

## **ВВЕДЕНИЕ**

# **КРАТКАЯ СПРАВКА О РДТТ И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В НИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ (КПМ)**

Известно [1], что ракетная техника начала свое развитие с пороховых ракет. Древние китайцы конструировали и применяли ракетные двигатели с использованием спрессованного черного пороха. В составе черного пороха есть уголь и аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). При горении черного пороха образуются вода, азот и углекислый газ. Корпус этих двигателей изготавливается из стволов бамбука (природного полимерного материала, в основе которого лежит целлюлоза).

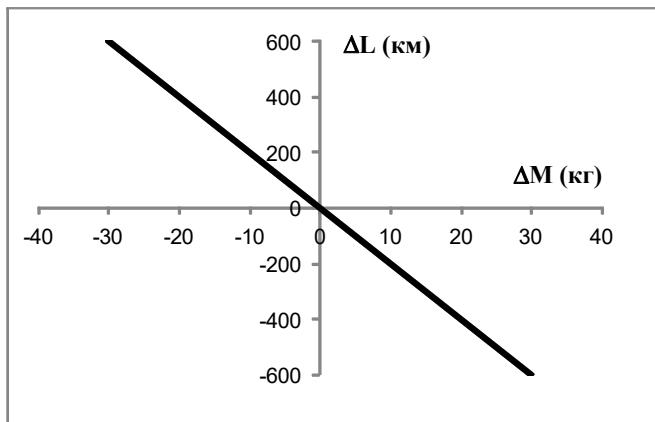
Для увеличения дальности полета, начальной скорости и повышения удельного импульса разработчикам ракетных двигателей пришлось увеличить давление в камере сгорания до 100 атм, что, в свою очередь, привело к замене природного полимерного материала (бамбука) на металлы.

В дальнейшем, при развитии ракетной техники, на смену твердому топливу (баллистическому топливу — пороху) в ракетных двигателях стали применять жидкые ракетные топлива, применение которых позволило повысить регулируемость скорости на траектории и удельный импульс. Удельный импульс обеспечивает дальность полета и полезную нагрузку ракеты.

В настоящее время наблюдается тенденция к росту производства ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), произведенных методом намотки из композиционных полимерных материалов. Это согласуется со следующими преимуществами РДТТ перед двигателями ЖРД (ракетные двигатели на жидкокомплексном топливе), ВРД (ракетные двигатели с использованием воздушно-газовой смеси) и других типов химических двигателей: а) простота изготовления; б) большая безопасность; в) возможность длительного хранения; г) быстрота запуска; д) малая себестоимость.

Простота изготовления обусловлена тем, что процесс заключается в проведении последовательной укладки на «оправку» или топливный заряд теплоизоляционного покрытия с промежуточным и герметизирующим слоями перед проведением дальнейшей операции — «намотки». Операция «намотки» проводится путем намотки на подготовленную «оправку» лент или нитей, смоченных полимерным связующим, при отверждении которого образуется прочный пластиковый корпус с теплоизоляционным покрытием внутри. При этом производственный цикл сокращается в зависимости от размера и вида снаряжения двигателя.

гателя в 5–10 раз, число занятых специалистов тоже в 5–10 раз, что, естественно, сказывается на снижении себестоимости. Упрощение технологии связано с новыми конструктивными решениями, приводящими к уменьшению массы двигателя и ракеты. В свою очередь, снижение массы приводит к увеличению дальности полета (рис. В.1) или увеличению полезной нагрузки.



**Рис. В.1**

Изменение дальности полета ракеты в зависимости от ее массы.

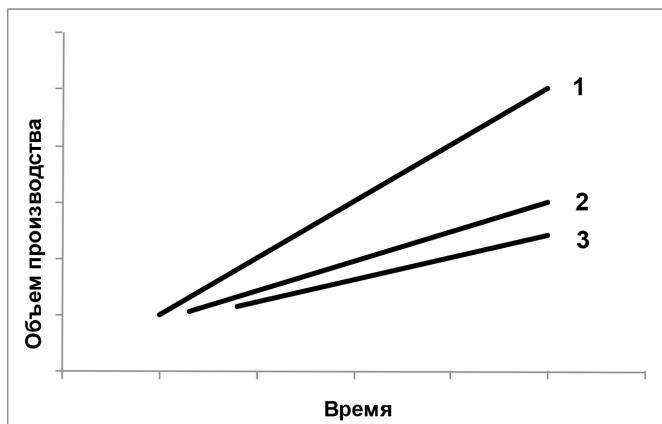
Обозначения:  $\Delta L$  — изменение дальности полета;  $\Delta M$  — изменение массы двигателя.

