

УДК 541.641

О НОМЕНКЛАТУРЕ СТЕРЕОРЕГУЛЯРНЫХ ПОЛИМЕРОВ *

М. Л. Хаггинс, Г. Натта, В. Дезре, Г. Марк **

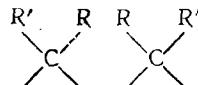
Настоящий доклад посвящен классификации и обозначению полимеров, содержащих стереорегулярные макромолекулы, а также соприкасающимся с этой областью проблемам номенклатуры. Доклад окончательно принят и рекомендован для руководства комиссией по полимерам Международного союза по чистой и прикладной химии.

Доклад представляет собой расширенный вариант сообщения о номенклатуре макромолекулярных соединений¹, одобренного Международным союзом чистой и прикладной химии (IUPAC) 15 сентября 1951 г. В значительной мере он опирается на предложения Натта и Дануссо², а также Натта, Фарина и Перальдо³.

Общие положения и определения

Речь идет о систематическом описании и обозначении стереорегулярности в полимерах, в первую очередь в линейных полимерах, построенных «голова к хвосту». Не принимаются во внимание различия в конформации молекулярных структур, для которых переход из одной в другую может быть обеспечен простым вращением вокруг одинарной связи. Кроме того, в основу предлагаемой терминологии положены идеализированные структуры без учета отклонений в химическом строении и строении концевых групп. Само собой разумеется, эти положения могут быть распространены на реальные полимеры, в значительной мере подчиняющиеся приводимым определениям и правилам.

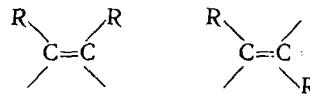
Определенные типы структур в цепной молекуле могут иметь различное стерическое расположение. Отсюда вытекает понятие изомерии. Например, стереоизомерия появляется в том случае, если два различных атома или две различные группы (R , R') соединены (тетраэдрически) с углеродным атомом цепи при условии, что обе части основной цепи, связанные с этим атомом углерода, структурно неравноценны; при этом не принимаются во внимание различия в конформации:



* Доклад, опублик. в *Makromolek. Chem.*, **82**, 1 (1965). Перев. с нем. П. Валецкого и А. Лебедевой.

** Авторы представляют собой подкомитет комиссии по полимерам IUPAC. Настоящий доклад был опубликован на английском языке в *J. Polymer Sci.*, **56**, 153 (1962); он был предварительно принят комиссией 28 июля 1961 г. сроком на один год и окончательно утвержден 2 июля 1963 г. Настоящий перевод доклада на немецкий язык содержит ряд изменений, которые были предложены авторами в мае 1963 г., принятые 2 июля 1963 г., но до сих пор не были опубликованы.

Аналогично *цис-транс*-изомерия появляется в том случае, когда в цепи имеется двойная связь $C=C$:



Другие типы изомерии появляются при наличии в цепи циклов. Естественно, что такие же изомерные структуры могут иметь место и в боковых цепях. Однако в настоящем сообщении стереорегулярные полимеры классифицируются лишь по стереоизомерии в главных цепях.

Асимметричные атомы углерода в цепи, двойные связи, циклы соответствующего вида и т. д. можно обозначать как центры стерической изомерии или стереоизомерные центры. Обычное элементарное звено полимера (определенное без учета стерической изомерии) может содержать два или более стереоизомерных центра в цепи.

Стерическую упорядоченность главной цепи можно обозначать также, как тактичность. Тактический полимер представляет собой полимер, в котором обычное элементарное звено главной цепи имеет упорядоченное, с точки зрения конфигурации, строение, по крайней мере у одного стереоизомерного центра. Голотактический полимер представляет собой полимер, у которого упорядоченная структура имеется у всех стереоизомерных центров главной цепи. Соответственно моно-, дитактические и т. д. упорядоченности означают наличие одного, двух и т. д. стереоизомерных центров на элементарное звено главной цепи.

Атактический полимер характеризуется полной беспорядочностью в конфигурации всех стереоизомерных центров главной цепи. Полимеры с низкой степенью упорядоченности, которые по своим макросвойствам практически ничем не отличаются от полностью атактических полимеров, обычно также называют атактическими. Выражения тактический, голотактический, монотактический, дитактический, атактический, а также *цис*-тактический, *транс*-тактический, изотактический, синдиотактический, ди-изотактический и т. д. в этом и последующих разделах (где они объясняются более подробно) определяются и используются для классификации полимеров; соответствующим образом они могут быть использованы для классификации молекулярных цепей, сегментов, блоков и т. д., а также и для определения реакций синтеза полимеров соответствующего типа.

Общее выражение *стереоспецифическая полимеризация* описывает образование тактического полимера из мономеров, например из винильных соединений, которые теоретически могут давать полимеры со стереоизомерными центрами.

Стереоселективная полимеризация означает образование тактического полимера из смеси стереоизомерных мономеров посредством селективного присоединения различных типов к растущей полимерной цепи с сохранением стереорегулярности.

