

Я. А. ФЕДОРОВИЧ, В. П. МАЛЫШЕВ*, А. М. МАКАШЕВА, А. Ш. КАЖИКЕНОВА

Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, Караганда,

*eia_hmi@mail.ru

МЕТОД ПОЛНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ К КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ

Адаптация предложенной авторами кластерно-ассоциатной модели температурной зависимости вязкости требует учета всего множества экспериментальных данных. Ранее использовались выборочно только три реперные точки, при этом остальные подлежали проверке на принадлежность к получаемой математической модели через коэффициент корреляции. Неучет остальных экспериментальных точек при формировании математической модели являлся недостатком данного метода обработки данных. Этот недостаток устранен путем введения процедуры использования вместо третьей реперной точки всего множества остальных точек на основе линеаризации показательно-степенной иерархической модели вязкости, что обеспечило полную статистическую достоверность адаптации новой модели к экспериментальным данным. Предложенные процедуры проверены применительно к наиболее надежным справочным данным для температурной зависимости динамической вязкости лития в полном диапазоне жидкого состояния от температуры плавления до критической точки с получением коэффициента корреляции, равного единице с точностью до пяти значащих цифр. Это указывает на функциональный характер кластерно-ассоциатной модели вязкости при использовании статистически полных и строгих процедур её адаптации к экспериментальным данным.

Ключевые слова: динамическая вязкость, литий, кластерно-ассоциатная модель, реперные точки.

Введение. В работе [1] обоснована температурная зависимость вязкости жидкости как результат разрушения ассоциатов кластеров – вторичных более крупных квазикристаллических виртуальных (динамически неустойчивых) образований из кластеров. Эта виртуальность отображена и в самой форме кластерно-ассоциатной модели динамической вязкости (T – температура жидкости, К):

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^{a-a_2} (T_2/T)^b, \quad (1)$$

в которой нижнее основание степени (T_1/T) отвечает за динамику разрушения кластеров, а верхнее основание степени (T_2/T) – за разрушение ассоциатов кластеров, причём a – степень ассоциации кластеров, т. е. среднее число кластеров в ассоциате, b – степень агрегации ассоциатов, т. е. среднее число ассоциатов в агрегате.

Для адаптации этой модели к экспериментальным данным необходимо было использовать три реперные точки $T_1, \eta_1; T_2, \eta_2; T_3, \eta_3$, чтобы найти значения

$$a_2 = \frac{\ln(\eta_2/\eta_1)}{\ln(T_1/T_2)}, \quad (2)$$

$$a_3 = \frac{\ln(\eta_3/\eta_1)}{\ln(T_1/T_3)}, \quad (3)$$

$$b = \frac{\ln(a_3/a_2)}{\ln(T_2/T_3)}. \quad (4)$$

Точки выбираются хотя и произвольно, но с рекомендацией равномерного представления всего массива экспериментальных данных (в начале, середине и конце массива). В целом этот прием показал высокую эффективность, которая продемонстрирована на обширной группе простых веществ [1], а затем и сложных [2-4].

Целью работы является разработка процедуры аппроксимации полного множества экспериментальных данных по температурной зависимости динамической вязкости вещества к кластерно-ассоциатной модели вязкости.

Методическая часть. Однако некоторая произвольность выбора реперных точек несколько снижает значимость остального массива данных, хотя в принципе возможен перебор самых различных сочетаний трех реперных точек с исчерпанием всех данных, например, по формуле сочетаний

$$C_n^3 = \frac{n!}{3!(n-3)!} \quad (5)$$

с дальнейшим отбором наиболее адекватных по описанию всего множества на основе статистических критериев адекватности.

Как видно по уравнению (5), с увеличением объема множества (n) число комбинаций трех реперных точек (и соответствующих расчетов целевой функции) резко возрастает. Так, для $n=10$ получаем

$$C_{10}^3 = 120.$$

Имеется возможность компромиссного решения проблемы, когда произвольно выбираются только две реперные точки, а все остальные используются для определения показателя b путем линеаризации кластерно-ассоциатной модели (1) и нахождения его в качестве коэффициента пропорциональности методом наименьших квадратов.

Линеаризацию уравнения (1)

$$\eta = \eta_1 (T_1 / T)^{a_2 (T_2 / T)^b}$$

можно осуществить путем двойного логарифмирования.