Из рисунка следует, что снижение массы ракеты (двигателя) на 1 кг приводит к увеличению дальности полета на 26 км. Вывод в космос 1 кг груза с помощью РДТТ обходится в 2–4 раза дешевле, чем с помощью ЖРД.

Из-за простоты изготовления пластиковых корпусов РДТТ произведена замена материалов, из которых производят двигательные установки. Большинство ракет в настоящее время снабжены РДТТ с корпусами из стеклопластиков, органопластиков и углепластиков с применением боропластиков для некоторых деталей. Производство композиционных полимерных материалов имеет опережающую тенденцию по темпам роста по сравнению с другими композиционными материалами (керамическими и металлическими) (рис. В.2). Развитие металлических (2) и керамических (3) материалов задерживается по следующим причинам: для материалов (2) — из-за высокой плотности, что ведет к удорожанию продукции и снижению дальности полета, а для материалов (3) — из-за высокой стоимости технологии [2].

Основные требования к материалам, используемым в РДТТ, заключаются в следующем:

- 1) высокая прочность при малой плотности;
- 2) равнопрочность корпуса (минимальный разброс физико-механических свойств по корпусу);
- 3) минимальная газопроницаемость;
- 4) стабильность физико-механических свойств и геометрических размеров при эксплуатации и длительном хранении;



**Рис. В.2**

Тенденция роста производства композиционных материалов:

- 1 — композиционные полимерные материалы;
- 2 — композиционные металлические материалы;
- 3 — композиционные керамические материалы.

5) минимальное снижение прочности и упругих характеристик при тепловых воздействиях;

- 6) простота и надежность технологии и контроля;
- 7) недефицитность исходных материалов;
- 8) экономическая выгода;
- 9) надежность и безопасность оборудования.

Корпуса из композиционных полимерных материалов являются практически газонепроницаемыми и сохраняют свои характеристики до 50 атм внутреннего давления. По сравнению с металлами стекло- и органопластики имеют небольшую плотность и высокие значения удельной прочности. Отметим, что удельная прочность рассчитывается как частное от деления значений разрушающего напряжения при растяжении на величину плотности.

Ниже приведены разрушающее напряжение при растяжении ( $\sigma$ ,  $\text{мН}/\text{м}^2$ ), плотность ( $\rho$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и удельная прочность ( $\sigma/\rho$ ,  $\text{kH}\cdot\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ) в сравнении со сталью и титановым сплавом (табл. В.1).

*Таблица В.1*

**Изменение прочностных характеристик и плотности стеклопластика в сравнении с металлами**

Название материала	$\sigma$ , $\text{мН}/\text{м}^2$	$\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\sigma/\rho$ , $\text{kH}\cdot\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{м}^2$
Сталь СП-43	21,0	8000	2,63
Титановый сплав ТС 6-1	14,0	4900	2,86
Стеклопластик, изготовленный методом ППН	19,5	2100	9,29

*Примечание:* метод ППН — метод продольно-поперечной намотки.

Как видно из таблицы, стеклопластик имеет более высокую удельную прочность по сравнению со сравниваемыми металлами. Кроме того, стеклопластик имеет следующие преимущества: а) устойчивость к концентраторам напряжения; б) низкие значения тепло- и электропроводности; в) небольшая стоимость по сравнению с металлами (стоимость пластикового корпуса в 3–5 раз меньше стоимости металлического корпуса); г) коррозионная стойкость.

