

УДК 519.9

Обуховський В.В.¹, проф., д.ф.-м.н.,
Шилін А.В.², аспірант.

Порівняння моделей опису в'язкості бінарних молекулярних сумішей

¹ Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 83000, м. Київ, пр-т.
Глушкова 4д,
e-mail: vobukhovsky@yandex.ua
yvo@univ.kiev.ua

² Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 83000, м. Київ, пр-т.
Глушкова 4д,
e-mail: shilin.andrey.v@gmail.com

V.V. Obukhovsky¹, Doc. Sci.,
A.V. Shylin², postgraduate student.

The comparison of viscosity description for molecular binary mixtures

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv,
83000, Kyiv, Glushkova st., 4d,
e-mail: vobukhovsky@yandex.ua
yvo@univ.kiev.ua

² Taras Shevchenko National University of Kyiv,
83000, Kyiv, Glushkova st., 4d,
e-mail: shilin.andrey.v@gmail.com

Порівнюються різні типи однопараметричних залежностей, що використовуються для опису ізотерм в'язкості бінарних молекулярних сумішей. Розглянуто емпіричні формули, запропоновані Ареніусом, Грюнбергом-Ніссаном, Хінді. Знайдено границі областей розбіжності між різними формулюваннями законів в'язкості. Шляхом мінімізації зваженого квадратичного відхилення встановлено взаємозв'язок між різними коефіцієнтами в області спільного застосування формул Грюнберга-Ніссана і Хінді.

Ключові слова: ізотерма в'язкості, формула Грюнберга-Ніссана, формула Хінді.

The aim of this article is to compare the one-parameter empirical models which are used to describe the viscosity isotherms of binary molecular mixtures. We consider the empirical formula suggested by Arrhenius, Grunberg-Nissan and Hind. A relationship between empirical coefficients in common used formulas of Grunberg-Nissan and Hind was found by minimizing the weighted standard deviation.

It is shown that for certain relations between the parameters G_{12} and η_{12} selection formula that describes the behavior of viscosity is not a matter of principle. However, there are mixtures for which question of choice of law forms viscosity is fundamental. 18 binary mixtures were examined and respective coefficients (G_{12} and η_{12}) were identified for them. The undeniable advantage of Grunberg-Nissan and Hind models is their simplicity (only one adjustable parameter feature in the formulas). However, these laws lack versatility.

To describe more complex viscosity isotherms one parameter is not enough. Complexes (quasistable formations) can be formed by intermolecular bonds. Replacing binary mixture by three-components mixture allows us to expand the use of simple one-parameter models to describe more complex viscosity isotherms.

Knowledge of viscosity of binary mixtures is of great importance in many industrial processes. Therefore the search for more universal laws viscosity remains an urgent task.

Key Words: viscosity isotherms, Grunberg-Nissan equation, Hind equation

Статтю представив канд. фіз.-мат наук, доц. Савенков С.М.

1. Вступ

Експериментальному вивченню в'язкості бінарних розчинів присвячена велика кількість публікацій (наприклад, див. посилання в [1]). Було доведено, що в'язкість бінарних сумішей η

не може бути подана як адитивна функція концентрацій компонент N_1, N_2 , а має місце нелінійна залежність $\eta(N_1, N_2)$ [2-4]. До перших спроб опису концентраційної залежності η

можна віднести роботу [5]. В подальшому Кендаль та Мопрое [6] проаналізували формулу Арреніуса для 84 неасоційованих рідин використовуючи різні способи опису концентрацій, а саме в мольних, вагових та об'ємних долях. Достатньо вдалого погодження з експериментом не було досягнуто в жодному випадку. Відзначимо, що кращий результат був отриманий при вимірюванні концентрації в мольних долях.

В подальшому було запропоновано моделі з нелінійними залежностями, котрі відображали молекулярну взаємодію між складовими частинами сумішей [1]. Такі формули точніше описували концентраційну залежність коефіцієнта в'язкості, але область їхнього застосування залишалася невідомою.

В цій статті ми порівнюємо апроксимаційні формули Грюнберга-Ніссана та Хінді.

2. Емпіричні однопараметричні моделі Грюнберга-Ніссана та Хінді.

