

УДК 541.64:539.2

**РАСЧЕТНЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ
НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРОВ**

Матвеев Ю. И., Аскадский А. А.

Оценены размеры элементов надмолекулярной структуры полимеров в зависимости от химического строения полимера и растворителя, из которого формируется полимерная пленка. Установлены условия формования пленок из раствора, отвечающие появлению глобулярной или фибрillярной надмолекулярной структуры.

Физические характеристики полимеров, рассчитываемые с помощью аддитивных схем, можно условно разделить на два типа. К первому типу относятся такие характеристики, которые определяются в основном химическим строением повторяющегося звена. Таковыми являются температура стеклования, плавления, начала интенсивной термической деструкции, показатель преломления, плотность и т. д. [1]. Ко второму типу относятся характеристики, которые определяются не только химическим строением повторяющегося звена, но и геометрическими размерами элементов надмолекулярной структуры (НМС). Таковыми являются модуль упругости [2], растворимость [3], проводимость [4], коэффициент оптической чувствительности по напряжению [5] и т. д. Чтобы рассчитать эти характеристики, необходимо уметь определять геометрические размеры элементов НМС в зависимости от условий формования полимерного образца. В случае получения пленочных образцов НМС будет зависеть от химического строения растворителя и полимера, температуры испарения растворителя, скорости испарения, добавления осадителей и т. д. Прежде чем перейти к изложению результатов работы, необходимо сделать несколько общих замечаний.

Не всякая система макромолекул в силу своей стереохимической конфигурации способна спонтанно образовывать либо глобулярные, либо фибрillярные структуры. Если идти от раствора, то гибкие цепи в статических условиях сокращаются в размерах, и в соответствующей области скейлинговых диаграмм состояния взаимодействие блоков может привести к образованию глобулярных сгущений плотности. Полужесткие цепи, наоборот, с увеличением концентрации стремятся распрямиться, что приведет к возникновению фибрillярной НМС. Кроме того, в растягивающем поле (вообще при наличии сильных градиентов скорости или силы) гибкие молекулы могут начать вести себя как жесткие и образовывать фибрillярную НМС.

Выбор плохого или хорошего растворителя определяет не только термодинамический, но и кинетический фактор. При этом скорость удаления растворителя (или введения осадителя) может сыграть решающую роль, так как система макромолекул должна успеть перестроиться в ту или иную сторону. К тому же известно, что амфи菲尔ные или дифильные макромолекулы могут «частями» избирательно взаимодействовать с осадителем. Например [6], при осаждении ПММА метанолом образуется мелкая взвесь, высушивание которой приводит к типично зернистой (глобулярной) структуре, ибо осадитель сольватирует эфирные группы, но приводит к коллапсу неполярного хребта цепи. Наоборот, предельные углеводороды в качестве осадителей приводят к образованию сплошного геля, ибо осаждают они, строго говоря, только полярные группы, а не

хребет. Внешние поля и регулярность цепей (да и абсолютные значения размеров повторяющихся звеньев) вносят свой вклад в кинетику протекания процессов структурообразования.

В данной работе мы сосредоточим внимание на термодинамической стороне вопроса об образовании НМС, происходящего при формировании полимерного тела из раствора.

В работе [7] были проведены расчеты по определению размеров суперструктур, возникающих в блок-сополимерах. Аналогичные типы элементов НМС могут наблюдаться и в гомополимерах (по терминологии работы [7], ламелярная; фибриллярная, соответствующая цилиндрической; глобулярная, соответствующая сферической). Покажем, что исходные физические допущения, использованные при расчете размеров суперструктур в блок-сополимерах, соблюдаются при образовании НМС по схеме, изложенной нами в работе [8], и поэтому соотношения работы [7] с соответствующей коррекцией могут быть использованы при определении размеров элементов НМС. В отличие от работы [7] ниже будут рассмотрены НМС в аморфном состоянии гомополимера.

Физической основой структурообразования в блок-сополимерах является несовместимость блоков, их тенденция к сегрегации. При этом морфология определяется соотношением ММ блоков. В случае образования НМС в гомополимерах основой ее являются супермакромолекулы, которые образуются из глобул — макромолекул ниже температуры перехода клубок — глобула¹ T_{kp} [8]. Ниже T_{kp} возникает несовместимость полимера и растворителя, происходит сегрегация (глобула выталкивает растворитель). Нас будет интересовать, во что выльется процесс сегрегации при понижении концентрации растворителя, а также влияние ММ на полученные результаты.