Первое логарифмирование приведет к выражению:

$$\ln(\eta / \eta_1) = a_2 (T_2 / T)^b \ln(T_1 / T)$$

Второе логарифмирование и соответствующие преобразования позволяют получить уравнение:

$$\ln(\ln(\eta / \eta_1) / \ln(T_1 / T)) - \ln a_2 = b \ln(T_2 / T)$$

С учетом выражения для a_2 (2) получим

$$\ln(\ln(\eta / \eta_1) / \ln(T_1 / T)) - \ln(\ln(\eta_2 / \eta_1) / \ln(T_1 / T_2)) = b \ln(T_2 / T),$$

$$\ln \frac{\ln(\eta / \eta_1) \ln(T_1 / T_2)}{\ln(T_1 / T) \ln(\eta_2 / \eta_1)} = b \ln(T_2 / T), \quad (6)$$

Если обозначить левую часть уравнения (6) как y , а в правой части $\ln(T_2 / T)$ – как x , то получается уравнение прямой, выходящей из начала

координат: $y = bx$. Для неё метод наименьших квадратов редуцируется до формы

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (7)$$

где y_i, x_i – координаты экспериментальных точек.

Следует учесть, что при обработке экспериментальных данных две реперные точки должны быть исключены, так как подстановка их в выражение для y и x из (6) приводит к неопределенности. Это тем более необходимо, если коэффициент b рассчитывать для каждой экспериментальной точки и затем вычислять среднее значение

$$\bar{b} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}. \quad (8)$$

В случае наиболее адекватного подчинения экспериментальных данных тестируемой модели (1) оба значения (7) и (8) должны практически совпадать, так как по методу (8) в этом случае свободный член в уравнении прямой равен нулю. Это будет указывать на закономерный характер данной модели. Кроме того, при использовании равенства (8) можно удостовериться в однородности получаемого множества b_i на основе известных статистических критериев и оценить точность усредненной величины.

Расчетная часть. Для иллюстрации эффективности предлагаемого метода обработки и описания экспериментальных данных по температурной зависимости динамической вязкости следует использовать в качестве эталона значения η , полученные в широком диапазоне температур, например, относящиеся к жидкому литию [5]. Ранее они были обработаны по трем реперным точкам $T_1 = 523$ К, $\eta_1 = 0,503$ мПа·с; $T_2 = 1073$ К, $\eta_2 = 0,208$ мПа·с; $T_3 = 1923$ К, $\eta_3 = 0,145$ мПа·с и представлены кластерно-ассоциатной моделью [1]

$$\eta = 0,503 (523 / T)^{1,0413} \left(\frac{1073}{T} \right)^{0,1478}, \quad (9)$$

которая характеризовалась идеальной адекватностью с коэффициентом нелинейной множественной корреляции $R \rightarrow 1$ с точностью до восьми значащих цифр. Там же для сравнения использовано аппроксимирующее уравнение из монографии [6]

$$\ln \eta = -1,7563 - 0,659 \ln T + 304,248 / T, \quad (10)$$

где вязкость дана в г/(см·с) – Пуазах (1Па·с=10П).
Здесь коэффициент корреляции оказался хотя и высоким ($R=0,99811$), но худшим в сравнении с моделью (9), и в целом расчетные данные были систематически заниженными против справочных экспериментальных. Эти данные в сопоставлении со всеми другими приведены в таблице 1.

Для идентификации кластерно-ассоциатной модели по предлагаемому методу использованы только первые две вышеуказанные реперные точки, в связи с чем линеаризованное уравнение (6) приняло расчётную форму

$$\ln \left[\frac{\ln \left(\frac{\eta}{0,503} \right)}{\ln \left(\frac{532}{T} \right)} \right] = b \ln \frac{1073}{T} \quad (11)$$

$$y = \ln \left[\frac{\ln \left(\frac{\eta}{0,502} \right)}{\ln \left(\frac{532}{T} \right)} \right] \text{ и } x = \ln \frac{1073}{T}.$$

Таблица 1 – Справочные [5] и расчетные данные по динамической вязкости жидкого лития

