

В.П. Малышев, А.М. Турдукожаева, Т. Сулейменов, А.Ш. Кажикенова

(Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева)

КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ВОДЫ В ОТОБРАЖЕНИИ КОНЦЕПЦИЕЙ ХАОТИЗИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

(Представлена академиком НАН РК Газалиевым А.М.)

Аннотация

Авторами разработана кластерно-ассоциатная модель вязкого течения жидкости, которая высоко адекватно описывает справочные данные по динамической вязкости воды. На основе предложенной зависимости степени ассоциации кластеров от температуры оценен тепловой эффект их разрушения и обратного образования с учетом крупности ассоциатов в сопоставлении с таковым для вклада кинетической энергии потока воды.

Рекомендованы условия проведения эксперимента по обнаружению данного эффекта.

Ключевые слова: кластерно-ассоциатная модель, вязкое течение, тепловой эффект, поток воды.

Тіреу сөздер: кластерлі-қауымдастық үлгі, тұтқыр ағын, жылу әсері, су ағыны.

Keywords: cluster-associatnaja model, viscid flow, thermal effect, stream of water.

Неослабевающий интерес к свойствам воды в последнее время дополнился новыми экспериментальными данными по образованию надмолекулярных комплексов в виде так называемых эмулонов – сверхкрупных кластеров, по сути дела, ассоциатов кластеров [1, 2]. Подобные формы соответствуют тем, что рассматриваются в рамках разработанной нами концепции хаотизированных частиц [3], в которой несмотря на учет только хаотизированной составляющей вещества и отвлечение от конкретного выражения структуры тем не менее удалось определить для жидкого состояния доли кластеров и ассоциатов кластеров, распределение их по размерам, оценить их виртуальную площадь поверхности, найти общие выражения для температурных зависимостей вязкости и плотности, дать новую трактовку текучести на примере расплавов [4-9].

Сама же концепция хаотизированных частиц, будучи основанной на распределении Больцмана по кинетической (тепловой) энергии хаотического движения частиц, применимом для всех агрегатных состояний вещества, рассматривает все эти состояния

как обусловленные тем или иным соотношением трех классов этих частиц, отличающихся только по уровню кинетической энергии: кристаллоподвижных (crystal-mobile, crm) с энергией не выше теплоты плавления вещества; жидкоподвижных (liquid-mobile, lqm) с энергией выше теплоты плавления и ниже теплоты кипения и пароподвижных (vapour-mobile, vm) с энергией выше теплоты кипения [10-13]. Это позволяет с единых позиций рассматривать три агрегатные состояния и давать новую трактовку плавкости, пластичности и растворимости твердых тел [14], испаряемости вещества в конденсированном состоянии [15], вязкости и плотности жидкости и газов [9], а также другие особенности, обусловленные виртуальными образованиями на основе хаотизированных частиц.

Используемые зависимости

В частности, это относится к кластерно-ассоциатной модели строения жидкости, в которой формирование кластеров и их ассоциатов обусловлено содержанием низкоэнергетических – кристаллоподвижных частиц, доля которых согласно распределения Больцмана диктуется невозможностью преодоления теплового барьера плавления ΔH_m :

$$P_{crm} = 1 - \exp[-\Delta H_m / (RT)] \quad (1)$$

Нормировка этой доли в пределах существования жидкого состояния с нормированной по тем же пределам динамической вязкостью приводит к полуэмпирической зависимости

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^a \quad (2)$$

где η_1 , T_1 – реперная точка в области наиболее надежного экспериментального (или иного) определения вязкости, как правило вблизи (но не в самой) точке плавления; a – показатель степени, по смыслу соответствующий числу кластеров в ассоциате. При этом оказалось, что приведенная к кластеру энергия активации вязкого течения, т.е. после деления ее на степень a , находится в области вандерваальсовой энергии притяжения, чему соответствует обширный экспериментальный и теоретический материал по вязкому течению.