Некоторые виды тактических полимеров

Если в элементарном звене полимера имеется центр *цис-транс*-изомерии, то его можно называть *цис*-тактическим, соответственно *транс*-тактическим, при условии, что *цис*- или *транс*-группы имеются у всех двойных связей.

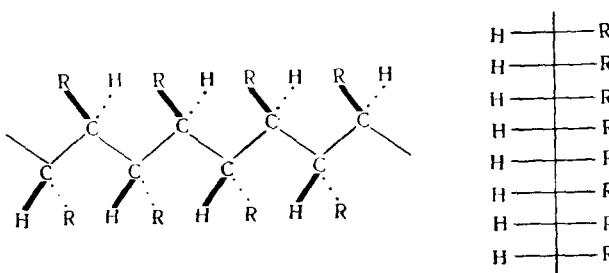
Изотактический полимер представляет собой тактический полимер, элементарное звено главной цепи которого содержит атом С* с двумя различными боковыми заместителями; последние расположены таким образом, что наблюдатель, если бы он мог идти вдоль связей главной цепи, видел бы каждый атом цепи со всеми его заместителями в одинаковом стерическом расположении. (Здесь и в последующих определениях атом Н рассматривается как заместитель.)

Другими словами, изотактический полимер можно определить как полимер, макромолекулы которого в соответствующих местах элементарных звеньев имеют атом С в главной цепи с двумя различными боковыми заместителями; при этом заместители присоединены таким образом, что в проекции Фишера одинаковые заместители в следующих друг за другом элементарных звеньях всегда лежат по одну сторону от прямой, которую представляет собой главная цепь.

Следует заметить, что у изотактического полимера обычное элементарное звено идентично действительному элементарному звену (повторяющаяся единица **).

Для иллюстрации приведены отрезки гипотетически вытянутых зигзагообразных цепей трех изотактических полимеров с одним, двумя и тремя атомами в цепи элементарного звена. Во всех случаях R обозначает метильную группу. Приведены также проекции Фишера.

Изотактический полиэтилен или изотактический поли(метил)метамер, *it*-[CH(CH₃)]_n:

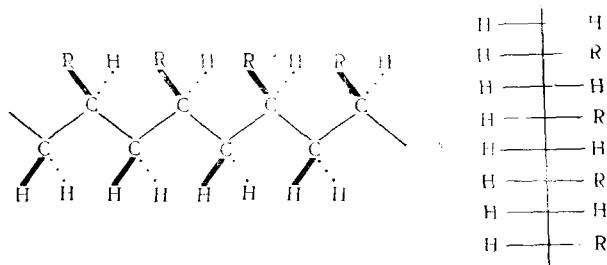


Изотактический полипропилен или изотактический поли(метил)этамер, *it*-[CH₂CH(CH₃)]_n:

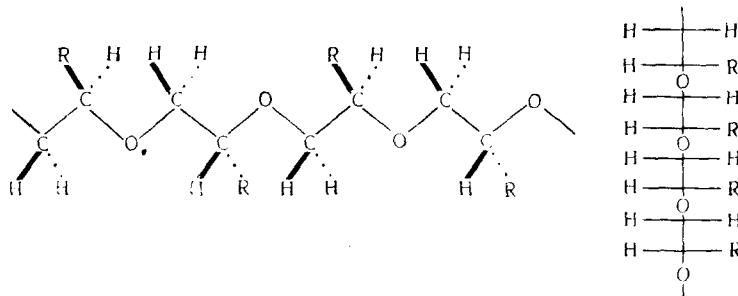
* Здесь и в других местах настоящего доклада представление об атоме С как центре стерической изомерии распространяется и на другие атомы (например, атомы Si), которые стерически подобны атому С.

Этот атом С или другой атом необязательно должен быть асимметричным. Так, макромолекула идеального изотактического полимера (CH₂CHR)_n с бесконечной длиной цепей не содержит асимметричного атома С, поскольку оба присоединенных к нему участка цепи можно рассматривать как эквивалентные. Если определять абсолютную конфигурацию согласно Кану, Ингольду и Прелогу⁴, то половина асимметричных атомов С в идеальной изотактической молекуле винильного полимера конечной длины имеет R-конфигурацию, другая половина — S-конфигурацию. Все это при условии, что в строении концевых групп нет различий или они не принимаются во внимание. По правилу этих авторов абсолютная конфигурация структуры Xabcd определяется пространственной конфигурацией этой структуры. При этом буквы a, b, c, d обозначают атомы или группы у центрального атома X, расположенные в ряду их приоритета (по старшинству) по снижению порядкового номера атомов, непосредственно связанных с X. Если два из них имеют одинаковый порядковый номер упорядоченности, то их относительный приоритет (старшинство) определяется порядковым номером тех атомов, которые связаны с обоими предыдущими атомами, и т. д.