В настоящее время ракетная техника бурно развивается и пополняется новыми ракетными двигателями, которые позволяют ракетам двигаться со сверхзвуковой скоростью (ядерные ракетные двигатели — ЯРД) и в ряде случаев приближающейся к скорости света (фотонные ракетные двигатели — ФРД). Фотонные ракетные двигатели основаны на организации направленного светового потока с помощью фокусирующих его магнитных полей.

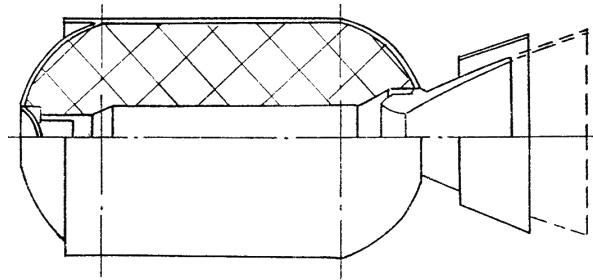
Однако производству ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) по-прежнему уделяется большое внимание при совершенствовании используемых материалов, конструкции и технологии их производства. В качестве материалов используются композиционные материалы, в основном композиционные полимерные материалы (КПМ). КПМ разного характера и назначения применяются во всех частях ракетных двигателей: силовой оболочке (материалы днищ, обечайки, соплового блока), теплозащите (внутренней и наружной), топливном заряде. Различают РДТТ с жестко скрепленным зарядом и с вкладным зарядом. Вкладной заряд в корпусе двигателя (в обечайке) укладываются на специальные упоры. В этом случае предусмотрена защита (бронирующее покрытие, «бронировка») определенных поверхностей заряда от сгорания со скоростью горения топливного заряда. В двигателях с вкладным зарядом внутренняя поверхность обечайки силовой оболочки защищается теплозащитным покрытием (ТЗП) от высоких температур (температура внутри двигателя меняется «по тракту» от 2000 до 1200 К). При изготовлении жестко скрепленного топливного заряда с силовой оболочкой ее защита обеспечивается защитнокрепящим слоем (ЗКС). Особое внимание оказывается теплозащите заднего днища и критическому сечению сопла. Для многоступенчатых ракетных двигателей приобретает большое значение защита (тепловая и к динамическим нагрузкам) узлов соединений секций двигателя. На рисунках В.3–В.8 приведены схемы разного вида ракетных двигателей с обозначением расположения указанных в них материалов.

В сопловом блоке применяют пассивные и активные термозащитные материалы. В критическом сечении сопла помещается вкладыш и втулка (рис. В.7).

Основные требования к сопловому вкладышу:

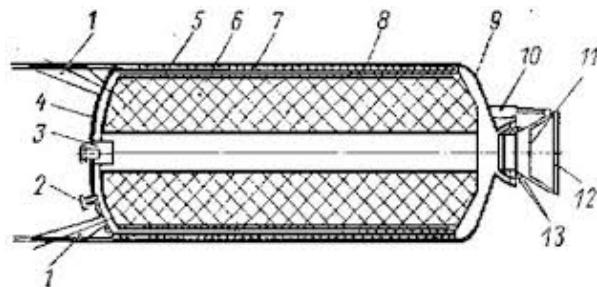
- 1) максимальное рассеивание тепла;
- 2) минимальное химическое взаимодействие с продуктами сгорания;
- 3) достаточная устойчивость к термическому воздействию ( $T = 1100$ – $1500$  К, скорость потока в пределах от звуковой до сверхзвуковой скорости).

В работе сначала приведены основные понятия и теоретические положения о полимерах и полимерных материалах, а затем в соответствующей последовательности изложены сведения о всех перечисленных материалах и правилах подбора их для соответствующих элементов РДТТ.