Сама же степень ассоциации кластеров зависит от температуры аналогичным (2) образом, поскольку характер образования и разрушения ассоциатов подчиняется тем же закономерностям, что и кластеры:

$$a = a_2 (T_2/T)^b \quad (3)$$

где a_2 находится с помощью второй реперной точки η_2 , T_2

$$a_2 = \frac{\ln(\eta_2/\eta_1)}{\ln(T_1/T_2)} \quad (4)$$

b , выражающий меру понижения степени ассоциации кластеров, – с помощью третьей, η_3 , T_3 , для чего сначала находится степень ассоциации в верхней части массива η , T

$$a_3 = \frac{\ln(\eta_3/\eta_1)}{\ln(T_1/T_3)}, \quad (5)$$

а затем

$$b = \frac{\ln(a_3/a_2)}{\ln(T_2/T_3)}. \quad (6)$$

При этом b оказался постоянным и специфичным для каждого исследованного вещества [9].

В результате получена полуэмпирическая зависимость

$$\eta = \eta_1 (T_1/T)^{a_2} (T_2/T)^b, \quad (7)$$

учитывающая в более полной мере влияние температуры на вязкость. Здесь сама форма модели как бы повторяет надстроечную (иерархическую) структуру кластерного ассоциата.

Следует отметить, что степень ассоциации кластеров, как и число низкоэнергетических (кристаллоподвижных) частиц в самих кластерах при каждой температуре подчиняется собственным распределениям и может выражаться обобщенно среднеинтегральными значениями. Так, среднее число частиц в кластерах, начиная с любого исходного и до бесконечно большого выражается формулой [16, 9]

$$\bar{n}_k = n_n - 1/\ln P_{crm}. \quad (8)$$

Аналогично этому для среднего числа кластеров в ассоциате, т.е. для средней степени ассоциации, начиная с ан-кластерных ассоциатов и до бесконечности, получим

$$\bar{a} = a_n - 1/\ln P_{crm, \bar{n}_k}, \quad (9)$$

где P_{crm, \bar{n}_k} – доля всех кластеров, представленных средним числом частиц \bar{n}_k . Эта доля находится по формуле

$$P_{k, n_{n+\infty}} = P_{crm}^{n_n}, \quad (10)$$

а доля ассоциатов соответственно по

$$P_{A, a_{n+\infty}} = (P_{crm}^{n_n})^{a_n} = P_{crm}^{n_n a_n}. \quad (11)$$

Кластерно-ассоциатная модель вязкости воды

В справочнике [17] для воды приведены значения динамической вязкости в интервале от точки плавления до точки кипения (табл. 1). Из них для построения кластерно-ассоциатной модели выбраны реперные точки: T1 = 283,15 К, $\eta_1 = 1,307$ мПа·с; T2 = 323,15 К, $\eta_2 = 0,5470$ мПа·с; T3 = 373,15 К, $\eta_3 = 0,2818$ мПа·с. С помощью формул (4)-(6) найдены параметры и получена расчетная форма модели

$$\eta = 1,307(283,15/T)^{0,5918}(323,15/T)^{1,1846} \quad (12)$$

Результаты расчета по этой модели сопоставлены со справочными данными и с экстраполяцией в критическую точку при 647,14 К приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость динамической вязкости воды от температуры. Указана степень ассоциации кластеров по (3)

| T, К | η [17], мПа·с | η (12), мПа·с | a | T, К | η [17], мПа·с | η (12), мПа·с | a |
|-------------------------|--------------------|--------------------|------|--------------------------|--------------------|--------------------|------|
| T _m = 273,15 | 1,793 | 1,745 | 8,04 | 363,15 | 0,3145 | 0,3132 | 5,74 |
| 283,15 | 1,307 | 1,307 | 7,71 | T _b = 373,15 | 0,2818 | 0,2818 | 5,56 |
| 293,15 | 1,002 | 1,011 | 7,40 | 423,15 | – | 0,1908 | 4,79 |
| 298,15 | – | 0,8989 | 7,25 | 473,15 | – | 0,1516 | 4,20 |
| 303,15 | 0,7977 | 0,8045 | 7,11 | 523,15 | – | 0,1328 | 3,73 |
| 313,15 | 0,6532 | 0,6562 | 6,84 | 573,15 | – | 0,1237 | 3,34 |
| 323,15 | 0,5470 | 0,5470 | 6,59 | 623,15 | – | 0,1199 | 3,03 |
| 333,15 | 0,4665 | 0,4648 | 6,36 | 633,15 | – | 0,1196 | 2,97 |
| 343,15 | 0,4040 | 0,4017 | 6,14 | 643,15 | – | 0,1194 | 2,92 |
| 353,15 | 0,3544 | 0,3525 | 5,93 | T _{cr} = 647,14 | – | 0,1193 | 2,90 |