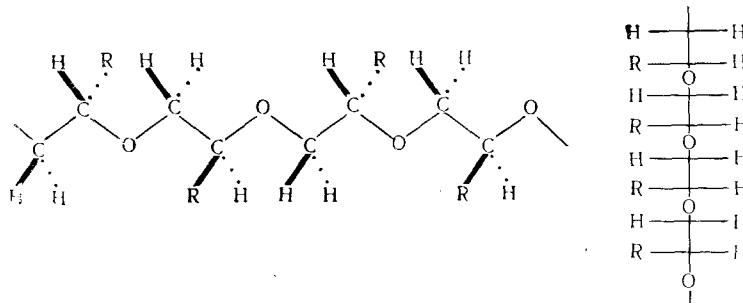
** Прим. перев.



Изотактический полипропиленоксид или изотактический поли(метил)этоксамер, *it*- $[CH_2CH(OCH_3)]_n$:

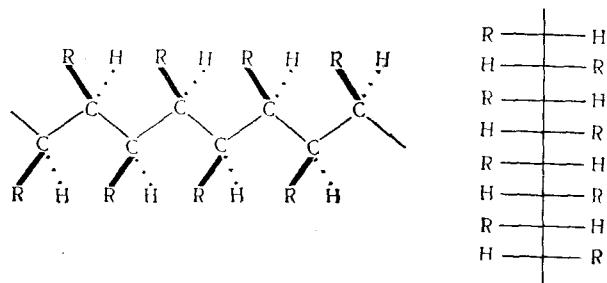


и (или)

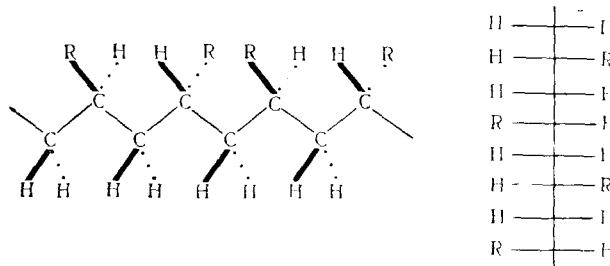


Синдиотактический полимер представляет собой полимер, в котором обычное элементарное звено, составляющее часть главной цепи, содержит атом С с двумя различными боковыми заместителями; эти заместители расположены таким образом, что идущий вдоль связей главной цепи наблюдатель всегда видит противоположные (противоположно направленные) стерические конфигурации у атомов цепи в следующих друг за другом элементарных звеньях. Поэтому действительное элементарное звено в два раза больше обычного элементарного звена, например:

Синдиотактический полиэтилен или синдиотактический поли(метил) метамер, *st*- $[CH(CH_3)]_n$:



Синдиотактический полипропилен или синдиотактический поли(метил)этамер, *st*-[CH₂CH(CH₃)]_{*n*}:

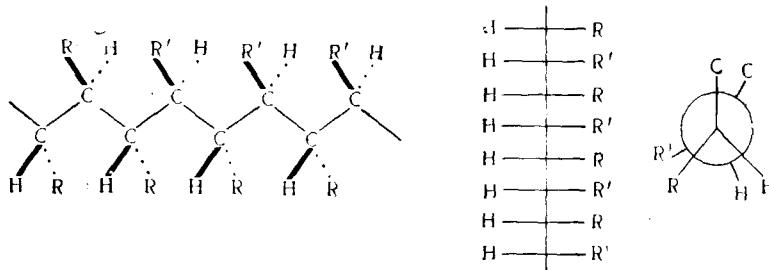


Ди-изотактический полимер представляет собой полимер, обычное элементарное звено главной цепи которого содержит два атома С, каждый из которых имеет два различных боковых заместителя; стерическое расположение следующих друг за другом элементарных звеньев здесь таково, что макромолекула изотактична согласно конфигурации соответствующих атомов цепи каждого типа, если рассматривать их по отдельности.

Имеются два типа *ди*-изотактических полимеров, отличающихся по стерической конфигурации у обоих атомов С. Для того чтобы их различать, используют термины *трео*- и *эритро*-, которые уже применяются в случае низкомолекулярных соединений.

Эритро-ди-изотактический полимер представляет собой *ди*-изотактический полимер, у которого конфигурации у обоих стереоизомерных центров обычного элементарного звена главной цепи равнозначны или одинаковы при рассмотрении гипотетическим наблюдателем. В гипотетически вытянутой молекуле (зигзагообразная конформация) эритро-ди-изотактического полимера общей формулы $(-\text{CH}_R - \text{CH}_R')_n$ все заместители одного типа (R) расположены по одну сторону от плоскости, проходящей через атомы главной цепи, заместители другого типа (R') расположены по другую сторону плоскости. В проекции Фишера все R - и R' -заместители расположены по одну сторону от прямой, которую представляет собой главная цепь. В эклиптической конформации по Ньюману⁵ для последующих атомов цепи с принадлежащими им атомами или группами, в которой последующий атом цепи закрывается предыдущим (в которой предыдущий атом цепи налагается на последующий), R лежит над R' и H над H , например:

Эритро-ди-изотактический поли-2-пентен или эритро-ди-изотактический поли(1-этил)(2-метил)этамер, *eit*-[CH(CH₃)CH(C₂H₅)]_n:

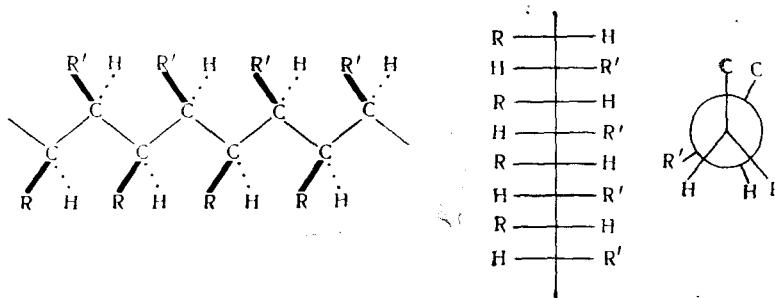


(Здесь и в последующих примерах R' обозначает этильную группу R , как и прежде,— метильную группу.)

Трео-ди-изотактический полимер представляет собой дизотактический полимер, у которого конфигурации обоих стереоизомерных центров главной цепи в каждом обычном элементарном звене при рассмотрении гипотетическим наблюдателем расположены противоположно.

В гипотетически вытянутой макромолекуле (зигзагообразная конформация) *трео-ди*-изотактического полимера общей формулы $(-\text{CHR}-\text{CHR}'-)_n$ оба типа заместителей R и R' лежат по одну сторону от плоскости, проходящей через атомы (главной) цепи. В проекции Фишера R и R' расположены по разные стороны от прямой, которая представляет собой главную цепь. В эклиптической конформации по Ньюману двух следующих друг за другом атомов цепи с принадлежащими им атомами или группами, в которой предыдущий атом цепи налагается на последующий, R лежит над H и H над R'. Например:

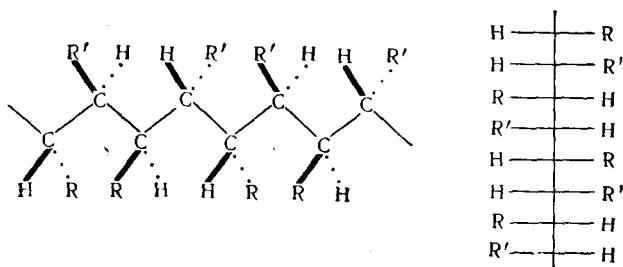
Трео-ди-изотактический поли-2-пентен или *трео-ди*-изотактический (1-этил) (2-метил) этамер, *tit*-[CH(CH₃)CH(C₂H₅)]_n:



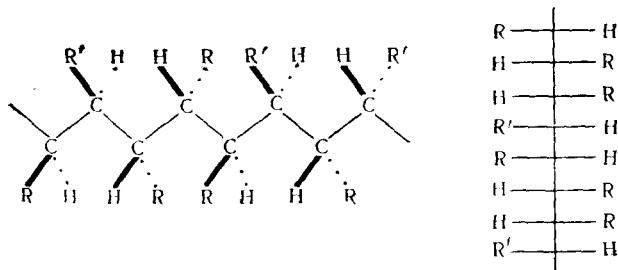
Ди-синдиотактический полимер представляет собой полимер, обычное элементарное звено главной цепи которого содержит два атома С, каждый из которых имеет два различных боковых заместителя. Стерическая ориентация следующих друг за другом элементарных звеньев такова, что молекула синдиотактична согласно конфигурации соответствующих атомов цепи каждого типа, если их рассматривать по отдельности.

Эритро-ди-синдиотактические полимеры и *трео-ди*-синдиотактические полимеры могут быть определены, описаны и изображены аналогично соответствующим типам *ди*-изотактических полимеров. Различие заключается лишь в том, что стерическое расположение каждого типа не может быть представлено лишь одной эклиптической конформацией по Ньюману; при таком изображении обе половины действительно элементарного звена имеют противоположное направленное пространственное расположение (пространственно противоположно направлены). Например:

Эритро-ди-синдиотактический поли-2-пентен или *эрритро-ди*-синдиотактический поли(1-этил) (2-метил) этамер, *est*-[CH(CH₃)CH(C₂H₅)]_n:



Трео-ди-синдиотактический поли-2-пентен или *трео-ди-синдиотактический* поли(1-этил) (2-метил) этамер $tst\text{-[CH(CH}_3\text{)CH(C}_2\text{H}_5\text{)]}_n$:

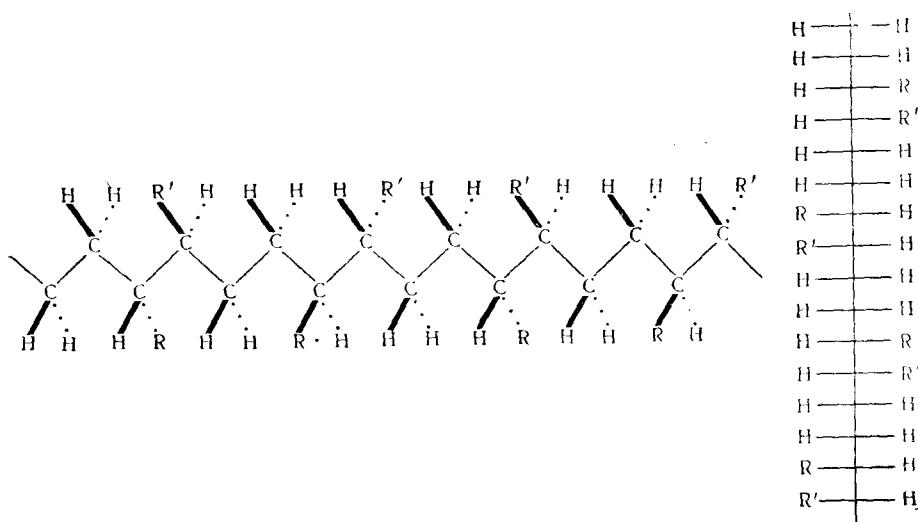


Необходимо учитывать, что если не принимать во внимание концевые группы, то оба полимера идентичны; терминология зависит лишь от произвольного ограничения участка цепи, а также от связи между направлением цепи и нумерацией заместителей. Если принять, что соответствующие атомы в следующих друг за другом участках цепи противоположно сориентированы (т. е. имеют синдиотактическое расположение), то при полимеризации 2-пентена образуются одинаковые полимеры вне зависимости от того, имеют ли два атома углерода каждого элементарного звена, связанного с остатком цепи, одинаковую или противоположную стерическую ориентацию. В большинстве случаев, очевидно, будет достаточно называть полученные по одному из двух способов полимеры *ди-синдиотактическими*, сокращенно — *st*. Дополнительные приставки *эритро-* или *трео-* можно использовать в тех случаях, если в данной последовательности атомов необходимо отметить (обозначить) относительную ориентацию (заместителей) у обоих атомов каждого участка цепи (повторяющейся единицы), непосредственно связанных с остатками цепи. (Это подразделение становится бессмысленным, если оба относительных распорядка нельзя определить.) Такая же неопределенная (неопределимая) ситуация возникает, если следующие друг за другом асимметричные атомы цепи разделены другими атомами и если эти прерывающие последовательности (отрезки цепи) все одинаковы и не влияют на ориентацию.

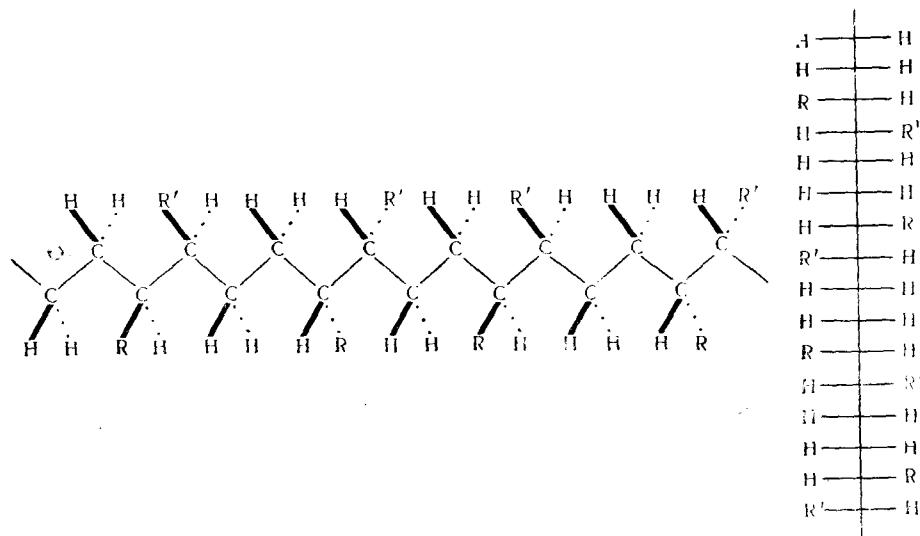
Однако, если такие отрезки цепи вызывают различие, смотря по тому, встроены ли они между асимметричными атомами цепи типа А и Б или соответственно между Б и А (при условии, что сами цепи можно рассматривать в одном направлении *), то во избежание путаницы необходимо использовать приставки *эритро-* и *трео-*. Примером служит чередующийся синдиотактический сополимер 2-пентена с этиленом:

Эритро-ди-синдиотактический поли(2-пентен-ко-этилен) или *эритро-ди-синдиотактический* поли(1-метил) (2-метил) бутамер:

* Примечание к немецкому переводу: А и Б означают два следующих друг за другом С-атома элементарного звена цепи (с их заместителями), в приведенном случае — звена поли-2-пентена; изображенные различия или возникают, если исходят из одной конфигурации этого полимера, и этилен встраивают между А и Б соответственно Б и А, например, *эритро-ди-синдиотактического* поли-2-пентена; или они возникают аналогичным образом, если этилен встраивают в том же месте элементарного звена (например, между А и Б) в одном случае *эритро-* и в другом случае — *трео-ди-синдиотактического* поли-2-пентена. Здесь приведен как раз последний случай.