**Рис. В.3**

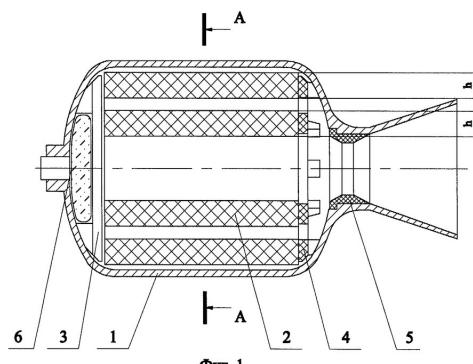
Конструктивно-компоновочная схема ракетного двигателя на твердом топливе (переднее днище с воспламенителем, обечайка с защитнокрепящим и промежуточным слоями, заднее днище с теплозащитным покрытием, сопловой блок с теплозащитой)



**Рис. В.4**

Схема прямоточного ракетного двигателя с жестко скрепленным зарядом:

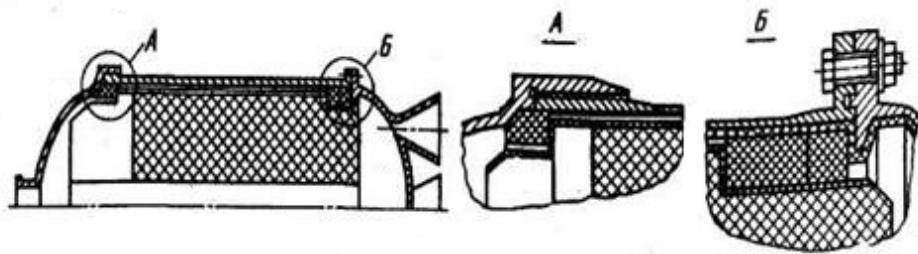
1 — узел крепления к предыдущей ступени; 2 — клапан сброса давления; 3 — воспламенитель; 4 — переднее днище; 5 — обечайка силовой оболочки; 6 — защитнокрепящий слой; 7 — промежуточный слой; 8 — топливный заряд с продольным каналом; 9 — заднее днище с теплозащитой; 10 — узел крепления соплового блока; 11 — критическое сечение сопла; 12 — раструб сопла; 13 — теплозащита критического сечения, сопловой вкладыш.



**Рис. В.5**

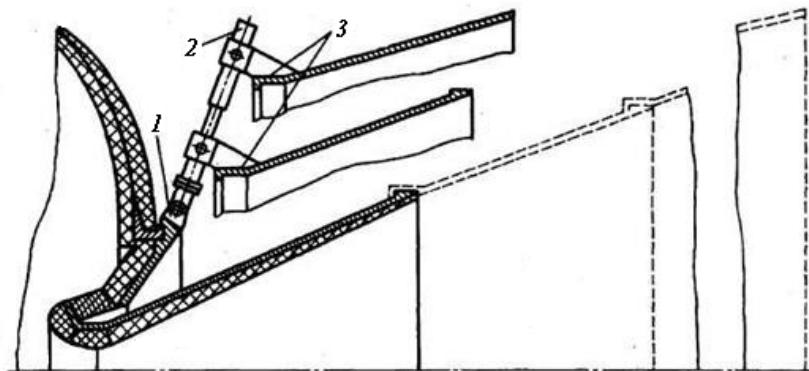
Схема прямоточного ракетного двигателя с вкладным зарядом с тремя каналами:

1 — корпус с сопловым блоком; 2 — топливный заряд; 3 — передний упор для топливного заряда; 4 — четыре задних упора для топливного заряда; 5 — сопловой вкладыш; 6 — воспламенитель.



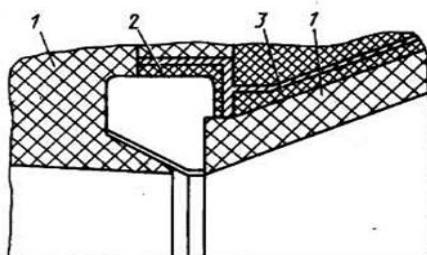
**Рис. В.6**

Свободновложенный заряд и узлы его крепления в корпусе:  
A — передний узел; B — задний узел.



**Рис. В.7**

Поворотное раздвижное сопло:  
1 — заделка привода; 2 — привод; 3 — раздвижные части.



**Рис. В.8**

Элементы тракта сопла:

- 1 — углепластик, применяемый в качестве облицовки;
- 2 — стеклопластик, используемый как изолятор;
- 3 — теплоизолятор, выполненный из ТМЗ.

