

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского»**

И.В. Федусенко

***КЛАССИФИКАЦИЯ  
И НОМЕНКЛАТУРА ПОЛИМЕРОВ***

Учебное пособие для студентов и аспирантов

2018 г.

В пособии рассмотрены способы классификации полимеров по способу синтеза, по химическому составу, по строению макромолекул, по области применения полимерных материалов. Описаны основные типы конфигурации и конформации макромолекул, представлены сведения о свойствах и областях применения наиболее распространенных полимерных материалов. Отдельно освещена рациональная номенклатура полимеров. Широко представлен иллюстрационный материал.

Для студентов и аспирантов.

Рекомендует к печати  
кафедра полимеров на базе ООО «Акрипол» СГУ имени Н.Г.Чернышевского

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Полимеры** – химические соединения, состоящие из большого числа повторяющихся атомных группировок (составных звеньев), соединенных химическими связями.

Для макромолекул с однотипными звеньями принято следующее написание:  $(-M-)_n$ ,

где  $M$  – элементарное (составное) повторяющееся звено цепи (или мономер),  $n$  – число звеньев, или **степень полимеризации**

При низкой степени полимеризации ( $n = 10 - 15$ ) каждый полимергомолог достаточно четко отличается от соседних с ним полимергомологов показателями физических свойств. Он может быть выделен как молекулярно-однородное вещество, а его поведение описывается всеми закономерностями, характерными для низкомолекулярных соединений. Такие вещества называют **олигомерами**.

Название полимера складывается из приставки поли- и названия элементарного повторяющегося звена.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Полимер – это общее название, данное широкому кругу материалов, обладающих высокой молекулярной массой. Полимеры существенно различаются по химическому составу, строению макромолекул, физико-механическим, реологическим и эксплуатационным свойствам, поэтому существует ряд классификаций полимеров.

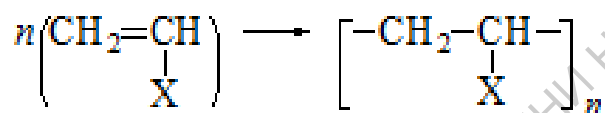
### 2.1. Классификация по способу синтеза полимеров

(или по происхождению)

Эта классификация полимеров была впервые предложена в 1929 г. американским ученым Карозерсом. Он разделил все полимеры на конденсационные и полимеризационные, а позже к ним добавили еще один класс – природные полимеры. Полимеры, синтезированные из низкомолекулярных ве-

ществ (мономеров), называют **синтетическими**. Полимеры, представляющие собой натуральные вещества (шелк, шерсть, хлопок, каучук), называют **природными**. Полимеры, полученные в результате реакций полимераналогичных превращений или физико-химической модификации природных полимеров, называют **искусственными**.

Согласно данной классификации **полимеризационными** называют полимеры, образующиеся из мономеров без изменения химического состава и выделения низкомолекулярных побочных продуктов. Например, полимеризация винилового мономера:



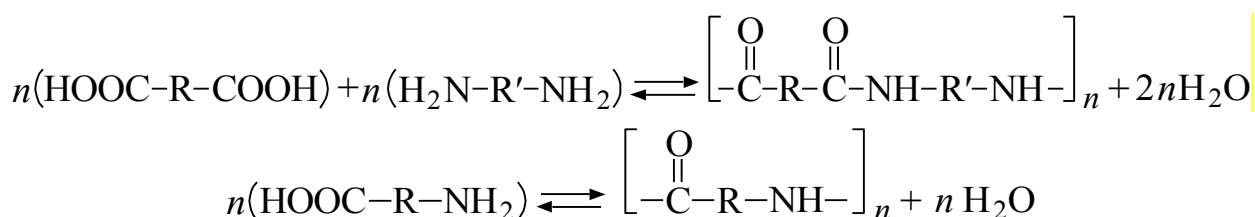
где в качестве бокового заместителя X могут быть галогены,  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{C}_6\text{H}_5$ ,  $-\text{CN}$ ,  $-\text{OCOCH}_3$  и др.

Элементный состав полимеризационного полимера и его мономера одинаков.

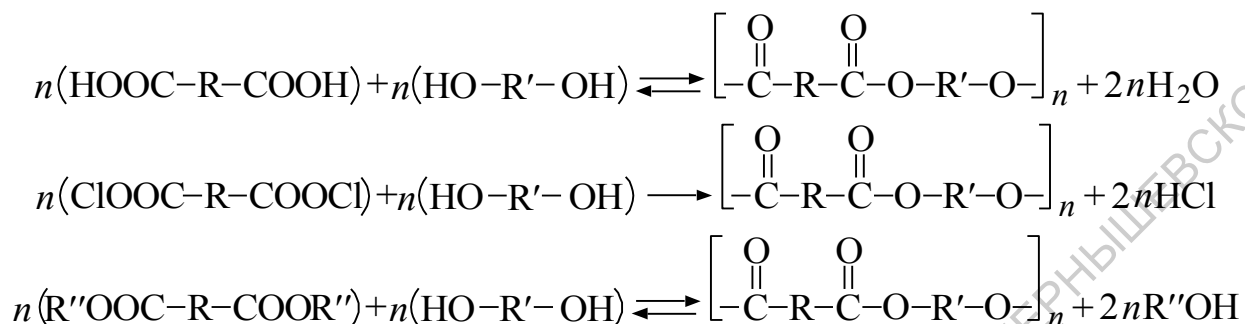
**Поликонденсационными** называют полимеры, которые образуются из полифункциональных мономеров различного строения и состава реакциями конденсации, протекающими с выделением низкомолекулярного продукта, например, воды, спиртов, аминов, галогеноводородов и т.п.

В случае поликонденсации элементный состав составного повторяющегося звена образующегося полимера отличается от состава исходного мономера (или смеси мономеров). В качестве примеров представлены наиболее типичные реакции поликонденсации.

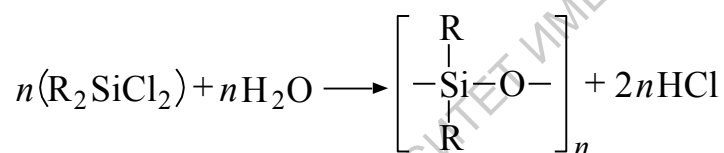
**Полиамидирование** – реакция образования полиамидов при взаимодействии диаминов и дикарбоновых кислот или при взаимодействии аминокислот:



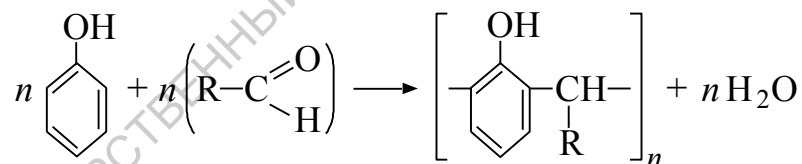
**Полиэтерификация** – реакция образования сложных полиэфиров при взаимодействии дикарбоновых кислот (или их дихлорангидридов, или диэфиров дикарбоновых кислот) с дигидроксисоединениями:



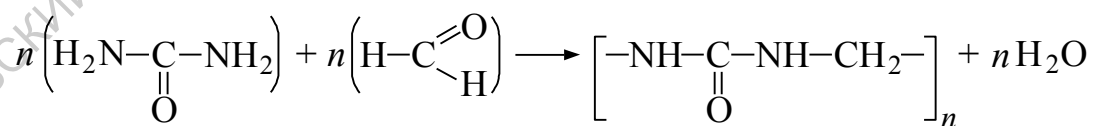
Синтез полиорганосилоксанов – гидролитическая поликонденсация органосилоксанов:



Получение фенолоальдегидных полимеров (фенолоформальдегидных смол (ФФС)) – поликонденсация фенола с альдегидами:



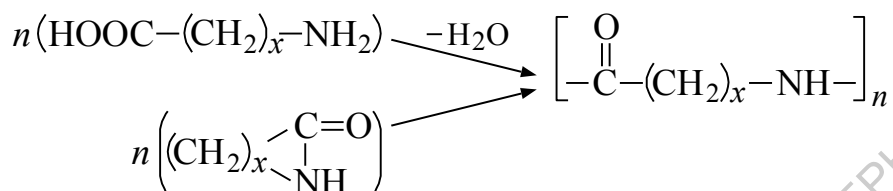
Получение мочевиноформальдегидных полимеров – поликонденсация мочевины с формальдегидом:



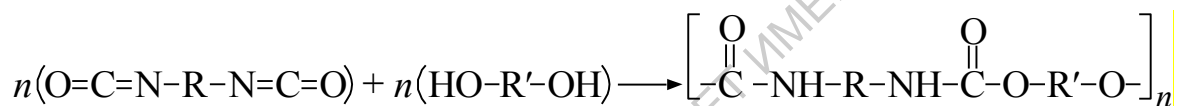
Многие природные полимеры, такие как целлюлоза, крахмал, натуральный шелк, нуклеиновые кислоты и другие, выделяемые в отдельный класс, в принципе являются также поликонденсационными, т.к. в случае каждого из них можно представить гипотетические мономеры, поликонденсацией которых получают полимеры.

Классификация, основанная на способах синтеза, несмотря на ее простоту, не позволяет провести всеобъемлющую систематизацию полимеров.

Так, например, некоторые классы полимеров можно синтезировать как реакциями полимеризации, так и реакциями поликонденсации. Некоторые полиамиды получают в результате реакции полиамидирования, а также полимеризацией соответствующего циклического лактама:



Полиуретаны, например, получают взаимодействием диизоцианатов и дигидроксисоединений:



Образование линейного полиуретана в данном случае происходит за счет миграции атома водорода от гидроксильной группы дигидроксисоединения к атому азота диизоцианата. В результате этой реакции выделения побочного низкомолекулярного продукта не происходит, состав смеси мономеров соответствует составу образующегося полимера, хотя сам он по строению элементарного звена и по специфике реакции его образования является типично поликонденсационным.

Можно привести еще примеры, когда возникает вопрос: к какому типу следует отнести данный полимер: полимеризационному или поликонденсационному?

Во избежание ошибок при определении класса полимеров предложено различать их по химическому строению составных звеньев. По этому принципу конденсационным называют полимер, если:

- 1) при его образовании выделяется низкомолекулярный побочный продукт;
- 2) в составном повторяющемся звене содержатся функциональные группы;

3) в составном повторяющемся звене отсутствуют атомы, содержащиеся в мономере (гипотетическом), который может быть продуктом деструкции полимера.

Остальные полимеры относят к полимеризационным.

## 2.2. Классификация полимеров по химическому составу

В основу классификации по химическому составу положено химическое строение составного повторяющегося звена макромолекулы. Все полимеры делятся на две группы.

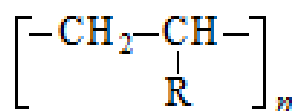
1. **Гомоцепные** – полимеры, основные цепи которых состоят из одинаковых атомов, например, углерода, серы, фосфора. Если основная цепь макромолекулы построена только из атомов углерода, то такие полимеры называются **карбоцепными**.

2. **Гетероцепные** – полимеры, основные цепи которых содержат два и более различных элементов.

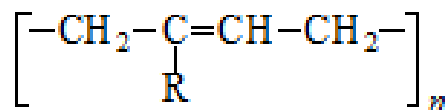
Дальнейшее деление внутри каждой из этих больших групп полимеров проводят обычно в соответствии со строением исходных мономеров, наличием тех или иных атомов или групп атомов в основных или боковых цепях.

