

потім вибором відповідної глибини занурення звести значення похибки до допустимої величини. Необхідну глибину занурення можна визначити за залежностями (1) або (2).

1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – Л., 1987.
2. Гордов А.Н. Основы пирометрии. – М., 1971. 3. Фединець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах //Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв. –Львів,1998. 4. Dewey C. F. Wire Measurements in Low Reynolds Number Hypersonic Flows // ARS J.-V.31. – №12. – 1961. – P. 1709–1718. 5. Моффат Р.Д. Измерение температуры газа // Измерение нестационарных температур и тепловых потоков. – М.,1966. 6. Фединець В. Вплив захисних екранів термоперетворювача на похибку від випромінювання при вимірюванні температури газових потоків //Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – 2003. – №476. – С. 67–72. 7. Dewey C. F. A Corelation of Convective Heat Transfer and Recovery Temperature Data for Cylinders in Compressible Flow // Internat. J. Heat and Mass Transfer. – V.8. – №2. – 1965. – P. 245–252.

УДК 533.2.7

З. Теплюх, І. Ділай

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

НАБЛИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ В'ЯЗКОСТІ ПОШИРЕНИХ ГАЗІВ ДЛЯ УМОВ ЛАБОРАТОРНИХ ПРИМІЩЕНЬ

© Теплюх З., Ділай І., 2005

In the article the known data of temperature dependence for viscosity of prevalent gases in range 0...60 °C are analysed and approximation coefficients of this dependences are presented.

Постановка проблеми. Побудова сучасних вимірювальних приладів для дослідження газів, зокрема для вимірювання теплофізичних властивостей, витрати і складу газів, вимагає розрахунку і моделювання їх газових трактів, в яких зустрічаються втрати тиску, пов'язані із в'язкісним тертям [1–7]. При цьому необхідно знати коефіцієнт динамічної в'язкості (далі просто в'язкість) газу для температури і тиску в приладі. Вказані прилади, як правило, працюють в лабораторних умовах і тому температура газу в них знаходиться в межах 0–60 °С (незалежно від того, чи її стабілізують, чи ні). Газ у приладах знаходиться під тиском, як правило, відносно близьким до атмосферного, коли вплив тиску на в'язкість є незначним (в межах похибки значення в'язкості), в той час, як вплив температури є доволі сильним, – відносна зміна в'язкості становить до 0,5 %/К. Отже, для вказаних умов доцільною є апроксимація відомих значень в'язкості лише за температурою.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні нагромаджено великий експериментальний матеріал про в'язкість різних газів, а також встановлено низку теоретичних (напівемпіричних) закономірностей, що дає змогу визначити в'язкість газу залежно від температури і тиску [6, 8–14]. Надійшлишими вважають експериментальні дані, які для найбільш поширених газів за тисків і температур, близьких до лабораторних, одержані з граничною похибкою порядку 1 % [8, 10]. Проте для конкретних умов в'язкість доводиться знаходити з різних джерел, де наведені дані часто є недостатніми (інтерполяція вносить додаткову похибку) чи навіть різними, або розраховувати

в'язкість за залежностями, точність яких є сумнівною. Так, наприклад, розходження між значеннями в'язкості, одержаними з довідника [14] і монографії [10], для деяких газів (окис вуглецю, закис азоту, водяна пара) доходять до 10 %. Виконаний аналіз даних різних авторів свідчить про необхідність використання для наближення даних різних джерел, оскільки невідомо, які дані є якісніші.

В опублікованій нами раніше роботі [15] наведені коефіцієнти квадратної апроксимації $\mu(T) = a_2 \cdot T^2 + b_2 \cdot T + c_2$ лише для семи основних промислових газів і в дещо ширшому діапазоні температур, проте на практиці номенклатура газів є набагато чисельнішою і тому вищезазначені труднощі визначення в'язкості найбільш поширених газів нею не зняті.

Мета роботи – підбір достовірних і незапозичених експериментальних даних залежності в'язкості від температури для атмосферного тиску і якісне наближення цих даних в доволі вузькому діапазоні температур, який характерний для роботи приладів у лабораторних умовах, коли температура газу є застабілізована або відповідає температурі приміщення.

Оскільки розходження між даними, отриманими за лінійною та квадратною залежностями для заданого в цій роботі вузького інтервалу температур є незначними, то доцільно оцінити можливість використання лінійної апроксимації замість квадратної. Крім того, лінійна апроксимація $\mu(T) = a_1 \cdot T + b_1$ є зручнішою в одержанні аналітичних залежностей для оцінювання впливу температури або зменшення цього впливу шляхом компенсації [16].

