



6. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В., Иванова Г.Я. и др. Приложение метода сечений к изучению высаливания в многокомпонентных системах. Высаливание в четырехкомпонентных системах, заключающих две преобладающие системы // Журн. физ. химии. 1969. Т.18, №6. С.1493–1497.

7. Черкасов Д.Г., Смотров М.П., Ильин К.К. Равновесие двух жидких фаз и критические явления в тройной системе вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5–55°C // Журн. прикл. химии. 2008. Т.81, №2. С.229–233.

8. Ильин К.К., Никурашина Н.И. Изучение фазовых равновесий тройной системы вода – пиридин – хлорид калия в интервале температур 0–160°C // Журн. прикл. химии. 1980. Т.53, №10. С.2211–2215.

9. Химическая энциклопедия: В 5 т. / Ред. И.Л. Кнунянц. М.: Сов. энцикл., 1988–1998.

10. Ильин К.К., Черкасов Д.Г. Равновесие трех жидких фаз и критические явления высшего порядка в четверных системах. Сообщение 2. Определение координат трикритической точки и топология объема трехжидкофазного состояния в системе вода – изопропиловый спирт – н-октан – бромид калия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2006. Т.49, №1. С.3–12.

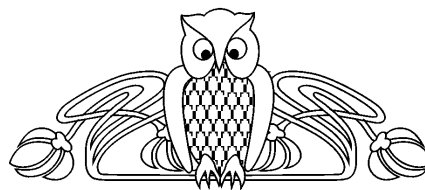
11. Ильин К.К., Черкасов Д.Г. Топология фазовых диаграмм четверных расслаивающихся систем соль – три растворителя // Избранные главы физико-химического анализа: В 2 ч. / Перм. ун-т; ЕНИ при Перм. ун-те. Пермь, 2003. Ч.1. С.17–36.

УДК 547.458.82

## ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ДИАЦЕТАТ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ – ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИД ПО ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Е.В. Козырева, Н.О. Гегель, А.Б. Шиповская

Саратовский государственный университет,  
кафедра полимеров  
E-mail: Kozyreva-EV@yandex.ru



Исследованы вискозиметрические свойства разбавленных растворов диацетата целлюлозы в диметилсульфоксиде в интервале температур 25–65°C. Зависимость приведенной удельной вязкости от концентрации имеет обычный прямолинейный характер. Величина предельного числа вязкости  $[\eta]$  закономерно уменьшается с ростом температуры и уменьшением средневязкостной молекулярной массы полимера. Определены константы уравнения Марка – Куна – Хаувинка. Установлено, что с повышением температуры происходит увеличение среднеквадратичного расстояния между концами цепи, длины сегмента Куна и степени заторможенности вращения при уменьшении диаметра и степени свернутости макромолекулы. Сделан вывод о повышении жесткости и вытягивании макроцепей диацетата целлюлозы в присутствии диметилсульфоксида с повышением температуры.

**Ключевые слова:** диацетат целлюлозы, диметилсульфоксид, разбавленные растворы, предельное число вязкости, гидродинамические свойства.

Viscometric Estimation of Hydrodynamical Parameters of the Cellulose Diacetate – Dimethylsulfoxide System

E.V. Kozyreva, N.O. Gegel, A.B. Shipovskaya

The viscometric properties of diluted solutions of cellulose diacetate in dimethylsulfoxide in a temperature range 25–65°C were studied. The concentration dependence of the reduced specific viscosity is linear. The limiting viscosity  $[\eta]$  value regularly decreases as temperature grows and the viscosity-average molecular weight of the polymer decreases. The Mark – Kuhn – Howink constants have been deter-

mined. Increasing temperature leads to an increase of the root-mean-square end-to-end distance, the Kuhn segment length, and the retardation degree of rotation while both the macromolecular diameter and swelling coefficient reduce. A conclusion about an increase of the rigidity and extension of cellulose diacetate macrochains in the presence of dimethylsulfoxide with increasing temperature is made.

