

СИНТЕЗ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ

II. РАЗМЕРЫ, КОНФИГУРАЦИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОМОЛЕКУЛ
ПРИВИТОГО СОПОЛИМЕРА МЕТИЛМЕТАКРИЛАТ — СТИРОЛ

*B. Н. Цветков, С. Я. Магарик, С. И. Кленин,
B. E. Эскин*

Размеры, конфигурация и оптические свойства макромолекул привитого сополимера. Изучение строения и физических свойств привитых сополимеров в последнее время привлекало внимание ряда исследователей [1—9]. Это обстоятельство в значительной мере объясняется тем, что использование полимеризации для синтеза привитых сополимеров открывает широкие возможности для модификации физико-механических свойств высокомолекулярных материалов.

С другой стороны, изучение размеров, строения и конфигурационных свойств макромолекул привитого сополимера может оказаться полезным и с точки зрения исследования свойств разветвленных молекул вообще, ибо метод прививки в принципе позволяет получать заданные разветвленные структуры с широкой вариацией типов разветвления. Действительно, изменяя относительные длины основной и прививаемых цепей и частоту прививки, можно синтезировать макромолекулы с заданным распределением ветвей — от «равномерно разветвленных» [10] до типа «елки», когда на основную, длинную цепь прививаются короткие боковые ветви.

При изучении молекулярных структур такого типа, независимо от метода их синтеза, для исследователя, в первую очередь, существенно убедиться в том, что полученный полимер действительно является привитым сополимером, который содержит прививаемые компоненты в нужном соотношении и надлежащем пространственном расположении. После тщательной экстракции синтезированного полимера из реакционной смеси, его средний состав, в ряде случаев, может быть без особого труда определен как химическими, так и физическими (например, рефрактометрическими) методами. Более сложной задачей является определение истинной структуры его молекул; для ее решения приходится прибегать к комбинации ряда физических методов, взаимно дополняющих один другой. Такими методами служили, например, светорассеяние и спектроскопия [8]. Нередко исследователи ограничивались вискозиметрией.

В настоящей работе проводится анализ строения макромолекул привитого сополимера метилметакрилат — стирол, полученного методом ионной каталитической полимеризации в лаборатории Короткова [11]. С этой целью полимер исследовали комбинацией методов вискозиметрии, светорассеяния, диффузии и двойного лучепреломления его растворов.

Исходные полимеры. В качестве исходных полимеров, с которыми производили реакцию прививки, использовали каталитические образцы полистирола (ПС) и полиметилметакрилата (ПММА).

Для оценки молекулярного веса прививаемого ПС были произведены опыты по определению коэффициента диффузии $D_{\text{ПС}}$ его растворов в хлороформе методом поляризационного интерферометра [12]. Экспериментальные детали таких измерений были неоднократно описаны ранее [13]. Опыт вели при концентрации раствора $c = 0,16 \text{ г/100 мл}$ и 20° . Величина $1/K = 4Dt$ (где t — время диффузии), вычисленная по методу максимальных ординат и площадей, представлена на рис. 1 (кривая 1) как функция t . Точки ложатся на прямую, наклон которой дает для $D_{\text{ПС}}$ величину, равную $18,3 \cdot 10^{-7} \text{ cgs}$. Используя эту величину, можно грубо оценить молекулярный вес полистирола в $2-3 \cdot 10^3$. Эбулиоскопические измерения (проведенные А. Д. Зайцевой) дали $M_{\text{ПС}} = 2070$.

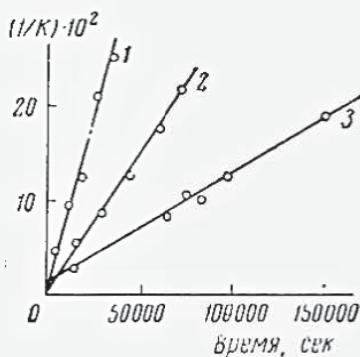


Рис. 1. Зависимость величины $1/K = 4Dt$ от времени t :

1 — полистирол; 2 — полиметилметакрилат; 3 — привитый сополимер. Растворитель — хлороформ

диффузии $M \approx 6 \cdot 10^4$. Среднее значение $M_{\text{ПММА}} \approx 7 \cdot 10^4$.