При определении размеров элементов НМС будем рассматривать конечную стадию возникновения НМС, когда концентрация (объемная доля) растворителя $c_p \sim 0$, а концентрация супермакромолекул $c_{cm} \sim 1$. Рассмотрим изменение конформационной свободной энергии супермакромолекулы α -типа ΔF_α , где $\alpha=1$ в случае ламелярной структуры, $\alpha=2$ — в случае фибриллярной структуры и $\alpha=3$ — в случае глобулярной структуры. Ограничимся двумя слагаемыми, согласно работе [7], и запишем

$$\Delta F_\alpha = \Delta F_{\alpha \text{ н}} + \Delta F_{\alpha \text{ у}} \quad (1)$$

где $\Delta F_{\alpha \text{ у}}$ — упругая составляющая свободной энергии; $\Delta F_{\alpha \text{ н}} = -\frac{R_\alpha^2}{2H_{cm}^2} kT$;

H_{cm}^2 — среднеквадратичное расстояние между концами супермакромолекулы, помещенной в среду таких же супермакромолекул концентрации c_{cm} ; $H_{cm}^2 = l^2 M/m$ при $c_{cm} \sim 1$ согласно работе [10], где M — ММ супермакромолекулы; m и l — масса и размер глобул — макромолекулы; R_α — размер элемента НМС α -типа; $\Delta F_{\alpha \text{ н}}$ — поверхностная составляющая свободной энергии, возникающая вследствие действия сил поверхностного натяжения растворителя на супермакромолекулу

$$\Delta F_{\alpha \text{ н}} = \gamma \alpha M \bar{v} / R_\alpha, \quad (2)$$

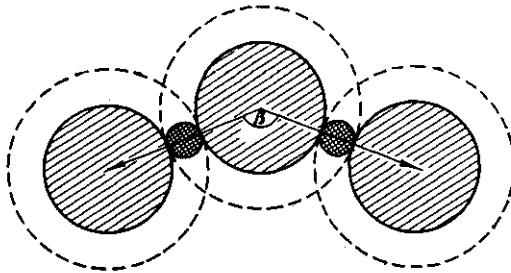
где γ — коэффициент поверхностного натяжения растворителя; \bar{v} — удельный объем супермакромолекулы. Воздействие растворителя на супермакромолекулу учитывается величиной $\Delta F_{\alpha \text{ н}}$.

Минимизируя ΔF_α по R_α , найдем величину R_α

$$R_\alpha = \left(\frac{\alpha \gamma}{3kT} l^2 \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{M^2}{m} \bar{v} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Учитывая, что $M/m = N_c$, где N_c — число глобул — макромолекул, образующих супермакромолекулу, $M \bar{v} = N_c l$ (с точностью до постоянного

¹ В работе [9] такие супермакромолекулы были названы «гроздями», состоящими из многих скрученных глобул — макромолекул.



Начальная стадия взаимодействия глобул – макромолекул и образования НМС (схема согласно работе [8])

коэффициента), получим окончательное выражение для R_a

$$R_a = \left(\frac{\alpha\gamma}{3kT} l^2 \right)^{\frac{1}{3}} N_c^{\frac{1}{3}} l \quad (3)$$

Рассмотрим теперь детальнее механизм скручивания супермакромолекулы в глобулу или фибриллу, чтобы уточнить величину поверхностного натяжения, входящую в выражение (3). Для примера возьмем глобулярную НМС, хотя полученный результат может быть распространен на другие типы НМС.

Согласно представлениям, развитым в работе [8], глобулы – макромолекулы имеют более плотное ядро и рыхлую опушку (рисунок). При взаимодействии глобул – макромолекул в опушках образуются глобулы связи, что также видно из рисунка. Если бы глобулы связи находились на противоположных концах диаметров глобул – макромолекул, то никакого движения элементов супермакромолекулы не было бы, так как силы, обусловленные поверхностным натяжением со стороны противоположных полушарий глобулы – макромолекулы, уравновешивались бы. Но из-за того что радиусы, соединяющие центры глобул, располагаются под углом β , величина которого носит случайный характер, возникает неуравновешенная сила, действующая со стороны растворителя на элементы супермакромолекулы. Величина этой силы пропорциональна неуравновешенной площади, равной удвоенной площади, отсекаемой от поверхности глобулы – макромолекулы глобулой связи (рисунок). Таким образом, поверхностную составляющую свободной энергии для глобулы – макромолекулы можно записать так:

$(\Delta F_n)_r = \gamma S_{cv}$, где $S_{cv} = \pi R_{rcv}^2$; R_{rcv} – радиус глобулы связи.

