

УДК 541(64+24).532.13

## СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКОГО И ТУРБОРЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПОЛИАКРИЛАМИДА

© 2003 г. В. Н. Манжай\*, Г. А. Сарычева\*, Е. М. Березина\*\*

\*Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук  
634021 Томск, Академический пр., 3

\*\*Томский государственный университет  
634050 Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 29.05.2002 г.  
Принята в печать 26.09.2002 г.

Предложен новый способ определения ММ полимеров простыми гидродинамическими методами. Совместное использование вискозиметрии и турбореометрии позволяет находить не только характеристическую вязкость и объем макромолекулярных клубков, но и рассчитывать по уравнению Флори–Фокса величину ММ. Объектами исследования служили образцы полиакриламида, полученного путем варьирования исходных концентраций мономера и инициатора и продолжительности реакции.

Особенность гидродинамических методов исследования молекулярных характеристик полимеров состоит в том, что объемный расход полимерного раствора при его прохождении через цилиндрический канал зависит не только от размеров и числа макромолекул в единице объема, но и от режима течения жидкости. Экспериментально установлено, что растворение полимера, сопровождающееся загущением жидкости, приводит к уменьшению скорости ламинарного течения и увеличению скорости турбулентного потока полимерного раствора по сравнению с чистым растворителем (эффект Томса [1]). Качественно разное влияние полимерных клубков на интенсивность течения при различных режимах может быть использовано для более глубокого изучения свойств и физико-химических характеристик макромолекул. Но если закономерности ламинарного течения давно стали теоретическим базисом вискозиметрии, то становление турбореометрического метода исследования происходит лишь в настоящее время [2].

E-mail: mang@ipc.tsc.ru (Манжай Владимир Николаевич).

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с законом Пузейля объемный расход при ламинарном течении обратно пропорционален вязкости полимерного раствора, которая растет с увеличением концентрации и ММ растворенного образца. Следовательно, путем измерения времени истечения через капиллярный вискозиметр фиксированных объемов полимерных растворов известных концентраций и расчета характеристической вязкости по уравнению Марка–Куна–Хаувинка можно найти величину ММ. Но вискозиметрия не относится к числу абсолютных методов измерения, поскольку определение значений коэффициентов  $K$  и  $\alpha$  указанного уравнения для различных интервалов температур и ММ может быть проведено только при помощи других достаточно трудоемких и сложных в аппаратурном оформлении методов (светорассеяние, ультрацентрифугирование и другие).

Еще на раннем этапе изучения эффекта Томса было отмечено, что увеличение напряжения сдвига, концентрации и объема макромолекулярных клубков с иммобилизованным растворителем, а также уменьшение температуры сопровождается ростом скорости (объемного расхода)

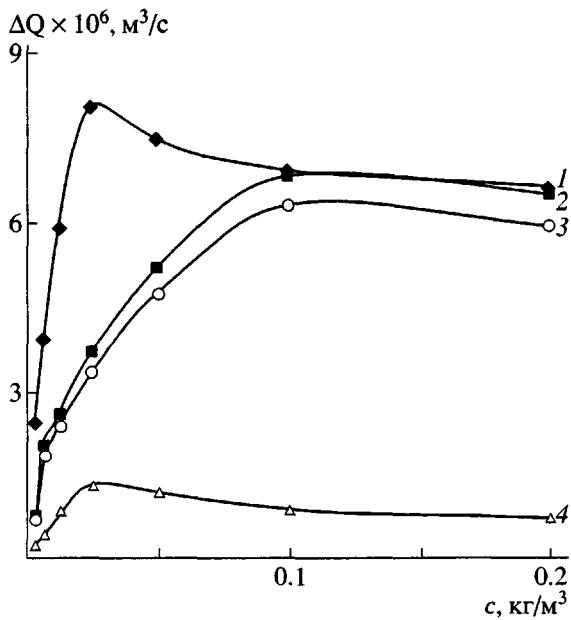


Рис. 1. Зависимость приращения объемного расхода  $\Delta Q$  полимерного раствора от концентрации  $c$  ПАА при  $\tau = 40$  (1–3) и 6 Па (4);  $T = 293$  (1, 2, 4) и 323 К (3);  $V_k \times 10^{21} = 3.61$  (1, 4) и 2.39  $\text{m}^3$  (2, 3).