**Карбоцепные полимеры** по строению основной цепи подразделяют на: **полимеры алифатического ряда:**

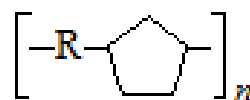
**насыщенные**



**ненасыщенные**



**полимеры алициклического ряда**



**полимеры ароматического ряда**



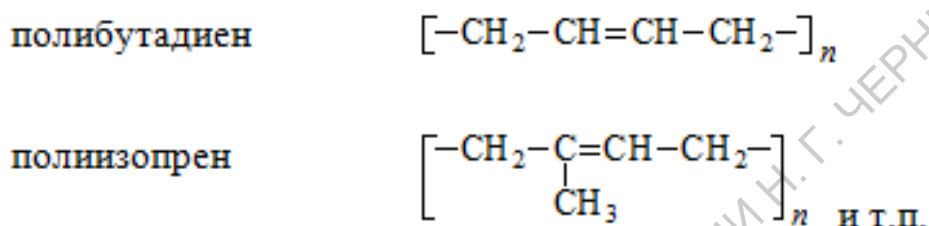
**полимеры жирноароматического ряда**



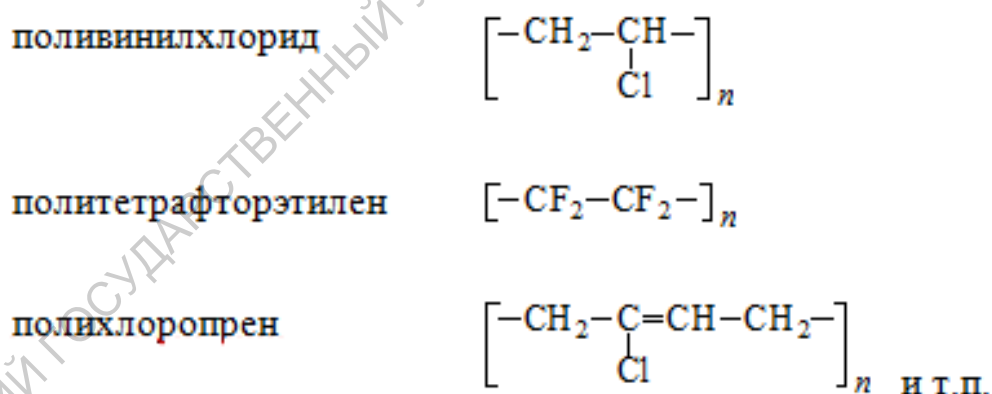
К насыщенным алифатическим карбоцепным полимерам, называемым **полиолефинами**, относят, например:



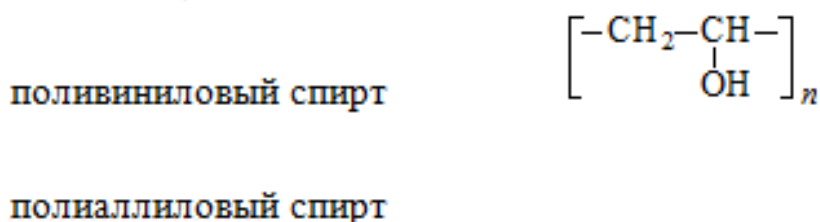
К ненасыщенным карбоцепным полимерам, называемым **полидиенами**, относят, например,



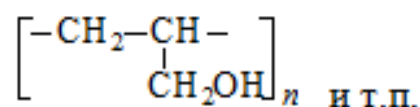
Замещенные полиолефины и полидиены классифицируют по типу функциональных боковых заместителей. Если атомы водорода замещены на атомы галогена, то эти соединения относят к группе полимеров **галогенопроизводных** предельных и непредельных углеводородов, например:



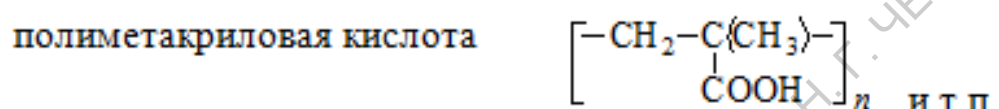
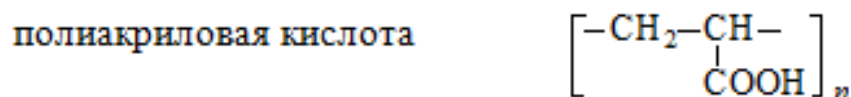
Если атомы водорода замещены гидроксильными группами, то полимер относят к **полиспиртам**:



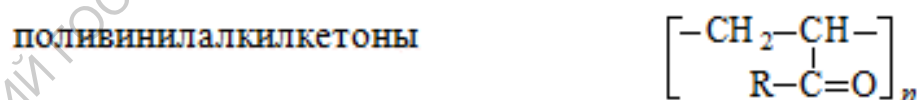
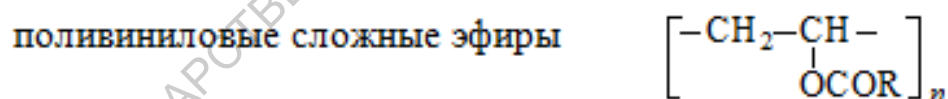
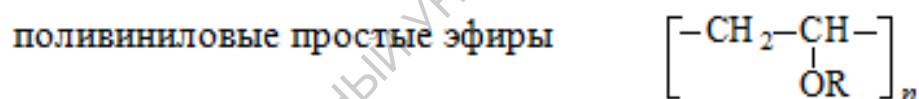




Если атомы водорода замещены карбоксильными группами, то полимер относят к **поликислотам**:



Если атомы водорода замещены карбонильными, простыми эфирными, сложноэфирными, аминогруппами и др., то такие полимеры соответственно относят к **полиальдегидам** или **поликетонам**, **простым** или **сложным полиэфирам**, **полиамидам** и т.д.:



Примерами полимеров ароматического и жирноароматического ряда служат:

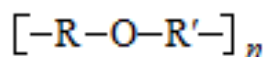


**Гетероцепные полимеры** делят на два подкласса:

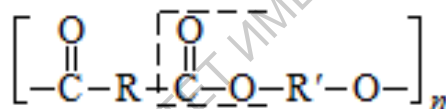
- 1) карбогетероцепные,
- 2) элементогетероцепные.

К **карбогетероцепным** относят полимеры, основная цепь которых, кроме атома углерода, содержит атомы кислорода, азота, серы, фосфора, т.е. атомы элементов, обычно входящих в состав природных органических соединений. Карбогетероцепные полимеры классифицируют по тем функциональным группам в элементарных звеньях, которые участвуют в построении основной цепи макромолекул:

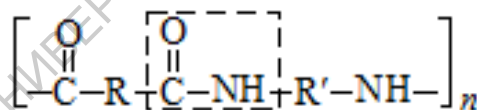
простые полиэфиры



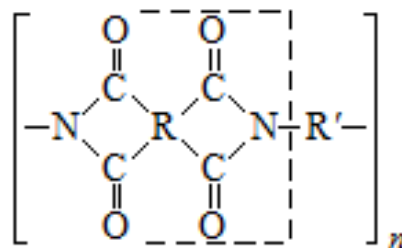
сложные полиэфиры



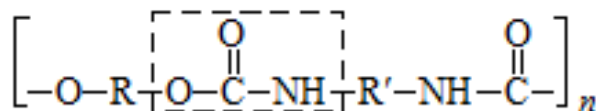
полиамиды



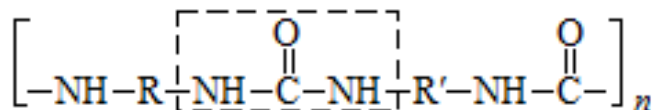
полиимиды



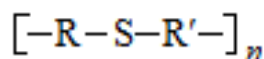
полиуретаны

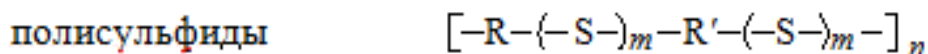


полимочевины



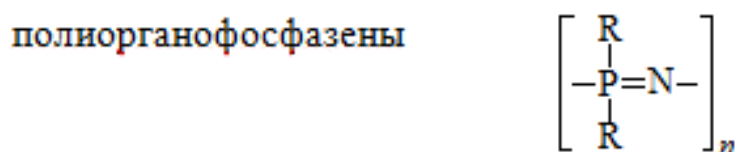
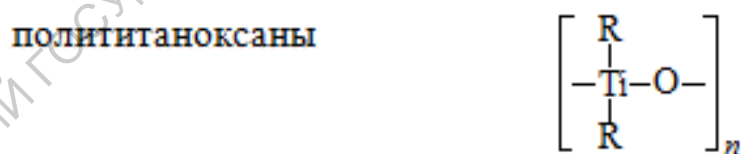
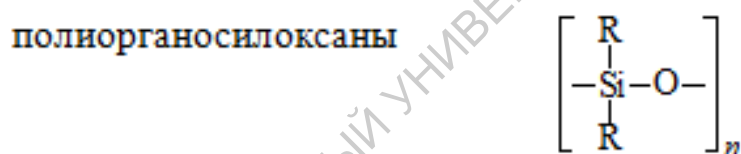
политиоэфиры





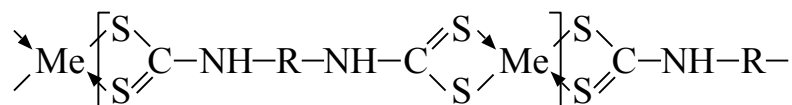
Пунктирной линией выделена характерная для данного класса полимеров группировка.

К элементогетероцепным относят такие полимеры, основная цепь которых состоит из атомов кремния, бора, алюминия, титана, никеля и других элементов, не входящих в состав природных органических соединений, а также какого-либо гетероатома, чаще всего атома кислорода. Например:

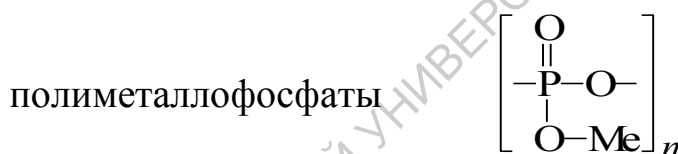


Элементогетероцепные полимеры, основная цепь которых построена из звеньев, представляющих собой хелатные внутримолекулярные циклы, называют **координационными** (хелатными, клешневидными). Хелатный

цикл образует ион металла (Zn, Ni, Cd, Pt, Cu, Fe) и органические лиганды, между которыми имеется донорно-акцепторная связь. Например:



К **неорганическим** относят полимеры, не содержащие атомов углерода, например:



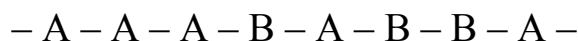
Рассматривая классификацию полимеров по химическому составу, следует отметить еще два важных понятия в химии полимеров: гомополимер и сополимер.

Полимеры, макромолекулы которых состоят из одинаковых звеньев, т.е. звеньев одного и того же состава и строения, называют **гомополимерами**.

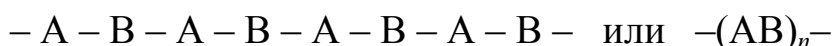
Полимеры, полученные в результате совместной полимеризации двух или большего числа мономеров различного химического состава и строения, называют **сополимерами**. В состав молекулярной цепи сополимера входят

различные звенья соответственно числу исходных мономеров. Различают четыре типа сополимеров.

**Статистические** сополимеры характеризуются произвольным распределением звеньев исходных сомономеров (А и В) по длине макромолекулы:

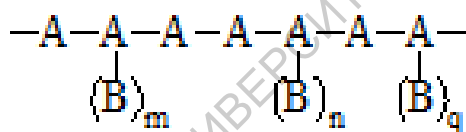


**Чередующиеся** сополимеры характеризуются строго регулярным чередованием звеньев по цепи:



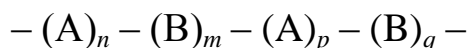
Как следует из последней формулы, чередующиеся сополимеры можно считать гомополимерами, в которых повторяющееся звено состоит из одинаковым образом связанных остатков исходных мономеров.

Строение **привитого** сополимера, синтезированного прививкой к цепи полимера  $-(A)_n-$  цепей мономера В, можно представить следующим образом:



К боковым цепям из звеньев В можно привить цепи, образованные третьим мономером. Методом последовательной прививки можно получить многократно привитые сополимеры.

Макромолекулы **блок-сополимеров** построены из химически связанных последовательностей блоков звеньев, образованных каждым из сомономеров:



Блок-сополимеры могут содержать два и более блоков различных типов.

### 2.3. Классификация полимеров по строению макромолекул

В физике и химии полимеров следует четко различать понятия конфигурации и конформации цепи.