Таким образом, цепи ПС были в 30 раз короче цепи ПММА, на которую они прививались.

Состав привитого сополимера. Состав привитого сополимера определяли рефрактометрическим методом. При помощи поляризационного интерферометра [12] были определены инкременты показателя преломления ($\Delta n/c$) растворов исходных полистирола ($\Delta n/c)_1$ и полиметилметакрилата ($\Delta n/c)_2$, а также привитого сополимера ($\Delta n/c)_{1,2}$ в хлороформе (Δn — разность показателей преломления растворителя и раствора весовой концентрации c). Измерения дали: $(\Delta n/c)_1 = 0,151$; $(\Delta n/c)_2 = 0,066$; $(\Delta n/c)_{1,2} = 0,143$. Молярную долю x привитого полистирола в сополимере определяли по уравнению:

$$\left(\frac{\Delta n}{c}\right)_{1,2} = \left(\frac{\Delta n}{c}\right)_1 \cdot x + \left(\frac{\Delta n}{c}\right)_2 (1 - x) \quad (1)$$

и она оказалась равной 0,9.

Молекулярный вес и гидродинамические свойства привитого сополимера. Для выяснения вопроса о том, является ли полученный продукт высокомолекулярным веществом — сополимером прививаемых компонент, а не их механической смесью, решающее значение имеет надежное определение его молекулярного веса. Использование одной лишь характеристической вязкости в рассматриваемом случае может привести

Характеристические вязкости, коэффициенты диффузии и молекулярные веса исходных образцов полистирола, полиметилметакрилата и их сополимера

Образец	Инкремент в хлороформе	Молярная доля полистирола x	$[\eta]$ в хлороформе	D в хлороформе	$M_{\eta D}$	$M_{\eta \nu}$
Полистирол	$0,151_0$	1	—	$18,3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^3$	—
Полиметилметакрилат	$0,066_0$	0	0,46	$7,8 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^4$	—
Привитый сополимер	$0,142_5$	0,9	0,46	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$

к совершенно неверным выводам. Так, для полученного сополимера характеристическая вязкость в хлороформе оказалась практически совпадающей с вязкостью одной из компонент — ПММА (см. таблицу), что могло бы означать, например, присутствие в веществе большого количества непривитого, сравнительно низкомолекулярного ($M \approx 2 \cdot 10^3$) полистирола.

Поэтому молекулярный вес сополимера был определен с применением прямого метода — светорассеяния. Измеряли светорассеяние I_{90} под углом 90° и асимметрию рассеяния I_{45}/I_{90} растворов полимера в бензole. Так как инкремент показателя преломления ($\Delta n/c$) для системы ПММА—бензол равен нулю, то этот опыт позволяет определить средневесовой молекулярный вес M_w привитого полистирола (для которого в бензоле ($\Delta n/c$) = = 0,108). При этом концентрацию полистирольных цепей в растворе определяли по навеске с учетом состава привитого сополимера (90% ПС). Поправку к кажущемуся молекулярному весу вводили обычным путем [14] в предположении, что распределение полистирольных привесков в клубке является гауссовым.

Экспериментально полученные зависимости обратной интенсивности cH/I_{90} и асимметрии $1/Z - 1$ светорассеяния от концентрации с представлены на рис. 2. Обработка экспериментальных данных приводит к значению M_w для полистирола в сополимере $6 \cdot 10^5$, что, с учетом доли ПММА в макромолекуле, дает для привитого сополимера $M_w = 6,7 \cdot 10^5$. Таким образом, светорассеяние растворов дает все основания утверждать, что исследуемый образец является высокомолекулярным полимером.