**Key words:** cellulose diacetate, dimethylsulfoxide, dilute solutions, intrinsic viscosity, hydrodynamic properties.

Характерным свойством макромолекул полимеров является гибкость, т.е. способность изменять конформацию под влиянием теплового движения или под действием деформирующих сил. Непосредственным методом, с помощью которого можно охарактеризовать гибкость (жесткость) полимерной цепи в равновесных условиях, является изучение конформации (формы и размера) молекулы в разбавленном растворе. Знание гидродинамических параметров позволяет оценить молекулярные характеристики макроцепи, термодинамическое качество растворителя, а также прогнозировать поведение системы при изменении внешних условий.



Известно, что при реологических исследованиях растворов высокомолекулярных соединений сведения о гидродинамических параметрах системы полимер – растворитель можно получить изучением зависимости вязкости разбавленных растворов от концентрации и молекулярной массы полимера.

Целью работы явилось исследование вискозиметрических свойств разбавленных растворов диацетата целлюлозы в диметилсульфоксиде и расчет гидродинамических параметров.

Объектами исследования служили растворы диацетата целлюлозы (ДАЦ) в диметилсульфоксиде (ДМСО) концентрации  $C = 0.1\text{--}0.5$  г/дл. Использовали промышленный образец ДАЦ и его фракции различной молекулярной массы с близким содержанием связанной уксусной кислоты (характеристики приведены в табл. 1), полученные методом дробного осаждения [1]. Условия фракционирования подобраны в специальных опытах. Средневязкостную молекулярную массу ( $\overline{M}_\eta$ ) определяли вискозиметрически (растворитель – ацетон квалификации ч.д.а.) при  $25^\circ\text{C}$  и рассчитывали по уравнению Марка – Куна – Хаувинка ( $[\eta] = K \cdot \overline{M}_\eta^a$ ) с константами  $K = 1.6 \cdot 10^{-4}$ ,  $a = 0.82$  [2]. Степень ацетилирования ( $\gamma$ ) образцов определяли согласно [3]. ДМСО, квалификации ч.д.а, имел следующие характеристики:  $T_{\text{пл}} = 18.5^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{кип}} = 189^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1.1$  г/см<sup>3</sup>. ДМСО относится к классу мезофазогенных растворителей, т.е. в которых уксуснокислые и другие эфиры целлюлозы (например, оксиметилцеллюлоза, этилцеллюлоза) образуют лиотропную ЖК-фазу [4–7].

Вискозиметрические исследования проводили в вискозиметре Уббелюде с диаметром капилляра 0.56 мм в интервале темпера-

тур  $T = 25\text{--}65^\circ\text{C}$ . Исходный раствор ДАЦ в ДМСО концентрации  $C = 0.5$  г/дл готовили растворением навески порошка полимера в растворителе при  $T \approx 20^\circ\text{C}$  в течение одних суток. Растворы концентрации  $0.1 < C < 0.5$  г/дл получали разбавлением исходного раствора растворителем (ДМСО). Перед измерением растворы фильтровали через фильтр Шотте №160. Для каждой фракции экспериментально определяли время истечения растворов и рассчитывали относительную, удельную ( $\eta_{\text{уд}}$ ) и приведенную удельную ( $\eta_{\text{уд}}/C$ ) вязкости. Предельное число вязкости ( $[\eta]$ ) находили экстраполяцией концентрационной зависимости ( $\eta_{\text{уд}}/C$ ) к условию  $C \rightarrow 0$ .