T, K	$\eta [5],$ мПа·с	y_i	x_i	$\eta (12),$ мПа·с	bi	$\eta (17),$ мПа·с	$\eta (9),$ мПа·с	$\eta (10),$ мПа·с	$a (12)$	$a (17)$	$a (9)$
$T_m = 453,7$	-	-	-	0,595	-	0,595	0,595	0,599	1,180	1,182	1,183
473	0,566	0,120	0,819	0,566	0,1468	0,566	0,566	0,567	1,173	1,175	1,175
523	0,503	-	-	0,503	-	0,503	0,503	0,499	1,156	1,157	1,160
573	0,453	$9,36 \cdot 10^{-2}$	0,627	0,453	0,1537	0,453	0,453	0,447	1,141	1,142	1,143
623	0,412	$9,11 \cdot 10^{-2}$	0,544	0,413	0,1675	0,413	0,413	0,405	1,127	1,128	1,128
673	0,379	$7,5 \cdot 10^{-2}$	0,466	0,380	0,1610	0,380	0,380	0,371	1,114	1,115	1,116
723	0,352	$5,69 \cdot 10^{-2}$	0,395	0,352	0,1442	0,352	0,352	0,343	1,103	1,104	1,110
773	0,328	$4,97 \cdot 10^{-2}$	0,328	0,328	0,1516	0,328	0,328	0,320	1,092	1,093	1,093
823	0,308	$3,82 \cdot 10^{-2}$	0,265	0,308	0,1440	0,308	0,308	0,300	1,082	1,083	1,083
873	0,290	$3,17 \cdot 10^{-2}$	0,206	0,290	0,1537	0,290	0,290	0,282	1,073	1,073	1,074
923	0,275	$2,06 \cdot 10^{-2}$	0,151	0,275	0,1367	0,275	0,275	0,267	1,064	1,065	1,065
973	0,261	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$9,78 \cdot 10^{-2}$	0,261	0,1510	0,261	0,261	0,253	1,056	1,056	1,057
1023	0,249	$6,40 \cdot 10^{-3}$	$4,77 \cdot 10^{-2}$	0,249	0,1348	0,249	0,249	0,242	1,049	1,049	1,049
1073	0,238	-	-	0,238	-	0,238	0,238	0,231	1,041	1,041	1,041
1123	0,228	$-5,70 \cdot 10^{-3}$	$-4,55 \cdot 10^{-2}$	0,228	0,1246	0,228	0,228	0,221	1,035	1,034	1,034
1173	0,219	$-1,15 \cdot 10^{-2}$	$-8,91 \cdot 10^{-2}$	0,219	0,1287	0,219	0,219	0,212	1,028	1,028	1,028
1223	0,211	$-1,8 \cdot 10^{-2}$	-0,131	0,211	0,1381	0,211	0,211	0,205	1,022	1,021	1,021
1273	0,204	$-2,61 \cdot 10^{-2}$	-0,171	0,204	0,1525	0,204	0,204	0,197	1,016	1,015	1,015
1323	0,197	$-3,05 \cdot 10^{-2}$	-0,209	0,197	0,1456	0,197	0,197	0,191	1,010	1,010	1,010
1373	0,191	$-3,73 \cdot 10^{-2}$	-0,247	0,191	0,1510	0,191	0,191	0,184	1,005	1,004	1,004
1423	0,185	$-4,12 \cdot 10^{-2}$	-0,282	0,185	0,1459	0,185	0,185	0,179	0,100	0,999	0,999
1473	0,180	$-4,8 \cdot 10^{-2}$	-0,317	0,180	0,1518	0,180	0,180	0,173	0,995	0,994	0,994
1523	0,175	$-5,28 \cdot 10^{-2}$	-0,350	0,175	0,1507	0,175	0,175	0,169	0,990	0,989	0,989
1573	0,170	$-5,55 \cdot 10^{-2}$	-0,383	0,170	0,1450	0,170	0,170	0,164	0,985	0,984	0,984
$T_b = 1615$	-	-	-	0,166	-	0,167	0,167	0,160	0,981	0,980	0,980
1623	0,166	$-6,18 \cdot 10^{-2}$	-0,414	0,166	0,1493	0,166	0,166	0,156	0,981	0,980	0,980
1673	0,162	$-6,64 \cdot 10^{-2}$	-0,444	0,162	0,1496	0,162	0,162	0,152	0,976	0,975	0,975
1723	0,158	$-6,97 \cdot 10^{-2}$	-0,474	0,158	0,1470	0,158	0,158	0,148	0,972	0,971	0,971
1773	0,155	$-7,70 \cdot 10^{-2}$	-0,502	0,154	0,1532	0,155	0,155	0,145	0,968	0,967	0,967
1823	0,151	$-7,75 \cdot 10^{-2}$	-0,530	0,151	0,1462	0,151	0,151	0,142	0,964	0,963	0,963
1873	0,148	$-8,24 \cdot 10^{-2}$	-0,557	0,148	0,1479	0,148	0,148	0,139	0,961	0,959	0,959
1923	0,145	$-8,62 \cdot 10^{-2}$	-0,583	0,145	0,1478	0,145	0,145	0,136	0,957	0,956	0,955
1973	0,142	$-8,9 \cdot 10^{-2}$	-0,609	0,142	0,1462	0,142	0,142	0,133	0,953	0,952	0,952
2023	0,139	$-9,10 \cdot 10^{-2}$	-0,634	0,139	0,1435	0,139	0,140	0,130	0,950	0,949	0,948
2073	0,137	$-9,77 \cdot 10^{-2}$	-0,659	0,137	0,1483	0,137	0,137	0,128	0,947	0,945	0,945
2123	0,135	-0,104	-0,682	0,134	0,1518	0,134	0,135	0,126	0,943	0,942	0,941
2173	0,132	-0,103	-0,706	0,132	0,1461	0,132	0,132	0,123	0,940	0,939	0,938
2223	0,130	-0,108	-0,728	0,130	0,1478	0,130	0,130	0,121	0,937	0,935	0,935
2273	0,128	-0,112	-0,751	0,128	0,1485	0,128	0,128	0,121	0,934	0,932	0,932
$T_{cr} = (3223)$	-	-	-	(0,100)	-	(0,101)	(0,101)	-	0,888	0,886	(0,885)
Σ	-	-0,9508	-6,5505	-	5,153	-	-	-	-	-	-