Чтобы учесть возможное влияние полидисперсности образца на полученный результат, производили оценку молекулярного веса по гидродинамическим свойствам его молекул. В качестве параметра, характеризующего эти свойства, был выбран коэффициент диффузии полимера в растворе, поскольку, в отличие от данных, полученных методом светорассеяния, молекулярный вес, определяемый из диффузионных измерений, близок к среднечисленному M_n [15]. Кроме того, наличие полидисперсности в образце весьма наглядно проявляется в диффузионных измерениях [16], по изменению во времени площади диффузионных кривых и искривлению графиков $1/K = f(t)$. Результаты, полученные для раствора привитого сополимера в хлороформе ($c = 0,07 \text{ г}/100 \text{ мл}$), представлены на рис. 1 (кривая 3). Точки, представляющие зависимость $1/K = f(t)$, хорошо ложатся на прямую, соответствующую коэффициенту диффузии, неизменному в течение всего опыта и равному $D = 3,1 \cdot 10^{-7}$. Площадь диффузионной кривой также не меняется во времени, указывая на достаточно узкое распределение по молекулярным весам в исследуемом полимере. Кроме того, непосредственный анализ формы диффузионных кривых (возможные отступления от гауссова распределения) на полидисперсность приводят к выводу, что примесь низкомолекулярной компоненты (с молекулярным весом прививаемого полистирола) в полимере не может превышать 5 — 10% (если она вообще существует). Таким образом, диффузионные измерения показывают, что изучаемый образец является высокомолекулярным полимером, имеющим незначительную полимолекулярность. Как видно из рис. 1, коэффициент диффузии исходного ПММА (в отличие от вязкости) в 2,5 раза превышает величину D , полученную для сополимера (кривые 2 и 3), что указывает на значительно больший молекулярный вес (M) последнего. Оценить величину M можно, сопоставляя значения $[\eta]$ и D и используя универсаль-

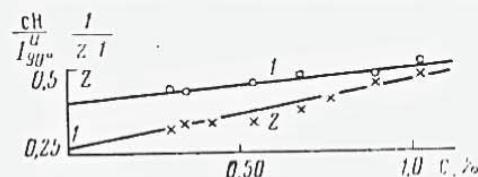


Рис. 2. Концентрационная зависимость обратной интенсивности светорассеяния растворов привитого сополимера в бензоле (cH/I_{90}) (1) и обратной асимметрии рассеяния $[1/(Z - 1)]$ (2)

ное соотношение [13, 16].

$$\eta_0 D (M [\eta])^{1/2} T^{-1} = A, \quad (2)$$

где: η_0 — вязкость растворителя, T — абсолютная температура, A — постоянная, близкая к $3 \cdot 10^{-10}$ эрг/°C. Используя это значение, находим $M_{\eta D} = 5 \cdot 10^5$, что по порядку величины близко к величине M_w , полученной из светорассеяния. Принимая во внимание возможное влияние полидисперсности полимера и разветвленности его макромолекул на их гидродинамические свойства (выраженные уравнением (2)), согласие двух методов следует считать удовлетворительным.

Таким образом, обнаруженные гидродинамические свойства сополимера, совместно с данными о светорассеянии, дают однозначную картину макроструктуры его молекул: исследуемый образец является высокомолекулярным полимером ($M \approx 0,5 - 0,6 \cdot 10^6$), состоящим по весу на 90% из цепей ПС и на 10% из цепей ПММА. Существенным обстоятельством является весьма низкая величина характеристической вязкости его растворов при большой величине молекулярного веса. Это обстоятельство указывает на наличие в его молекулах значительного числа разветвлений — свойства, характерного для макромолекул всякого привитого сополимера, — и служит, таким образом, косвенным доказательством структуры привитого сополимера. Основные данные, полученные для всех образцов, приведены в таблице.

Оптическая анизотропия и микроструктура привитого сополимера. Прямое доказательство «привитой» структуры изучаемого образца было получено определением оптической анизотропии его молекул — свойства весьма чувствительного не только к их макро-, но и к микростроению.