Для вказаних умов наближення виконане методом найменших квадратів. Значення коефіцієнтів наближення для найбільш розповсюджених газів наведені в табл.1, що дає змогу простіше і точніше, ніж будь-яким іншим способом, визначити в'язкість газу для довільної температури вказаного інтервалу. При цьому в одержуваних результатах зменшені як випадкові, так і систематичні похибки даних різних джерел. Крім коефіцієнтів, в табл.1 наведені значення параметрів, що характеризують якість даних і самого наближення, а саме: відносне середньоквадратне відхилення σ і відносне максимальне відхилення $\delta_m = \max(\mu_i - \mu) / \mu$, де μ_i і μ відповідно табличне і наближене значення в'язкості у розглядуваному інтервалі. Наведені значення σ і δ_m показують високу якість наближення, зокрема, що відхилення наближених значень від відомих є набагато меншими за похибку експерименту.

Таблиця 1

Коефіцієнти і характеристика наближення в'язкості газів

Газ (хімічна формула)	N, к-ть точок	Лінійне наближення				Квадратне наближення			
		$a_1 \cdot 10^8$	$b_1 \cdot 10^7$	$\sigma_1, \%$	$\delta_m, \%$	$a_2 \cdot 10^{12}$	$b_2 \cdot 10^8$	$c_2 \cdot 10^7$	$\sigma_2, \%$
Повітря	24	4,8645	38,603	0,05	0,44	-50,196	7,9041	-7,2133	0,04
Азот (N ₂)	23	4,3935	46,398	0,07	0,67	-61,516	8,1102	-9,4651	0,06
Кисень (O ₂)	26	5,5236	40,377	0,06	0,52	-72,077	9,9075	-25,988	0,06
Аргон (Ar)	23	6,2201	39,860	0,07	0,86	-33,836	8,2669	9,0414	0,07
Гелій (He)	17	4,4440	65,039	0,15	1,03	76,314	-0,1654	134,30	0,15
Водень (H ₂)	16	1,9648	30,246	0,06	0,42	-12,151	2,7075	18,959	0,06
Окис вуглецю (CO)	18	4,2703	49,249	0,08	1,02	-21,809	5,5952	29,246	0,08
Двоокис вуглецю (CO ₂)	28	4,6861	9,2210	0,12	1,61	-77,077	9,3754	-61,781	0,11
Водяна пара (H ₂ O)	10	3,7506	-14,824	0,27	1,76	4,6051	3,4686	-10,541	0,27
Амоній (NH ₃)	27	3,6014	-5,5050	0,13	1,79	27,416	1,9432	19,462	0,12
Метан (CH ₄)	27	3,1220	17,178	0,08	1,20	10,168	2,5093	26,366	0,08
Етан (C ₂ H ₆)	21	2,9747	4,0415	0,10	1,80	-16,760	3,9978	-11,492	0,10
Пропан (C ₃ H ₈)	21	2,6266	2,9457	0,20	2,45	56,786	-0,8374	55,521	0,19
н-Бутан (n-C ₄ H ₁₀)	17	2,7498	-7,4554	0,33	2,61	-38,788	5,1105	-43,180	0,32
ізо-Бутан (i-C ₄ H ₁₀)	10	2,5982	-1,9219	0,07	0,33	-3,8432	2,8335	-5,4972	0,06
н-Пентан (n-C ₅ H ₁₂)	11	2,3491	-2,7464	0,34	1,49	24,903	0,8277	20,328	0,34

Газ (хімічна формула)	N, к-ть точок	Лінійне наближення				Квадратне наближення			
		$a_1 \cdot 10^8$	$b_1 \cdot 10^7$	$\sigma_l, \%$	$\delta_m, \%$	$a_2 \cdot 10^{12}$	$b_2 \cdot 10^8$	$c_2 \cdot 10^7$	$\sigma_2, \%$
ізо-Пентан ($i\text{-C}_5\text{H}_{12}$)	9	2,2263	3,1025	0,05	0,23	-11,084	2,9071	-7,2785	0,04
Окис азоту (NO)	12	4,9039	45,217	0,11	0,80	-29,674	6,7181	17,667	0,11
Закис азоту (N_2O)	11	4,6236	10,179	0,13	1,19	-0,3741	4,6465	9,8313	0,13
Двоокис сірки (SO_2)	13	4,6324	-10,760	0,14	1,12	-47,394	7,5358	-54,983	0,13
Хлорид водню (HCl)	12	5,1849	-9,6269	0,06	0,41	-36,769	7,4344	-43,803	0,04
Сірководень (H_2S)	11	4,4222	-3,3884	0,19	1,65	14,897	3,5096	10,493	0,19
Неон (Ne)	19	7,0997	103,55	0,08	0,67	-68,791	11,266	40,754	0,08
Криптон (Kr)	17	7,5648	27,120	0,13	0,77	-69,422	11,769	-36,244	0,13
Ксенон (Xe)	19	7,6167	3,9395	0,19	1,50	-55,967	11,011	-47,278	0,19
Хлор (Cl_2)	12	4,4690	1,8663	0,17	1,34	-25,092	6,0031	-21,430	0,16
Етилен (C_2H_4)	21	3,2048	6,9409	0,09	1,18	-15,269	4,1269	-6,9119	0,09
Ацетилен (C_2H_2)	11	3,1096	10,591	0,03	0,23	-3,4388	3,3205	7,3750	0,03