Плотность поверхностной составляющей свободной энергии глобулы-макромолекулы (подстрочный индекс гм), рассчитанной на единицу поверхности, будет равна

$$\left(\frac{\Delta F_n}{4\pi R_{rm}^2} \right)_{rm} = \xi \gamma,$$

где $\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{R_{rcv}}{R_{rm}} \right)^2$; R_{rm} – радиус глобулы-макромолекулы. Из условия

равенства плотности поверхностной составляющей свободной энергии на глобуле НМС и на глобуле-макромолекуле (так как действие поверхностного натяжения на глобуле НМС складывается из действий на отдельные глобулы-макромолекулы) получим

$$\frac{\Delta F_{an}}{4\pi R_a^2} = \frac{\Delta F_n}{4\pi R_{rm}^2} = \xi \gamma$$

Таким образом, воздействие растворителя на глобулы супермакромолекулы можно учесть через эффективный коэффициент поверхностного натяжения γ' , который будет $\gamma' = \xi \gamma$.

Величину N_c найдем из условия равенства объемов свободносочлененной супермакромолекуллярной цепи и глобуллярной НМС

$$N_c^{\frac{3}{2}} l^3 = \left(\frac{\alpha \gamma'}{3kT} l^2 \right) l^3 N_c^2$$

или

$$N_c^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\alpha \gamma'}{3kT} l^2 \right)^{-\frac{1}{2}}$$

В случае глобуллярной НМС

$$\frac{R_s}{l} = \frac{kT}{\gamma' b^2}$$

Оценим величину ξ в случае глобуллярной НМС. Если, например, $R_s/l=20$ [8], $l \sim 20$ Å, $T=300$ К, $\gamma=0,04$ Н·м

$$\xi = \frac{1}{800}, \quad 2\xi = \left(\frac{R_{\text{гсв}}}{R_r} \right)^2 = \frac{n}{N},$$

где n – количество звеньев в глобуле связи; N – число звеньев в макромолекуле, так как $R_{\text{гсв}}^2 = n l^2$, $R_{\text{гсв}}^2 = N l_c^2$, где l_c – величина сегмента макромолекулы.

Пусть $N \approx 10000$. Тогда $n \approx 24$ звена, а опушка каждой макромолекулы дает 12 звеньев. В случае фибриллы $R_s/l \approx 5$, $n \approx 72$ звена.

Эти результаты позволяют уточнить модель образования НМС. Если в работе [8] предполагалось, что фибриллярная структура образована элементами типа эллипсоидов, то из приведенных выше оценок следует, что универсальным элементом НМС является гантель. Поскольку при образовании фибриллярной и глобуллярной структур количество звеньев, образующих глобулу связи, намного меньше количества звеньев глобуллярных макромолекул, при присоединении двух глобул-макромолекул друг к другу образуется фигура типа гантели.

В случае фибриллярной структуры глобула связи в 3 раза больше. Так как глобула связи содержит малое число звеньев, почти во всем диапазоне температур она в клубкообразном состоянии и обладает достаточно малой (энтропийной) упругостью, что дает возможность супермакромолекуле принять нужную форму.

Оценим величину R_s . Поскольку $\gamma = kT/a^2$ [11], где a – характерный размер в жидкости, то $R_s/l_{\text{гсв}} = \frac{a^2}{l_{\text{гсв}}^2}$, $a^2 = N_p l_p^2$, $l_{\text{гсв}}^2 = n l_{\text{зв}}^2$ и $R_s/l = (N_p/n) \cdot (l_p/l_{\text{зв}})$, где N_p/n – количество молекул растворителя, приходящееся на одно звено полимера. Величину N_p/n определим из условия, что звено полимера образует сферу, а молекулы растворителя находятся в шаровом слое около сферы – звена

$$\frac{N_p}{n} = \frac{3R_{\text{зв}}^2 2R_p + 3R_{\text{зв}} 4R_p^2 + 8R_p^3}{R_p^3} = 6 \left(\frac{R_{\text{зв}}}{R_p} \right)^2 + 12 \left(\frac{R_{\text{зв}}}{R_p} \right) + 8$$