Оптическую анизотропию определяли, как обычно, методом двойного лучепреломления в потоке. Растворителем служил бромоформ, показатель преломления которого практически совпадает с показателем преломления привитого сополимера (что необходимо для исключения эффекта формы) [17]. В растворах было обнаружено весьма значительное по величине динамическое двойное лучепреломление Δn , возрастающее пропорционально градиенту скорости g и положительное по знаку. Зависимость $\Delta n = f(g)$ для ряда концентраций с представлена на рис. 3. Обычная экстраполяция полученных значений $\Delta n/g\eta_0$ с (где η_0 — вязкость растворителя) к бесконечному разведению приводит к значению динамооптической постоянной $[n] = 3,6 \cdot 10^{-9}$. Параллельное определение характеристической вязкости растворов в бромоформе дает величину $[\eta] = 0,45$ дл/г. Используя известное соотношение [18]

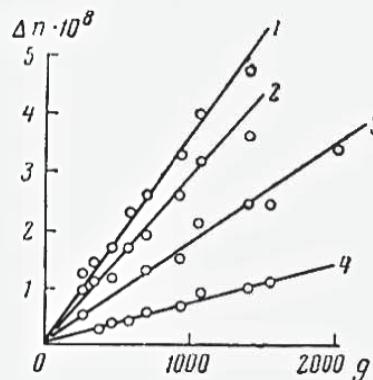


Рис. 3. Зависимость величины двойного лучепреломления Δn от градиента скорости g сек⁻¹ для растворов привитого сополимера в бромоформе

Концентрация c в г/100 мл: 1 — 0,54; 2 — 0,40; 3 — 0,21; 4 — 0,09

$$\frac{[n]}{[\eta]} = \frac{4\pi}{45kT} \frac{(n^2+2)^2}{n} (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3)$$

для разности главных поляризуемых сегментов ($\alpha_1 - \alpha_2$) макромолекулы получаем величину: $(\alpha_1 - \alpha_2) = 870 \cdot 10^{-25}$ см³.

Таким образом, сегментная анизотропия молекулы привитого сополимера весьма велика по сравнению с анизотропией составляющих ее цепей ПММА [19] ($2-20 \cdot 10^{-25}$ см³) и ПС — ($-140 \cdot 10^{-25}$ см³ — $200 \cdot 10^{-25}$ см³). При этом она отличается по знаку от сегментной анизотропии наиболее анизотропной компоненты — полистирола, хотя полистирол на 90% по весу составляет макромолекулу привитого сополимера.

Последнее обстоятельство имеет решающее значение при анализе микроструктуры полимера.

Действительно, экспериментально определяемая по уравнению (3) величина $\alpha_1 - \alpha_2 = 5/3(\gamma_{\parallel} - \gamma_{\perp})$, где γ_{\parallel} и γ_{\perp} главные поляризуемости макромолекулы в направлениях наибольшей (параллельно h) и наименьшей (нормально к h) ее геометрической протяженности [18] (см. рис. 4). Найденное большое положительное значение $\gamma_{\parallel} - \gamma_{\perp}$ невозможно объяснить наличием в макромолекуле положительно анизотропных цепей ПММА, так как анизотропия ПММА (данные для изотактического ПММА) слишком мала, а его содержание в сополимере незначительно ($\sim 10\%$). Очевидно, активную роль в наблюдаемой анизотропии можно приписать только полистиролу, поляризуемость которого b_{\parallel} вдоль молекулярной цепи значительно меньше поляризуемости b_{\perp} в перпендикулярном направлении. Но в таком случае для возникновения большей поляризуемости γ_{\parallel} в продольном направлении макромолекулы сополимера h цепи полистирола должны быть в среднем направлены поперек h , что соответствует структуре привитого сополимера, у которого боковые цепи полистирола привиты к основной цепи ПММА.