Экспериментально полученные графики  $\eta_{\text{уд}}/C = f(C)$  растворов ДАЦ в ДМСО для фракции 1 при  $T = 25\text{--}65^\circ\text{C}$  представлены на рис. 1, а. Для других фракций графики  $\eta_{\text{уд}}/C = f(C)$  аналогичные. Видно, что во всем исследованном интервале температур зависимости  $\eta_{\text{уд}}/C$  от концентрации раствора имеют обычный прямолинейный характер. Величина предельного числа вязкости  $[\eta]$  достаточно высокая (что типично для производных целлюлозы, характеризующихся повышенной жесткостью молекулярной цепи) и закономерно уменьшается с ростом температуры (табл. 2). С повышением температуры уменьшается и наклон прямых  $\eta_{\text{уд}}/C = f(C)$ .

Известно, что величина  $[\eta]$  определяется гидродинамическим объемом макромолекулярных клубков. Этот параметр, а следовательно, и  $[\eta]$  зависят от природы полимера и термодинамического качества растворителя и соответственно формы и размера макромолекулы. Для случая разбавленных растворов применяется уравнение Хаггинса, позволяющее определить вискозиметрическую константу Хаггинса  $K_x$ , являющуюся мерой взаимодействия полимера с растворителем:

$$\eta_{\text{уд}}/C = [\eta] + K_x \cdot C \cdot [\eta]^2. \quad (1)$$

Полученные данные  $\eta_{\text{уд}}/C = f(C)$  растворов ДАЦ в ДМСО для всех фракций обрабатывали согласно уравнению (1). Рассчитанные значения константы Хаггинса  $K_x$  при-

Таблица 1

Характеристика исходного образца и фракций ДАЦ

Параметры	Фракция				
	1	2	3	4	Исходная
$\overline{M}_\eta \cdot 10^{-4}$	9.0	8.3	7.4	6.4	7.7
$\gamma, \%$	53.6	54.2	55.4	55.1	54.9

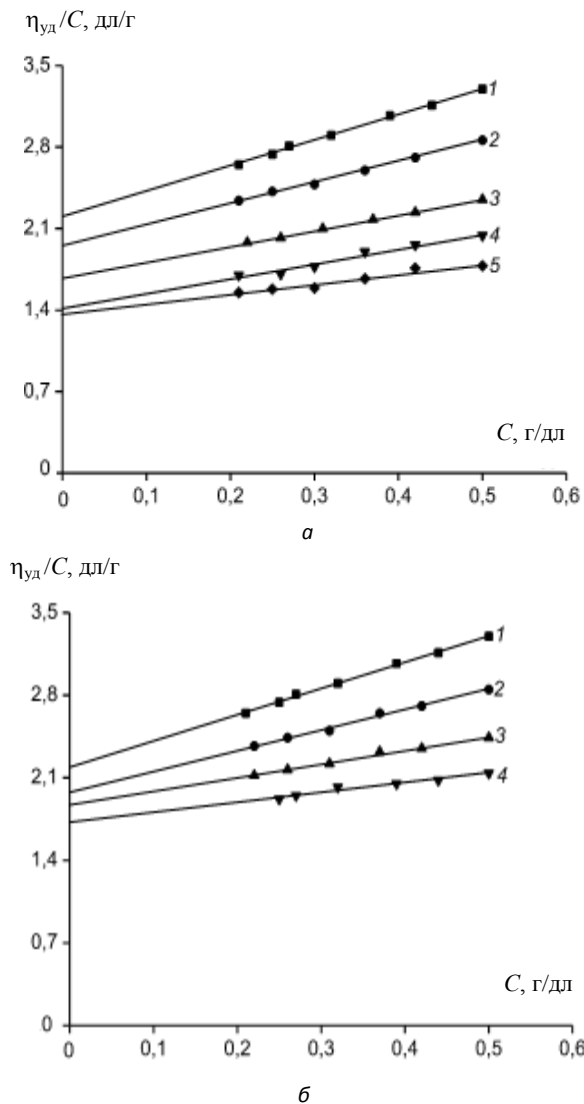


Рис. 1. Зависимости приведенной удельной вязкости от концентрации растворов ДАЦ в ДМСО: а – для фракции 1 (см. табл. 1) при температурах  $T = 25$  (1), 35 (2), 45 (3), 55 (4) и 65°C (5); б – для четырех фракций полимера с  $\overline{M}_\eta \cdot 10^{-4} = 9.0$  (1), 8.3 (2), 7.4 (3) и 6.4 (4) при  $T = 25^\circ\text{C}$