**Конфигурация** – пространственное расположение атомов в макромолекуле, определяемое природой химических связей, их длиной и валентными углами. Это синоним понятия «химическая» (или первичная) структура.

**Конформация** – определяется размерами и пространственной формой макромолекулы, обусловленными тепловым движением мономерных звеньев, их взаимодействием друг с другом и молекулами растворителя (если макромолекулы в растворе). Различают конформацию цепи мгновенную и среднестатистическую. Составные звенья макромолекул могут быть соединены в цепи различным образом, образуя разнообразные структурные виды макромолекул. Различают следующие основные типы макромолекул (или основные типы конфигурации цепи) (рис. 1):

*Линейные:* однотяжные, циклоцепные.

*Линейные двутяжные:* лестничные, полулестничные.

*Макроциклические.*

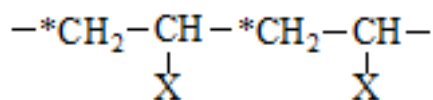
*Разветвленные:* статистические, гребнеобразные, звездообразные.

*Сетчатые:* плоскостные (паркетные), пространственные (трехмерные).

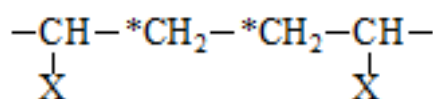
#### *Линейные полимеры.*

Макромолекулы линейных полимеров представляют собой длинные цепи. Они не имеют многозвенных ответвлений от основной цепи, но могут содержать замещающие группы различных размеров. Для оценки характера соединения составных звеньев в цепи в них условно выделяют головную («голова») и хвостовую («хвост») части (головная часть звена обозначена звездочкой). Возможны четыре варианта их соединения в цепи (структурная изомерия):

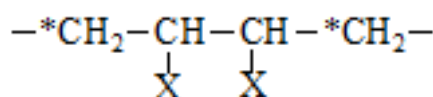
«голова к хвосту»



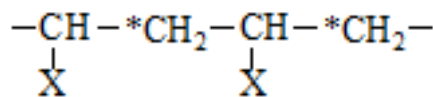
«голова к голове»



«хвост к хвосту»



«хвост к голове»



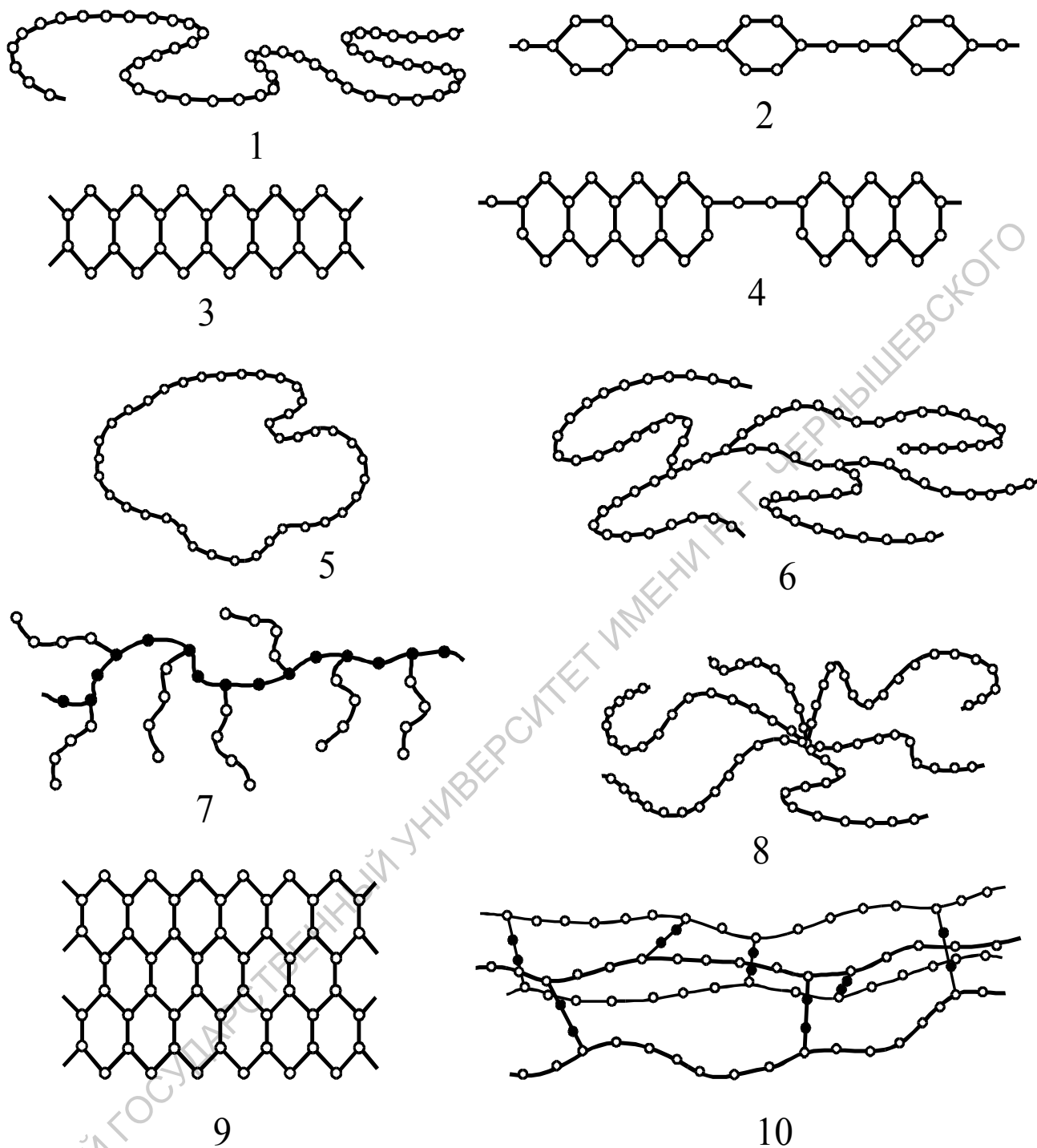


Рис.1. Основные типы макромолекул:

1 – линейные одотяжные; 2 – линейные циклоцепные; 3 – линейные двухтяжные лестничные; 4 – линейные полулестничные; 5 – макроциклические; 6 – разветвленные статистические; 7 – разветвленные гребнеобразные; 8 – разветвленные звездообразные; 9 – сетчатые плоскостные (паркетные); 10 – сетчатые пространственные (трехмерные).

Полимер является **регулярным**, если строго соблюдается один из четырех вариантов соединения мономеров в полимерную цепь. Если же мономеры в цепи соединены случайным образом, то такой полимер является **нерегулярным**.

Важным понятием химии и физики полимеров является конфигурация составного повторяющегося звена. Это понятие связано с пространственным расположением образующих составное повторяющееся звено атомов и радикалов.

В особых условиях синтеза линейных полимеров (ионно-координационная полимеризация) удается достигнуть не только полной идентичности состава звеньев и их взаимного соединения, но и определенного пространственного расположения всех замещающих групп. Такие линейные полимеры названы **стереорегулярными**. Стереорегулярные полимеры одного и того же состава, но разных изомерных форм, отличаются поведением в химических реакциях, структурой, физико-механическими свойствами. Различают изотактические и синдиотактические стереорегулярные полимеры.

В **изотактических** полимерах все заместители находятся по одну сторону от воображаемой плоскости макромолекулы, и порядок расположения этих групп в элементарных звеньях одинаков при каждом втором атоме углерода.

В **синдиотактических** полимерах заместители расположены по разные стороны от воображаемой плоскости основной цепи в строго регулярной последовательности.

Полимеры, у которых заместители расположены в пространстве нерегулярно, называют **атактическими**.

На рис. 2 приведены схематические изображения изотактических (а), синдиотактических (б) и атактических (в) полимеров, полученные в предположении, что основная цепь располагается в очерченной плоскости, а заместители – выше и ниже ее.



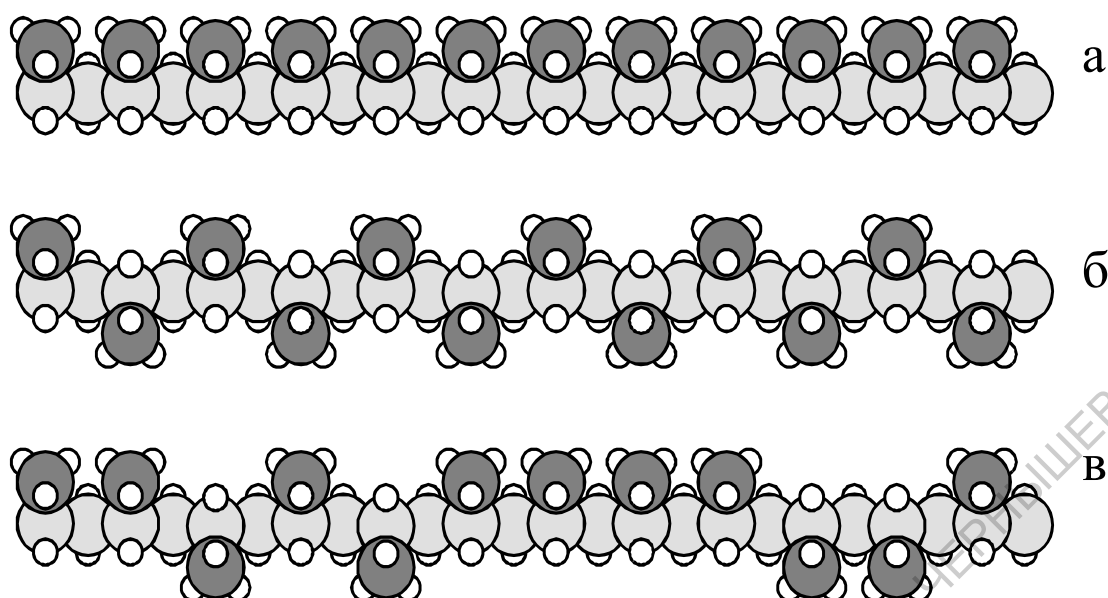
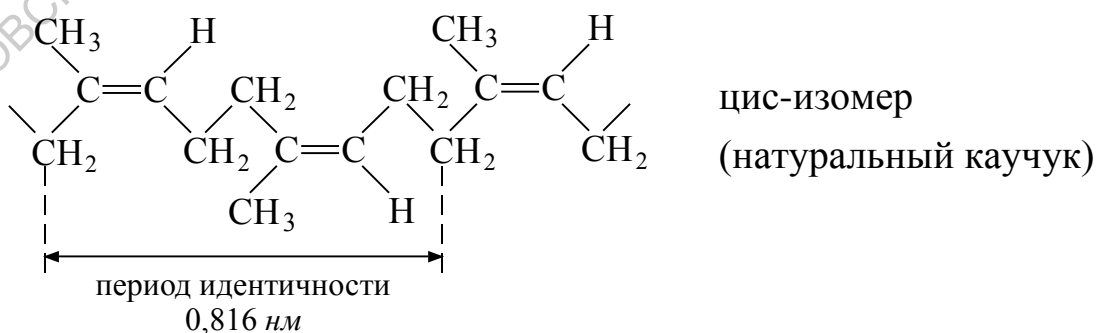
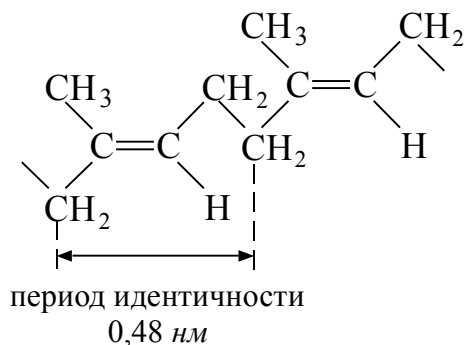


Рис. 2. Схематические изображения: а – изотактического, б – синдиотактического, в – атактического полимеров

Если звенья содержат двойные связи, то вращательная подвижность атомов вокруг этих связей требует значительной затраты энергии. В этом случае наиболее энергетически выгодное расположение замещающих групп, присоединенных к атомам, связанным между собой двойной связью, становится устойчивой конфигурацией данного звена, обуславливая появление в макромолекуле геометрической (цис-транс) изомерии. В полимерах, являющихся геометрическими изомерами, макромолекулы имеют одинаковый состав звеньев, но повторяющиеся участки одинаковой пространственной структуры (или период идентичности) в них различны. Например, для полиизопрена