Количественно анизотропия привитых цепей может быть оценена следующим образом. На рис. 5 изображено мономерное звено ПММА с привитой к нему цепью полистирола в ортогональных осях координат, связанных с транс-цепью ПММА. При этом ось 1 совпадает с продольным направлением транс-цепи, плоскость которой есть плоскость 1, 3. Ось 2, очевидно, направлена вдоль цепи прививаемого полистирола. Если a_1 , a_2 и a_3 — главные поляризуемости цепи полистирола в выбранной системе коор-

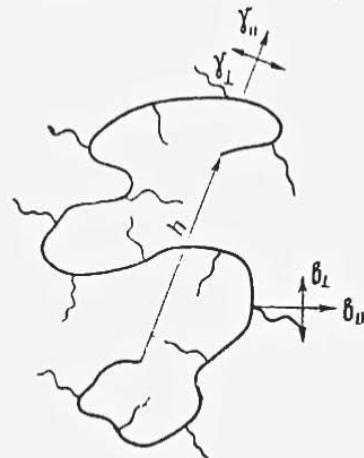


Рис. 4. Конфигурация макромолекулы привитого сополимера:

γ_{\parallel} и γ_{\perp} — главные поляризуемости макромолекулы, b_{\parallel} и b_{\perp} — главные поляризуемости привитой цепи

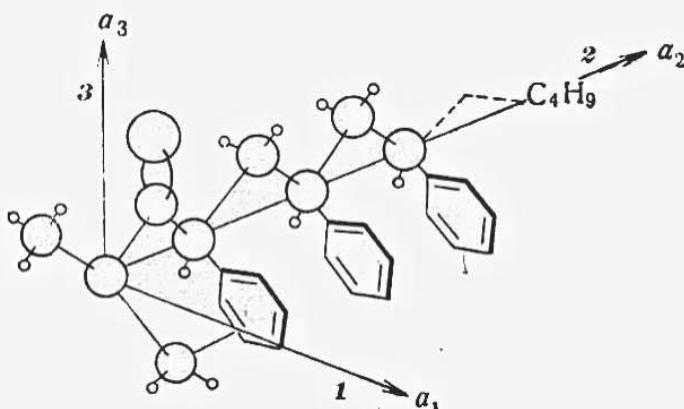


Рис. 5. Мономерное звено полиметилметакрилата с привитой цепью полистирола.

Ось a_1 параллельна направлению транс-цепи полиметилметакрилата. Ось a_2 параллельна направлению транс-цепи привитого полистирола

динат, то анизотропия, вносимая в макромолекулу привитого сополимера одной привитой цепью, очевидно равна

$$\Delta a = a_1 - \frac{1}{2}(a_2 + a_3)$$

В статистически свернутой боковой цепи полистирола ось 2 является

осью симметрии и в среднем $a_1 \approx a_3$ и, следовательно,

$$\Delta a = \frac{1}{2} \overline{(a_1 - a_2)} \quad (4)$$

Но для статистически свернутой цепи среднее значение $\overline{a_2 - a_1} = a_2 - \frac{1}{2}(a_1 + a_3)$ есть анизотропия цепи Δb относительно оси, совпадающей с направлением ее начального отрезка, а при достаточной длине цепи — ее персистентная анизотропия Δb_∞ [20]. Как было показано [20], в цепи с тетраэдрическим валентным углом персистентная анизотропия, в первом приближении, равна

$$\overline{a_2 - a_1} = \Delta b_\infty \approx \frac{1}{2} (\alpha_1 - \alpha_2)_0, \quad (5)$$

где $(\alpha_1 - \alpha_2)_0$ — сегментная анизотропия цепи, для случая полистирола равная для атактического полимера $-140 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$ [21], для изотактического $-220 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$ [22].