турбулентного течения полимерного раствора (рис. 1). Эмпирическая зависимость приращения объемного расхода от гидродинамических параметров течения и физико-химических свойств растворов характерна для всех исследованных систем полимер–растворитель [3, 4] и описывается уравнением [5]

$$\Delta Q = S\tau\psi(2\pi V_k/\rho kT)^{0.5}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q = Q_p - Q_s$  – приращение объемного расхода полимерного раствора  $Q_p$  по сравнению с расходом чистого растворителя  $Q_s$ ;  $S = \pi R^2$  – площадь поперечного сечения цилиндрического канала;  $\tau = \Delta P R / 2L$  – напряжение сдвига на стенке трубы радиуса  $R$  и длины  $L$  при заданном перепаде давления  $\Delta P$ ;  $V_k$  – объем макромолекулярного клубка с включенным растворителем;  $\rho$  – плотность растворителя;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура;  $\psi = [\eta]c/(1 + [\eta]c)$  – объемная доля макромолекулярных клубков в растворе, зависящая от характеристической вязкости  $[\eta]$  и концентрации раствора  $c$ .

С ростом концентрации полимера величина  $\psi$  изменяется от 0 до 1. В области предельно разбавленных растворов, т.е. при  $[\eta]c \ll 1$ , объемная доля пропорциональна концентрации:  $\psi = [\eta]c$ . В

этой области макромолекулярные клубки изолированы друг от друга прослойками растворителя и не соприкасаются между собой. Дальнейшее увеличение содержания полимера в растворе, когда произведение  $[\eta]c$  становится существенно больше единицы, сопровождается асимптотическим приближением величины объемной доли к единице, т.е.  $\psi \sim 1$ , и, казалось бы, что в области концентрированных растворов величина  $\Delta Q$  не должна зависеть от  $c$ .

Но экспериментально наблюдаемая зависимость приращения объемного расхода от концентрации описывается не кривой с насыщением, а кривой с максимумом (рис. 1) при значении концентрации, равной некоторой оптимальной  $c_{\text{опт}}$  для каждого полимерного образца. Это кажущееся противоречие между зависимостями  $\psi$  и  $\Delta Q$  от содержания полимера в растворе объясняется тем, что при достижении  $c_{\text{опт}}$  клубки с иммобилизованным растворителем начинают соприкасаться, и последующий рост концентрации приводит к их взаимному деформированию, т.е. сжатию (уменьшению  $V_k$ ) и, в соответствии с уравнением (1), к медленному падению  $\Delta Q$ .

Проведя несложные преобразования выражения (1), подобные преобразованиям уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра, можно прийти к линейной зависимости  $c/\Delta Q$  от  $c$  в области разбавленных растворов ( $0 < c < c_{\text{опт}}$ ), для которой выполняется условие  $[\eta]c \ll 1$ :

$$c/\Delta Q = q + pc \quad (2)$$

Здесь численное значение отрезка, отсекаемого прямой на оси ординат  $q = (\rho kT)^{0.5}/[\eta]\pi R^2\tau(2\pi V_k)^{0.5}$ ; величина, равная тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс  $p = (\rho kT)^{0.5}/\pi R^2\tau(2\pi V_k)^{0.5}$ .

Уравнение (2) использовалось нами для определения концентрации разбавленных растворов полимеров [6], а также размеров макромолекулярных клубков [7], которые после обработки результатов турбореометрических измерений (нахождения коэффициентов  $p$ ) могут быть рассчитаны по формуле

$$V_k = \rho kT/2\pi(\pi R^2\tau p)^2 \quad (3)$$

Следовательно, при наличии количественных значений характеристической вязкости и объемов макромолекулярных клубков, полученных гидродинамическими (вискозиметрическим и турбореометрическим) методами, появляется возможность по уравнению Флори–Фокса  $(\hat{h}^2)^{3/2} = [\eta]M/\Phi$ , пре-

Таблица 1. Состав исходной реакционной смеси и характеристики полученных образцов ПАА