ведены в табл. 2. Как оказалось, с ростом температуры  $K_\chi$  уменьшается, что может свидетельствовать об улучшении качества ДМСО как растворителя ДАЦ. Однако для фракции 2 эта закономерность несколько нарушается ( $K_\chi$  практически постоянна), что, вероятно, связано с пониженным содержанием связанной уксусной кислоты в данной фракции.

Зависимости  $\ln[\eta]$  от температуры растворов ДАЦ в ДМСО (рис. 2) обнаруживают большие отрицательные температурные ко-

Таблица 2  
Характеристика вискозиметрических и гидродинамических свойств разбавленных растворов ДАЦ в ДМСО

$\overline{M}_\eta \cdot 10^{-4}$	Параметры	Температура $T, ^\circ\text{C}$				
		25	35	45	55	65
9.0	$[\eta], \text{дл/г}$	2.19	1.96	1.68	1.40	1.36
	$K_\chi$	0.46	0.46	0.47	0.46	0.47
	$\delta \cdot 10^2, \text{K}^{-1}$	-0.12				
8.3	$[\eta], \text{дл/г}$	1.98	1.73	1.53	1.36	1.31
	$K_\chi$	0.44	0.45	0.39	0.43	0.29
	$\delta \cdot 10^2, \text{K}^{-1}$	-0.12				
7.4	$[\eta], \text{дл/г}$	1.87	1.63	1.39	1.21	1.10
	$K_\chi$	0.3	0.21	0.23	0.28	0.24
	$\delta \cdot 10^2, \text{K}^{-1}$	-0.13				
6.4	$[\eta], \text{дл/г}$	1.73	1.43	1.15	1.03	0.95
	$K_\chi$	0.27	0.22	0.23	0.11	0.05
	$\delta \cdot 10^2, \text{K}^{-1}$	-0.15				

эффициенты ( $\delta$ ) для всех фракций полимера (см. табл. 2). Такое поведение характерно для растворов эфиров целлюлозы как в хороших, так и в плохих растворителях. Считается, что это свойство растворов производных целлюлозы, обусловленное уменьшением размеров клубков макромолекул при повышении  $T$ , в большей степени определяется изменением гибкости (жесткости) макроцепи и уменьшением степени сольватации, чем изменением взаимодействия полимер – растворитель. Полученные отрицательные величины  $\delta$  могут свидетельствовать о том, что решающую роль в формировании конформационных свойств молекул ДАЦ в разбавленных растворах ДМСО играет равновесная жесткость цепи (близкодействие), тогда как роль объемных эффектов (дальнодействие) при этом, по меньшей мере, второстепенна [8, 9].

Изменение  $[\eta]$  и наклона прямых  $\eta_{уд}/C = f(C)$  в зависимости от молекулярной массы для четырех фракций ДАЦ при  $T = 25^\circ\text{C}$  наглядно демонстрирует рис. 1, б. Графики для других температур – аналогичные. Таким образом, для каждой исследуемой температуры и  $[\eta]$  и наклон экспериментально полученных прямых понижаются как с увеличением температуры, так и с уменьшением  $\overline{M}_\eta$  полимера (см. табл. 2).