Результаты расчётов y и x по справочным данным для вязкости жидкого лития [5] приведены в таблице 1. По этим данным, согласно формуле (7), получено расчётное значение $b=0,1451$, и тогда уравнение (9) примет несколько видоизмененную форму

$$\eta = 0,503 \left(523 / T \right)^{1,413} \left(\frac{1073}{T} \right)^{0,1451} \quad (12)$$

Показатели b в уравнениях (9) и (12) практически одинаковы, отличаясь на 1,9 %, что обусловило столь же адекватное описание экспериментального массива данных (таблица 1), как и по уравнению (9), с коэффициентом нелинейной множественной корреляции $R=0,99988$, близким единице, при высокой значимости этого коэффициента $t_R=24648 \gg 2$ соответственно с $R=0,999996$ и $t_R=73959 \gg 2$ для уравнения (9).

Результаты расчёта показателя b по методу (8) представлены в этой же таблице. Они отличаются некоторым разбросом, характерным для вычисления y_i/x_i по экспериментальным данным, хотя среднее значение $b=0,1472$ вновь оказывается очень близким к тому, что получено методом трех реперных точек в (9). Тем не менее, целесообразно проверить статистическую однородность полученного множества b , например, по критерию Налимова [7, 8]:

$$r_{\min}^{\max} = \frac{\left| \bar{x} - x_{\min}^{\max} \right|}{S(x) \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \leq r_{cr}, \quad (13)$$

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (14)$$

где r_{\min}^{\max} – минимаксная величина множества;

\bar{x} – среднее значение;

$S(x)$ – среднеквадратическая ошибка;

n – объем множества.

Нормативные табличные значения критерия Налимова для 5 %-го уровня значимости приведены в [7], которые были аппроксимированы в работе [9] с точностью до 5 % к уравнению

$$r_{cr} = 1,483 f^{0,187} \quad (15)$$

где $f = n-2$ – число степеней свободы критерия Налимова.

По данным таблицы 1 найдено значение $S(x)=7,836 \cdot 10^{-3}$. Наибольшее отклонение от

среднего значения b дает величина $b_{\min}=0,1252$ при $T=1123$ К. Для $n=35$ $r_{cr}=2,852$. Отсюда равенство-неравенство (13) выразится как

$$r_{\min}^{\max} = \frac{|0,1472 - 0,1252|}{7,836 \cdot 10^{-3} \sqrt{34/35}} = 2,849 < r_{cr} = 2,852, \quad (16)$$

т. е. условие однородности выполняется, и найденное среднее значение показателя $b=0,1472$ является представительным для всего множества. Это позволяет ввести его в расчетную форму уравнения (1):

$$\eta = 0,503 \left(523 / T \right)^{1,413} \left(\frac{1073}{T} \right)^{0,1472} \quad (17)$$

Результаты расчёта по нему приведены в таблице 1. Здесь вновь наблюдается идеальное согласование со справочными данными по коэффициенту корреляции $R=0,999996$ и $t_R=73959 \gg 2$.