Аналізуючи наявні данні вимірів Арреніус зробив припущення про адитивність логарифмічних характеристик в'язкості [5].

$$\ln \eta_A = \sum_{i=1}^n x_i \ln \eta_{ii} \quad (1)$$

(тут і далі x_i - мольна доля i -тої компоненти). Вважалося, що залежність (1) достатньо точно характеризує коефіцієнти в'язкості ідеальних n -компонентних сумішей [7]. Проте швидко з'ясувалося, що для розчинів реальних рідин в багатьох випадках формула (1) погано описує концентраційну залежність коефіцієнта в'язкості в широких областях (що простягаються від малих до високих концентрацій). Таку невідповідність можна пояснити неврахуванням взаємодії між молекулами різних рідин в суміші [1].

Пізніше широке розповсюдження отримала апроксимаційна модель Грюнберга-Ніссана, яка в загальному випадку має такий вигляд [8]

$$\ln \eta_{GN} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \eta_{ii} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n x_i x_j G_{ij} \quad (2)$$

(в рамках цієї моделі покладається $G_{ii} = 0$). На відміну від формули Арреніуса формула Грюнберга-Ніссана має нелінійний доданок другого порядку по концентраціям компонент суміші. Параметр взаємодії G_{ij} залежить від властивостей рідких компонент [2]. В найпростішому випадку - бінарної суміші (2) приймає вигляд

$$\ln \eta_{GN} = x_1 \ln \eta_{11} + x_2 \ln \eta_{22} + x_1 x_2 G_{12}, \quad (3)$$

де $x_1 + x_2 = 1$.

В роботі [9] було визначено, що для тих сумішей, що мають позитивне відхилення від закону Рауля, параметр G_{ij} приймає від'ємні значення (в переважній більшості достатньо малі за модулем). І навпаки, для тих сумішей, що мають негативне відхилення від закону Рауля, параметр G_{ij} приймає додатні (в деяких випадках чисельно досить великі) значення.

Хінді запропонував використовувати іншу апроксимаційну залежність [10]:

$$\eta_H = \eta_{11} x_1^2 + 2x_1 x_2 \eta_{12} + \eta_{22} x_2^2, \quad (4)$$

де x_1, x_2 - мольна доля відповідної компоненти ($x_1 + x_2 = 1$), η_{11}, η_{22} - в'язкість чистих компонент; η_{12} - коефіцієнт взаємної в'язкості (зрозуміло, що в такому трактуванні $\eta_{12} > 0$).

3. Аналіз формули Хінді

Неважко перевірити, що апроксимаційна модель Хінді лінеаризується за умови $\eta_{12} = \eta_{12}^0$, де

$$\eta_{12}^0 = (\eta_{11} + \eta_{22})/2 \quad (5)$$

Для виділення лінійної частини апроксимаційної залежності введемо фактор нелінійності $\Delta_{12} \geq -1$:

$$\eta_{12} = \eta_{12}^0 (1 + \Delta_{12}) \quad (6)$$

З врахуванням (6), в'язкість по Хінді η_H може бути подана у білінійній формі

$$\eta = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_1^2 \quad (7)$$

Вище позначено

$$A_0 = \eta_{22}, \quad (8-а)$$

$$A_1 = \eta_{11} - \eta_{22} + \Delta_{12}(\eta_{11} + \eta_{22}), \quad (8-б)$$

$$A_2 = -\Delta_{12}(\eta_{11} + \eta_{22}). \quad (8-г)$$

В певних випадках квадратична залежність (7) може мати екстремум при концентрації першої компоненти:

$$x_1^{extr} = \frac{1}{2} + \frac{(\eta_{11} - \eta_{22})}{2\Delta_{12}(\eta_{11} + \eta_{22})}, \quad (0 \leq x_1^{extr} \leq 1). \quad (9)$$

На рис.1 показані ізотерми в'язкості, котрі можуть бути описані апроксимаційною формулою Хінді, в залежності від параметра нелінійності Δ_{12} . У випадку $\Delta_{12} = 0$ маємо лінійну залежність. При $\Delta_{12} > 0$ крива в'язкості вигнута донизу, а при $\Delta_{12} < 0$ - доверху. Так як в межах даної апроксимації параметр Δ_{12} є сталою

величину, то апроксимаційна крива не має точок перегину.

Зауважимо, що формула Хінді має певні обмеження області застосування. Наприклад, її

не можна застосовувати для опису S-подібних ізотерм в'язкості, що характерні для суміші толуол – метиловий спирт [11], так як останні описуються кривими третього порядку.