Коэффициент нелинейной корреляции составил 0,9993993 при значимости $tR = 2496 \gg 2$ для 95 % уровня достоверности, что свидетельствует о функциональном характере данной модели и правомерности ее экстраполяции вплоть до критической точки, как это оказалось характерным для других веществ [9].

Степень ассоциации кластеров с повышением температуры закономерно понижается, чему соответствует меньшая вероятность образования ассоциаций. Вообще же вероятность образования самих кластеров адекватна их виртуальному содержанию, которое для каждой температуры подчиненно установленному нами распределению по числу входящих в них кристаллоподвижных частиц [16]:

$$P_{crm,n} = P_{crm}^n (1 - P_{crm}) = \{1 - \exp[-\Delta H_m / (RT)]\}^n \exp[-\Delta H_m / (RT)] \quad (13)$$

Именно из него путем математического анализа этой функции находятся вышеприведенные формулы (10) и (11), которые после раскрытия P_{crm} через (1) выразятся как

$$P_{K,n_{H \rightarrow \infty}} = \{1 - \exp[-\Delta H_m / (RT)]\}^{n_H} \quad (14)$$

$$P_{A,a_{H \rightarrow \infty}} = \{1 - \exp[-\Delta H_m / (RT)]\}^{n_H a_H} \quad (15)$$

Для воды $\Delta H_m = 6010$ Дж/моль [17] и при температуре 298,15 К согласно (1) получим

$$P_{crm,298,15} = 1 - \exp\left(-\frac{6010}{8,31441 \cdot 298,15}\right) = 0,9115.$$

Для двухчастичных и более кластеров их доля при стандартной температуре (14) составит

$$P_{K,2 \rightarrow \infty} = P_{crm,298,15}^2 = 0,8308,$$

а доля двухкластерных и более ассоциатов по (15) оказывается равной

$$P_{A,2 \rightarrow \infty} = (P_{crm,298,15})^{2 \cdot 2} = 0,6902$$

Среднее число кластеров в ассоциате, начиная с двухкластерных, по формуле (9) определится для 298,15 К как

$$\bar{a} = 2 - 1/\ln P_{crm,n_K} = 2 - 1/\ln P_{crm,298,15}^2 = 7,39$$

Эта величина согласуется с найденной с помощью кластерно-ассоциатной модели (12) при адаптации ее к экспериментальным (справочным) данным для стандартной температуры и равной 7,25 (с отличием в 2 %), что можно рассматривать как внутреннюю согласованность физической и математической форм в рамках данной модели, а также ее корректности в целом.

Помимо этого, имеется возможность использования полученных результатов для постановки специального эксперимента с целью подтверждения кластерно-ассоциатной модели жидкости на примере воды.

Теоретическая оценка энергии образования ассоциатов при остановке движения воды

Как показано авторами, при трактовке вязкости в рамках концепции хаотизированных частиц, течение жидкости – это разрушение ассоциатов без деструкции самих кластеров [7, 9, 18]. Энергия этого разрушения сопоставима с вандерваальсовой энергией притяжения и составляет в расплавах в среднем около 11 кДж/моль. Экспериментальную проверку можно осуществить с учетом вышеприведенной доли ассоциатов в моле воды (15), варьируя нижнее число кластеров в ассоциате n , поскольку очевидно, что разрушению при начале движения жидкости подвержены не все ассоциаты, а наиболее крупные, начиная с некоторого значения, соответствующего скорости движения потока.