## Глава 1

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАУК О ПОЛИМЕРАХ. КЛАССИФИКАЦИЯ. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ «ПОЛИМЕРНОЙ НАУКИ»

Развитие химии полимеров началось в 1897 г. с изучения А. М. Бутлеровым (рис. 1.1) процессов ди- и тримеризации изобутилена, полученного им впервые.

В 1899 г. И. Л. Кондаков разрабатывает метод получения бутадиена и доказывает его полимеризацию в каучукоподобное вещество. В 1910 г. С. В. Лебедев (рис. 1.2) разрабатывает промышленный способ получения бутадиена и из него каучука.



**Рис. 1.1**  
А. М. Бутлеров — один из первых инициаторов исследований высокомолекулярных соединений



**Рис. 1.2**  
С. В. Лебедев — создатель промышленного способа получения каучуков и резин

В 1936 г. У. Карозерс (рис. 1.3), исследуя взаимодействие адипиновой кислоты и гексаметилендиамина, получил полигексаметиленадипамид («нейлон»), ставший представителем нового класса полимеров — полиамидов.

В 1938 г. Рой Дж. Планкетт (рис. 1.4) открыл (на этот раз открытие было «случайным») синтез политетрафторэтилена (тефлона), нового класса фторорганических полимеров, которые в настоящее время востребованы в различных областях жизнедеятельности человека, включая космическую сферу.



**Рис. 1.3**  
Уоллес Карозерс —  
создатель класса полиамидов



**Рис. 1.4**  
Рой Дж. Планкетт — основатель  
химии фторопластов,  
создатель политетрафторэтилена

Главной причиной того, что к началу 1950-х гг. наука о полимерах сформировалась в самостоятельную область химии, стало осознание решающей роли «макромолекулярности» как необходимого общего качества, благодаря которому полимерные вещества соответствующего химического состава и строения способны выполнять разнообразные функции. Проще говоря, только тела, построенные из длинных молекулярных цепей, могут обладать свойствами высокомодульных резин, высокопрочных нехрупких волокон и пластиков, твердых тел, способных набухать в жидкостях, поглощая их в количестве сотен и тысяч процентов от собственного исходного объема. Только из макромолекул могут быть построены вещества с «магическими» свойствами белков и нуклеиновых кислот. Кроме того, цепочечное строение макромолекул кардинальным образом влияет на закономерности, проявляющиеся при их синтезе и химических превращениях их функциональных групп, в том числе через посредство специфических физических факторов, обусловленных макромолекулярностью и отсутствующих в реакциях низкомолекулярных веществ.

Огромную роль в становлении науки о полимерах как интегрированной области знания сыграл академик В. А. Каргин (рис. 1.5).



**Рис. 1.5**  
Академик  
Валентин Алексеевич Каргин

В конце 1930-х гг. он совместно с С. П. Папковым и З. А. Роговиным впервые показал, что растворы полимеров, вопреки тогдашним представлениям, являются термодинамически обратимыми системами, которые подчиняются правилу фаз. Исследования механических свойств полимеров в широком интервале температур привели В. А. Каргина к принципиально важным выводам о природе их физических и фазовых состояний. Идея о связи надмолекулярной (или супрамолекулярной) структуры с физико-механическими свойствами полимера, высказанная в середине 1950-х гг., в дальнейшем получила многочисленные экспериментальные подтверждения, в том числе в теории прочности академика С. Н. Журкова.

Академик С. Н. Журков (рис. 1.6) является создателем теории прочности полимерных материалов, основанной на выявлении закономерностей между строением надмолекулярных структур и физическими, физико-механическими характеристиками полимеров и различных полимерных материалов. Исследования надмолекулярных структур полимеров тесно увязывались с работами по исследованию свойств полимерных материалов школы С. Н. Журкова. В современной науке о полимерах высказанная В. А. Каргиным идея определила методологию и маршруты исследований в полимерной химии в последующие годы, в том числе в направлении создания и применения полимерных материалов.

Известный ученый, академик В. В. Коршак (рис. 1.7) разделил полимерные материалы на следующие основные классы: 1) пластмассы; 2) резины (каучуки); 3) волокна (ткани); 4) полимерные покрытия (лаки, краски и т. д.).