N	$m_\mu$	$m_I$	$m_p$	$c_\mu$	$c_I$	$[\eta]$ , м <sup>3</sup> /кг	$V_k \times 10^{21}$ , м <sup>3</sup>	$M_g \times 10^{-3}$	$M_z \times 10^{-3}$
	г			моль/л				кг/моль	
$c_I = \text{const}$									
1	0.20	0.01	0.202	1.41	0.022	1.02	4.95	3.47	3.24
2	0.18	0.01	0.179	1.27	0.022	0.98	4.30	3.13	3.08
3	0.16	0.01	0.160	1.13	0.022	0.94	3.79	2.89	2.93
4	0.14	0.01	0.138	0.99	0.022	0.88	3.30	2.68	2.69
5	0.12	0.01	0.119	0.85	0.022	0.82	2.91	2.53	2.47
$c_\mu = \text{const}$									
1	0.20	0.10	0.204	1.41	0.220	0.64	2.39	2.70	1.81
2	0.20	0.04	0.201	1.41	0.088	0.72	3.10	3.07	2.10
3	0.20	0.02	0.199	1.41	0.044	0.78	3.61	3.30	2.32
4	0.20	0.01	0.197	1.41	0.022	0.83	4.01	3.44	2.51

образованному с использованием формулы  $V_k = 4\pi(r_g)^3/3$  и известного в конформационной статистике полимерных цепей соотношения  $r_g^2 = (\hat{h}^2)/6$  к виду  $V_k = 0.28[\eta]M_g/\Phi$ , рассчитывать величину молекулярной массы ( $M_g$ ) полимерных образцов как

$$M_g = \Phi V_k / 0.28[\eta] \quad (4)$$

Экспериментальная проверка формулы (4) проводилась нами на различных образцах поликарбамида (ПАА), величина ММ которых целенаправленно задавалась в процессе их синтеза путем варьирования исходных концентраций инициатора и мономера.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Полимеризацию акриламида, растворенного в дистиллированной воде, проводили в ампулах емкостью 10 мл при 80°C до полного превращения мономера в полимер. Объем реакционной смеси в каждой ампуле составлял 2 мл. В качестве инициатора использовали персульфат аммония. С целью получения образцов ПАА различной степени полимеризации проводили три модельных синтеза.

В первом во всех пяти ампулах исходная концентрация инициатора была постоянной ( $c_I = 0.022$  моль/л = const), а концентрация мономера изменялась в диапазоне 1.41–0.85 моль/л (табл. 1) так, что массовое соотношение мономер : инициатор в отдельных ампулах составляло 100 : 5, 90 : 5, 80 : 5, 70 : 5, 60 : 5. Были приготовлены по две ампулы с таким соотношением компонентов. После окончания термостатирования (60 мин) в ампулы основного состава с целью торможения реакции приливали по 8 мл дистиллированной воды, а в

дублирующие – по 8 мл осадителя (этанол). Масса  $m_p$  всех высаженных и высущенных образцов ПАА в ампулах дублирующего состава оказалась примерно равной исходной массе мономера  $m_\mu$  в соответствующих ампулах (табл. 1), что свидетельствует о полной конверсии. Полученная таким образом информация о содержании полимера в постреакционных смесях позволила нам без высаживания полимера и сопутствующих этому потерь приготовить разбавленные растворы известных концентраций для вискозиметрического и турбороэметрического тестирования.

Во втором опыте постоянной была исходная концентрация мономера ( $c_\mu = 1.41$  моль/л = const), а концентрация инициатора изменялась в интервале 0.22–0.022 моль/л (табл. 1), так что массовое соотношение мономер : инициатор в ампулах составляло 100 : 50, 100 : 20, 100 : 10 и 100 : 5. Также подготовили по две ампулы с указанным исходным составом компонентов, которые подвергали тем же операциям, что и в предыдущем случае. Количество образовавшегося полимера во всех ампулах составило ~0.2 г, что указывает на полное превращение мономера в полимер (табл. 1).

В третьем синтезе 18 ампул с 2 мл реакционной смеси в каждой помещали в термостат при 80°C. Во всех ампулах содержалось по 0.2 г мономера и 0.01 г инициатора, т.е. компонентный состав всех исходных водных растворов был одинаков и равнялся  $c_\mu = 1.41$  моль/л (10 мас.%) и  $c_I = 0.022$  моль/л (0.5 мас.%). После начала синтеза ампулы вынимали из термостата попарно через некоторые промежутки времени (табл. 2). Для торможения реакции путем разбавления и сопутствующего охлаждения смеси в одну ампулу приливали 8 мл дистиллированной воды, а в другую – 8 мл этанола. По количеству высаженного полимера судили о

**Таблица 2.** Влияние продолжительности синтеза на выход и физико-химические характеристики образцов ПАА

N	Время, с	K, %	[ $\eta$ ], м <sup>3</sup> /кг	$V_k \times 10^{21}$ , м <sup>3</sup>	$M_g \times 10^{-3}$ , кг/моль
1	300	—	—	—	—
2	600	8	0.98	5.38	3.92
3	780	19	0.94	5.09	3.87
4	960	27	0.90	4.70	3.73
5	1140	34	0.86	4.36	3.62
6	1260	37	0.83	4.15	3.57
7	1440	45	0.78	3.86	3.53
8	1620	48	0.75	3.60	3.43
9	1800	53	0.71	3.37	3.39

степени конверсии K и рассчитывали концентрации растворов для последующих вискозиметрических и турбороэметрических исследований.