Так как $\left(\frac{l_p}{l_{\text{зв}}} \right)^2 = \left(\frac{R_p}{R_{\text{зв}}} \right)^2$; то $\frac{R_s}{l} = 6 + 12 \frac{R_p}{R_{\text{зв}}} + 8 \left(\frac{R_p}{R_{\text{зв}}} \right)^2$. Величину $R_p/R_{\text{зв}}$ можно записать как $\varkappa = R_p/R_{\text{зв}} = \left(\sum_i \Delta V_i \right)_p^{\frac{1}{2}} / \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{зв}}^{\frac{1}{2}}$,

где $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_p$ и $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{зв}}$ – ван-дер-ваальсовы объемы молекулы растворителя и повторяющегося звена полимера соответственно. Если взять из экспериментальных данных $N_p/n = 20(R_{\text{зв}}/R_p)^2$, то получим

$$\left(\sum_i \Delta V \right)_{\text{зв}} / \left(\sum_i \Delta V_i \right)_p \approx 2,2.$$

**Исходные данные и результаты расчета размеров элементов НМС
ряда полимеров при степени полимеризации $N = 100$**

Растворитель	$\sum_i \Delta V_i, \text{ \AA}^3$	κ	R_s/l	$R_s, \text{ \AA}$
ПММА $(\sum_i \Delta V_i)_{3B} = 96,8 \text{ \AA}^3, l=21 \text{ \AA}$				
Хлороформ	69,6	0,896	23,17	487
ДХЭ	76,2	0,923	23,89	502
Бензол	88,2	0,969	25,14	527
Толуол	105,1	1,028	27,13	569
Диоксан	87,7	0,968	25,11	527
ПС $(\sum_i \Delta V_i)_{3B} = 109,7 \text{ \AA}^3, l=22 \text{ \AA}$				
Хлороформ	69,6	0,859	22,21	488
Бензол	88,2	0,930	24,08	530
Диоксан	87,7	0,928	24,03	528
Полиарилат $(\sum_i \Delta V_i)_{3B} = 390,2 \text{ \AA}^3, l=34 \text{ \AA}$				
Хлороформ	69,6	0,178	8,39	286
ДХЭ	76,2	0,195	8,64	292
TXЭ	105,8	0,271	9,84	333
Нитробензол	105,1	0,269	9,81	333
TГФ	84,2	0,215	8,96	306

Рассчитаем на ряде конкретных примеров зависимость величины R_s/l от κ . Исходные данные и результаты расчета для трех полимеров — ПММА, ПС и полиарилата фенолфталеина и изофталевой кислоты представлены в таблице. Из нее видно, что если ван-дер-ваальсовы объемы повторяющегося звена полимера и молекулы растворителя близки, то $\kappa \sim 1$, а отношение размера элемента НМС R_s к размеру глобулы — макромолекулы $l(R_s/l)$ изменяется в узких пределах от 22 до 27. Если ван-дер-ваальсов объем молекулы растворителя существенно меньше объема повторяющегося звена полимера, то κ и R_s/l принимают существенно меньшие значения (0,18–0,27 и 8,4–9,8 соответственно). Однако если рассчитать абсолютный размер элемента НМС R_s , то для всех полимеров эти величины имеют близкие значения (таблица). По этому поводу следует заметить, что наблюдаемая в многочисленных работах электронно-микроскопическая картина глобул для различных аморфных полимеров показывает примерное равенство их размеров, что послужило одним из поводов приписать эту картину артефактам и усомниться в реальности ее существования. Как показали выполненные нами оценки для полимеров совершенно различных классов, именно такая картина и должна наблюдаться.

В случае фибриллы из условия равенства объемов цилиндра, образованного свободносочленной цепью супермакромолекулы, и фибриллы получим

$$\pi l^2 L N_c = \left(\frac{\alpha \gamma'}{3kT} l^2 \right)^n N_c^n \pi l^2 L,$$

где L — длина образующей цилиндра (фибриллы)

$$N_c^n = \left(\frac{2\gamma'}{3kT} l^2 \right)^{-n}, \quad R_2 = \frac{3kTl}{2\gamma' l^2},$$

а отношение $R_2/R_s = \frac{3R_s^2}{2R_2^2} = \frac{3n_r}{2n_\phi}$, где n_r — количество звеньев в

глобуле связи глобулярной НМС, n_ϕ — количество звеньев в глобуле связи фибриллярной НМС. Из экспериментальных данных [9] $R_2/R_s \approx 1/4$ и $n_r/n_\phi \approx 1/6$ (в одном и том же растворителе).