При этом необходимо оценить вклад самой кинетической энергии движения в общую тепловую энергию жидкости, который прежде всего должен отражаться на ее температуре при остановке движения.

Наиболее технически просто обеспечить резкую остановку движению с целью улавливания явно небольших эффектов изменения температуры в сравнении с их «размытием» при начале движения потока за счет неизбежного торможения силами трения и инерции в установке. При остановке температура должна повыситься как за счет релаксации энергии потока в тепловую энергию, так и за счет рекомбинации разрушенной доли ассоциатов (своеобразной «кристаллизации» виртуальных кластерных образований из кристаллоподвижных частиц).

Вклад энергии движения потока в повышение температуры при его остановке можно оценить следующим образом. В установившемся режиме общая энергия движущегося потока равна сумме тепловой энергии моля $cMT_{дв}$ и кинетической энергии $Mv^2/2$. При резкой остановке потока кинетическая энергия направленного движения релаксирует в хаотическую тепловую, становясь равной $cMT_{ост}$. Из балансового соотношения

$$cMT_{дв} + Mv^2/2 = cMT_{ост} \quad (16)$$

следует с учетом практического постоянства теплоемкости при малом изменении температуры

$$T_{ост} - T_{дв} = \frac{v^2}{2c}, \text{ К}, \quad (17)$$

где c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), v – скорость потока, м/с.

Для воды при стандартной температуре $c = 4180$ Дж/(кг·К) [17], поэтому ожидаемое повышение температуры в этих условиях можно представить для широкого диапазона скоростей в виде следующей сводки:

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $v,$ м/с | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| $T_{ост}$ - $T_{дв},$ | 1,2·10 ⁻⁴ | 4,8·10 ⁻⁴ | 1,1·10 ⁻³ | 1,9·10 ⁻³ | 3,0·10 ⁻³ | 4,3·10 ⁻³ | 5,9·10 ⁻³ | 7,7·10 ⁻³ | 9,7·10 ⁻³ | 1,2·10 ⁻² |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| К | -6 | -6 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -4 |
| v, м/с | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Тост-Тдв, К | 4,8·10 | 1,1·10 | 1,9·10 | 3,0·10 | 4,3·10 | 5,9·10 | 7,7·10 | 9,7·10 | 1,2·10 | |
| К | -4 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | -2 | |
| v, м/с | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | |
| Тост-Тдв, К | 4,8·10 ⁻² | 0,11 | 0,19 | 0,30 | 0,43 | 0,59 | 0,77 | 0,97 | 1,2 | |
| v, м/с | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | |
| Тост-Тдв, К | 4,8 | 11 | 19 | 30 | 43 | 59 | 77 | 97 | 120 | |

Из этой сводки следует, что в первом диапазоне, от 0,1 до 1 м/с, изменения температуры могут быть зафиксированы только очень чувствительными приборами. Второй диапазон, от 1 до 10 м/с, усиливает эффект на два порядка, становясь доступным для наиболее чувствительных ртутных термометров. Третий и четвертый диапазоны, каждый с усилением на два порядка, дают представление о тепловых последствиях резкой остановки, например, автомобильного транспорта (третий) и самолетов (четвертый).

Вклад релаксации кластеров в ассоциаты может быть учтен, начиная с оценки энергии междукластерной связи в ассоциатах для воды, которую в первом приближении можно отнести к энергии активации вязкого течения, сводящегося в рамках концепции хаотизированных частиц к разрушению ассоциатов.

В результате обработки справочных данных таблицы 1 по уравнению Френкеля эта энергия составила 1654 Дж/моль, причем в этом случае моль должен быть отнесен к единице течения, т.е. к ассоциату. Тем самым энергию релаксации разрушенных ассоциатов можно выразить через их долю (15) и энергию активации как

$$E_{\text{рел}} = E_a \{1 - \exp[-\Delta H_m / (RT)]\}^{n_n a_n} \quad (18)$$

С учетом найденного выше значения $P_{\text{сгм},298,15} = 0,9115$ для воды, $E_a = 1654$ Дж/ассоциат, а также того, что в формировании ассоциата могут принимать участие любые кластеры, начиная с $n_n = 2$, формула (18) принимает расчетный вид