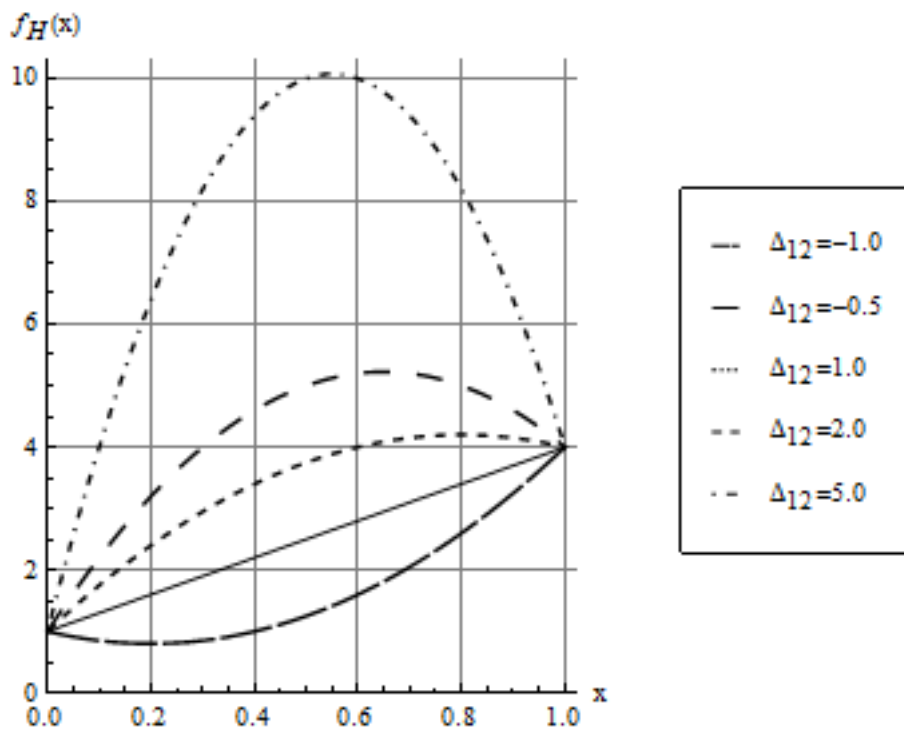


Рис.1 Залежність ізотерм в'язкості, від параметра нелінійності Δ_{12} в рамках апроксимаційного рівняння Хінді.

4. Порівняння формул Ареніуса та квадратичної апроксимації Хінді.

Для зручності перейдемо до перенормованих величин. Формула Ареніуса (1) еквівалентна до функції

$$f_A = \eta_A / \eta_{22} = \delta^{x_1}, \quad (10)$$

де $\delta = \eta_{11} / \eta_{22}$ - відношення коефіцієнтів в'язкості. Останні вимірюються в незалежних експериментах.

Для формули Хінді (4) можна записати відповідне співвідношення у безрозмірних змінних:

$$f_H = \frac{\eta_H}{\eta_{22}} = \delta x_1^2 + 2x_1(1-x_1)\chi + (1-x_1)^2. \quad (11)$$

Крім δ в (11) фігурує додатковий параметр $\chi = \eta_{12} / \eta_{22}$ - що може трактуватись як «відносна взаємна в'язкість». В такому випадку $\chi > 0$. Він не вимірюється в незалежних

експериментах і може розглядатися як підгоночний параметр.

Розглянемо нормоване середньоквадратичне відхилення між апроксимаційними формулами Хінді $f_H(x)$ та Ареніуса $f_A(x)$, що стосуються сумішей із однаковими δ :

$$\sigma(\delta, \chi) = 2 \left[\int_0^1 \left(\frac{f_A - f_H}{(f_A + f_H)} \right)^2 dx \right]^{1/2} \quad (12)$$

Шляхом мінімізації нев'язки можна знайти χ^{opt} (при фіксованому δ), при якому обидві формули (Ареніуса і Хінді) дають максимально близькі результати ($\sigma(\delta, \chi^{opt}) = \sigma_{min}(\delta)$). Реалізація такої мінімізації може бути зроблена із застосуванням Wolfram Mathematica. Отримані результати проілюстровані на рис.2,3.

Надалі буде розглядатися діапазон $\delta \in [1, 4]$, тобто суміші, де в'язкість первісних компонент відрізняється не більше ніж 4 рази.

