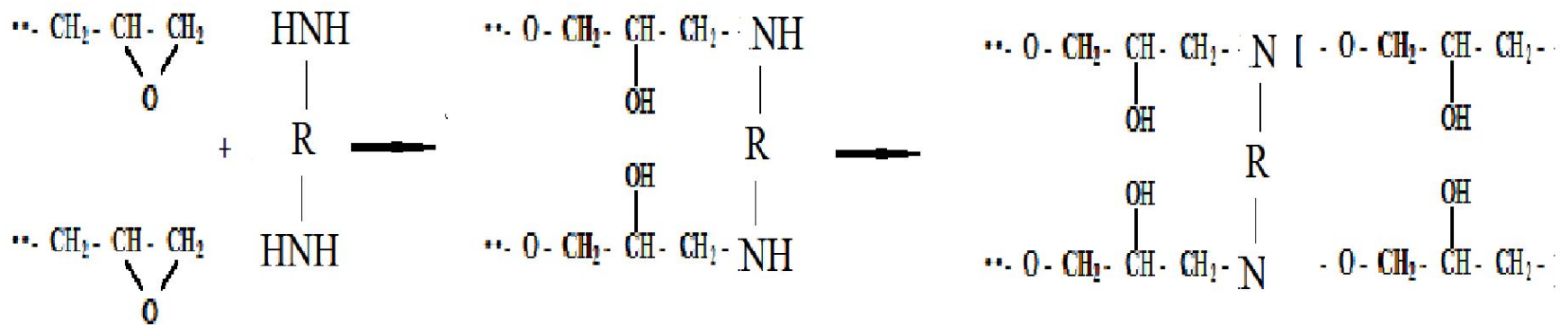
4) отвердители каталитического типа

Отвердители

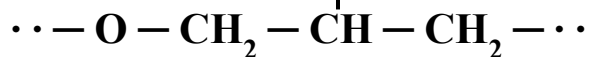
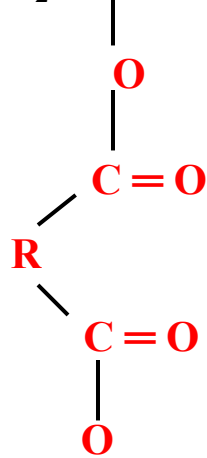
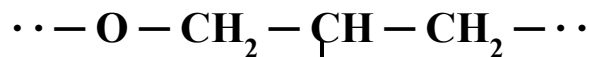
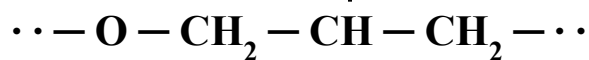
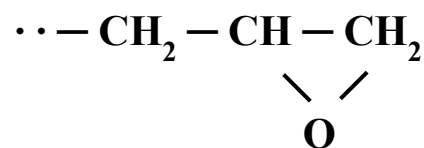
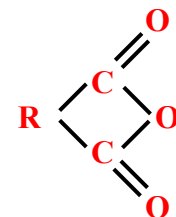
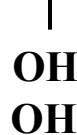
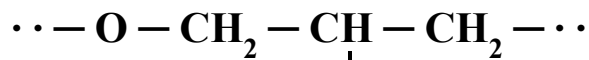
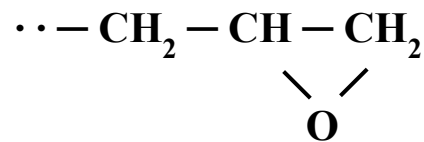
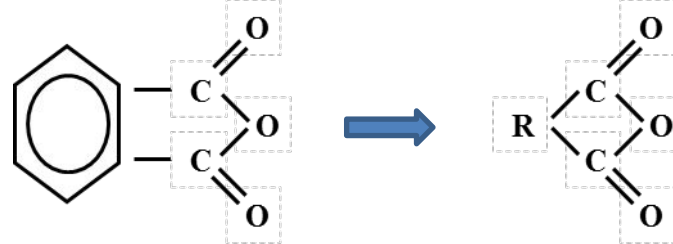
1. отверждающие на холоду (холодного отверждения) - амины
2. отверждающие при нагревании (горячего отверждения) – кислоты и ангидриды кислот

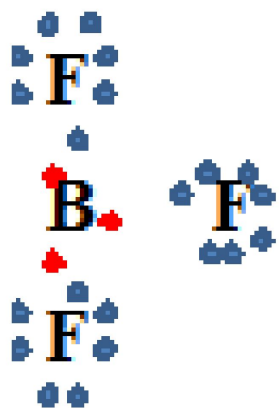
:

АМИНЫ

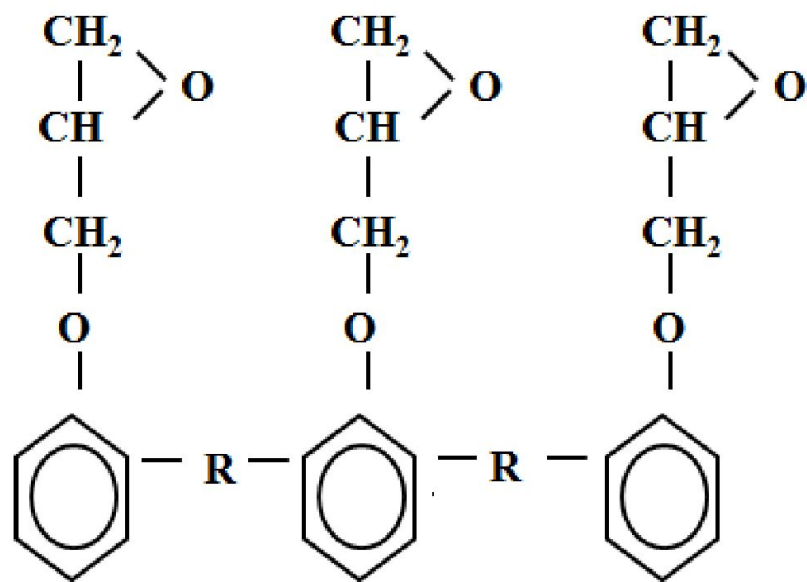


отвердитель ангидридного типа





ЭПОКСИНОВОЛАЧНЫЕ СМОЛЫ



Эпоксидные смолы

Преимущества

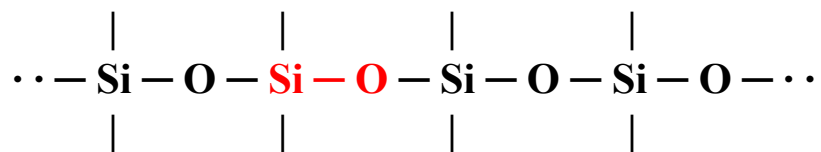
1. В процессе отверждения не выделяется летучих веществ
2. Стабильность размеров , малая усадка ($\leq 2\%$)
3. Химическая стойкость
4. Химическая инертность
5. Долговечность
6. Высокая адгезия
7. Универсальность в выборе отвердителя и условий отверждения
8. Низкая вязкость до отверждения

Недостатки

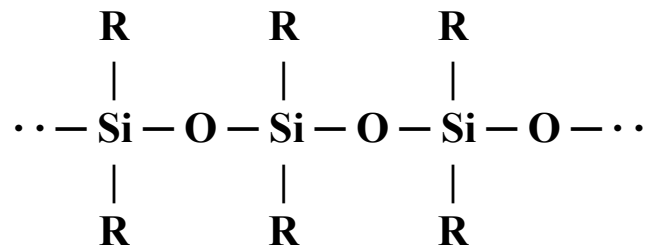
Высокий ТКЛР – $45 \div 65 \cdot 10^{-6}$ 1/град

Кремнийорганические полимеры

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

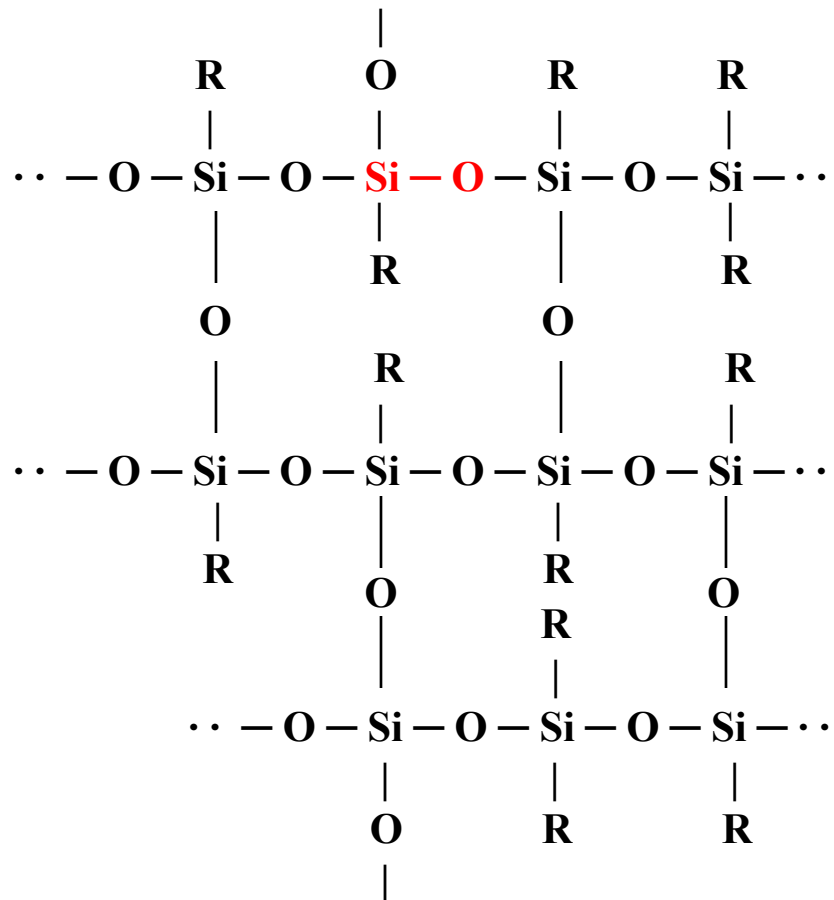


Структура линейного полиорганосилоксана:



где R – органические радикалы: CH₃, C₂H₅, C₆H₅ 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 Si O_2
3. Длительное время сушки