Как упомянуто выше, показатель b имеет смысл среднего числа ассоциатов в агрегате. При $b < 1$ большая часть ассоциатов не агрегирована, что в данном случае для металлической жидкости вполне обосновано ввиду нелокализованного характера электронной связи.

Обсуждение результатов. Таким образом, на новейших справочных данных по динамической вязкости жидкого лития установлена полная адекватность кластерно-ассоциатной модели температурной зависимости этой характеристики по трем методам адаптации данной модели: по трем реперным точкам и по двум реперным с дополнительным учетом всех остальных точек в вариантах линеаризации модели со свободным членом и без него. Это указывает на функциональный характер кластерно-ассоциатной модели, раскрывающей виртуальную природу образования кластеров из кристаллоподвижных частиц, ассоциатов из кластеров и агрегатов из ассоциатов, одинаково подчиненных энергетическому спектру Больцмана. На это указывает убывающая зависимость степени ассоциации кластеров от температуры, практически неотличимая во всех трех рассмотренных вариантах адаптации данной модели. Причем, близость степени ассоциации кластеров к единице для типичного металла лития во всем температурном диапазоне означает практическое отождествление ассоциатов с кластерами и непосредственно следует из металлического, т.е. нелокализованного характера связи атомов, в отличие от локализованного для элементов с

ковалентным характером связи, отличающихся более высокой степенью ассоциации, как это установлено в [1]. В этой работе показано, что форма кластерно-ассоциатной модели сохраняется при описании температурных зависимостей кинематической вязкости и плотности жидкости. Поэтому предложенные приемы обработки экспериментальных данных для динамической вязкости могут быть применимы и для этих характеристик.

Выводы. Предложен метод обработки экспериментальных данных по динамической вязкости жидкости применительно к кластерно-ассоциатной модели с учетом всего множества экспериментальных данных для жидкого вещества. Данный метод позволяет ограничиться использованием двух реперных точек вместо трех с повышением статистической достоверности получаемой расчётной зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукожаева (Макашева) А.М. Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М.: Научный мир, 2012. – 288 с.
- 2 Турдукожаева А.М., Федорович Я.А., Малышев В.П., Сулейменов Т., Кажикенова А.Ш. Кластерно-ассоциатная модель температурной зависимости вязкости жидкого оксида бора // Комплексное использование минерального сырья. – 2013. – № 2. – С. 68-74.
- 3 Федорович Я.А., Турдукожаева А.М., Малышев В.П. Уточнение кластерно-ассоциатной модели вязкости жидкого оксида бора // «Проблемы и перспективы развития горно-металлургической отрасли: теория и практика». Матер. межд. научно-практ. конф., посв. 20-летию РГП «НЦ КПМС РК» и 55-летию Химико-металлургического института им. Ж.Абишева. – Караганда, 2013. – С. 179-180.
- 4 Федорович Я.А., Макашева А.М. Кластерно-ассоциатная модель температурной зависимости динамической вязкости хлорида калия // «Вклад молодежной науки в реализацию Стратегии «Казахстан – 2050». Тез. докл. Межвузовской студ. научной конф. – Караганда, 2014. – С. 240-241.

5 Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.

6 Шпильрайн Э.Э., Фомин В.А., Сквородько С.Н., Сокол Г.Ф. Исследование вязкости жидких металлов. – М.: Наука, 1983. – 243 с.

7 Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. – М.: Химия, 1972. – 486 с.

8 Малышев В.П. К определению ошибки эксперимента, адекватности и доверительного интервала аппроксимирующих функций // Вестник НАН РК. 2000. – № 4. – С. 22-30.

9 Малышев В.П., Телешев К.Д., Нурмагамбетова (Макашева) А.М. Разрушаемость и сохранность конгломератов. – Алматы: Ғылым, 2003. – 336 с.