Заради визначеності, будемо обирати за першу компоненту таку, де в'язкість найбільша (тобто $\eta_{11}/\eta_{22} > 1$). Середньоквадратичне відхилення апроксимаційних кривих Хінді та Ареніуса збільшується при збільшенні

відмінності в'язкості компонент суміші (див. рис.2), але в обраній області $\delta \in [1,4]$ залишається меншою від 2% (тобто на рівні точності експериментального визначення в'язкості).

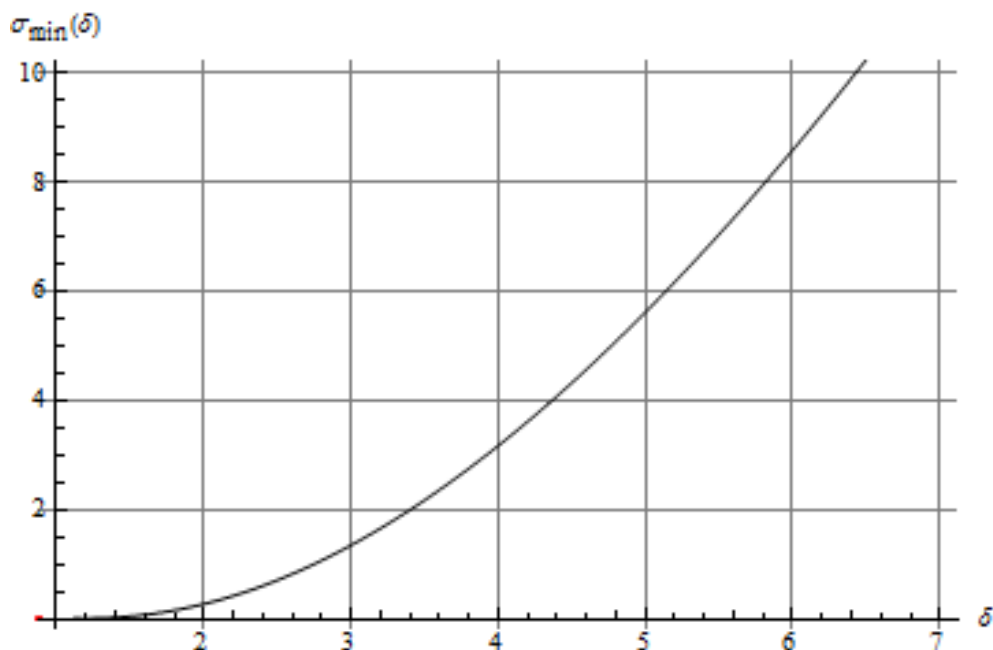


Рис. 2 Розбіжність σ_{\min} між формулами Ареніуса і Хінді, як функція відношення в'язкостей вихідних компонент $\delta = \eta_{11}/\eta_{22}$ при оптимальному виборі параметра взаємної в'язкості χ^{opt} .

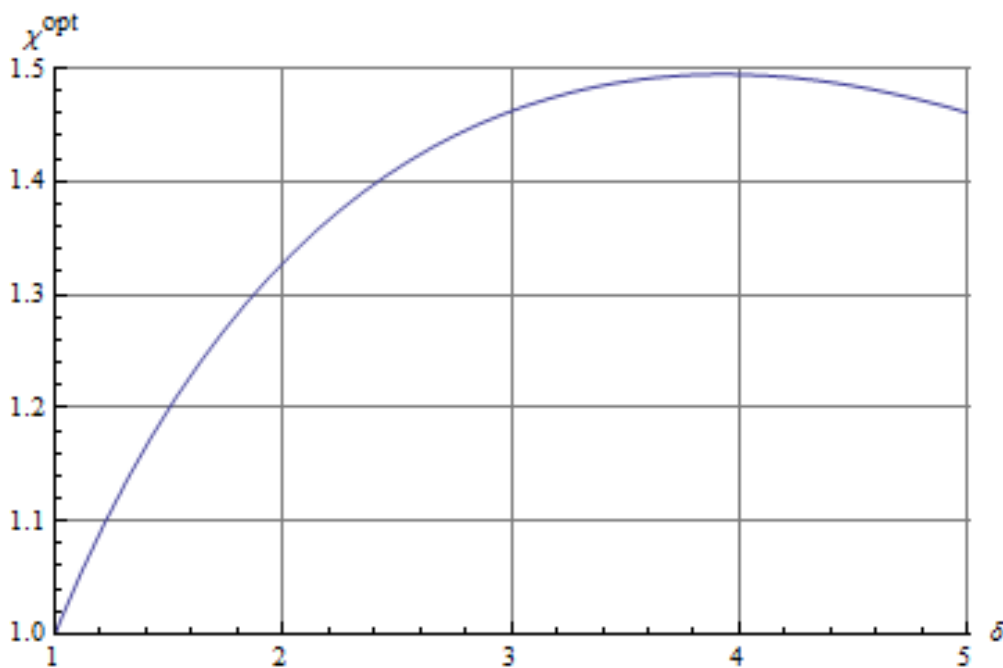


Рис.3 Залежність $\chi^{opt}(\delta)$ при якій формули Грюнберга-Ніссана і Хінді дають максимально близькі результати. Різниця відповідає σ_{\min} (див. рис.2)