Трео-ди-синдиотактический поли(2-пентен-ко-этилен) или трео-ди-синдиотактический поли(1-этил)(2-метил)бутамер:

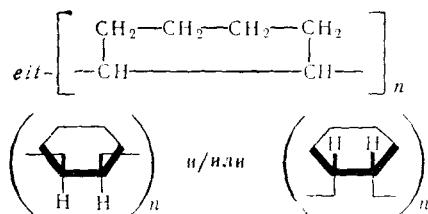


Если в главной цепи стереорегулярных полимеров содержатся циклы с асимметрическими атомами, с которыми связаны подходящие и отходящие от цикла отрезки цепи, то тактичность можно определять и обозначать так же, как и у других дитактических полимеров, не содержащих циклы.

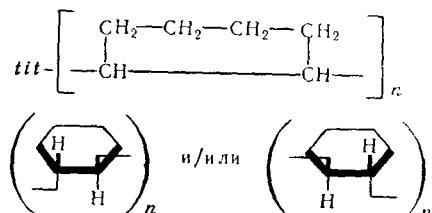
Если принять, что цепь проходит через более короткую часть цикла (если оба возможных отрезка цикла не равнозначны), то оба атома цикла, которые сами не лежат в цепи, но связаны с атомами цепи, можно рассматривать как боковые заместители. Таким образом, самые простые типы стереорегулярных асимметричных полимеров с циклами в цепи можно обозначать как *эритро*- и *трео-ди*-изотактические, а также как *эритро-трео-ди*-синдигатактические полимеры. В *эритро*-типах связи,

соединяющие цикл с цепью (на входе и выходе) имеют *цис*-ориентацию, у *трео*-типов эти связи на входе и выходе из циклов имеют *транс*-ориентацию. Например (сравни также пример 3 и 5 правила 16¹, а также⁶) *:

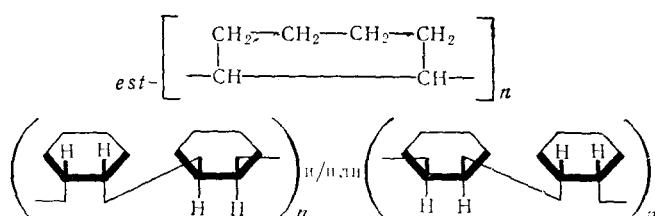
Эритро-ди-изотактический полициклогексен или *эритро-ди*-изотактический полициклогексил-энамер-2:



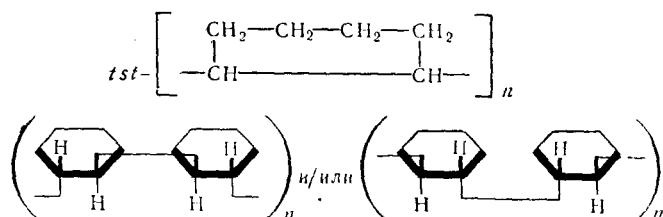
Трео-ди-изотактический полициклогексен или *трео-ди*-изотактический полициклогексил-энамер-2:



Эритро-ди-синдиотактический полициклогексен или *эритро-ди*-синдиотактический полициклогексил-энамер-2:



Трео-ди-синдиотактический полициклогексен или *трео-ди*-синдиотактический полициклогексил-энамер-2:



* Правила 1—15 см. 1. Прим. перев.

Обозначение структур и формул

Линейный полимер может быть обозначен и описан в виде формул двумя нижеследующими способами: 1) на основе действительного или гипотетического способа получения из мономера или 2) с помощью элементарного звена макромолекулы (сравни¹, стр. 272, 273).

Так, например, полимер, состоящий из молекул нормальных парафинов с высоким молекулярным весом, может быть назван (линейным) полиэтиленом $(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n$ или полиметамером $(\text{CH}_2)_n$. Линейный полипропилен $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)]_n$ может быть обозначен как поли-(метил)-этамер с такой же формулой*.

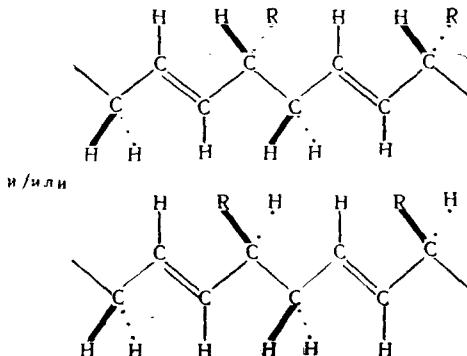
Для систематического обозначения стерических регулярностей в полимерах предлагаются следующие правила, дополняющие установленные ранее.