**Рис. 1.6**  
Академик  
Серафим Николаевич Журков



**Рис. 1.7**  
Академик  
Василий Владимирович Коршак

В. В. Коршак открыл много реакций, ведущих к синтезу полимеров, синтезировал большое количество новых полимеров, в том числе сделал открытие линейной формы углерода — карбина. Большой вклад сделан В. В. Коршаком в развитие новых классов термостойких полимеров. Много Василий Владимирович внес в развитие теории полимеров и полимерных материалов, а также в развитие технологии производства полимерных материалов, в частности таких синтетических волокон, как «анид» и «лавсан».

Большой вклад в развитие физикохимии полимеров и полимерных материалов внес академик Николай Сергеевич Ениколопов (Ениколопян) (рис. 1.8).



**Рис. 1.8**  
Академик  
Николай Сергеевич Ениколопов

Его основные работы посвящены изучению механизма и кинетики химических реакций образования и превращений полимеров. На основе кинетических, термодинамических и структурных исследований им предложен метод регулирования молекулярных и надмолекулярных структур полимеров в ходе их синтеза. К важным достижениям Н. С. Ениколопова относится открытие возможности полимеризации при высоких давлениях в сочетании с деформациями сдвига. Этот метод был развит профессором Альфредом Анисимовичем Берлинским для полученияnanoструктур. Н. С. Ениколопов является создателем нового класса высоконаполненных полимерных материалов — «норпластов» (в переводе с армянского «нор» — новый, по национальности Николай Сергеевич — армянин). Им был предложен новый подход к созданию электропроводящих полимерных материалов, много плодотворных исследований было проведено им с сотрудниками в области композиционных полимерных материалов с прогнозируемыми характеристиками.

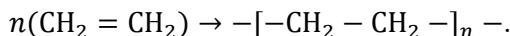
Перечисленные ученые заложили основы развития физики, физикохимии и химии полимеров и полимерных материалов.

## **1.2. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ХИМИИ, ФИЗИКОХИМИИ И ФИЗИКЕ ПОЛИМЕРОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ. ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Полимерные вещества делят на три уровня: полимеры, полимерные системы и полимерные материалы. Во всех полимерных материалах основным компонентом является полимер (высокомолекулярное соединение), который содержит макромолекулы, представляющие собой повторяющиеся элементы

(звенья), которые соединяются между собой ковалентными связями. Иначе говоря, полимер (*poly* — много, *mer* — часть; многочастный) представляет собой совокупность макромолекул. В свою очередь, макромолекула состоит из многократно повторяемых элементов структуры: мономерных и повторяющихся звеньев. Мономерные и повторяющиеся звенья в случае полимеров, полученных полимеризацией, совпадают. Для полимеров, полученных поликонденсацией, можно говорить только о повторяющихся звеньях. Звенья состоят из атомов, соединенных ковалентными связями. Полимеры могут быть получены из олигомеров или мономеров (*oligo* — несколько, *mono* — одна). Во многих случаях классификация макромолекул и полимеров или высокомолекулярных соединений совпадает.

Число звеньев, составляющих полимерную молекулу, может быть от двух до многих тысяч и даже миллионов. В зависимости от степени полимеризации полимеры называются высокополимерами или олигомерами. Повторяющиеся группы атомов в полимере, которые обычно формируют скелет полимерной молекулы, называются звеньями полимерной цепи:



Число звеньев в цепи соответствует степени полимеризации ( $n$ ). При формировании полимерной цепи сохраняются валентные углы и длины ковалентных не участвующих в реакции связей. В приведенном примере приведена макромолекула полиэтилена, полученного полимеризацией этилена. Поэтому звено можно назвать мономерным звеном, а проекцию полимерной цепи на плоскость — зигзагом цепи. Произведение  $M_{\text{зв}} \cdot n$ , где  $n$  — степень полимеризации,  $M_{\text{зв}}$  — молекулярная масса одного звена цепи, приблизительно равняется массе макромолекулы,  $M$ . Высокополимеры имеют  $M = 10^4\text{--}10^6$  и  $M > 10^6$ . Олигомеры имеют молекулярную массу  $M \leq 10^4$  и  $n \leq 10$ . В качестве примеров олигомеров можно назвать эпоксидные смолы.