Відповідні оптимальні значення ілюструються на Рис.3. Як бачимо, χ^{opt} змінюється в обмежених границях, причому досягає максимуму при $\delta \approx 4$.

5. Порівняння формул Грюнберга-Ніссана та квадратичної апроксимації Хінді.

Формула Грюнберга-Ніссана може бути записана у перенормованому вигляді

$$f_{GN} = \eta_{GN} / \eta_{22} = \delta^{x_1} \exp[x_1(1-x_1)G_{12}]. \quad (13)$$

Порівнюючи між собою залежності Грюнберга-Ніссана та Хінді (в перенормованому вигляді), відзначимо, що на кінцях інтервалу концентрацій функції (11), (13) співпадають.

$$\begin{cases} f_H(0) = f_{GN}(0) = 1, \\ f_H(1) = f_{GN}(1) = \delta. \end{cases} \quad (14)$$

Враховуючи, що коефіцієнт G_{12} розглядається як деякий апроксимаційний параметр моделі Грюнберга-Ніссана, можна підібрати його таким чином, щоб f_H і f_{GN} співпадали, ще в одній точці. Найпростіший спосіб такий: як додаткову умову взяти рівність двох функцій посередині інтервалу концентрацій (тобто в точці $x = 0.5$):

$$f_H(0.5) = f_{GN}(0.5). \quad (15)$$

підгоночного параметру χ^{opt} (взаємної в'язкості Нескладно перевірити, що рівність (15) вимагає реалізації умови

$$G_{12} = G_{12}^0 = 4 \ln \left(\frac{\delta + 2\chi + 1}{4\sqrt{\delta}} \right) \quad (16)$$

Співпадіння двох плавних кривих в трьох точках може гарантувати близькість апроксимаційних функцій Грюнберга-Ніссана та Хінді в усіх проміжних точка (зважаючи на подібність геометричних форм). Тому можна сподіватись, що є суміші, котрі добре описуються обома формулами: як формулою Грюнберга-Ніссана, так і формулою Хінді. Графічне відображення (16) представлено на рис.4. Як бачимо, значення апроксимаційного коефіцієнта $G_{12}^{opt}(\delta, \chi)$ може набувати, як додатніх, так і від'ємних значень в залежності від співвідношення між величинами δ і χ . Якщо має місце додатне відхилення від першого закону Рауля, то апроксимаційний параметр рівняння Хінді найбільш імовірно приймає значення $\chi < 2\sqrt{\delta} - (\delta + 1)/2$. У випадку від'ємного відхилення від першого закону Рауля – $\chi > 2\sqrt{\delta} - (\delta + 1)/2$.

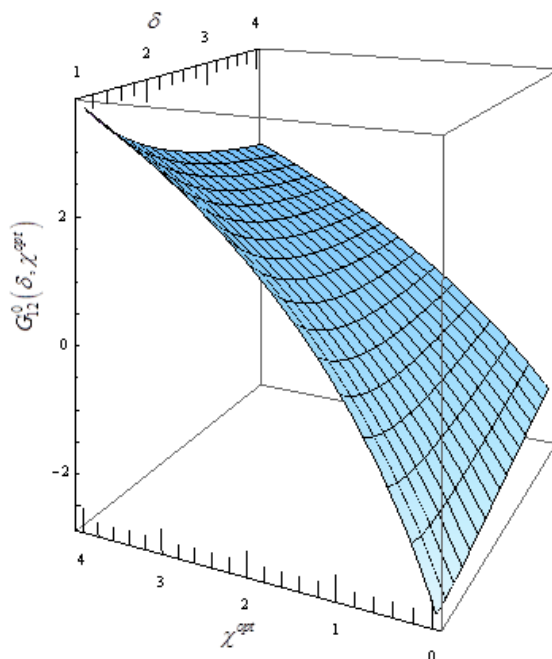


Рис.4 Залежність $G_{12}^0(\delta, \chi^{opt})$.