Правило 17. Тип (вид) стерической регулярности в изотактическом, синдиотактическом, эритро-ди-изотактическом, трео-ди-изотактическом, эритро-ди-синдиотактическом или трео-ди-синдиотактическом полимере или отсутствие стерической регулярности в атактическом полимере могут быть указаны в его обозначении соответствующим прилагательным и в формуле — соответствующей приставкой: *it*, *st*, *et*, *est*, *tst* или *at*. За элементарное звено в синдио- и атактических полимерах принимают обычное элементарное звено. Его определяют без учета стерических конфигураций, хотя действительное элементарное звено, элемент структуры синдиотактического полимера, в два раза больше, а элемент структуры в атактическом полимере отсутствует. Примеры обозначений и формул, согласно этому правилу, приведены в предыдущих разделах.

Правило 18: Если полимер обладает тактичностью вследствие стереоизомерии, обусловленной как наличием тетраэдриально замещенных атомов, так и *цис-транс*-групп, то в формуле на первом месте ставится обозначение, характеризующее асимметрично замещенные атомы.

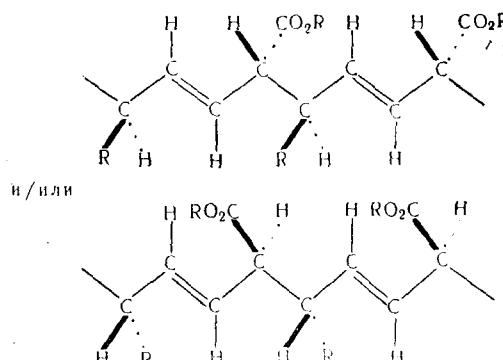
Примеры:

Изо-*транс*-тактический $\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CH}_3)]_n$: поли(1-метил)бут-2-энамер, *it*-[*транс*-



Эритро-ди-изо-*транс*-тактический поли-(1-метоксикарбонил) (4-метил) бут-2-энамер, *et*-[*транс*- $\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CO}_2\text{CH}_3)]_n$:

* В предыдущем докладе¹ большое число элементарных звеньев в формулах имело индекс *p*, в настоящем докладе, как это общепринято, используется индекс *n*.



Правило 19: Если в главной цепи стереорегулярных полимеров содержатся циклы с асимметричными атомами в местах соединения цепи с циклом, то тактичность можно указывать и определять так же, как и в случае других дитактических полимеров. Если принять, что цепь проходит через более короткий участок цикла (в случае разной длины обоих возможных участков), то для описания тактичности связь между каждым атомом, соединяющим цепь с циклом, и следующим атомом цикла, не принадлежащим к цепи, рассматривают таким образом, будто бы цепь у этого атома содержит боковой заместитель.

Примеры к этому правилу приведены в предыдущем разделе.

Правило 20*: Если тактичность изотактического полимера обусловлена наличием асимметричного атома, содержащего не более четырех ковалентных связей (при этом асимметрия вызывается различием между соседними атомами или группами атомов, а не различием в длине отрезков главной цепи макромолекул в противоположных направлениях и не различием в строении концевых групп), то можно определить абсолютную стерическую конфигурацию этих атомов и обозначить ее буквами *R* и *S*, согласно правилу Кана, Ингольда и Прелога⁴ (или *r* и *s* в случае псевдоасимметричных атомов).

Применение этих обозначений для простых изотактических и синдиотактических винильных полимеров не дает преимуществ из-за отсутствия локальных асимметричных атомов. Их применение также искажает смысл, если неидентична абсолютная конфигурация соответствующих друг другу атомов в каждом элементарном звене по всей полимерной цепи и во всех макромолекулах. Как и в соответствующих случаях, для низкомолекулярных соединений можно, однако, рацемическую смесь из равного числа молекул двух энантиоморфных форм в названии и в формуле характеризовать обозначением обеих форм; эти обозначения в названии следует ставить перед приставкой «поли» и в формуле перед скобками, в которые заключено элементарное звено. В противном случае можно ошибочно принять, что речь идет об атактическом полимере. Но, с другой стороны, рекомендуется для полимеров, содержащих лишь один центр *R*—*S*-изомерии на элементарное звено, использовать вместо обозначения *RS* приставку *рацемический*.

Примеры:

поли-*R*-(метил) этоксамер $[R-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{O}]_n$

поли-*S*-(метил) этоксамер $[S-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{O}]_n$

рацемический поли(метил)этоксамер, рацемический-[$\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{O}$]

Эти названия или формулы обозначают: полимер, состоящий исключительно из молекул со строением, приведенным в первой структурной

* В первоначальном тексте это правило имело номер 19, см. J. Polymer Sci., 56, 153 (1962).