$$E_{\text{рел}} = 1654 \cdot 0,9115^{2a_n} \quad (19)$$

в котором вариации подлежит только доля ассоциатов с числом кластеров, начиная с ан, т.к. крупность разрушаемых ассоциатов заранее не известна. В этом случае вклад энергии рекомбинации кластеров в ассоциаты при остановке потока в общую его тепловую энергию выразится по балансовой формуле

$$cMT_{дв} + 1654 \cdot 0,9115^{2a_n} = cMT_{ост}, \quad (20)$$

откуда

$$T_{ост} - T_{дв} = \frac{1654 \cdot 0,9115^{2a_n}}{cM} = \frac{1654 \cdot 0,9115^{2a_n}}{4180 \cdot 0,018} = 21,98 \cdot 0,9115^{2a_n}, \text{ К.} \quad (21)$$

Результаты расчета по этой формуле приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость перегрева потока воды при остановке от доли разрушенных при движении ассоциатов, начиная с ан

| ан | $P_{a_n \div \infty}$ | Тост-Тдв, К | ан | $P_{a_n \div \infty}$ | Тост-Тдв, К | ан | $P_{a_n \div \infty}$ | Тост-Тдв, К |
|----|-----------------------|-------------|----|-----------------------|---------------------|----|-----------------------|---------------------|
| 2 | 0,690 | 15,2 | 25 | $9,7 \cdot 10^{-3}$ | 0,21 | 60 | $1,5 \cdot 10^{-5}$ | $3,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 | 0,477 | 10,5 | 30 | $3,9 \cdot 10^{-3}$ | 8,5 | 65 | $5,9 \cdot 10^{-6}$ | $1,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 6 | 0,329 | 7,2 | 35 | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | 3,4 | 70 | $2,3 \cdot 10^{-6}$ | $5,1 \cdot 10^{-5}$ |
| 8 | 0,227 | 5,0 | 40 | $6,0 \cdot 10^{-4}$ | 1,3 | 75 | $9,2 \cdot 10^{-7}$ | $2,0 \cdot 10^{-5}$ |
| 10 | 0,157 | 3,5 | 45 | $2,4 \cdot 10^{-4}$ | $5,3 \cdot 10^{-3}$ | 80 | $3,6 \cdot 10^{-7}$ | $8,0 \cdot 10^{-6}$ |
| 15 | 0,062 | 1,4 | 50 | $9,5 \cdot 10^{-5}$ | $2,1 \cdot 10^{-3}$ | 85 | $1,4 \cdot 10^{-7}$ | $3,2 \cdot 10^{-6}$ |
| 20 | 0,025 | 0,54 | 55 | $3,7 \cdot 10^{-5}$ | $8,2 \cdot 10^{-4}$ | 90 | $5,7 \cdot 10^{-8}$ | $1,3 \cdot 10^{-6}$ |

Из данных таблицы следует, что в случае разрушения всех ассоциатов при движении воды температура потока при остановке может подняться на 15 К. Однако полное разрушение ассоциатов при движении потока нереально, как невозможна и полная деструкция кристаллической решетки льда при плавлении, когда разрывается лишь около 30 % водородных связей, сохраняющихся в жидкости в составе кластеров [19]. В отношении меры разрушения ассоциатов при движении и соответствующего восстановления их в потоке можно связать эту меру со скоростью потока, полагая, что чем больше скорость, тем полнее разрушение ассоциатов, как это можно усмотреть из сопоставления вышеприведенной сводки значений по Тост-Тдв с указанной в таблице 2 вместе с долей ассоциатов $P_{a_n \div \infty}$. Однако о полном расходовании кинетической энергии движения

потока на частичное разрушение ассоциатов говорить не приходится, поскольку, во-первых, энергия движения потока сохраняется после разрушения ассоциатов и, во-вторых, обе они, $Mv^2/2$ и Ерел, выделяются при остановке движения. То есть между ними имеется корреляция, но не функциональная связь. Выделяющаяся при остановке движения энергия характеризует при отсутствии потерь затраченную внешнюю энергию (потенциальную или механическую) на инициирование и поддержание движения. Тем самым открывается возможность фиксирования суммарного эффекта повышения температуры, Тост-Тдв, и вычленения из него вклада Ерел по разности с имеющейся оценкой вклада $mv^2/2$ при фиксированной скорости движения потока.