Вискозиметрические измерения растворов ПАА, приготовленных путем последовательного разбавления концентратов, полученных в описанных модельных синтезах, проводили на вискозиметре Уббелоде ( $d_{\text{кан}} = 0.62$  мм) по стандартной методике. Для расчета характеристической вязкости использовали значения времен истечения полимерных растворов, концентрация ПАА в которых изменялась в интервале (0.1–0.001 мас.%).

Для исследования влияния полимерных добавок на турбулентное течение готовили еще более разбавленные растворы образцов ПАА (0.1–0.001 кг/м<sup>3</sup> (0.01–0.0001 мас.%)) в дистиллированной воде. Уменьшение на порядок концентрации исследуемых растворов обусловлено более высокой чувствительностью турбулентного течения по сравнению с ламинарным к присутствию в потоке макромолекул. Измерения проводили на турбороэметре [2] при напряжении сдвига  $\tau = 40$  Па и числе Рейнольдса  $Re \geq 8000$ . После измерения времен истечения  $t$  фиксированных объемов  $V$  полимерных растворов известных концентраций  $c$  и дистиллированной воды рассчитывали соответствующие объемные расходы  $Q = V/t$  и величину приращения последних. После графической обработки экспериментальных результатов в координатах  $c/\Delta Q$  от  $c$  и нахождения коэффициента  $p$  по формуле (3) определяли объем макромолекулярных клубков ПАА, полученных в различных условиях синтеза.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Величины  $M_g$  образцов ПАА, полученных в двух синтезах при  $c_1 = \text{const}$  и при  $c_\mu = \text{const}$ , рассчитывали по формуле (4) с использованием экспериментальных данных ( $[\eta]$  и  $V_k$ ) гидродинамических методов. Значение постоянной Флори в воде (“хороший” растворитель) принимали равным  $\Phi = 2 \times 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>. Результаты расчета представлены в предпоследнем столбце табл. 1. В последнем столбце даны величины ММ, вычисленные по уравнению Марка–Куна–Хаувинка  $[\eta] = 6.31 \times 10^{-5} M_z^{0.8}$  для ПАА с использованием значений K и  $\alpha$ , взятых из работы [8]. Сравнивая значения  $M_g$  и  $M_z$ , можно отметить их практическое совпадение в табл. 1 и некоторое (~30%) различие в табл. 2. Расхождение во втором случае, вероятнее всего, объясняется частичным гидролизом полученных образцов, который является неизбежным спутником полимеризации акриламида в воде при повышенной температуре [9].

В результате гидролиза ПАА в полимерных цепочках появляется некоторое количество звеньев, содержащих карбоксильные группы, которые диссоциируют в полярном растворителе с образованием локальных отрицательных зарядов по цепи. Известно, что при минимальном изменении pH воды, в частности при самопроизвольном поглощении углекислого газа из атмосферы, образовавшиеся из гомополимера ПАА макромолекулы сополимера способны существенно менять конформацию. Эти следствия гидролиза и сопутствующие конформационные превращения должны заметно отражаться на величине характеристической вязкости и объеме полиэлектролитных клубков, но мало влиять на величину ММ полимеров.

Прямыми подтверждением сказанного могут служить результаты табл. 1 ( $N = 1$  ( $c_1 = \text{const}$ ) и  $N = 4$  ( $c_\mu = \text{const}$ )), в которых представлены характеристики образцов ПАА, полученных в двух параллельных синтезах, проведенных в одинаковых условиях ( $c_\mu = 1.41$  моль/л;  $c_1 = 0.022$  моль/л;  $T = 80^\circ\text{C}$ ). При совместном использовании вискозиметрического и турбороэметрического методов и расчете по формуле (4), учитывающей симметричное изменение  $[\eta]$  и  $V_k$  при изменении термодинамического качества растворителя, были получены близкие значения  $M_g = 3.47 \times 10^3$  ( $c_1 = \text{const}$ ) и  $3.44 \times 10^3$  кг/моль ( $c_\mu = \text{const}$ ), величины которых изначально задавались идентичными условиями синтеза. Значения ММ этих же образцов, полученные по формуле Марка–Куна–Хаувинка после проведения вискозиметрических измерений, заметно отличаются ( $M_z = 3.24 \times 10^3$  ( $c_1 = \text{const}$ ) и  $2.51 \times 10^3$  кг/моль ( $c_\mu = \text{const}$ )), так как в последнем случае во внимание принималась только величина  $[\eta]$ , что явно недостаточно для достоверной оценки ММ полиэлектролита.