Определим теперь величину свободной энергии домена (супермакромолекулы) ΔF_α . При найденном по формуле (3) значении R_α выражение (1) даст

$$\Delta F_\alpha = \frac{3}{2} \frac{\alpha \gamma}{R_\alpha} M \bar{v}$$

Оценим теперь свободную энергию глобулярной и фибриллярной НМС

$$\Delta F_r = \frac{9\gamma_r}{2R_3} V, \quad \Delta F_\phi = \frac{3\gamma_\phi}{R_3} V$$

$$\frac{\Delta F_r}{\Delta F_\phi} = \frac{3\gamma_r}{2\gamma_\phi} \frac{R_2}{R_3} = \frac{3\xi_r}{2\xi_\phi} \frac{R_2}{R_3} = \frac{3n_r}{2n_\phi} \frac{R_2}{R_3} = \left(\frac{3n_r}{2n_\phi} \right)^2$$

Оценки дают $\frac{3}{2} \frac{n_r}{n_\phi} = \frac{3}{2 \cdot 6} = \frac{1}{4}$, а $\frac{\Delta F_r}{\Delta F_\phi} = \frac{1}{16} \ll 1$, т. е. фибриллярная структура энергетически менее выгодна, чем глобулярная в данном растворителе. Для получения фибриллярной структуры, необходимо выполнение условия

$$\Delta F_r + \Delta F \approx \Delta F_\phi,$$

где ΔF может быть связано с подводом тепла в случае раствора или с приложением механической энергии (в твердом состоянии). Для получения глобулы связи, соответствующей фибриллярной структуре, следует выдержать полимер в области перехода температуры клубок — глобула T_{kp} . Величина глобулы связи должна зависеть от разности температур $T_{kp} - T$ и скорости испарения растворителя.

Для получения необходимой НМС надо знать T_{kp} для данной системы полимер — растворитель. Обычно T_{kp} бывает значительно выше температуры эксперимента, или она быстро смещается в область высоких температур при испарении растворителя, поэтому опушки глобул — макромолекул не успевают достаточно глубоко проникнуть друг в друга. Если этот процесс искусственно замедлить, то можно ожидать образования фибриллярной структуры.

Имея соотношения для R_3/l и для R_2/R_3 , можно получить соотношение для R_2/l

$$\frac{R_2}{l} = \frac{n_r}{n_\phi} \left[9 + 18 \frac{R_p}{R_{3B}} + 12 \left(\frac{R_p}{R_{3B}} \right)^2 \right]$$

Примем $n_r/n_\phi = \delta_r/\delta_\phi$, где δ_r — толщина опушки глобулы — макромолекулы при глобулярной НМС; δ_ϕ — толщина опушки глобулы макромолекулы фибриллярной НМС.

Основным фактором, влияющим на толщину опушки, является разность температур $T_{kp} - T$. Если эта величина очень велика, то $\delta \rightarrow \delta_r$. В общем случае если воспользоваться результатами работ [8, 11, 12], то можно показать, что

$$\delta = \delta_r + (R_\alpha - \delta_r) e^{\beta \frac{T - T_{kp}}{T}}$$

При $T = T_{kp}$, $\delta = R_\alpha$, а при $(T_{kp} - T)/T \rightarrow \infty$, $\delta \rightarrow \delta_r$

$$\frac{\delta_r}{\delta_\phi} = \frac{n_r}{n_\phi} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_\alpha}{\delta_r} - 1 \right) \exp \left(\beta \frac{T - T_{kp}}{T} \right)}$$

$$\frac{R_\alpha}{\delta_r} \exp \left(\beta \frac{\Delta T_{kp}}{T_{kp}} \right) = 5, \quad \frac{\beta \Delta T}{T_{kp}} \approx -7, \quad \Delta T_{lim} \approx -\frac{7T_{kp}}{\beta}$$

Если исходная температура испарения растворителя при получении пленки соответствует условию $\Delta T > \Delta T_{lim}$, то полимер перейдет в глобулярное состояние. При $\Delta T < \Delta T_{lim}$ можно ожидать образования фибриллярной НМС. При этом необходимо учитывать, что при изменении кон-

центрации растворителя T_{kp} будет меняться, и для получения фибриллярной структуры необходимо все время контролировать T_{kp} .