Основные положения теории макромолекулярного строения:

- 1) полимерные соединения представляют собой совокупность макромолекул и отличаются друг от друга строением и составом звеньев;
- 2) атомы, составляющие основную цепь макромолекул, совершают непрерывные колебательные движения вокруг ковалентной связи, приводящие к изменениям конформаций макромолекул;
- 3) свойства полимера зависят от его молекулярной массы, строения макромолекул, их гибкости, химического состава, а также от природы межмолекулярного взаимодействия (надмолекулярной структуры);
- 4) растворы полимеров являются термодинамически устойчивыми системами, а силы ассоциации и сольватации велики и приводят к малым различиям разбавленных от насыщенных растворов.

По первому пункту теории различают линейные, разветвленные и сшитые макромолекулы. К линейным полимерам относят также слаборазветвленные, такие как полистирол, в котором в боковом ответвлении ароматическое кольцо. Боковые ответвления в таких полимерах, как полиакрилаты, поливинилацетат, представляют собой сложноэфирные группировки. При полимеризации и сопо-

лимеризации возможны три варианта соединений мономеров: «голова к хвосту», «голова к голове» или «хвост к хвосту». Порядок и способ чередования звеньев называется первичной структурой макромолекулы. Макромолекула называется стереорегулярной, если характеризуется периодическим порядком в ориентациях боковых ответвлений (заместителей или радикалов). При ориентации ответвлений вправо рассматривается правая конфигурация *d*, при ориентации ответвлений влево — левая конфигурация *l*. Если макромолекула имеет *d* или *l* конфигурацию, то она называется изотактической макромолекулой. Если макромолекула содержит сегменты *d* и *l* конфигураций, то она называется синдиотактической макромолекулой. Сегмент — часть макромолекулы, которая имеет достаточно степеней свободы, чтобы перемещаться в пространстве как макромолекула.

**Стереорегулярность** — это условие для того, чтобы макромолекулы могли кристаллизоваться.

Поскольку реально только отдельные части цепи стереорегулярны, вводится понятие **степени стереорегулярности**, которая представляет собой отношение числа звеньев, входящих в стереорегулярные участки цепи к общему числу звеньев.

Есть еще понятие **«тактичность»**, которое включает степень стереорегулярности, ее характер и характер чередования стереорегулярных участков.

По второму пункту теории известно следующее определение **«конформации»** — это расположение частей макромолекулы, обусловленное вращением атомов или атомных групп (заместителей) вокруг отдельных связей с сохранением структуры, длины связей и валентных углов.

Основные положения макромолекулярной теории отражены при классификации полимеров и полимерных материалов.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Известны следующие методы классификации полимеров:

- по способу производства из природных веществ;
- в соответствии с составом цепи макромолекул;
- в соответствии со структурой цепи макромолекул;
- в соответствии с методами получения полимеров;
- в соответствии с физической структурой полимеров;
- классификация по типам полимеров в соответствии с составом, содержанием и структурой функциональных групп.

**А. Известны природные, искусственные и синтетические полимеры:**

- полимеры, существующие в природе (протеины, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, крахмал и природные смолы);
- искусственные полимеры (ацетилцеллюлоза, нитроцеллюлоза);
- синтетические полимеры (полиэтилен, полипропилен, фенолформальдегидные смолы и т. д.).

**Б.** Известны такие полимеры, как гомоцепные, карбоцепные, гетероцепные, элементорганические и неорганические. Например:

• **карбоцепные полимеры:**

- [−CH<sub>2</sub> − CH<sub>2</sub> −]<sub>n</sub> — полиэтилен;
- [−CH<sub>2</sub>CH(CH<sub>3</sub>) −]<sub>n</sub> — полипропилен;
- [−CH<sub>2</sub>CHCl −]<sub>n</sub> — поливинилхлорид;
- [CH<sub>2</sub>CH(OH) −]<sub>n</sub> — поливиниловый спирт;
- [CH<sub>2</sub>CH(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) −]<sub>n</sub> — полистирол;
- [−CH<sub>2</sub>CH(CN) −]<sub>n</sub> — полиакрилонитрил;
- [−CH<sub>2</sub>CH(O(O)CCH<sub>3</sub>) −]<sub>n</sub> — поливинилацетат;
- [−CH<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)C(C(O)OCH<sub>3</sub>) −]<sub>n</sub> — полиметилметакрилат и др.;