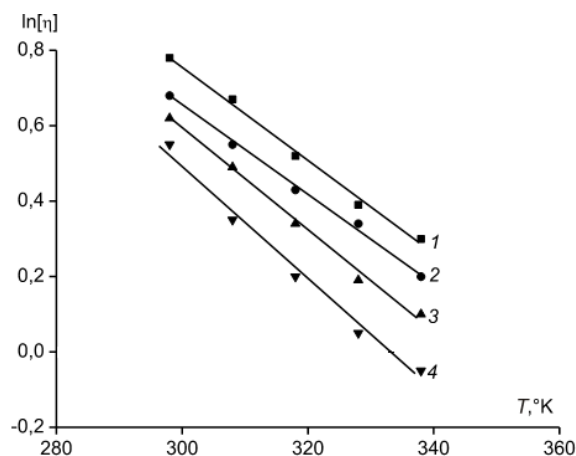


Рис. 2. Температурная зависимость предельного числа вязкости растворов ДАЦ в ДМСО для четырех фракций полимера; цифры у кривых – номер фракции ДАЦ (см. табл. 1)

По значениям предельного числа вязкости  $[\eta]$ , полученным для фракций ДАЦ различной молекулярной массы при разных температурах, была построена зависимость  $\lg [\eta] = f(\lg \overline{M}_\eta)$ . В данных координатах  $\lg [\eta] = f(\lg \overline{M}_\eta)$  является прямой, из тангенса наклона которой определена константа  $a$  уравнения Марка – Куна – Хаувинка. Константу  $K$  находили из точки пересечения экстраполированной прямой  $\lg [\eta] = f(\lg \overline{M}_\eta)$  к условию  $\overline{M}_\eta \rightarrow 0$ . Значения констант  $K$  и  $a$  приведены в табл. 3. С повышением температуры константа  $K$  уменьшается, а  $a$  возрастает. Величины констант уравнения Марка – Куна – Хаувинка, характер их изменения с ростом температуры, а также представленные выше гидродинамические параметры системы ДАЦ – ДМСО позволяют констатировать, что ДМСО является хорошим растворителем ДАЦ и термодинамическое качество ДМСО как растворителя ДАЦ улучшается с повышением температуры.

Таблица 3

Константы уравнения Марка–Куна–Хаувинка для системы ДАЦ – ДМСО

Константы	Температура, °C				
	25	35	45	55	65
$K \cdot 10^4$	1.25	1.10	0.95	0.83	0.60
$a$	0.82	0.85	0.86	0.88	0.90

Для количественной оценки равновесной жесткости молекулярной цепи ДАЦ в растворе ДМСО применяли теорию поступательного трения червеобразных цепей [8, 10], согласно которой выполняются соотношения:

$$\left(M^2/[\eta]\right)^{1/3} = \Phi_\infty^{-1/3} (M_L/A)^{1/2} M^{1/2} + (k/4.65 A_0) (M_L/3\pi) [\ln(A/d) - 1.056], \quad (2)$$

$$(4.65 A_0/k) \left(M^2/[\eta]\right)^{1/3} = P_\infty^{-1} (M_L/A)^{1/2} M^{1/2} + (M_L/3\pi) [\ln(A/d) - 1.056], \quad (3)$$

где  $A$  – длина сегмента Куна, см;  $d$  – диаметр макромолекулярной цепи, см;  $M$  – молекулярная масса исследуемого полимера;  $[\eta]$  – характеристическая вязкость, дл/г;  $\Phi_\infty$  – вискозиметрическая константа Флори,  $\Phi_\infty = 2.87 \cdot 10^{21}$  моль<sup>-1</sup>;  $M_L = M_0/\lambda$ ,  $M_0$  – молекулярная масса мономерного звена;  $\lambda = 5.15 \cdot 10^{-8}$  см – длина проекции мономерного звена на направление цепи;  $k$  – константа Больцмана,  $k = 1.38 \cdot 10^{-16}$  эрг/К;  $A_0$  и  $P_\infty$  – параметры, определенные экспериментально для системы эфир целлюлозы – растворитель,  $A_0 = (3.35 \pm 0.3) \cdot 10^{-10}$  г·см<sup>2</sup>·с<sup>-2</sup> × град<sup>-1</sup>·моль<sup>-1/3</sup>,  $P_\infty = 5.11$  [8, 10].