Сопоставляя (4) и (5), получим

$$\Delta a = -\frac{1}{4} (\alpha_1 - \alpha_2)_0 \quad (6)$$

Если на одну молекулу ПММА привито в среднем n молекул ПС, то на один сегмент цепи ПММА приходится $n \cdot (S/P_m)$ прививок, где S — число мономерных единиц в сегменте ПММА, P_m — коэффициент полимеризации ПММА. Таким образом, анизотропия, вносимая цепями полистирола в сегментный участок цепи ПММА, равна

$$(\alpha_1 - \alpha_2)_S = \frac{nS}{P_m} \Delta a = -\frac{nS}{4P_m} (\alpha_1 - \alpha_2)_0 \quad (7)$$

Чтобы получить анизотропию привитого сополимера $(\alpha_1 - \alpha_2)$, рассчитанную на один сегмент его главной цепи (т. е. цепи ПММА), к (7) нужно прибавить сегментную анизотропию цепи ПММА $(\alpha_1 - \alpha_2)_m$. Если учесть, что число прививок n на молекулу ПММА вычисляется из соотношения $n = [x/(1-x)] \cdot (P_m/P_0)$, где x — по-прежнему молярная доля стирола в сополимере, а P_0 — коэффициент полимеризации цепей ПС, то окончательно получим:

$$\alpha_1 - \alpha_2 = (\alpha_1 - \alpha_2)_m - \frac{S}{4P_0} \cdot \frac{x}{1-x} (\alpha_1 - \alpha_2)_0 \quad (8)$$

В нашем случае $P_0 = 20$ и $x = 0,9$.

Если считать, что гибкость цепей ПММА и ПС, составляющих привитый сополимер, не отличается от гибкости исходных катализитических полимеров, из которых он был синтезирован, то следует положить $(\alpha_1 - \alpha_2)_m = \pm 24 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$ [19], $S = 8$ [23] и $(\alpha_1 - \alpha_2)_0 = -220 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$ [22]. Тогда из (8) получим $(\alpha_1 - \alpha_2)_1 = \pm 220 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$.

Экспериментально найденная величина $(\alpha_1 - \alpha_2) = 870 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$ в 4 раза превышает теоретическую. Этот результат может быть следствием большей жесткости цепей ПС и ПММА в составе привитого сополимера по сравнению с линейными цепями соответствующих гомополимеров. Последнее обстоятельство, само по себе, имеет существенное значение, так как может быть использовано для изучения взаимодействия между цепями «компактно» построенных макромолекул привитых (и вообще разветвленных) сополимеров.

В рассматриваемой задаче для нас существенно, что уравнение (8) объясняет сам факт появления большого положительного двойного лучепреломления в изучаемом образце, однозначно доказывая этим его «привитую» структуру.

Вместе с тем описанные явления поучительны и с точки зрения изучения разветвленных структур (к которым относятся и привитые сополимеры). Они показывают, что оптическая анизотропия разветвленной моле-

кулы может резко отличаться от анизотропии составляющих ее цепей не только по величине, но и по знаку, демонстрируя этим чувствительность оптического метода исследования разветвленности полимеров.

Выводы

С целью изучения макро- и микроструктуры полимера, полученного прививкой полистирола (ПС) к полиметилметакрилату, исследовали гидродинамические (вискозиметрия и диффузия) и оптические (рефрактометрия, светорассеяние и динамическое двойное лучепреломление) свойства его растворов.

Изучение макроструктуры приводит к выводу, что исследованный образец является высокомолекулярным полимером ($M \approx 0,5 - 0,6 \cdot 10^6$), состоящим по весу на 90% из цепей ПС и на 10% из цепей ПММА. Молекулярные веса исходных компонент: для ПММА $\approx 7 \cdot 10^4$, для ПС $\approx 2 \cdot 10^3$.

Исследованием двойного лучепреломления в потоке обнаружена весьма большая положительная анизотропия изучаемых макромолекул. Сопоставление полученных данных с величинами положительной анизотропии цепей ПММА и отрицательной анизотропии цепей ПС показывает, что наблюдаемые оптические свойства могут быть объяснены только «привитой» структурой изучаемого полимера, при которой сравнительно короткие цепи ПС привиты к основной, более длинной цепи ПММА.

Сравнение экспериментальных результатов о двойном лучепреломлении с теорией анизотропии персистентных цепей приводит к выводу о меньшей гибкости цепей ПС и ПММА в составе привитого сополимера по сравнению с линейными цепями соответствующих гомополимеров.