Выше были определены размеры различных типов НМС, установлена их связь с химическим строением полимера и растворителя. Однако остался открытым еще вопрос, каким образом из супермакромолекулы, находящейся в относительно разбавленном растворе, образуется глобула или фибрилла, что дает толчок возникновению замкнутых форм, самому процессу образования НМС.

Накопленные к настоящему времени данные позволяют дать ответ на этот вопрос. Обычно формование пленки происходит в определенном объеме при постепенном испарении растворителя. При этом возникают градиенты температуры между поверхностью раствора и дном кюветы. Кроме того, на поверхностях элементов супермакромолекул возникают градиенты сил поверхностного натяжения. В результате в растворе возникает конвективное движение, а при некоторой концентрации растворителя образуются ячейки Бенара (либо сферы, либо цилиндры). Момент возникновения ячейки Бенара определяется числом Марангони, так как при рассматриваемых толщинах раствора существенную роль играют гравитационно-капиллярные эффекты [13]. Вид возбуждаемого движения определяется жесткостью цепи супермакромолекулы, т. е. размером глобулы связи. Следует заметить, что в отличие от простых вязких жидкостей и их смесей, в случае макромолекул будут возбуждаться только первые моды конвективного движения (вращение целиком сферы или цилиндра), так как из-за громоздкости супермакромолекулярной цепи остальные моды движения не смогут возбуждаться. Именно конвективное движение может придать супермакромолекулам тот вид, который они имеют в НМС. То, что процесс формирования НМС связан с конвективными движениями, можно обнаружить экспериментально. Вводя в полимер спиртовые метки и наблюдая поведение раствора в переменном магнитном поле, можно обнаружить резонансное поглощение на низких частотах, связанное с конкретными движениями супермакромолекулы. Это резонансное поглощение отсутствует в слабых растворах, появляется в момент возникновения НМС и будет продолжаться вплоть до полного испарения растворителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскадский А. А., Матвеев Ю. И. // Химическое строение и физические свойства полимеров. М., 1983. 248 с.
2. Матвеева Т. П., Матвеев Ю. И., Аскадский А. А. // Механика композит. материалов. 1986. № 2. С. 201.
3. Аскадский А. А., Матвеев Ю. И. // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290. № 1. С. 135.
4. Матвеев Ю. И., Аскадский А. А. // Высокомолек. соед. 1987 (в печати)
5. Аскадский А. А., Маршалкович А. С., Матвеева Т. П., Пастухов А. В., Сидорова Г. И. // Механика композит. материалов. 1983. № 5. С. 906.
6. Френкель С. Я. // Введение в статистическую теорию полимеризации. Л., 1965.
7. Жулина Е. Б., Бирштейн Т. М. // Высокомолек. соед. А. 1986. Т. 28. № 12. С. 2589.
8. Матвеев Ю. И., Аскадский А. А. // Высокомолек. соед. А. 1986. Т. 28. № 7. С. 1365.
9. Слонимский Г. Л., Коршак В. В., Виноградова С. В., Китайгородский А. И., Аскадский А. А., Салазкин С. Н., Белавцева Е. М. // Высокомолек. соед. А. 1967. Т. 9. № 2. С. 402.
10. Де Жен П. // Идеи скейлинга в физике полимеров. М., 1982. 368 с.
11. Лишиц И. М. // Успехи физ. наук. 1979. Т. 127. № 3. С. 353.
12. Ландау Л. Д., Лишиц Е. М. // Статистическая физика. М., 1964. 568 с.
13. Гершун Г. З., Жуховицкий Е. М. // Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., 1972. 392 с.

Институт охраны труда ВЦСПС
Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмеянова АН СССР

Поступила в редакцию
17.VIII.1987

CALCULATION METHOD OF EVALUATION OF DIMENSIONS
OF ELEMENTS OF SUPERMOLECULAR STRUCTURE OF POLYMERS
Matveev Yu. I., Askadskii A. A.

Summary

Dimensions of elements of the supermolecular structure of polymers have been evaluated for various chemical structure of polymers and solvents from which a polymer film is formed. The conditions of films formation from solution corresponding to appearance of globular and fibrillar supermolecular structure were found.