В формуле (2) используются гидродинамические постоянные  $\Phi_\infty$  и  $A_0$ , в формуле (3) – диффузионная постоянная  $P_\infty$ . Следовательно, используя одни и те же данные вискозиметрии, формула (2) позволяет определить параметр равновесной жесткости  $A_\eta$  и гидродинамический диаметр  $d_\eta$  цепи макромолекулы ДАЦ в процессе ламинарного течения в капилляре при сравнительно малом напряжении сдвига, а формула (3) – длину сегмента Куна  $A_D$  и диаметр червеобразной цепи  $d_D$  молекулы ДАЦ, соответствующие параметрам, определяемым по диффузионным характеристикам [8].

Согласно формулам (2) и (3) по полученным экспериментальным данным строили зависимость  $\left(M^2/[\eta]\right)^{1/3} = f\left(M^{1/2}\right)$  для интервала температур 25–65°C. Эта зависимость оказалась линейной (рис. 3) во всей области молекулярных масс исследуемых в работе фракций ДАЦ, что свидетельству-



ет о правомерности применимости теории поступательного трения червеобразных цепей для определения сегмента Куна  $A$  и диаметра цепи  $d$  молекул уксусно-кислого эфира целлюлозы. По наклону прямых  $(M^2/[\eta])^{1/3} = f(M^{1/2})$  с использованием соотношений (2) и (3) находили длину сегмента Куна  $A_\eta$  и  $A_D$  соответственно. По отрезкам, отсекаемым прямыми на оси ординат, определяли диаметр цепи  $d_\eta$  и  $d_D$ . Полученные данные представлены в табл. 4. Значения  $A_i$  и  $d_i$ , определенные для ДАЦ, близки к соответствующим величинам, полученным для других простых и сложных эфиров целлюлозы [4, 5, 8–10].

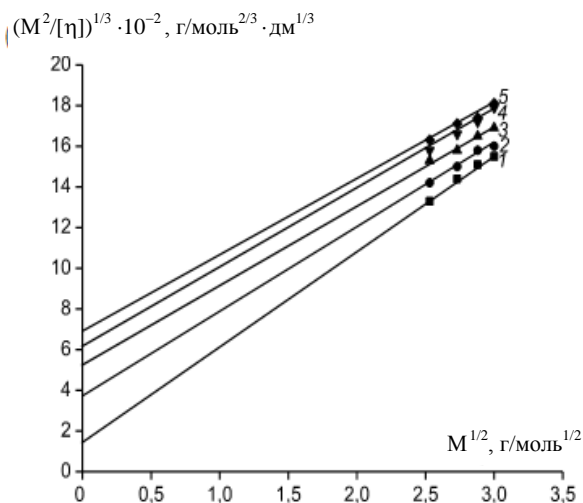


Рис. 3. Зависимость  $(M^2/[\eta])^{1/3}$  от  $M^{1/2}$  для фракций ДАЦ в ДМСО при температурах  $T = 25$  (1), 35 (2), 45 (3), 55 (4) и 65 °C (5)

Таблица 4  
Гидродинамические параметры макромолекул ДАЦ в ДМСО

$T, ^\circ\text{C}$	$A_\eta, \text{\AA}$	$d_\eta, \text{\AA}$	$A_D, \text{\AA}$	$d_D, \text{\AA}$	$\sigma_\eta$	$\sigma_D$	$(\bar{h}^2)^{0.5}, \text{\AA}$	$\sigma$
25	105	19	138	26	3.0	3.5	415	3.9
35	116	12	153	16	3.3	3.7	436	3.7
45	127	6	167	8	3.4	3.9	456	3.6
55	134	4	176	5	3.5	4.0	467	3.5
65	153	2	215	3	3.7	4.4	500	3.3