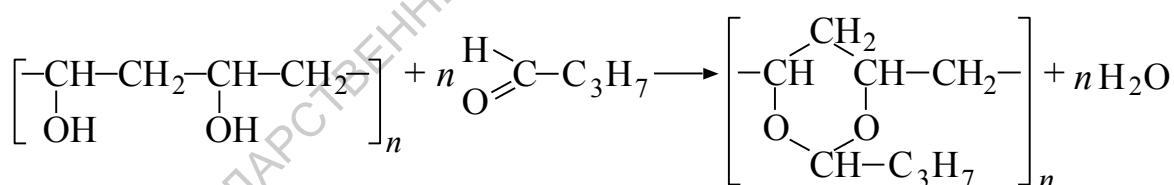




транс-изомер  
(гуттаперча)

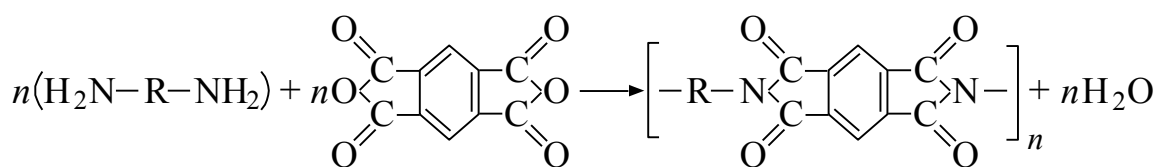
Стереорегулярные полимеры, полученные из цис-изомера, называют **эритро-дитактическими**, а из транс-изомера – **трео-дитактическими**.

Линейные однотяжные цепи образуют, как правило, макромолекулы, состоящие из последовательно соединенных повторяющихся звеньев формулы  $-\text{CH}(\text{R})-\text{CH}_2-$  (например, полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, поливиниловый спирт и т.п.), а также некоторые природные полимеры (например, цис-полиизопрен и целлюлоза). К числу линейных однотяжных относят также полимеры циклоцепной структуры. Например, поливинилбутираль, получаемый в результате реакции поливинилового спирта с масляным альдегидом:



К однотяжным относятся также циклоцепные полимеры, в которых циклические структуры разделены хотя бы одной простой связью. Линейными циклоцепными полимерами однотяжного типа являются многочисленные полигетероарилены – полиимиды, полибензоксазолы, полибензимидазолы и др.

Например, полиимиды, получаемые поликонденсацией диангидридов тетракарбоновых кислот с диаминами:



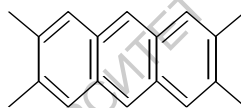
*Линейные двухтяжные полимеры.*

Лестничными называют полимеры со сдвоенной цепью или с регулярной линейной сеткой. К ним, как правило, относятся полимеры, макромолекулы которых состоят из конденсированных циклов, соединенных между собой через два или более общих атомов, например:

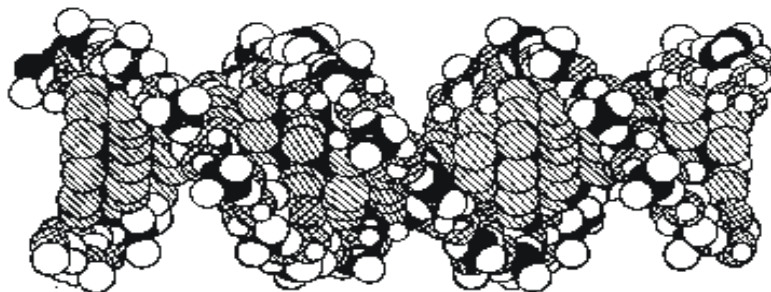
циклический полибутадиен



полиацен

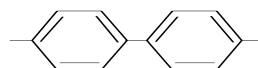


ДНК



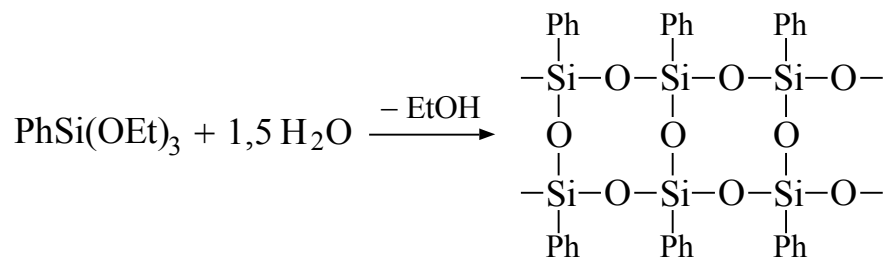
Если циклы соединены через один общий атом, то такие лестничные полимеры называются **спирополимерами**:

полифенилен



и др.

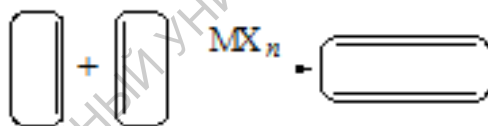
К лестничным двухтяжным относятся также кремнийорганические полимеры. Так, например, при гидролитической поликонденсации фенилтриэтоксисилана в специальных условиях синтезирован лестничный полифенилсилоксан с молекулярной массой более 1 млн ед.:



В реальных лестничных полимерах регулярность структуры нарушается, и часто конденсированные полициклические фрагменты чередуются с линейными и разветвленными участками. Такие полимеры называются полулестничными или блок-лестничными полимерами.

#### *Макроциклические полимеры.*

Макроциклические полимеры получают реакциями полимеризации и поликонденсации. Наиболее типичным примером их синтеза является реакция метатезиса (обмена) циклоолефинов:



где  $\text{MX}_n$  – галогениды вольфрама или других металлов.

Молекулярная масса образующихся циклических полиенов превышает несколько десятков тысяч.

К макроциклическим полимерам относятся также кольцевые ДНК (плазмиды) (рис. 3):

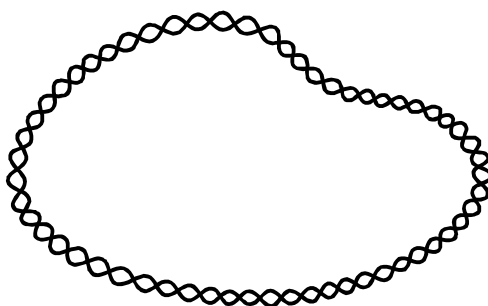


Рис. 3. Схематическое изображение кольцевой молекулы ДНК.

### *Разветвленные полимеры.*

Макромолекулы разветвленных полимеров представляют собой цепи разной длины, с различным числом боковых ответвлений. По химическому составу боковые ответвления могут отличаться от звеньев основной цепи. Если боковые ответвления многозвенны и их размер превышает размер сегмента, характеризующего в выбранных условиях поведение аналогичного ему гомополимера, то разветвленный полимер приобретает свойства, типичные для привитого сополимера.

Наличие в макромолекулах коротких и часто расположенных боковых ответвлений приводит к увеличению растворимости полимера и понижению вязкости его раствора по сравнению с линейными полимерами того же состава и той же молекулярной массы. В твердом состоянии такие полимеры представляют собой аморфные вещества, характеризующиеся низкой плотностью упаковки.

### *Сетчатые полимеры.*

Сетчатые плоскостные полимеры с регулярным плоскостным строением макромолекул в виде пластинок из конденсированных циклов толщиной в мономолекулярный слой – паркетное строение – известны среди природных соединений, например, нитрид бора. Эти полимеры отличаются исключительно высокой теплостойкостью (до 3000°C в инертной среде), жесткостью, повышенной хрупкостью. Синтетические полимеры аналогичной структуры получают пиролизом некоторых карбо- и гетероцепных полимеров (графитоподобные полимеры).

Сетчатые пространственные полимеры состоят из длинных многозвенных цепей, соединенных ковалентными связями в направлении, перпендикулярном основным цепям, в единую пространственную сетку. Длина продольных цепей и частота расположения поперечных связей могут быть различными. В зависимости от частоты поперечных связей (плотности узлов) различают полимеры **редкосетчатые** и **густосетчатые** (трехмерные).

Полимер пространственной сетчатой структуры можно рассматривать как единую макромолекулу, что и обуславливает ряд его характерных свойств. Сетчатые полимеры нерастворимы и лишь набухают в результате

проникновения в объем пространственной сетки полимера молекул низкомолекулярной жидкости. Известны сетчатые полимеры с более или менее регулярным распределением поперечных связей по длине продольных цепей, т.е. с примерно одинаковой плотностью сетки по объему полимера.

Как отмечалось выше, в зависимости от соотношения внешних сил и теплового движения, макромолекулы могут принимать различные конформации (рис. 4):

*Конформация статистического клубка* – это более или менее свернутая конформация. Обычно такую конформацию принимают линейные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полибутадиен, полиизопрен, тринитроцеллюлоза и др.), лестничные (полифениленсилоксан и др.).

*Конформация спирали* характерна, как правило, для белков и нуклеиновых кислот.

*Конформация глобулы* – это очень компактная частица, по форме близкая к сферической. Такую конформацию имеют макромолекулы полимеров с очень сильным внутримолекулярным взаимодействием, например, полимеры, содержащие атомы фтора (политетрафторэтилен).

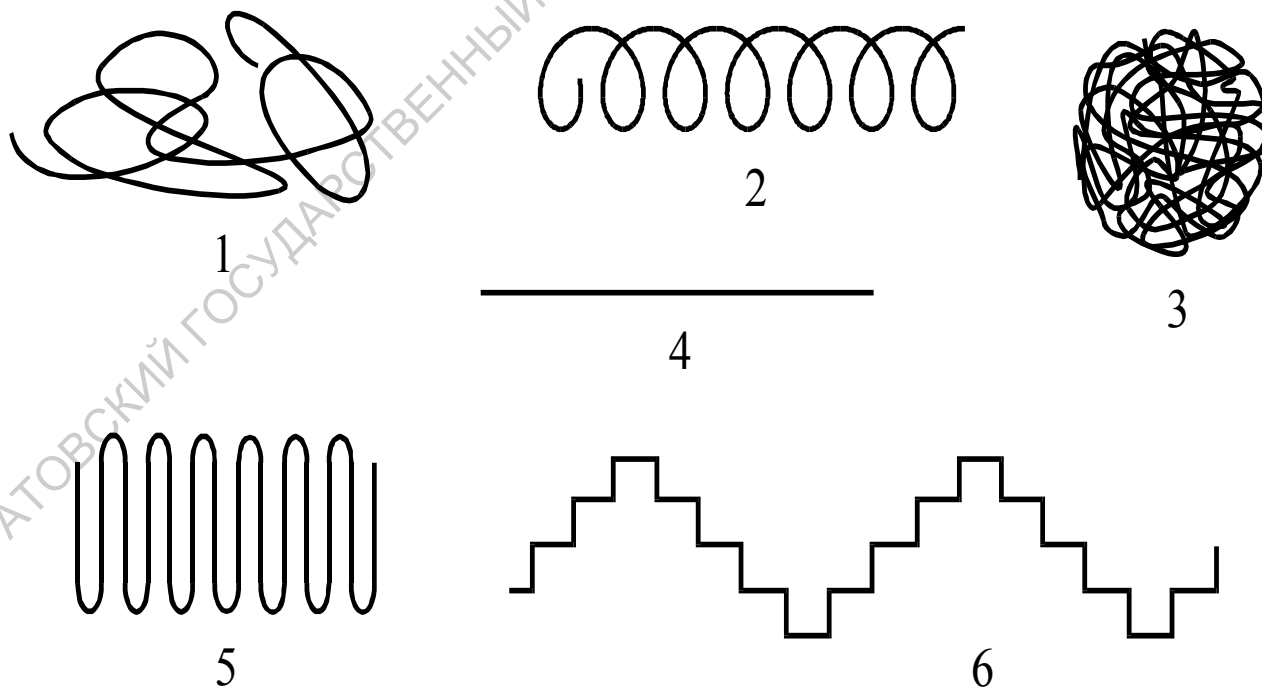


Рис. 4. Конформации макромолекул:

1 – статистический клубок; 2 – спираль; 3 – глобула; 4 – струна (стержень); 5 – складчатая; 6 – коленчатый вал.