Ввиду малости ожидаемого проявления теплового эффекта при остановке движения потока необходимо соблюдать следующие условия:

использовать наиболее чувствительные к изменению температуры приборы, возможно, порядка $\pm(10^{-3} \div 10^{-2})$ К;

узел измерения обсуждаемого эффекта должен обладать достаточной емкостью для уменьшения неизбежных потерь тепла через стенки, в связи с чем он должен быть хорошо теплоизолирован;

в этом узле должна обеспечиваться контролируемая скорость потока;

вариация скорости потока должна включать диапазон от 0,1 до 2,0 м/с, чтобы вклад кинетической энергии движения потока оставался на уровне не более 10-4 К;

в то же время для проявления эффекта рекомбинации разрушенных ассоциатов скорость потока должна быть достаточно высокой;

температурный режим не должен задаваться и поддерживаться позиционными регуляторами, вносящими регулярную помеху в циклах «включено-выключено»;

измерения необходимо проводить в стационарном режиме при температуре лабораторного помещения в суточный период ее понижения, что исключило бы возможную помеху от повышения температуры в измерительном узле за счет передачи тепла от окружающей атмосферы в этот узел.

Как видим, перечень необходимых условий достаточно строг, но иначе бы искомый эффект был бы давно обнаружен при каких-либо попутных измерениях.

Выводы

Разработанная авторами кластерно-ассоциатная модель вязкого течения жидкости высоко адекватно описывает справочные данные по динамической вязкости воды.

На основе зависимости степени ассоциации кластеров от температуры оценен тепловой эффект их разрушения и обратного образования с учетом крупности ассоциатов в сопоставлении с таковым для вклада кинетической энергии потока воды.

Рекомендованы условия проведения эксперимента по обнаружению данного эффекта.

Литература

Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В. Супрамолекулярные комплексы воды // Российский химический журнал. – М.: Рос. хим. об-во им. Д.И. Менделеева. – 2004. – Т. 48. – № 2. – С. 125-135.

Смирнов А.Н. Структура воды: новые экспериментальные данные // Наука и технология в промышленности. – 2010. – № 4. – С. 41-45.

Малышев В.П., Нурмагамбетова (Турдукожаева) А.М. Концепция хаотизированных частиц как основа единого отображения твердого, жидкого и газообразного состояний вещества // Вестник КазНУ, сер. хим. – 2004. – № 3(35). – С. 53-67.

Малышев В.П., Турдукожаева А.М. Кристаллоподвижные частицы – источник равновесной самоорганизации кластеров твердой фазы в жидкости // Сб. трудов V Межд. междисциплинарного симпозиума «Прикладная синергетика в нанотехнологиях». – Москва, 2008. – С. 199-204.

Малышев В.П., Нурмагамбетова А.М. Вязкость жидких металлов в отображении концепцией хаотизированных частиц // Комплексное использование минерального сырья. – 2004. – № 6. – С. 81-90.

Малышев В.П., Толымбеков М.Ж., Турдукожаева А.М., Кажикенова А.Ш., Акуов А.М. Применение обобщенной полуэмпирической модели вязкости расплавов на основе концепции хаотизированных частиц для шлаковых систем // Расплавы. – 2010. – № 1. – С. 76-84.

Малышев В.П., Толымбеков М.Ж., Турдукожаева А.М., Кажикенова А.Ш., Акуов А.М. Течение расплавов – разрушение ассоциаций кластеров // Расплавы. – 2010. – № 6. – С. 43-49.

Малышев В.П., Турдукожаева А.М. Уточнение кластерно-ассоциатной модели вязкости расплавов на основе учета влияния температуры на степень ассоциации кластеров // Расплавы. – 2011. – № 6. – С. 72-79.

Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукожаева А.М. Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М.: Научный мир, 2012. – 288 с.