Для більш ґрунтового аналізу, було розглянуто нормовану середньоквадратичну

розбіжність (нев'язку) між апроксимаційними формулами Хінді $f_H(x)$ та Грюнберга-Ніссана

$f_{GN}(x)$, що стосуються сумішей із однаковими δ :

$$\sigma(\delta, G_{12}, \chi) = 2 \left[\int_0^1 \left(\frac{f_{GN} - f_H}{(f_{GN} + f_H)} \right)^2 dx \right]^{1/2} \quad (17)$$

Шляхом мінімізації невязки можна знайти зв'язок між параметрами χ^{opt} та G_{12}^{opt} (при фіксованому δ), при яких обидві формули (Хінді та Грюнберга-Ніссана) дають максимально близькі результати ($\sigma(\delta, G_{12}^{opt}, \chi^{opt}) = \min\{\sigma(\delta)\}$). Отримані результати проілюстровані на рис.4 в полі параметра χ^{opt} .

На рис.4 показано області співпадіння формул Хінді та Грюнберга-Ніссана в межах заданої точності σ (остання визначається по середньоквадратичному відхиленні) при умові

оптимального узгодження значень підгоночних параметрів η_{12} і G_{12} . Для ілюстрації в координатному просторі δ, χ на графіку відображено параметри ряду бінарних сумішей (див. підпис під малюнком).

Для сумішей, параметри яких потрапляють в область А (середньоквадратична розбіжність не перевищує 1%), не є принциповим питання вибору форми закону в'язкості. В цьому випадку можна використовувати, як формулу Грюнберга-Ніссана так і Хінді (формула (16) буде досить точно описувати зв'язок між параметрами моделей). Для областей В, С, D і E питання використання тої чи іншої формули стає принциповим (в цьому випадку втрачається зв'язок (16) між параметрами моделей).

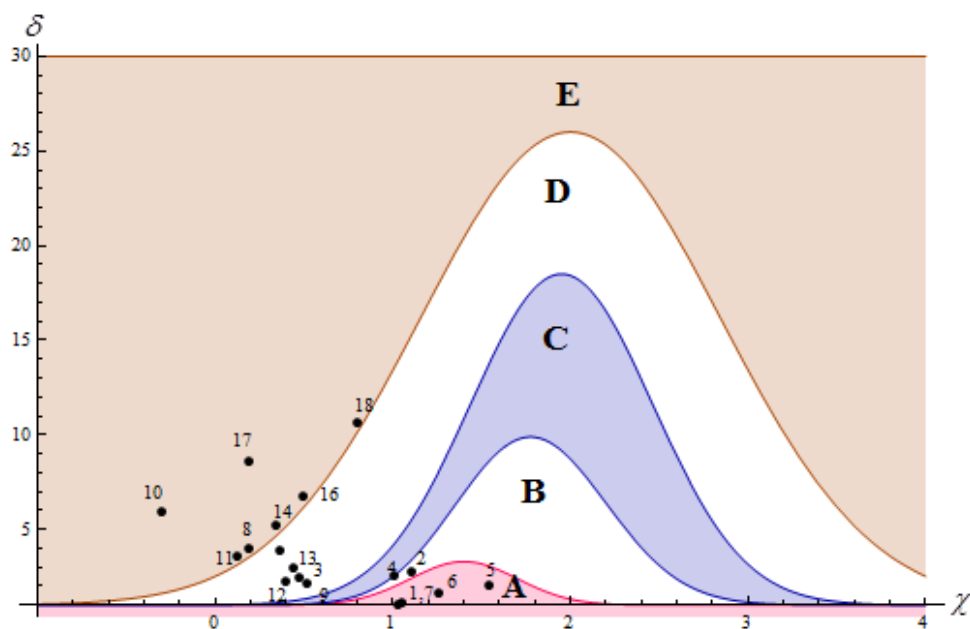


Рис.4 Области $Z = A, B, C, D, E$ значень параметрів $\{\delta, \chi\}$ для заданої середньоквадратичної розбіжності $\sigma(Z)$ між результатами обчислень за формулами Грюнберга-Ніссана та Хінді при оптимальному виборі взаємозв'язку між параметрами χ і G_{12} . Якщо параметри системи $\{\delta, \chi\}$ потрапляють в область Z , то максимальна розбіжність складає (у відсотках):

$$0 \leq \sigma(A) \leq 1, \quad 1 \leq \sigma(B) \leq 3, \quad 3 \leq \sigma(C) \leq 5, \quad 5 \leq \sigma(D) \leq 8, \quad \sigma(E) \geq 8.$$