*Конформация стержня* обнаружена для некоторых алкилполиизоцианатов.

*Складчатая конформация* характерна для полимеров в кристаллическом состоянии.

*Конформация коленчатого вала* обнаружена у поли-*n*-бензамида.

## **2.4. Классификация полимерных материалов по области применения**

В зависимости от области применения полимеры подразделяются на пластические массы (пластмассы), эластомеры, пленки, волокна и композиционные материалы.

**Пластмассы** (густосетчатые полимеры). Пластическими массами (пластмассами, пластиками) называют материалы, полимерная основа которых на стадии формования изделий находится в высокоэластическом или вязкотекучем состоянии, а при эксплуатации — в стеклообразном или кристаллическом.

К началу нового тысячелетия суммарное потребление пластика в мире (по объему) превысило потребление черных и цветных металлов. Столь бурный рост выпуска пластических масс обусловлен рядом причин, к числу которых относятся расширение сырьевой базы для их производства, возможность получения материалов с заданными свойствами путем направленного синтеза полимеров и их химической модификации, высокий коэффициент использования пластика, экономичность процессов переработки и пр.

Пластмассы обычно являются многокомпонентными системами. Помимо полимера в их состав вводят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители и др. компоненты. Пластмассы могут быть гомогенными

(однофазными) и гетерогенными (многофазными). В гомогенных пластиках полимер является основным компонентом, определяющим свойства материала, а остальные компоненты в нем растворены. В гетерогенных пластиках полимер является дисперсионной средой (связующим), в которой диспергированы другие компоненты. Чем большая доля связующего находится в сфере влияния поверхности наполнителя, тем в более широком диапазоне изменяются свойства материала и изделия. Наполнитель в пластиках применяют в газовой или конденсированной фазе.

К числу газонаполненных пластмасс относятся пенопласты и поропласты. Это наиболее легкие из всех пластиков: их плотность составляет 0,02–0,8 г/см<sup>3</sup>. Газонаполненные пластмассы обладают высокими электро-, звуко- и теплоизоляционными свойствами.

Свойства пластиков с твердым наполнителем определяются типом наполнителя, степенью наполнения и дисперсности. Мелкие частицы наполнителя повышают модуль упругости изделия, теплоизоляционные и электропроводящие свойства. Для получения пластиков низкой плотности используют наполнители в виде полых частиц.

Такие материалы, называемые синтактическими пенами, обладают хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами. Прочность пластиков повышается, когда в качестве наполнителей применяют природные и синтетические волокна.

В зависимости от характера процессов, происходящих при формовании изделий, пластмассы делят на термопласты и терморектопласты.

*Термопласты* при нагревании размягчаются и переходят из твердого состояния в вязкотекучее, при охлаждении процесс перехода из одного состояния в другое осуществляется в обратном направлении. Наиболее распространенными термопластами являются пластики на основе полиэтилена, поливинилхлорида, полистирола, полиамидов.

Полиэтиленовые пластики легко формуются в изделия сложной формы, химически стойки, устойчивы к ударным и вибрационным нагрузкам, имеют высокие электроизоляционные свойства и низкую плотность. Полиэтиленовые пластики используют для изоляции проводов и кабелей, в качестве ди-



электриков. Из полиэтилена изготавливают емкости для хранения агрессивных сред, детали различных машин, пленки технического и бытового назначения.

Жесткий пластик на основе поливинилхлорида (винипласт) значительно прочнее полиэтиленовых пластиков, хотя более сложна стадия его формования. Наиболее широко применяется пластифицированный поливинилхлорид (пластикат). Около 20% общего производства поливинилхлоридных пластиков расходуется на производство электроизоляционных материалов. Их также используют в строительстве для изготовления деталей окон, дверей, покрытий для полов и т. п. Поливинилхлорид применяется в производстве искусственной кожи, упаковочных материалов и тары для пищевых продуктов, детских игрушек и в медицине.

Пластики на основе полистирола по прочности практически не уступают винипласту, но более хрупки, менее устойчивы к действию растворителей и горючи. Наибольшее применение получили пластики на основе сополимеров стирола с бутадиеном или акрилонитрилом. Ударопрочный полистирол (сополимер стирола с бутадиеном) используют для изготовления корпусов и деталей мебели, конторского оборудования, деталей машин для пищевой и текстильной промышленности, корпусов телевизоров, для упаковки пищевых продуктов и лекарственных препаратов, изготовления посуды разового пользования, игрушек и т.д.

Пластмассы на основе полиамидов применяют вместо цветных металлов для изготовления конструкционных деталей: подшипников, корпусов, каркасов, эксплуатируемых при температурах от  $-60^{\circ}$  до  $150^{\circ}$ С. В зависимости от наличия кристаллической фазы термопласты подразделяют на аморфные и аморфно-кристаллические (от 40 до 90 % кристаллической фазы). Например, к аморфным полимерам относят атактические полиметилметакрилаты, полиакрилаты, полистирол и др.; к аморфно-кристаллическим — поликарбонаты, полиарилаты, полисульфоны, полиолефины, полиамиды, полибутилентерефталат и др.

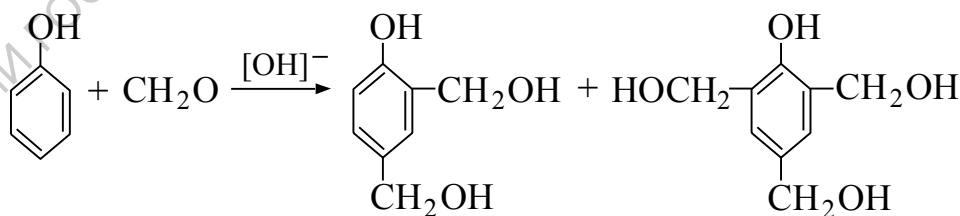
*Терморектотпласты* — материалы, переработка которых в изделия при нагревании сопровождается химическими реакциями образования про-

странственно-сшитых структур. Синтез реактопластов осуществляют в несколько стадий. Сначала получают олигомеры, а затем проводят реакцию их отверждения. Олигомеры отверждаются самопроизвольно или с помощью полифункционального низкомолекулярного вещества — отвердителя. Изделия из реактопластов теплостойки, имеют более высокий модуль упругости и более низкий температурный коэффициент расширения.

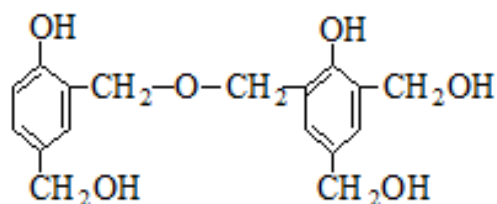
Реактопласты изготавливают, применяя в качестве связующего полиимиды, фенолоформальдегидные, эпоксидные или анилиноформальдегидные смолы.

Различие в химическом составе, строении, структуре термореактивных связующих, использование дисперсных и волокнистых наполнителей, отвердителей, стабилизаторов и других компонентов позволяет получать материалы конструкционного и электротехнического назначения (в широком диапазоне теплофизических и деформационно-прочностных характеристик), применяемых в различных отраслях промышленности.

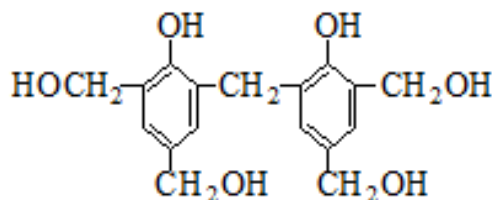
Наиболее широкое применение нашли фенолоальдегидные смолы и материалы на их основе. Фенолоальдегидные смолы — продукты взаимодействия фенолов и альдегидов (формальдегида). В зависимости от условий синтеза различают два вида формальдегидных смол — резольные и новолачные. Резольные смолы получают при взаимодействии фенола с избытком формальдегида (7:6) в щелочной среде, при этом одновременно получают ди- и триметилольные производные фенола:



Образующиеся производные фенола устойчивы только в щелочных средах и при низкой температуре. При увеличении концентрации ионов водорода в реакционной среде или повышении температуры эти соединения вступают в реакции поликонденсации между собой, образуя при этом:



ИЛИ



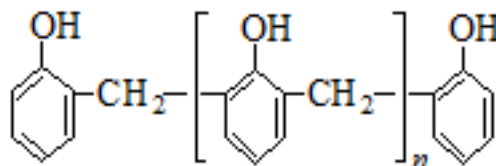
Полученные соединения сохраняют метилольные группы, способные на следующей ступени реакции вступать во взаимодействие с образованием разветвленных соединений.

В случае, когда получаемые соединения планируется использовать для производства клеев, лаков, связующих фенопластов, реакцию останавливают на стадии образования олигомеров ( $M = 400 - 1000$  ед.), называемых фенолоформальдегидной смолой (ФФС). ФФС представляет собой аморфную, стекловидную смолу янтарного цвета. При нагревании до  $90^\circ\text{C}$  соединение переходит в вязкотекучее состояние. ФФС хорошо растворима в различных растворителях (этаноле, ацетоне, бензоле). Фенолоформальдегидная смола, содержащая непрореагировавшие метилольные группы, способные к участию в дальнейших реакциях, получила название фенольной смолы (**резола**).

При дальнейшем нагревании резола происходит увеличение молекулярной массы, появляются разветвленные структурные образования и образуется пространственная сетка в объеме полимера. Полимер, сохраняющий способность к переходу в вязкотекучее состояние и набуханию в растворителях, называют **резитолом** (степень отверждения до 50 %). Резитол можно формовать при невысоких давлениях, до 50 МПа.

По мере увеличения степени отверждения полученное соединение утрачивает свою текучесть и способность к набуханию в растворителях. Нерастворимое и неплавкое соединение конечной стадии поликонденсации фенола и формальдегида называют **резитом**.

Новолачные смолы получают в кислой среде при взаимодействии избытка фенола (6:5) с формальдегидом, при этом образуются олигомеры ( $M = 600 - 1300$  ед.) типа:



где  $n = 4 \div 8$ .

Такие соединения получили название новолачных смол (**новолаков**).

Новолаки не имеют метилольных групп и не могут вступать в реакцию поликонденсации при нагревании, в отличие от резолов.

Фенопласты – конструкционные материалы на основе фенолоальдегидных связующих. Широко применяются в приборостроении, авиационной и космической технике.

**Эластомеры** (редкосетчатые полимеры). К эластомерам относят полимеры и материалы на их основе, обладающие высокоэластическими свойствами во всем диапазоне температур их эксплуатации. Типичные эластомеры — каучуки и резины. Натуральный каучук – продукт растительного происхождения, содержащийся в млечном соке (латексе) каучуконосных растений, который содержит 98–99% звеньев изопрена, соединенных в положении 1,4-цис.

Синтетические каучуки (например, бутадиеновые, бутадиенстирольные, изопреновые и т. п.) могут быть переработаны в резину. По области применения их делят на каучуки общего назначения (применяются в производстве шин, резиновой обуви и др.) и каучуки специального назначения, обладающие некоторыми специфическими свойствами (например, масло-, бензо- или морозостойкие).

Технологический процесс, при котором каучук превращается в резину в результате соединения макромолекул поперечными связями (сшивками) в пространственную сетку, называется *вулканизацией*. Химическая природа сшивков определяется типом самого процесса сшивания. Однако свойства ко-

нечного продукта в большей степени определяются плотностью сшивания (числом швов в единице объема) и длиной швов. В эластомерах цепи между швами остаются подвижными. При растяжении цепи принимают более вытянутые конформации, поэтому удлинение при разрыве очень велико. Снятие напряжения сопровождается возвращением к начальной конформации, в связи с чем резина мгновенно возвращается в начальное состояние без какой-либо остаточной деформации. В слабо сшитых сетках сегменты цепи между узлами швов могут двигаться относительно свободно: при температурах ниже температуры стеклования, полимер ведет себя как реактопласт, выше температуры стеклования — как эластомер.