Нурмагамбетова А.М., Малышев В.П., Мамяченков С.В. Энергетические аспекты распределения Больцмана // Вестник УГТУ-УПИ. – 2004. – № 5(35). – С. 215-218.

Malyshev V.P., Nurmagambetova A.M. United interpretation of aggregate substance conditions by degree of its chaotization // Eurasian Physical technical journal. – 2004. – vol. 1. – № 2. – P. 10-14.

Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Boltzman's Distribution as a basis of calculation of equilibrium distribution clusters of virtual solid phase in a liquid // XVII International conference on chemical thermodynamics in Russia (RCCT 2009). Abstracts. V. 2. – Kazan, 2009. – С. 156.

Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Boltzmann's distribution as base of chaotical particles concept // Industrial technology and engineering. – 2011. – № 1. – P. 61-76.

Малышев В.П., Абдрахманов Б.Т., Нурмагамбетова А.М. Плавкость и пластичность металлов. – М.: Научный мир, 2004. – 148 с.

Малышев В.П., Турдукожаева А.М., Оспанов Е.А., Саркенов Б. Испаряемость и кипение простых веществ. – М.: Научный мир, 2010. – 304 с.

Малышев В.П., Турдукожаева А.М. Равновесная самоорганизация наноразмерных кластеров твердой фазы в жидкости // Энциклопедия инженера-химика. – 2009. – № 4: – С. 2-8; № 5: – С. 2-6; № 6: – С. 5-11.

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

Малышев В.П., Турдукожаева А.М. Энергетические аспекты и кластерная обусловленность вязкого течения жидкости // Энциклопедия инженера-химика. – 2011. – № 7. – С. 28-32.

Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии: В 2-х томах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – С. 620.

references

- 1 Smirnov A.N., Syroeshkin A.V. Supramolekuljarnye komplekсы vody // Rossijskij himicheskij zhurnal. – М.: Ros. him. ob-vo im. D.I. Mendeleeva. – 2004. – Т. 48. – № 2. – S. 125-135.
- 2 Smirnov A.N. Struktura vody: novye jeksperimental'nye dannye // Nauka i tehnologija v promyshlennosti. – 2010. – № 4. – S. 41-45.
- 3 Malyshev V.P., Nurmagambetova (Turdukozhaeva) A.M. Konceptija haotizirovannyh chastic kak osnova edinogo otobrazhenija tverdogo, zhidkogo i gazoobraznogo sostojanij veshhestva // Vestnik KazNU, ser. him. 2004. № 3(35). S. 53-67.
- 4 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Kristallopodvizhnye chasticy – istochnik ravnovesnoj samoorganizacii klasterov tverdoj fazy v zhidkosti // Sb. trudov V Mezhd. mezhdisciplinarnogo simpoziuma «Prikladnaja sinergetika v nanotehnologijah». – Moskva, 2008. – S. 199-204.