Цифри біля точок відповідають сумішам: 1 – [1,2-Dichlorobencene+1,4-Dioxane]; 2 – [1,4-Dioxane+Ethyl Acetate]; 3 – [1-Butanol+1,4-Dioxane]; 4 – [1,4-Dioxane+Trichloroethylene]; 5 – [2-Chloroethanol+1,4-Dioxane]; 6 – [Diethylmalonate+1,4-Dioxane]; 7 – [N,N-Dimethylacetamide+1,4-Dioxane]; 8 – [2-Propanol+Octane]; 9 – [2-Propanol+Decane]; 10 – [2-Butanol+Octane]; 11 – [2-Butanol+Decane]; 12 – [2-Butanol+Dodecane]; 13 – [1-Pentanol+Phenetole]; 14 – [1-Hexanol+Phenetole]; 15 – [1-Heptanol+Phenetole]; 16 – [1-Octanol+Phenetole]; 17 – [1-Nonanol+Phenetole]; 18 – [1-Decanol+Phenetole].

На закінчення відзначимо, що в'язкість суміші рідин залежить від стадії структуроутворюючих процесів, а також визначається механізмами міжмолекулярної взаємодії. Наприклад, при змішування рідин $[A]$ і $[B]$ можуть утворюватися молекулярні комплекси (наприклад, типу $[AB]$) з часом життя значно більшим в порівнянні з періодом коливань молекул в рідині. Зрозуміло, що ці сполуки в ході передачі кількості руху треба розглядати як рівноцінну третю компоненту. В цьому випадку кількість складових в формулах Грюнберга-Ніссана та Хінді збільшиться (як мінімум) до $n = 3$. Подібні міркування можуть пояснити причину складної концентраційної залежності коефіцієнтів в'язкості ряду сумішей (наприклад: суміші толуол – метиловий спирт), що не може бути описана жодним із розглянутих вище законів.

Висновки:

В роботі знайдено границі взаємозамінного застосування формул Грюнберга-Ніссана і Хінді для опису концентраційної залежності коефіцієнта динамічної в'язкості в бінарних молекулярних сумішах (в межах заданої точності). Наприклад, якщо параметри системи потрапляють в область А (рис.4), а точність

експериментальних вимірів не перевищує 1%, то неможливо надати пріоритет застосуванню однієї з форм опису (закон Грюнберга-Ніссана чи Хінді). Для таких випадків знайдено взаємозв'язок між параметрами конкуруючих формул (див. (16)). Також указано на взаємозв'язок між першим законом Рауля і параметрами взаємної в'язкості.

Незаперечним достоїнством законів Грюнберга-Ніссана та Хінді є їхня простота (в формулах фігурує тільки по одному підгоночному параметру (або η_{12} , або G_{12}). Проте цим законам бракує універсальності. Дійсно, як показано в роботах [3,6] для деяких типів сумішей кращі результати дає опис за формулою Грюнберга-Ніссана, але для інших – за формулою Хінді.

Тому пошук більш універсальних законів в'язкості залишається актуальною задачею. Складний характер концентраційної залежності величини в'язкості пов'язаний із різноманітністю міжмолекулярних взаємозв'язків в рідких розчинах. Відзначимо, що цьому плані вельми гнучкими є широко застосовані в хімії моделі асоціатів та комплексів.

Список використаних джерел

1. Viscosity of liquids / *Dabir S. Viswanath, Tushar K. Ghosh, Dasika H. L. Prasad, Nidamarty V. K. Dutt.* – The Netherlands: Published by Springer, 2007. – 660 p.
2. *Poling B.* The properties of gases and liquids./ *Poling B., Prausnitz J., O'connell J.* – New York: McGraw-Hill, 2001.
3. An equation for the correlation of viscosities of binary mixtures / *J.V. Herraез, R. belda, O. Diez, M. Herraез.* // *J Solution Chem.* – 2008. – 37. – P. 233–248.
4. Volumetric, Speed Of Sound Data and Viscosity for the Binary Mixtures of 2-Methylaniline with Aliphatic Ketones and Cyclic Ketones at Different Temperatures / *V.Venkatalakshmi, A .Chowdappa, P. Venkateswarlu, K.S. Redd.* // *IJIRST.* – 2014. –3. – P. 17556–17566.