Величины сегмента Куна  $A_i$  ( $A_\eta$ ,  $A_D$ ) и диаметра цепи  $d_i$  ( $d_\eta$ ,  $d_D$ ) использовали для расчета параметров макромолекулярного

клубка: степени заторможенности внутримолекулярного вращения  $\sigma_i$  ( $\sigma_\eta$  и  $\sigma_D$ ), среднеквадратичного расстояния между концами цепи  $(\bar{h}^2)^{0.5}$  и степени свернутости макромолекулы  $\sigma$  по формулам (4)–(6):

$$\sigma_i = (A_i/A_f)^{1/3}, \quad (4)$$

$$(\bar{h}^2)^{0.5} = (5.15 \cdot 10^{-8} AN)^{1/2}, \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{5.15 \cdot 10^8}{(\bar{h}^2)^{0.5}} N, \quad (6)$$

где  $A_i$  – длина сегмента Куна ( $A_\eta$  или  $A_D$ );  $A_f$  – сегмент Куна в  $\theta$ -условиях,  $A_f \approx 11 \cdot 10^{-8}$  см [8];  $N$  – степень полимеризации полимера. Полученные величины приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, макромолекулы ДАЦ в растворе ДМСО характеризуются большими величинами сегмента Куна. (Высокие значения ( $> 100 \text{\AA}$ )  $A$  наблюдаются также для молекул уксусно-кислых эфиров целлюлозы в таких растворителях, как этилацетат [4], метилхлорид (традиционно применяемый для растворения ацетатов целлюлозы при технологической переработке) [9], уксусная кислота [11], нитрометан (в котором ацетаты целлюлозы образуют ЖК-фазу [12]) и др.) С повышением температуры длина сегмента Куна увеличивается. С ростом температуры происходит также увеличение среднеквадратичного расстояния между концами цепи и степени заторможенности вращения при уменьшении диаметра и степени свернутости макромолекулы (см. табл. 4).

Следует отметить, что найденные значения степени заторможенности внутримолекулярного вращения  $\sigma_i$  (см. табл. 4) макромолекулярного клубка ДАЦ значительно превосходят не только величины  $\sigma_i$ , характерные для типичных гибкоцепных полимеров, но и значения  $\sigma_i$  для многих гребнеобразных молекул. Известно, что гибкость молекулярной цепи целлюлозы и ее производных определяется возможностью более или менее заторможенного вращения глюкозидных циклов вокруг двух мостичных связей ОС<sub>1</sub> и ОС<sub>4</sub> между соседними звеньями цепи. Высокие значения  $\sigma_i$  показывают, что взаимодействие боковых групп макромолекулы,



препятствующее вращению вокруг валентных связей основной цепи, не сводится к обычным стерическим помехам, как в случае большинства гибкоцепных полимеров. В этих взаимодействиях существенную роль играют, очевидно, внутри- и межмолекулярные водородные связи, в значительной мере «зациклизовывающие» молекулярную цепь и придающие ее структуре более или менее «лестничный» характер (спиральную конформацию) [8]. Этот вывод подтверждается также и большими отрицательными температурными коэффициентами молекулярных размеров и характеристической вязкости (см. табл. 2). Повышение температуры приводит, вероятно, к разрыву межмолекулярных H-связей при сохранении внутримолекулярных, увеличивая потенциалы, тормозящие внутреннее вращение в полиглюкозидной цепи. Это приводит к повышению жесткости и вытягиванию макроцепей ДАЦ в присутствии ДМСО с повышением температуры.