У табл. 2 наведені опубліковані та наближені значення в'язкості метану, з яких зрозуміло: а) доцільність такого наближення; б) що відхилення наближення від опублікованих даних майже на порядок менше від похибки експерименту; в) різниця між лінійним і квадратним наближеннями є набагато меншою, ніж відхилення від опублікованих даних.

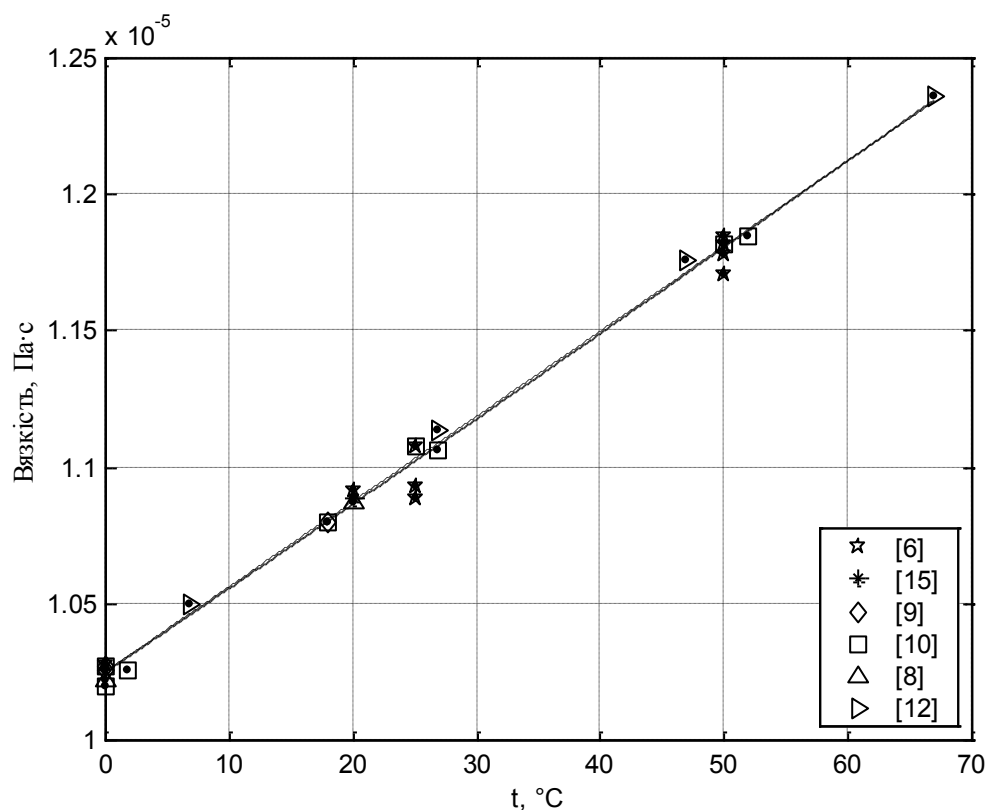
Таблиця 2

Порівняння наближених і опублікованих значень в'язкості метану

T, K	μ , мкПа·с, джерело	Лінійне наближення		Квадратне наближення		$\delta_{12}, \%$
		μ_1 , мкПа·с	$\delta_1, \%$	μ_2 , мкПа·с	$\delta_2, \%$	
273,15	10,22 [8]	10,267	-0,46	10,257	-0,36	0,10
	10,26 [9]		-0,07		0,03	
	10,27 [9]		0,03		0,13	
	10,28 [6]		0,13		0,22	
273,16	10,20 [10]	10,268	-0,66	10,257	-0,56	0,11
	10,27 [10]		0,02		0,13	
275	10,26 [10]	10,325	-0,63	10,317	-0,55	0,08
280	10,50 [12]	10,479	0,20	10,480	0,19	-0,01
291,15	10,80 [9]	10,824	-0,22	10,838	-0,35	-0,13
291,16	10,80 [10]	10,825	-0,23	10,839	-0,36	-0,13
293,15	10,87 [8]	10,886	-0,15	10,902	-0,29	-0,16
	10,89 [11]		0,04		-0,11	
	10,92 [6]		0,31		0,17	
298,15	10,89 [6]	11,041	-1,37	11,061	-1,55	-0,18
	10,93 [6]		-1,01		-1,18	
	11,08 [6]		0,35		0,17	
	11,08 [9]		0,35		0,17	
298,16	11,08 [10]	11,041	0,35	11,061	0,17	0,18
300	11,06 [10]	11,098	-0,34	11,120	-0,54	-0,20
	11,14 [12]		0,38		0,18	
320	11,76 [12]	11,717	0,37	11,744	0,14	-0,23