Институт высокомолекулярных
соединений АН СССР

Поступила в редакцию
1 VII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. D. I. Metz, R. B. Mesrobian, J. Polymer Sci., 16, 345, 1955.
2. H. C. Haas, S. G. Cohen, A. C. Oglesby, E. R. Kargin, J. Polymer Sci., 15, 427, 1955.
3. В. А. Каргин, П. В. Козлов, Н. А. Платэ, И. И. Кокорева, Высокомолек. соед., 1, 114, 1959.
4. В. А. Каргин, Х. У. Усманов, Б. И. Айходжаев, Высокомолек. соед., 1, 149, 1959.
5. П. В. Козлов, М. М. Иовлева, Н. А. Платэ, Высокомолек. соед., 1, 1100, 1959.
6. В. А. Каргин, Н. А. Платэ, Е. П. Ребиндер, Высокомолек. соед., 1, 1547, 1959.
7. В. А. Каргин, В. П. Шибаев, Н. А. Платэ, Высокомолек. соед., 3, 299, 1961.
8. П. Ремп, В. И. Волков, Ж. Парро, Ш. Садрон, Высокомолек. соед., 2, 1521, 1960.
9. Т. Э. Липатова, Ю. С. Липатов, И. Л. Тутаева, Высокомолек. соед., 3, 184, 1961.
10. В. Н. Цветков, Докл. АН СССР, 78, 1123, 1951.
11. С. П. Миценгендлер, Г. А. Апдреева, К. Н. Соколова, А. А. Коротков, Высокомолек. соед., 4, 1366, 1962.
12. В. Н. Цветков, Ж. эксп. и теор. физ., 21, 701, 1951.
13. В. Н. Цветков, С. И. Кленин, Ж. техн. физ., 28, 1019, 1958.
14. К. З. Фаттахов, В. Н. Цветков, О. В. Каллистов, Ж. эксп. и теор. физ., 26, 345, 1954.
15. С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., 2, 731, 1960.
16. В. Н. Цветков, С. И. Кленин, Докл. АН СССР, 88, 49, 1953.
17. В. Н. Цветков, Э. В. Фрисман, Докл. АН СССР, 97, 647, 1954.
18. W. Kuhn, H. Kuhn, Helv. chim. acta, 26, 1394, 1943; 28, 1553, 1945.
19. В. Н. Цветков, Н. Н. Бойцова, Высокомолек. соед., 2, 1176, 1960.
20. В. Н. Цветков, Высокомолек. соед., 4, 894, 1962.
21. Э. В. Фрисман, В. Н. Цветков J. Polymer Sci., 30, 297, 1958.
22. В. Н. Цветков, С. Я. Магарик, Докл. АН СССР, 127, 840, 1959.
23. В. Н. Цветков, В. С. Сказка, Н. М. Криворучко, Высокомолек. соед., 2, 1045, 1960.

SYNTHESIS OF GRAFT COPOLYMERS AND INVESTIGATION OF THEIR PROPERTIES.

II. THE SIZES, CONFIGURATIONS AND OPTICAL PROPERTIES OF METHYLMETHACRYLATE-STYRENE GRAFT COPOLYMER MACROMOLECULES

V. N. Tsvetkov, S. Ya. Magarik, S. I. Klenin, V. E. Eskin

S u m m a r y

The hydrodynamic (viscosity and diffusion) and optical (light scattering and flow birefringence) properties of solutions of polymers obtained by the grafting of polystyrene chains on polymethylmethacrylate chains have been investigated. It has been shown that the graft copolymer consists of chains ($M \approx 7 \cdot 10^4$) of polymethylmethacrylate (10% by weight) onto which are grafted shorter chains ($M \approx 2 \cdot 10^3$) of polystyrene (90% by weight). The graft copolymer has a positive optical anisotropy, despite the negative anisotropy of its main component (polystyrene). This is explained by the specific features of the «graft» structure.