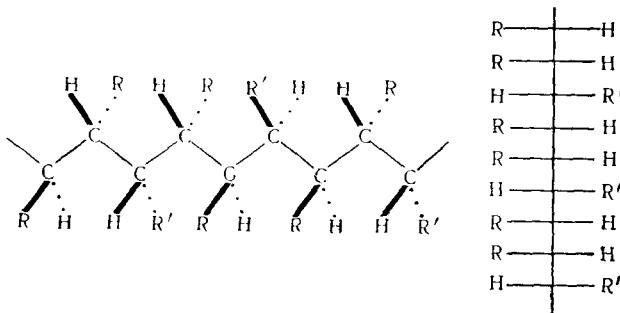
формуле для изотактического полипропиленоксида; полимер, состоящий исключительно из молекул, со строением согласно второй структурной формуле; последним приведен полимер, содержащий равное число макромолекул обоих этих типов.

Поли-*R*-транс-(1-метил)бут-2-энамер $[R\text{-транс-CH}_2\text{CH=CHCH(CH}_3\text{)}]_n$.
 Поли-*S*-транс-(1-метил)бут-2-энамер $[S\text{-транс-CH}_2\text{CH=CHCH(CH}_3\text{)}]_n$.
 Рацемический поли-транс-(1-метил)бут-2-энамер рацемический $[\text{транс-CH}_2\text{CH=CHCH(CH}_3\text{)}]_n$.

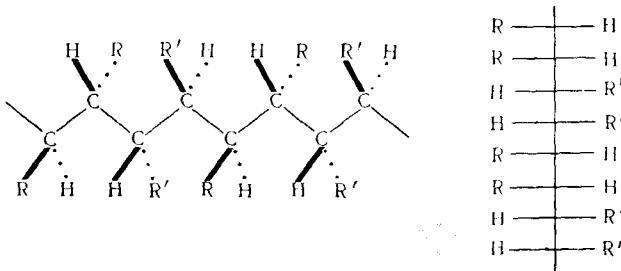
Вышеприведенные названия и формулы относятся к двум полимерам, имеющим строение, согласно первым двум структурным формулам в примерах к правилу 18, а также к рацемической смеси обоих полимеров. Поли(*1R* : *4S*)-(1-метоксикарбонил) (4-метил)бут-2-энамер, $[(1R : 4S)\text{-транс-CH(CH}_3\text{)CH=CHCH(CO}_2\text{CH}_3\text{)}]_n$. Поли(*1S* : *4R*)-(1-метоксикарбонил) (4-метил)бут-2-энамер, $[(1S : 4R)\text{-транс-CH(CH}_3\text{)CH=CHCH(CO}_2\text{CH}_3\text{)}]_n$ (*1R* : *4S*) (*1S* : *4R*). Поли(1-метоксикарбонил) (4-метил)бут-2-энамер, $(1R : 4S) (1S : 4R)\text{-[транс-CH(CH}_3\text{)CH=CHCH(CO}_2\text{CH}_3\text{)}]_n$.

Здесь приведены полимеры, имеющие строение, согласно двум другим структурным формулам, приведенным в примерах к правилу 18, а также их рацемическая смесь.

Поли (*1r* : *2S* : *3R*)-(1-этил) (2,3-диметил)пропамер, $[(1r : 2S : 3R)]\text{-CH(CH}_3\text{)CH(CH}_3\text{)CH(CH}_5\text{)}]_n$:



Поли(*1S* : *2R* : *3S* : *4R*)-(1,2-диэтил) (3,4-диметил) бутамер, $[(1S : 2R : 3S : 4R)]\text{-CH(CH}_3\text{)CH(CH}_3\text{)CH(CH}_2\text{H}_5\text{)CH(CH}_2\text{H}_5\text{)}]_n$.



ЛИТЕРАТУРА

1. J. Polymer Sci., 8, 257 (1952); Makromol. Chemie, 9, 195 (1953). Перевод на французский язык был опубликован в приложении к Bull. Soc. Chim. France, 1952; соответствующее сообщение на немецком языке опубликовано в Makromol. Chemie, 38, 1 (1960); см. также H. Staudinger, Makromol. Chemie, 9, 221 (1953).
2. G. Natta, F. Danusso, J. Polymer Sci., 34, 3 (1959).
3. G. Natta, M. Farina, M. Pergolado, Сообщение на International Commission on Makromolecules, Висбаден, октябрь 1959 г.; Chim. e Ind. (Milano), 42, 255 (1960); J. Polymer Sci., 43, 289 (1960); Makromol. Chemie, 38, 13 (1960).
4. R. S. Cahnp, C. K. Ingold, V. Prelog, Experientia, Basel, 12, 81 (1956).
5. Пространственные эффекты в органической химии. Под ред. М. С. Ньюмена, перев. с англ., ИЛ, М., 1960 г., стр. 11.
6. O. Kratky, M. L. Huggins, Makromol. Chemie, 9, 219 (1953).