T, К	μ , мкПа·с, джерело	Лінійне наближення		Квадратне наближення		δ_{12} , %
		μ_1 , мкПа·с	δ_1 , %	μ_2 , мкПа·с	δ_2 , %	
323,15	11,85 [6]	11,815	0,30	11,841	0,08	-0,22
	11,82 [6]		0,04		-0,18	
	11,71 [6]		-0,89		-1,11	
	11,78 [6]		-0,30		-0,52	
	11,82 [9]		0,04		-0,17	
	11,82 [8]		0,04		-0,18	
323,16	11,82 [10]	11,815	0,04	11,842	-0,19	-0,23
325	11,85 [10]	11,872	-0,19	11,898	-0,40	-0,22
340	12,36 [12]	12,336	0,19	12,354	0,05	-0,15

На рисунку подано опублікований матеріал для метану та отримано наближення лінійною та квадратною залежностями, з якого зрозуміло, що ці апроксимаційні криві майже зливаються, тобто різниця між ними є незначною.



Графік наближення опублікованих даних температурної залежності в'язкості метану лінійною та квадратною залежностями

Висновок. Подане у роботі лінійне наближення температурної залежності в'язкості поширених газів задовольняє вимогам практики і може бути рекомендованим як основний метод визначення в'язкості у лабораторних умовах.

1. Прохоров В.А. Основы автоматизации аналитического контроля химических производств. – М., 1984. 2. Теплюх З.М., Ділай І.В. Пристрій для приготування штучного природного газу //

Методи та прилади контролю якості. – 2004. – Вип.12, – С. 42–48. 3. Френкель Б.А. Измерение расхода жидкостей и газов в малотоннажных производствах и на экспериментальных установках. – М., 1989. 4. Коллеров Д.К. Газоанализаторы. Проблемы практической метрологии. – М., 1980. 5. Залманзон Л.А. Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем. Измерительные элементы пневмоники. – М., 1973. 6. Голубев И.Ф. Вязкость газов и газовых смесей: Справочное руководство. – М., 1959. 7. Кивилис С.С. Плотномеры. – М., 1980. 8. Бретишайдер С. Свойства газов и жидкостей. – М., 1966. 9. Голубев И.Ф., Агаев Н.А. Вязкость предельных углеводородов. – Баку, 1964. 10. Голубев И.Ф., Гнездилов Н.Е. Вязкость газовых смесей. – М., 1971. 11. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей (определение, корреляция). – Л., 1971. 12. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М., 1972. 13. Динамическая вязкость и теплопроводность гелия, неона, аргона, криптона и ксенона при атмосферном давлении в интервалах температур от нормальных точек кипения до 2500 К. ГСССД 17-81. – М., 1982. 14. Морачевский А.Г., Сладков И.Б. Физико-химические свойства молекулярных неорганических соединений (Экспериментальные данные и методы расчета): Справ. изд. – Л., 1987. 15. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. – Л., 1982. 16. Теплюх З.М., Друль Я.Г. Апроксимація температурної залежності в'язкості основних промислових газів // Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Теплоенергетичні системи та пристрої". – 1993. – № 273. – С. 44–46. 17. Теплюх З.М. Синтезатори газових сумішей для перевірки аналізаторів складу димових газів // Методи та прилади контролю якості. – Ів.-Франківськ. – 2002. – Вип. 8. – С. 83–85.

УДК 681.5:666.3/7

О. Бешта, Т. Бабенко

Національний гірничий університет

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ В КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІКИ

© Бешта О., Бабенко Т., 2005

The article is devoted to the revealing with use of the cluster analysis the hidden relations in the data needed for the synthesis of computer simulating models of the ceramics manufacture process.

Технологічні процеси керамічного виробництва внаслідок складності вивчення їх фізико-хімічної природи здебільшого характеризуються значною розмірністю простору станів, недостатніми теоретичними обґрунтуваннями причинно-наслідкових зв'язків між значеннями окремих технологічних параметрів і їх впливом на показники якості на проміжних та кінцевій стадіях виробництва. При цьому необхідно також враховувати, що параметри стану об'єкта досліджень формуються під дією значної кількості зовнішніх чинників (температура, вологість зовнішнього середовища) та внутрішніх (термодинамічні джерела тощо), а також збурень різної фізичної природи, які діють в різних напрямках і не є завжди відомими. Тому традиційно керамічна промисловість характеризується досить великою часткою зворотного браку на різних технологічних ділянках, що при значній ресурсо- і енергоємності виробництва обумовлює його низьку ефективність та конкурентоспроможність продукції.