Полимер с высокой плотностью сшивания является жестким как выше, так и ниже температуры стеклования. Плотность сшивания определяет потребительские свойства материала.

Каучуки редко используют без добавок других химических соединений. Синтетические каучуки - это сложные композиции. Сначала каучук подвергают пластикации (механической деструкции) с целью снижения молекулярной массы и облегчения его переработки. При вулканизации в присутствии сшивающего агента, например серы, происходит превращение «вязкой» резиновой смеси в «упругий» эластомер - резину. Температура стеклования при этом существенно возрастает. С целью снижения температуры стеклования в эластомеры вводят пластификаторы (минеральные масла, технический углерод и др.). Резины получают из композиций (так называемых резиновых смесей), которые, помимо каучука, содержат вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, наполнители, пластификаторы, стабилизаторы (главным образом антиоксиданты и фотостабилизаторы), красители и др. Наиболее простые резиновые смеси содержат до 5 компонентов, сложные - до 20. Выбор типа каучука и компонентов, а также их количественное соотношение в смеси определяется назначением резин. В зависимости от назначения резины делят на следующие основные группы:

- Резины общего назначения, предназначенные для работы в интервале температур от  $-50$  до  $150^{\circ}\text{C}$ . Они изготавливаются на основе натурального,

синтетических изопреновых, бутадиеновых, бутадиен-стирольных, хлоропреновых каучуков.

- Теплостойкие резины, предназначенные для работы в интервале температур 150–200°C. Их получают из этилен-пропиленовых каучуков и бутилкаучука.

- Морозостойкие резины, пригодные для эксплуатации при температурах ниже –50°C, основой которых являются стереорегулярные бутадиеновые, кремнийорганические и бутадиен-нитрильные каучуки.

- Масло- и бензостойкие резины, которые получают из бутадиен-нитрильных, полисульфидных, уретановых, хлоропреновых, фторсодержащих каучуков.

- Резины, стойкие к действию агрессивных сред (кислот, щелочей, озона). Их получают на основе бутилкаучука, бутадиен-нитрильных, кремнийорганических, фторсодержащих, хлоропреновых, акрилатных каучуков.

- Электропроводящие резины. Для их получения используют полярные бутадиен-нитрильные каучуки, а также каучуки общего назначения, наполняемые ацетиленовой сажей.

- Диэлектрические (кабельные) резины, которые получают на основе кремнийорганических, изопреновых и других каучуков с неорганическими наполнителями.

Номенклатура резиновых изделий, изготавливаемых на основе синтетических каучуков, насчитывает несколько десятков тысяч. Более половины общего объема потребления каучуков приходится на шинную промышленность. Каучуки применяют также для изготовления обшивки подводных лодок, транспортерных лент, приводных ремней, деталей для автомобилей, в производстве резиновой обуви, прорезиненных тканей, изделий санитарии и гигиены, бытовых резиновых изделий в электротехнической промышленности, в токопроводящих полимерных покрытиях, для изоляции кабелей и т.д.

**Пленки.** К полимерным пленкам относят обычно сплошные слои полимеров толщиной до 0,2–0,3 мм. Более толстые слои полимерных материалов называют листами или пластинами. Пленки производят из природных, искусственных и синтетических полимеров.

К первой группе относятся пленки, получаемые из белков, натурального каучука, целлюлозы и некоторых других природных полимеров. Наибольшее распространение в этой группе получили гидратцеллюлозные пленки (целлофан). Ко второй группе относятся пленки из искусственных полимеров, т. е. продуктов химической модификации природных полимеров: эфиоцеллюлозные, гидрохлоридкаучуковые и другие. Самую большую группу составляют пленки на основе синтетических полимеров. Наибольшее распространение получили полиамидные, поливинилхлоридные, полиимидные, полиолефиновые, полистирольные и полиэтилентерефталатные пленки. Многообразие видов применяемых пленок определяет разнообразие методов их производства. Метод производства пленки определяется химической природой полимера и назначением готовой пленки. Существует несколько методов получения полимерных пленок, среди которых наибольшее распространение получили экструзия расплава полимера, полив раствора полимера на полированную поверхность, каландрование, электрохимическая полимеризация на подложке и некоторые другие.

Основной объем изготавливаемых в мире полимерных пленок приходится на пленки, получаемые экструзией расплава полимера. Большинство синтетических полимеров (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат) перерабатывается в пленки именно этим методом. Для его осуществления используют экструдеры с кольцевой (рукавная пленка) или плоскощелевой (плоская пленка) головкой.

Процесс производства рукавной пленки заключается в непрерывном выдавливании расплава полимера через кольцевидную фильеру в виде рукава и последующем его раздуве до необходимых размеров. Пленочный рукав охлаждают с наружной и внутренней сторон воздухом или жидкостью. Таким способом получают пленки шириной от 50 до 24 000 мм, толщиной от 0,005 до 0,5 мм.

Плоскощелевой способ позволяет формировать неориентированные (изотропные), а с помощью специальных растягивающих устройств — одноосно или двухосно ориентированные пленки. Этот способ предпочтителен в тех случаях, когда необходимо получить равнотолщинную пленку с высоким ка-

чеством поверхности. Этим методом изготавливают как товарную пленку, так и заготовки для последующей ориентации преимущественно из полиэтилена высокой плотности, полипропилена и поливинилхлорида.

Поливом раствора полимера на полированную поверхность получают в основном пленки на основе целлюлозы и ее производных. Технологический процесс заключается в следующем: раствор полимера наносят на какую-либо поверхность, а затем отделяют растворитель от полимера осаждением полимера в осадительной ванне специального состава или его испарением.

Метод каландрования заключается в пропускании расплава полимера через зазор между вращающимися валками. При прохождении полимера через зазоры между валками в нем возникают высокие напряжения, направленные вдоль пленки (продольная ориентация, или так называемый *каландровый эффект*). Несмотря на высокую температуру, пленка не успевает релаксировать, что обуславливает значительную анизотропию ее свойств. Каландрованием получают главным образом пленки из поливинилхлорида. В отдельных случаях полимерные пленки можно получить другими методами. Например, пленку из полиэтилентерефталата прессуют без нагревания или вальцуют на холодных вальцах, а затем спекают при высокой температуре в печи.

Одним из новых и перспективных способов получения пленок в настоящее время считается электрохимическая полимеризация мономеров на подложке. Электрохимические полимерные покрытия получают вследствие реакций (со)полимеризации или (со)поликонденсации в результате электрохимического инициирования. Такие покрытия широко используются в лакокрасочной технологии. Методы формирования электрохимических полимерных покрытий непосредственно из мономеров позволяют исключить такие стадии технологического процесса, как синтез олигомеров или полимеров в реакторе, их превращение в вязкотекучее состояние (раствор, расплав), нанесение полученных продуктов на поверхность подложки и высушивание. При образовании электрохимических полимерных покрытий образование пленки происходит на активированной электрохимическим процессом подложке, в частности на поверхности цветных металлов и их сплавов. В настоящее вре-



мя электрохимические полимерные покрытия получают и на аноде, и на катоде. Основными преимуществами электрохимических полимерных покрытий являются регулирование толщины пленки с помощью плотности тока или потенциала, получение особо тонких пленок, проведение технологического процесса при комнатной температуре и нормальном давлении, невысокие энергетические затраты и пр. Электрохимические полимерные покрытия используются в тех областях техники, где требуется создание на поверхности металла тонкого полимерного покрытия, обладающего специальными свойствами: например, электроизоляционные, термостойкие, биосовместимые и др. пленки.

Наиболее широко полимерные пленки применяются в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов и товаров широкого потребления. Для изготовления упаковочных пленок используют полиэтилен, полипропилен, целлюлозу и ее эфиры, полимеры и сополимеры винилхлорида, полистирол, полиамиды и др. Некоторыми специфическими свойствами обладают упаковочные многослойные материалы типа пленка-пленка, пленка-бумага или пленка-фольга. Широкое распространение получили электроизоляционные пленки на основе полистирола, полиэтилентерефталата, поликарбонатов, полиимидов и полиолефинов, на которые наклеены очень тонкие чешуйки стекла, слюды или асбестовые волокна. В качестве основы кинофотопленок используют ацетилцеллюлозные пленки, на которые наносят светочувствительный слой. Атмосферостойкие прозрачные полимерные пленки из полиэтилена, полиамидов, поливинилхлорида и полиэтилентерефталата широко используют в сельском хозяйстве для изготовления парниковых рам, крыш теплиц, переносных атмосферозащитных покрытий. Гидроизоляционные пленки используют в строительстве при сооружении искусственных водоемов и каналов. Поляроидные пленки изготавливают из нитроцеллюлозы, ацетилцеллюлозы или поливинилового спирта. Они состоят из трех слоев: между двумя полимерными слоями помещен слой определенным образом ориентированных игольчатых кристаллов кислого сульфаттриодида хинина. Поляроидные пленки широко применяют в качестве светофильтров для регулирования степени освещенности объектов, для разнообразных

способов сигнализации, создания художественных изображений в богатой палитре цветов интерференционной картины и для других целей. В большинстве случаев полимерные пленки из синтетических полимеров по комплексу физико-механических и химических свойств превосходят пленки из природных и искусственных полимеров, поэтому их производство и потребление непрерывно возрастают.

**Волокна.** Как и полимеры, волокна называют *натуральными* (хлопок, натуральный шелк и др.) и *химическими*. Химические волокна подразделяют на *искусственные* и *синтетические*. Искусственные волокна получают переработкой природных высокомолекулярных соединений (целлюлозы, хлопка, белка и т. д.), например вискозные, ацетатные, медноаммиачные волокна и др. Синтетические волокна получают из синтетических полимеров, например полиамидные (капрон), полиакрилонитрильные (нитрон), полиэфирные (лавсан), поливинилхлоридные и др.

Химические волокна имеют ряд преимуществ перед натуральными. Во-первых, производство химических волокон требует значительно меньших затрат труда, чем производство натурального волокна. Это обстоятельство значительно влияет на стоимость готовой продукции. Во-вторых, производство химических волокон не зависит от природных, географических и климатических условий, что обуславливает непрерывное повышение объемов производства. В-третьих, в настоящее время созданы синтетические волокна, превосходящие по многим свойствам (прочности, эластичности, химической стойкости и др.) натуральные волокна. Так, применение корда из химических волокон резко увеличивает срок службы автомобильных и авиационных покрышек. Синтетические волокна не подвержены гниению, поэтому они служат незаменимым материалом для производства рыболовных сетей, канатов и др.

Во всех промышленно развитых странах доля химических волокон в общем объеме производства основных видов текстильного волокна непрерывно увеличивается. Кроме того, только химические волокна могут обеспечить необходимый рост производства товаров народного потребления, вызываемый увеличением численности населения и расширением его запросов.

Специалисты полимерной науки и технологи во многих странах трудятся над созданием новых волокон и улучшением качества уже известных. В результате на международном рынке непрерывно появляются новые виды тканей.

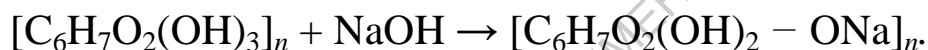
Процесс производства химических волокон включает несколько стадий. Сначала готовят прядильную массу, которую в зависимости от физико-химических свойств исходного полимера получают его растворением в подходящем растворителе или переводом в расплавленное состояние. Далее идет процесс формования волокна. Раствор или расплав полимера с помощью специального дозирующего устройства подается в фильеру из химически стойкого материала с большим числом (до 25 тыс.) отверстий диаметром 0,04–1,0 мм. При формовании волокна из расплава полимера тонкие струйки расплава из отверстий фильеры попадают в шахту, где они охлаждаются и затвердевают. Если формование волокна производится из раствора полимера, то возможны два метода: *сухое формование* и *мокрое формование*. В первом случае тонкие струйки раствора полимера из фильеры попадают в обогреваемую шахту, где под действием циркулирующего (обычно противоток) теплого воздуха растворитель испаряется и струйки затвердевают в волокна. Во втором случае струйки раствора полимера из фильеры попадают в так называемую осадительную ванну, в которой под действием осадителя идет процесс осаждения полимера. Процесс формования волокна ведется под натяжением. Это делается для того, чтобы ориентировать макромолекулы вдоль оси волокна и таким образом повысить его физико-механические характеристики.