- 5 Malyshev V.P., Nurmagambetova A.M. Vjazkost' zhidkih metallov v otobrazhenii koncepciej haotizirovannyh chastic // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja. – 2004. № 6. S. 81-90.
- 6 Malyshev V.P., Tolymbekov M.Zh., Turdukozhaeva A.M., Kazhikenova A.Sh., Akuov A.M. Primenenie obobshhennoj polujempiricheskoj modeli vjazkosti rasplavov na osnove koncepcii haotizirovannyh chastic dlja shlakovyh sistem // Rasplavy. – 2010. – № 1. – S. 76-84.
- 7 Malyshev V.P., Tolymbekov M.Zh., Turdukozhaeva A.M., Kazhikenova A.Sh., Akuov A.M. Techenie rasplavov – razrushenie asociacij klasterov // Rasplavy. – 2010. – № 6. – S. 43-49.
- 8 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Utochnenie klasterno-associatnoj modeli vjazkosti rasplavov na osnove ucheta vlijanija temperatury na stepen' asociacii klasterov // Rasplavy. – 2011. – № 6. – S. 72-79.
- 9 Malyshev V.P., Bekturganov N.S., Turdukozhaeva A.M. Vjazkost', tekuchest' i plotnost' veshhestv kak mera ih haotizacii. – M.: Nauchnyj mir, 2012. – 288 s.
- 10 Nurmagambetova A.M., Malyshev V.P., Mamjachenkov S.V. Jenergeticheskie aspekty raspredelenija Bol'cmana // Vestnik UGTU-UI. – 2004. № 5(35). – S. 215-218.
- 11 Malyshev V.P., Nurmagambetova A.M. United interpretation of aggregate substance conditions by degree of its chaotization // Eurasian Physical technical journal. – 2004. – Vol. 1. № 2. R. 10-14.
- 12 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Boltzman's Distribution as a basis of calculation of equilibrium distribution clusters of virtual solid phase in a liquid // XVII International conference on chemical thermodynamics in Russia (RCCT 2009). Abstracts. V. 2. – Kazan, 2009. – S. 156.
- 13 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Boltzmann's distribution as base of chaotical particles concept // Industrial technology and engineering. – 2011. – № 1. – P. 61-76.
- 14 Malyshev V.P., Abdrahmanov B.T., Nurmagambetova A.M. Plavkost' i plastichnost' metallov. M.: Nauchnyj mir, 2004. 148 s.
- 15 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M., Ospanov E.A., Sarkenov B. Isparjaemost' i kipenie prostyh veshhestv. – M.: Nauchnyj mir, 2010. – 304 s.
- 16 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Ravnovesnaja samoorganizacija nanorazmernih klasterov tverdoj fazy v zhidkosti // Jenciklopedija inzhenera-himika. – 2009. – № 4: – S. 2-8; № 5: – S. 2-6; № 6: – S. 5-11.
- 17 Bol'shoj himicheskij spravochnik / A.I. Volkov, I.M. Zharskij. – Mn.: Sovremennaja shkola, 2005. – 608 s.
- 18 Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M. Jenergeticheskie aspekty i klasternaja obuslovlennost' vjazkogo techenija zhidkosti // Jenciklopedija inzhenera-himika. – 2011. – № 7. – S. 28-32.

- 19 Dikerson R., Grej G., Hejt Dzh. Osnovnye zakony himii: V 2-h tomah. Per. s angl. – M.: Mir, 1982. – Т. 1. – S. 620.

Малышев В.П., Тұрдықожаева А.М., Сүлейменов Т., Қажыкенова А.Ш.

(Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты)

Бөлшектердің бейберекет тұжырымдамалық бейнесіндегі судың
кластерлі-қауымдастық үлгісі

Резюме

Авторлармен судың динамикалық тұтқырлығының анықтамалық берілгендерін дәлме-дәл сипаттайтын сұйықтардың тұтқыр ағынының кластерлі-қауымдастық үлгісі жасалған. Су ағымының кинетикалық энергияға қосатын үлесін есепке ала отырып және қауымдастық ірілігін ескеріп, ұсынылған кластерлердің қауымдасу дәрежесі тәуелділігінің негізінде олардың қирауы мен қайтадан түзілу кезіндегі жылу әсері бағаланған. Осы әсерді байқау үшін жүргізілетін тәжірибелердің шарты ұсынылған.

Тіреу сөздер: кластерлі-қауымдастық үлгі, тұтқыр ағын, жылу әсері, су ағыны.

V.P. Malyshev, A.M. Turdukozhaeva, T. Suleymenov, A.Sh. Kazhikenova

(Chemistry metallurgical institute the name of Zh. Abishev)

CLUSTER AND ASSOCIATE MODEL OF WATER BY CONCEPT OF RANDOMIZED
PARTICLES

Summary

The authors have developed a cluster and associate model of viscous fluid flow, which high adequately describes the reference data on the dynamic viscosity of water. Based on the proposed depending on the degree of association of clusters from the temperature is estimated of the thermal effect and reverse the destruction of formation taking into account the size of the associates in comparison with those for the contribution of the kinetic energy of water flow.

Recommended conditions of the experiment to detect this effect.

Keywords: cluster-associatnaja model, viscid flow, thermal effect, stream of water.

Поступила 14.09.2013 г.