Сказанное подтверждается и методом молекулярного моделирования структуры уксусно-кислого эфира в растворе ДМСО. Например, в работе [13] показано, что внутримолекулярные контакты в системе *предельно ацетилованный триацетат целлюлозы – ДМСО* осуществляются посредством мостиковых связей, когда молекулы растворителя соединяют ацетатные группы соседних мономерных звеньев, стабилизируя тем самым жесткую спиральную конформацию цепи. При этом имеет место ограничение конформационной подвижности макромолекулы в целом и ацетатных групп в частности. Реализация высокой жесткости цепи ДАЦ благоприятствует образованию ЖК-упорядоченности полимера в растворе ДМСО, что согласуется с ранее высказанным нами предположением о возможности формирования в системе *ацетат целлюлозы – ДМСО* лиотропной ЖК-фазы [6, 7].

Таким образом, проведенные вискозиметрические исследования позволяют сделать следующие выводы. ДМСО является хорошим растворителем ДАЦ, термодинамическое качество растворителя улучшается с увеличением температуры. ДАЦ в растворе

ДМСО проявляет свойства жесткоцепного полимера с умеренной жесткостью цепи, с повышением температуры жесткость макромолекулы возрастает.

#### Библиографический список

1. Кленин В.И. Термодинамика систем с гибкоцепными полимерами. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1995. 736 с.
2. Дымарчук Н.П., Корнилова Н.В., Талмуд С.А. Молекулярный вес ацетатов целлюлозы и их фракций // Тр. ЛТИЦБП. Л.: Изд-во ЛТИЦБП, 1964. Вып. 12. С. 144–149.
3. Мурата И. Определение содержания связанной уксусной кислоты химическим методом // Сеньи Гаккайси. 1957. Т. 13, № 7. С. 16–18.
4. Куличихин В.Г., Голова Л.К. Жидкокристаллическое состояние целлюлозы и ее производных // Химия древесины. 1985. № 3. С. 9–27.
5. Maeda H., Kawada H., Kawai T. Crystallization of cellulose from dilute solutions // Makromolek. Chem.. 1970. Bd. 131, № 3146. S. 169–184.
6. Шиповская А.Б., Солонина Н.А., Казмичева О.Ф., Тимофеева Г.Н. Фазовое состояние триацетата целлюлозы в диметилсульфоксиде в условиях сдвиговой деформации // Структура и динамика молекулярных систем. Йошкар-Ола: Изд-во Марийск. гос. техн. ун-та, 2005. Т. 2, вып. XII. С. 359–362.
7. Шиповская А.Б., Тимофеева Г.Н. Новое о самопроизвольном удлинении ацетатных волокон // Высокомолек. соед. 2007. Т. 49А, № 11. С. 1959–1968.
8. Цветков В.Н. Жесткоцепные полимерные молекулы. Л.: Наука, 1986. 380 с.
9. Рыскина И.И., Лозгачева В.П., Похваленский Е.Д., Аверьянова В.М. Оценка качества растворителя в системе триацетат целлюлозы – метилхлорид по вискозиметрическим данным // Высокомолек. соед. 1976. Т. 18А, № 11. С. 2500–2505.
10. Погодина Н.В., Поживилко К.С., Евлампиева Н.П. и др. Гидродинамические и электрооптические свойства и молекулярные характеристики нитрата целлюлозы в растворах // Высокомолек. соед. 1981. Т. 23А, № 6. С. 1252–1260.
11. Лозгачева В.П., Панина Н.И., Аверьянова В.М. Термодинамическая и кинетическая гибкость макромолекул ацетатов целлюлозы в различных растворителях // Высокомолек. соед. 1980. Т. 11Б, № 11. С. 868–871.
12. Шиповская А. Б., Шмаков С.Л., Тимофеева Г.Н. Фазовые процессы и энергетика самопроизвольного изменения размеров ацетатных волокон в парах нитрометана // Высокомолек. соед. 2006. Т. 48А, № 5. С. 801–814.
13. Isseki Yu., Kazuyoshi U., Haruo N. Molecular modeling of the solvent structuring of DMSO around cellulose triacetate // Bull. Chem. Soc. Jpn. 2003. Vol. 76, № 3. P. 529–539.