Рис. 2. Зависимость ММ синтезированных образцов ПАА при  $c_I = \text{const}$  от исходной концентрации мономера.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что уменьшение исходной концентрации мономера в реакционной среде при  $c_I = \text{const}$  приводит к падению величины характеристической вязкости, размеров макромолекулярных клубков и ММ синтезированных образцов. При уменьшении концентрации инициатора при  $c_\mu = \text{const}$  реализуется противоположная тенденция, характеризующаяся увеличением значений  $[\eta]$ ,  $V_k$  и  $M_g$ .

Полученные результаты находятся в полном соответствии с представлениями классической теории радикальной полимеризации [10], согласно которой степень полимеризации пропорциональна концентрации мономера и обратно пропорциональна концентрации инициатора в степени 1/2. В простейшем случае, когда скорость передачи цепи (через мономер, инициатор, полимер и т.д.) невелика, зависимость ММ (степени полимеризации) от компонентного состава реакционной смеси описывается уравнением [10]

$$M = K c_\mu / c_I^{1/2}, \quad (5)$$

где  $c_\mu$  и  $c_I$  — концентрация мономера и инициатора соответственно,  $K = \mu K_p / (K_n K_o)^{1/2}$  — константа, включающая величину ММ мономера  $\mu$  и констант роста, инициирования и обрыва цепи.

Выражение (5) предписывает линейные зависимости  $M_g$  от  $c_\mu$  для образцов, синтезированных при  $c_I = \text{const}$ , и  $1/M_g$  от  $c_I^{1/2}$  при  $c_\mu = \text{const}$ . Графическая интерпретация полученных нами результатов (рис. 2 и 3) соответствует теоретическим канонам радикальной полимеризации, что может служить опосредованным доказательством возможности использования формулы (4) для расчета величины ММ после измерения объема клубка и характеристической вязкости. Из рис. 3 видно, что прямая зависимости  $1/M_g$  от  $c_I^{1/2}$  с уменьшени-

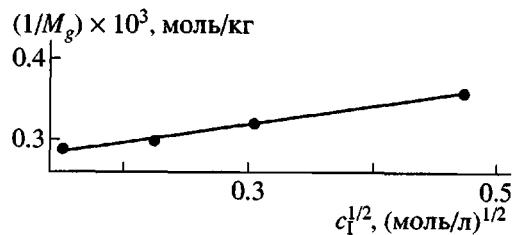


Рис. 3. Зависимость величины  $1/M_g$  от  $c_I^{1/2}$  образцов ПАА, синтезированных при  $c_\mu = \text{const}$ .

ем концентрации инициатора пересекает ось ординат при значении  $1/M_{\max} = 0.25 \times 10^3$ . Следовательно, при данных условиях синтеза ( $T = 80^\circ\text{C}$  и  $c_\mu = 1.41$  моль/л = const) предельно возможное значение молекулярной массы ПАА не может превышать  $4 \times 10^3$  кг/моль.

В соответствии с уравнением (5) макромолекулы с максимальной ММ должны образовываться на начальном этапе реакции, поскольку полимеризация сопровождается постоянным уменьшением концентрации мономера в реакционной среде, следовательно, должно наблюдаться падение величины ММ образующихся в ходе синтеза макромолекул.

Гидродинамические исследования растворов полимерных образцов, полученных нами в третьем модельном синтезе, подтвердили это предположение и показали возможность отслеживать не только глубину превращения мономера, но и изменение средней ММ во времени. Наличие такой информации о состоянии реакционной среды может быть использовано для получения полимерных образцов с заданной ММ путем прекращения синтеза на определенном этапе. Из табл. 3 также следует, что значение ММ фракций, полученной в первоначальный момент времени ( $M = 3.92 \times 10^3$  кг/моль), не превосходит максимально возможную для данных условий синтеза величину ( $M_{\max} = 4 \times 10^3$  кг/моль).