REFERENCES

- 1 Malyshev V.P., Bekturganov N.S., Turdukozhaeva (Makasheva) A.M. *Vyazkost', tekuchest' i plotnost' veshchestv kak mera ih khaotizatsii*. M.: Nauchnyj Mir, **2012**, 288 (in Russ.).
- 2 Turdukozhaeva A.M., Fedorovich Ya.A., Malyshev V.P., Sulejmenov T., Kazhikenova A.Sh. *Kompleksnoe ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'ja*. **2013**, 2, 68,74 (in Russ.).
- 3 Fedorovich Ja.A., Turdukozhaeva A.M., Malyshev V.P. *Mater. mezhd. nauchno prakt. konf.: Problemy i perspektivy razvitiya gornometallurgicheskoy otrasli: teorija i praktika, posv. 20 letiyu RGP NC KPMS RK i 55 letiyu Khimiko metallurgicheskogo instituta im. Zh.Abisheva*. Karaganda, **2013**, 179, 180 (in Russ.).
- 4 Fedorovich Ya.A., Makasheva A.M. *Mater Mezhvuzovskoj stud. nauchnoj konf.: Vklad molodezhnoj nauki v realizatsiju Strategii – Kazakhstan 2050*. Karaganda, **2014**. 240, 241 (in Russ.).
- 5 Volkov A.I., Zharskij I.M. *Bol'shoj himicheskij spravochnik*. Minsk: Sovremennaya shkola, **2005**, 608 (in Russ.).
- 6 Shpil'rajn Eh.Eh., Fomin V.A., Skovorod'ko S.N., Sokol G.F. *Issledovanie vyazkosti zhidkikh metallov*. M. Nauka, **1983**, 243 (in Russ.).
- 7 Ruzinov L.P. *Statisticheskie metody optimizatsii khimicheskikh protsessov*. M.: Khimiya, **1972**, 486 (in Russ.).
- 8 Malyshev V.P. *Vestnik NAN RK*. **2000**. 4. 22, 30 (in Russ.).
- 9 Malyshev V.P., Teleshev K.D., Nurmagambetova (Makasheva) A.M. *Razrushaemost' i sokhrannost' konglomeratov*. Almaty: Gylm, **2003**, 336 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Авторлармен ұсынылған тұтырылыстың температураға тәуелділігінің кластерлі-ассоциаттық үлгісін бейімдеу эксперименттік мәліметтердің көптегенінің жиынын ескеруді қажет етеді. Бұрын тек үш репер нүктелері ғана ішара қолданылатын, сондай-ақ қалғандарының математикалық үлгіге жатқызылуы корреляция коэффициенті арқылы тексеруге жататын. Математикалық үлгіні құрастыру кезінде қалған эксперименттік нүктелерді есепке алмау, мәліметтерді өңдеудің осы әдісінің кемшілігі болып табылады. Осы кемшілік тұтқырлықтың көрсеткішті-дережелі иерархиялық үлгісін линеаризациялау негізінде үшінші реперлік нүктенің орнына қалған нүктелердің барлық көпшілігін пайдалану әдістеуін (процедурасын) енгізу

арқылы жойылды. Ол эксперименттік мәліметтерге жаңа үлгіні бейімдеудің толық статистикалық нақтылығын (анық-қанық болуын) қамтамасыз етті. Ұсынылған процедуралар литийдің динамикалық тұтқырлығының температураға тәуелділігіне барынша сенімді анықтамалық мәліметтерге қатысты қолданумен сұйық күйдің толық диапазонында балқу температурасынан бастап кризистік нүктеге дейінгі, бес мәнді цифрға дейінгі дәлме-дәлдігі бірге тең, корреляция коэффициентін алумен тексерілді. Бұл эксперименттік мәліметтерге статистикалық толық және қатаң процедураларды қолдануда оны бейімдеуде тұтқырлықтың кластерлі-ассоциаттық үлгісінің функционалды сипатын көрсетеді.

Түйін сөздер: динамикалық тұтқырлығы, литий, кластерлі-ассоциаттық үлгі, репер нүктелер.

SUMMARY

Adaptation of proposed by the authors the cluster-associate model of the temperature dependence of viscosity requires taking into account the whole set of experimental data. Previously were selectively used only three reference points, with the remaining subject to review to belong to the resulting mathematical model through the correlation coefficient. Neglect of the rest of the experimental points in the formation of the mathematical model is a disadvantage of this method of data processing. This disadvantage is eliminated by the introduction of procedures for using of the third reference point instead of the entire set of the remaining points based on linearization of the exponential and power hierarchical model of viscosity, which provided full statistical accuracy of the adaptation of the new model to the experimental data. The proposed procedures are checked with regard to the most reliable reference data for the temperature dependence of the dynamic viscosity of lithium in the full range of the liquid state from the melting point to the critical point to obtain the correlation coefficient is equal to unity up to five significant figures. This indicates that the functional nature of the cluster-associate viscosity model using a statistically complete and strict procedures for its adaptation to the experimental data.

Keywords: dynamic viscosity, lithium, cluster-associate model, reference points.

Поступила 06.10.2014