Химические волокна изготавливают в виде бесконечной нити, состоящей из многих отдельных волокон или из одного волокна, или же в виде штапельного волокна - коротких отрезков (штапелек) некрученого волокна, длина которых соответствует длине волокна шерсти или хлопка. Штапельное волокно аналогично шерсти или хлопку и служит полупродуктом для получения пряжи. Перед прядением штапельное волокно может быть смешано с шерстью или хлопком.

*Искусственные волокна.* Наибольшее значение в качестве исходного природного высокомолекулярного соединения для производства искус-

ственного волокна имеет целлюлоза. На основе целлюлозы изготавливают вискозные, ацетатные и медноаммиачные волокна.

Основным сырьем для получения *вискозного* волокна является древесная (обычно еловая) целлюлоза. В еловой древесине содержится около 45% целлюлозы. Для получения целлюлозы сухую еловую древесину разваривают со щелочами, растворами сульфита натрия или другими реагентами. Волокнистую целлюлозную массу отделяют от варочной жидкости (в которой остаются примеси), промывают, отбеливают и после вторичной промывки формуют в виде листов картона. Для получения прядильной массы целлюлозу подвергают *мерсеризации* — обработке 18%-ным раствором гидроксида натрия. Целлюлоза набухает и образует с гидроксидом натрия так называемую *щелочную целлюлозу*:



После мерсеризации и отжима щелочной целлюлозы ее измельчают в специальных машинах и подвергают предсозреванию, приводящему к уменьшению степени полимеризации полимера вследствие окислительной деструкции макромолекул. Далее щелочную целлюлозу обрабатывают сероуглеродом для перевода ее в растворимое соединение. При этом образуется ксантогенат целлюлозы. Формуют вискозные волокна мокрым способом. В качестве осадителя используют серную кислоту, которая полностью омыляет ксантогенат целлюлозы и нейтрализует гидроксид натрия.

Исходным сырьем для получения *ацетатного* волокна служит ацетат целлюлозы, который получают реакциями полимераналогичных превращений при ацетилировании целлюлозы уксусным ангидридом в присутствии уксусной кислоты в качестве растворителя и серной кислоты в качестве катализатора.

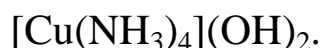
На первой стадии ацетилирования целлюлозы образуется *триацетат целлюлозы*:



который далее частичным омылением превращается в так называемый *вторичный ацетат* (ДАЦ), содержащий около 50% связанной уксусной кислоты. Для приготовления прядильной массы ацетат целлюлозы растворяют в

смеси ацетона (95%) с этиловым спиртом (5%). Формование ацетатного волокна из раствора проводится сухим методом.

*Медноаммиачное* волокно, как и вискозное, представляет собой регенерированную целлюлозу. Способ получения этого волокна основан на растворимости целлюлозы в аммиачном растворе окиси меди, в котором медь находится в виде комплексного соединения:



Этот способ экономически менее выгоден по сравнению с описанными выше.

*Синтетические волокна.* К настоящему времени химиками предложено около тысячи различных типов синтетических волокон. Однако только некоторые из них производятся промышленностью в крупных масштабах. Наибольшее значение имеют четыре типа волокон: полиамидные, полиэфирные, полиакрилонитрильные и поливинилхлоридные.

*Полиамидные* волокна, во многих отношениях превосходящие по качеству все природные и искусственные волокна, завоевывают все большее и большее признание. К наиболее распространенным полиамидным волокнам, выпускаемым промышленностью, относится *капрон* (полиамид-6) и *найлон* (полиамид-66). Капрон — полиамидное волокно, получаемое из поликапроамида, образующегося при полимеризации капролактама (лактама  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты). Формование волокна капрон осуществляют из расплава. Волокно капрон по внешнему виду напоминает натуральный шелк; по прочности оно значительно превосходит его, но несколько менее гигроскопично. Это волокно находит широкое применение для изготовления высокопрочного корда, тканей, чулочных и трикотажных изделий, канатов, сетей и др. Волокно найлон (анид) получают из полиамида — продукта поликонденсации гексаметилендиамина и адипиновой кислоты.

*Полиэфирные волокна.* Наиболее распространено волокно, получаемое из полиэтилентерефталата (*лавсан*). Формуют лавсан из расплава. Волокно лавсан очень прочно, тепло- и светостойко, устойчиво к атмосферным воздействиям, к действию химических веществ, к истиранию. По внешнему виду и ряду свойств ткань из лавсана похожа на шерстяную, но превосходит ее

по носкости и значительно меньше сминается. Волокно лавсан добавляют к шерсти для изготовления высококачественных немнущихся трикотажных изделий. Лавсан применяют также для изготовления транспортерных лент, приводных ремней, парусов и пр.

Полиакрилонитрильные волокна, выпускаемые в различных странах под названием *нитрон* (Россия), *орлон* (США), *куртель* (Англия), *кашмилон* (Япония) и др., формуют только из растворов сухим или мокрым способом. По своим механическим свойствам полиакрилонитрильные волокна очень близки к шерсти, превосходя в этом отношении все остальные химические волокна. Они устойчивы к действию кислот и щелочей средних концентраций, бензина, ацетона, четыреххлористого углерода и др. Полиакрилонитрильные волокна применяют для изготовления верхнего трикотажа, ковров, брезентов, обивочных и фильтровальных тканей и др.

*Поливинилхлоридные волокна*, выпускаемые в различных странах под названием *ПВХ-волокно* (Россия), *ровиль* (Франция), *мовиль* (Италия), *теви-рон* (Япония) и др., формуют в основном из растворов в диметилформамиде сухим или мокрым способом. Они обладают высокой химической стойкостью, низкой тепло- и электропроводностью, негорючи, устойчивы к действию микроорганизмов. Поливинилхлоридные волокна применяют для производства фильтровальных и негорючих драпировочных тканей, спецодежды, технического войлока, теплоизоляционных материалов, лечебного белья и др. Дешевизна исходного полимера, разработанные в последние годы экономичные и безопасные методы формования обуславливают постоянное увеличение как абсолютного объема производства поливинилхлоридных волокон, так и их доли в общем выпуске синтетических волокон.

**Композиционные термореактивные и термопластичные материалы** – гетерогенные системы, состоящие из полимерного связующего, наполнителя и других компонентов, имеющие высокие теплофизические характеристики, удельную прочность и жесткость. В качестве полимерного связующего используют эпоксидные соединения, полисульфоны, полиакрилаты, полиариленсульфоны, полиэфиркетоны и др. В качестве наполнителя используют углеродные, полиэфирные и стеклянные волокна, керамические порошки и

металлические кристаллы, а также другие компоненты. Композиционные материалы нашли широкое применение в ракетостроении, самолетостроении, судостроении, машиностроении и других отраслях промышленности, где к изделиям предъявляются повышенные требования по физико-механическим свойствам и эксплуатационному ресурсу.

## 2.5. Общая классификация полимеров

Предложенная в 1977 г. В.В. Коршаком и Н.А. Платэ классификация полимеров базируется на последовательном делении исходного множества полимеров по одному классификационному признаку – по изменению химического строения основной цепи макромолекул (таблица).

В соответствии с общей классификацией в зависимости от строения основной цепи все полимеры на I ступени разделяют на два больших класса: гомоцепные и гетероцепные. К гомоцепным относят полимеры, основные цепи макромолекул которых состоят из атомов одного элемента. Гетероцепные полимеры содержат в основной цепи атомы различных элементов.

Классы гомо- и гетероцепных полимеров, в свою очередь, подразделяют на подклассы. К образованию гомоцепей способны такие элементы, как углерод (карбоцепные полимеры), кремний (кремнийцепные), селен, олово, мышьяк и некоторые другие.

Значительно большее число подклассов можно выделить среди класса гетероцепных полимеров: практически все элементы Периодической таблицы Д.И. Менделеева, за исключением благородных газов и некоторых щелочных элементов, могут в различной комбинации образовывать гетероцепи. Любой из подклассов может быть разбит на группы в соответствии с характером связей и структур в основной цепи.

В соответствии с классификационным признаком IV ступени деления полимеров их разделяют на подгруппы в соответствии с природой боковых заместителей.

Общая классификация полимеров позволяет на V ступени деления дойти до конкретных видов полимеров в зависимости от химического строения составного повторяющегося звена.

Предложенные принципы классификации позволяют охватить все известные к настоящему времени линейные полимеры, равно как и те, которые будут получены в дальнейшем, поскольку сохраняется возможность добавления новых подклассов, групп и подгрупп при сохранении основного классификационного признака.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО



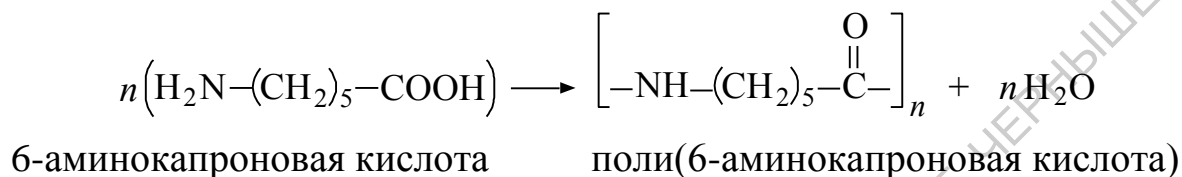
## Общая классификация полимеров

N	Ступени деления	Классификационный признак	Примеры деления по классификационному признаку
I	Класс	По однородности элементного состава основной цепи макромолекул	Гомоцепные и гетероцепные полимеры
II	Подкласс	По виду химических элементов в основной цепи	Гомоцепные: карбоцепные, кремнийцепные (полисиланы), серацепные (полисера) и т.д. Гетероцепные: оксикарбоцепные, азоткарбоцепные, кремнийкарбоцепные, серакремнийцепные, оксиалюминийцепные и т.д.
III	Группа	По характеру химических связей в основной цепи макромолекул	Полимеры, содержащие в цепи: одинарные, двойные и тройные связи, ациклические, ароматические, гетероциклические группировки и т.п.
IV	Подгруппа	По типу заместителей у элементов основной цепи макромолекул	Полианы (карбоцепные полимеры, содержащие только одинарные связи в основной цепи): полиолефины (атомы водорода или алкильные группы в качестве боковых заместителей), галогенсодержащие полианы. Полифосфазены: полигалогенфосфазены, полиорганоксифосфазены.
V	Вид	По структурной формуле составного повторяющегося звена	Галогенсодержащие полианы: поливинилхлорид, тетрафторэтилен, поливинилиденхлорид и т.п. Полиолефины: полиэтилен, полиизобутилен и т.п. Полиамиды: полигексаметиленадипамид и т.п. Полидиорганосиланы: полидиметилсилан и т.п.





Аналогично при поликонденсации 6-аминокапроновой кислоты образуется полимер, который назвали поли(6-аминокапроновой кислотой):



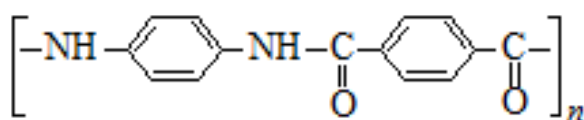
Тот же полимер, синтезируемый полимеризацией циклического лактама – ε-капролактама, назвали поли-ε-капролактама:



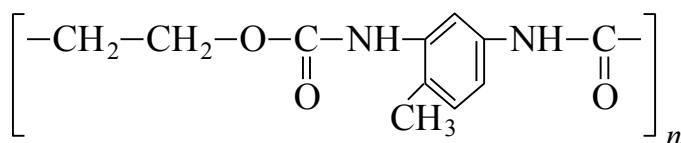
Однако кроме формальных недостатков, указанная система названий не дает возможности оценить состав и структуру полимеров. Она неприменима к полимерам, получаемым на основе двух мономеров, а также к сополимерам.