References

1. VISWANATH, D. (2007). *Viscosity of liquids.* Dordrecht: Springer.
2. POLING, B., PRAUSNITZ, J. AND O'CONNELL, J. (2001). *The properties of gases and liquids.* New York: McGraw-Hill
3. HERRÁEZ, J., BELDA, R., DÍEZ, O. AND HERRÁEZ, M. (2008). An Equation for the Correlation of Viscosities of Binary Mixtures. *Journal of Solution Chemistry*, 37(2), p.233-248.
4. V.VENKATALAKSHMI, A .CHOWDAPPA, P. VENKATESWARLU, K.S. REDD (2014). Volumetric, Speed Of Sound Data and Viscosity for the Binary Mixtures of 2-Methylaniline with Aliphatic Ketones and Cyclic Ketones at Different Temperatures, *IJIRST*, 3, p.17556–17566.

5. Kendall. J. Viscosity of liquids. III. Ideal solutions of solids in liquids / J. Kendall, K. P. Monroe. // *J. Am. Chem. Soc.* – 1917. – **39**. – P. 1802–1806.
6. Arrhenius S. Uber die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe / S.A. Arrhenius. // *Z.Phys.Chem.* – 1887. – **1**. – P. 631–648.
7. G. Okunev. A new approach to the calculation of viscosity of liquid hydrocarbon mixtures based on modified Arrhenius equation/ G. Okunev, E.V. Parkhomchuk, A.I. Lysikov, V.S. Derevshchikov.//*ISJAE.* – 2011. – **9**(113). P. 178-181.
8. Grunberg. L. Mixture law for viscosity / L.Grunberg, A.H.Nissan. // *Nature*. – 1949. – **164**. – P. 799–800.
9. Isdale J.D. Prediction of Viscosity of Organic Liquid Mixtures by a Group Contribution Method / J.D. Isdale, J.C. MacGillivray, G. Cartwright. – Glasgow, Scotland: Natl. Eng. Lab. Rept. East Kilbride, 1985.
10. Hind R.K. Structure and viscosity of liquids. Camphor + pyrene mixtures / R.K. Hind, E. McLaughlin, U.R. Ubbelohde. // *Trans. Farad. Soc.* – 1960. – **56**. – P. 328–330.
11. Pandharinath S. Nikam Viscosities of Binary Mixtures of Toluene with Methanol, Ethanol, Propan-1-ol, Butan-1-ol, Pentan-1-ol, and 2-Methylpropan-2-ol at (303.15, 308.15, 313.15) K / Pandharinath S. Nikam, Bapu S. Jagdale, Arun B. Sawant, Mehdi Hasan. // *J. Chem. Eng. Data*. – 2000. – **45**. – P. 559–563.
5. KENDALL, J. and MONROE, K. (1917). The viscosity of liquids. iii. ideal solutions of solids in liquids. *J. Am. Chem. Soc.*, 39(9), pp.1802-1806.
6. ARRHENIUS S. (1887) Uber die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe, *Z.Phys.Chem.*,1, pp.631–648.
7. G. OKUNEV, E.V. PARKHOMCHUK, A.I. LYSIKOV, V.S. DEREVSHCHIKOV (2011). A new approach to the calculation of viscosity of liquid hydrocarbon mixtures based on modified Arrhenius equation. *ISJAE.*, 9(113), pp. 178-181.
8. GRUNBERG, L. and NISSAN, A. (1949). Mixture Law for Viscosity. *Nature*, 164(4175),
9. ISDALE J.D. (1985) Prediction of Viscosity of Organic Liquid Mixtures by a Group Contribution Method. Glasgow, Scotland: *Natl. Eng. Lab. Rept. East Kilbride*
10. HIND, R., MCLAUGHLIN, E. and UBBELOHDE, A. (1960). Structure and viscosity of liquids. Camphor + pyrene mixtures. *Trans. Faraday Soc.*, 56, p.328.
11. S. NIKAM, P., S. JAGDALE, B., B. SAWANT, A. and HASAN, M. (2000). Viscosities of Binary Mixtures of Toluene with Methanol, Ethanol, Propan-1-ol, Butan-1-ol, Pentan-1-ol, and 2-Methylpropan-2-ol at (303.15, 308.15, 313.15) K. *J. Chem. Eng. Data*, 45, p.559.

Надійшла до редколегії 10.09.2015