Таким образом, совместное использование достаточно простых и доступных гидродинамических методов (вискозиметрии и турбореометрии) расширяет возможности экспериментаторов и позволяет получать хотя бы первичную оценочную информацию о размерах макромолекул и ММ, а также об их изменении в ходе синтеза. Это особенно важно при исследовании сополимеров, для которых, как правило, не известны констан-

ты уравнения Марка–Куна–Хаувинка. Появляется также возможность определенного уточнения кинетических закономерностей процесса полимеризации. К дискуссионным моментам предлагаемого способа следует отнести наличие в формуле (4) “постоянной” Флори, значение которой принято считать [11] колеблющейся в интервале  $1.6 \times 10^{23}$ – $3 \times 10^{23}$  моль $^{-1}$  в зависимости от того, какие модели поведения макромолекул предлагались различными исследователями: в теории Куна  $\Phi = 2.6 \times 10^{23}$ ; Зимма –  $\Phi = 2.84 \times 10^{23}$ ; Кирквуда–Райзмана –  $\Phi = 3.6 \times 10^{23}$ . Экспериментально установленная самим Флори величина  $\Phi = 2.1 \times 10^{23}$  моль $^{-1}$  [12]. Поэтому для выяснения степени достоверности результатов, получаемых при совместном использовании вискозиметрии и турбореометрии, в ходе дальнейших исследований необходимо провести гидродинамическое тестирование стандартных полимерных образцов, ММ которых определены так называемыми абсолютными методами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Toms B.A. First Int. Congress Rheol. Amsterdam: North Holland Publ., 1949. V. 2. P. 135.
2. Малкин А.Я., Несын Г.В., Манжай В.Н., Илюшиников А.В. // Высокомолек. соед. Б. 2000. Т. 42. № 3. С. 377.
3. Хойт Д.У. // Теорет. основы инж. расчетов. 1972. № 2. С. 1.
4. Virk P.S. // AJChE. 1975. V. 21. № 4. P. 625.
5. Манжай В.Н. // Теорет. и прикл. основы физ.-хим. регулирования свойств нефтяных дисперсных систем. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2001. Ч. 3. С. 71.
6. Манжай В.Н., Савинов Г.Л., Несын Г.В., Малкин А.Я. // Высокомолек. соед. Б. 1989. Т. 31. № 4. С. 875.
7. Манжай В.Н., Несын Г.В., Крылова О.А. // Высокомолек. соед. Б. 1999. Т. 41. № 3. С. 560.
8. Энциклопедия полимеров. М.: Советская энциклопедия, 1972.
9. Абрамова Л.И., Байбуров Т.А., Григорян Э.П. Полиакриламид. М.: Химия, 1992.
10. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения. М.: Высшая школа, 1992.
11. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Френкель С.Я. Структура макромолекул в растворах. М.: Наука, 1964.
12. Flory P. Principles of the Polymer Chemistry. New York: Cornell Univ. Press, 1953.

### Use of Viscosimetry in Combination with Turborheometry for Determining the Molecular Mass of Polyacrylamide

V. N. Manzhai\*, G. A. Sarycheva\*, and E. M. Berezina\*\*

\*Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Division, Russian Academy of Sciences,  
Akademicheskii pr. 3, Tomsk, 634021 Russia

\*\*Tomsk State University  
pr. Lenina 36, Tomsk, 634050 Russia

**Abstract**—A new method was proposed for determining the molecular mass of polymers using simple hydrodynamic techniques. The combined use of viscometry and turborheometry allowed not only intrinsic viscosity and macromolecular-coil volume to be found but also the molecular mass to be calculated using the Flory–Fox equation. The subjects of study were polyacrylamide specimens obtained through varying the initial monomer and initiator concentrations and reaction time.

Сдано в набор 21.10.2002 г.

Подписано к печати 27.12.2002 г.

Формат бумаги 60 × 88 $1/8$

Офсетная печать

Усл. печ. л. 24.0

Усл. кр.-отт. 6.8 тыс.

Уч.-изд. л. 23.8

Бум. л. 12.0

Тираж 303 экз.

Зак. 6937

Свидетельство о регистрации № 0110165 от 04.02.93 г. в Министерстве печати и информации Российской Федерации

Учредители: Российская академия наук,

Отделение общей и технической химии РАН,

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева

Адрес издателя: 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Отпечатано в ППП “Типография “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6