Поэтому существенным вкладом в развитие рациональной номенклатуры явился переход к названиям, основанным на химическом строении мономерного звена. В рамках этой номенклатуры название полимера складывается из приставки поли- и заключенного в скобки (или без скобок) названия структурной повторяющейся группы, которая определяет собой класс полимера (сложный эфир, амид, уретан и др.), например:

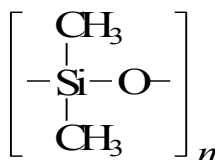




поли-*n*-  
фенилентерефталамид



полиэтилен-2,4-  
толуиленуретан



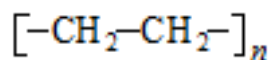
полидиметилсилоксан

Такое рациональное, систематическое название полимеров дает представление об основном повторяющемся мотиве структуры их молекул, т.е. формула и название полимера соответствуют некой идеализированной структуре реального вещества.

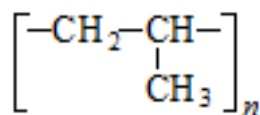
Ниже приведены формулы составного повторяющегося звена и название полимера по рациональной номенклатуре для наиболее широко используемых полимеров.

Формула составного  
повторяющегося звена

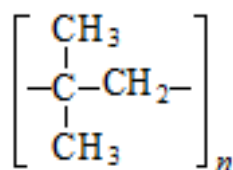
Название по рациональной  
номенклатуре



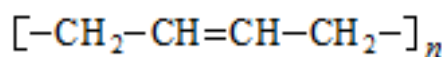
полиэтилен



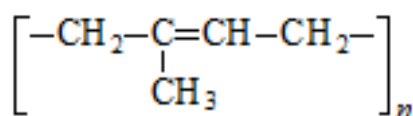
полипропилен



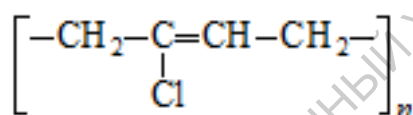
полиизобутилен



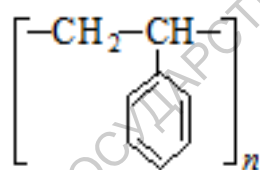
полибутадиен



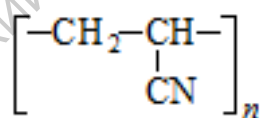
полиизопрен



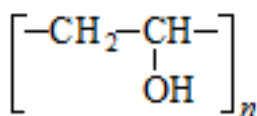
полихлоропрен



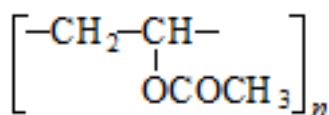
полистирол



полиакрилонитрил



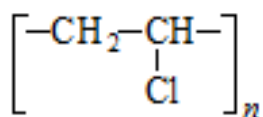
поливиниловый спирт



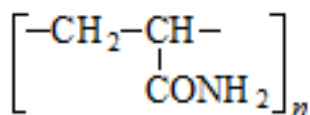
поливинилацетат

Формула составного  
повторяющегося звена

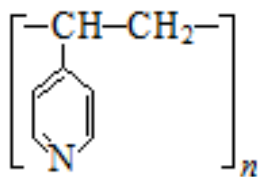
Название по рациональной  
номенклатуре



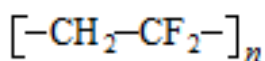
поливинилхлорид



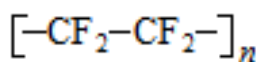
полиакриламид



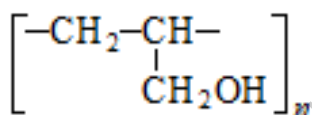
поливинилпиридин



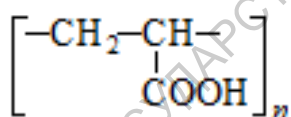
поливинилиденфторид



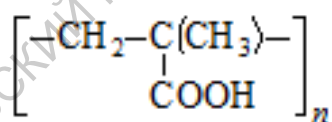
политетрафторэтилен



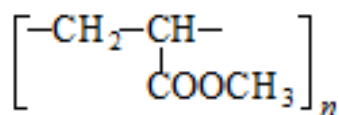
полиаллиловый спирт



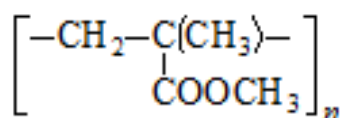
полиакриловая кислота



полиметакриловая  
кислота



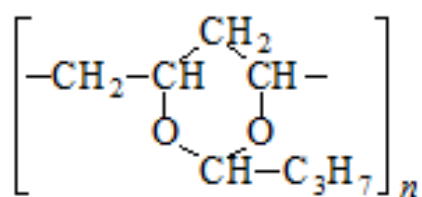
полиметилакрилат



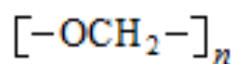
полиметилметакрилат

Формула составного  
повторяющегося звена

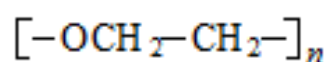
Название по рациональной  
номенклатуре



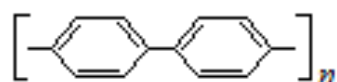
поливинилбутираль



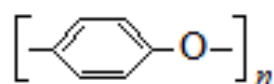
полиформальдегид



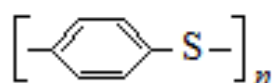
полиэтиленоксид



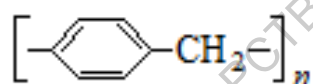
полифенилен



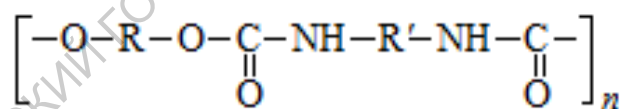
полифениленоксид



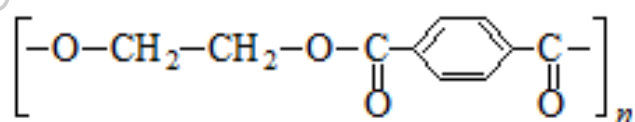
полифениленсульфид



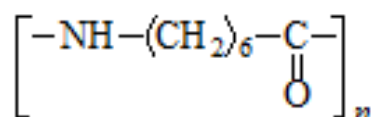
полиметилфенилен  
(поли-*n*-ксилилен)



полиуретан



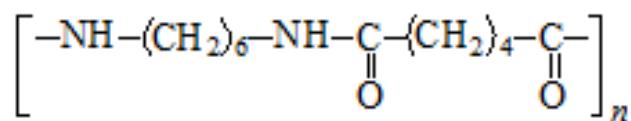
полиэтилентерефталат  
(лавсан)



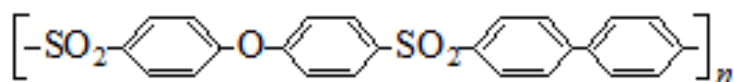
полиамид-7

Формула составного  
повторяющегося звена

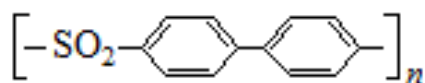
Название по рациональной  
номенклатуре



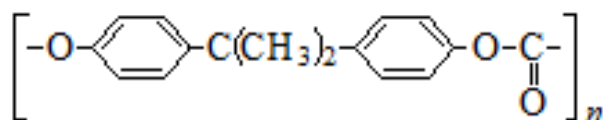
Полигексаметиленадип-  
амид (полиамид-6,6)



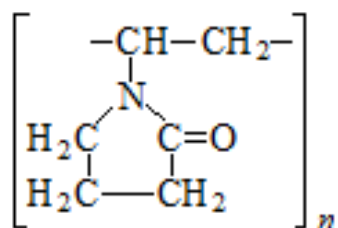
полиариленсульфон



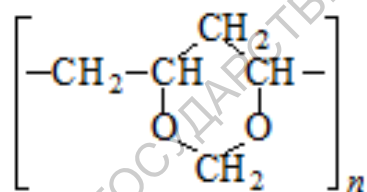
полиэфирсульфон



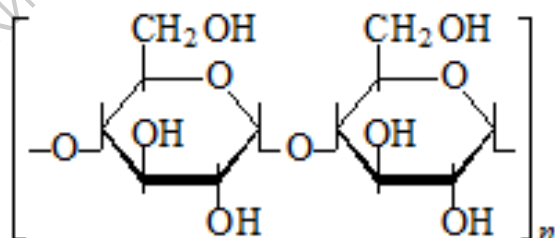
поликарбонат



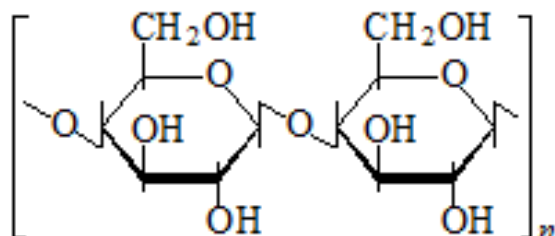
поливинилпирролидон



поливинилформаль



крахмал



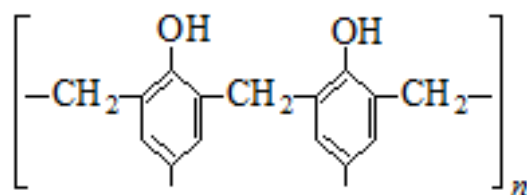
целлюлоза

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ГЕРШТЕЙНОВСКОГО

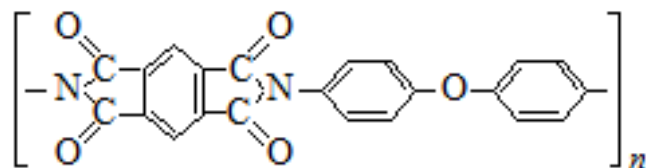


Формула составного  
повторяющегося звена

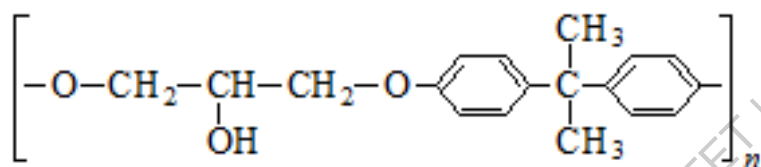
Название по рациональной  
номенклатуре



фенолоформальдегидная  
смола



полиимид



эпоксидная смола

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные определения терминов, относящихся к полимерам (рекомендации ИЮПАК, 1974 г.) // Высокомолек. соед. 1978. А20, № 5. С. 1167–1177.

2. *Платэ Н.А., Патисов И.М., Ренард Т.Л.* Терминология и номенклатура полимеров // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1983. Т. 28, № 3. С. 61–68.

3. *Коршак В.В., Платэ Н.А., Ренард Т.Л.* и др. Классификация полимеров // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1977. Т. 22, № 3. С. 393.

4. Номенклатура регулярных линейных однотожных органических полимеров (правила ИЮПАК, 1975) // Высокомолек. соед. 1978. А20, № 5 С. 1178–1195.

5. Номенклатура сополимеров (правила ИЮПАК, 1983) // Высокомолек. соед. 1986. А28, № 5. С. 1096.

6. *Лосев И.П., Гростянская Е.Б.* Химия синтетических полимеров М.: Химия, 1971. – 615 с.

7. *Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В.* Физика и механика полимеров. М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.

8. *Кулезнев В.Н., Шершнев В.А.* Химия и физика полимеров. М.: Высшая школа, 1988. – 312 с.

9. *Киреев В.В.* Высокомолекулярные соединения. М.: Высшая школа, 1992. – 512 с.

10. *Федусенко И.В., Сударушкин Ю.К.* Классификация и номенклатура полимеров: Учебное пособие. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1997.– 32 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	3
2.	КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ	3
2.1.	Классификация по способу синтеза (или по происхождению)	3
2.2.	Классификация полимеров по химическому составу	7
2.3.	Классификация полимеров по строению макромолекул	14
2.4.	Классификация полимеров по области применения	24
2.5.	Общая классификация полимеров	40
3.	НОМЕНКЛАТУРА ПОЛИМЕРОВ	43
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	51