• **гетероцепные полимеры:**

*фенолформальдегидные смолы:*

- [−(OH)C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>CH<sub>2</sub> −]<sub>n</sub> — новолачные смолы;
- [−(OH)C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>−)CH<sub>2</sub> −]<sub>n</sub> — резольные смолы;

*полиамиды:*

- [−(O)C(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>NH −]<sub>n</sub> — поликапронамид (ПА-6), или капрон;
- [−NH(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>NH(O)C(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>C(O) −]<sub>n</sub> — полигексаметиленадипамид (ПА-66), или найлон;

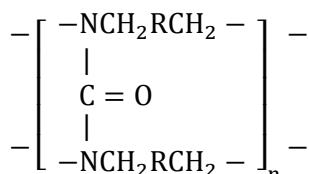
*поликарбонаты:*

- [−RO(O)COArOC(O)O −]<sub>n</sub> — поликарбонат;

*полиэфиры:*

- [−OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O(O)CC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>C(O) −]<sub>n</sub> — полиэтилентерефталат (лавсан);
- [−ArO(O)CArC(O)O −]<sub>n</sub> — полиарилат;

*карбамидоформальдегидные смолы:*



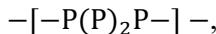
*элементорганические полимеры:*

полидиметилсилоксан (один из органосиликсовых полимеров) имеет вид [−(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SiOSi(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>O −]<sub>n</sub>,

иногда полимеры, содержащие фосфор (органофосфонитрилы) и, например, имеющие вид [−(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O)<sub>2</sub>P = N −]<sub>n</sub> (полидиэтоксифосфонитрил), относят к элементорганическим полимерам;

• **неорганические полимеры:**

простыми неорганическими полимерами являются красный и фиолетовый фосфор. Первое соединение представляет собою линейный полимер:



второй имеет сетчатую структуру.

Стекла и фарфор также относятся к классу неорганических полимеров.

**В.** В соответствии со структурой цепи полимеры делятся на следующие типы: линейные, разветвленные, полимеры с поперечными связями (сетчатая плоская или пространственная структура). Полимеры, построенные из одинаковых звеньев, называются гомополимерами, а те, что имеют разные звенья, называют сополимерами. Сополимеры (линейные), основная цепь которых включает в себя сегменты, составленные из одинаковых звеньев, являются блочными сополимерами. Если основная цепь содержит одинаковые звенья, а звенья боковой цепи принадлежат к другому типу, такие полимеры называют привитыми сополимерами.

Г. Полимеры производятся с использованием следующих основных методов или реакций:

- полимеризацией;
  - сополимеризацией;
  - поликонденсацией;
  - сополиконденсацией;
  - химическими превращениями полимеров (полимераналогичные превращения полимеров).

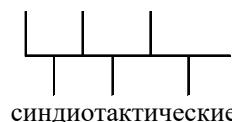
Известны кристаллические и аморфные полимеры. Кристаллическим полимерам присущи такие качества, как стереорегулярность и тактичность молекулярной структуры. Эти понятия упоминаются далее.

**Стереорегулярность** определяется последовательным расположением одинаковых звеньев в макромолекулярной цепи.

**Тактичность** молекулярной структуры характеризуется тем же самым расположением боковых групп с учетом основной цепи.

С учетом тактичности молекулярной структуры кристаллические полимеры делят на следующие типы (рис. 1.9.):

- атактические;
  - изотактические;
  - синдиотактические.



**Рис. 1.9**  
Схемы структур полимеров

Атактические полимеры возникают, когда боковые группы имеют нерегулярное расположение.

Изотактические полимеры (полимеры боковой группы) расположены по одному сторону от зигзага макромолекулярной цепи.

Синдиотактические полимеры возникают, когда боковые группы расположены регулярно по одну и другую сторону от зигзага макромолекулярной цепи.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)