УДК 665.753.035(045)

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ В'ЯЗКІСТЮ І ГУСТИНОЮ РЕАКТИВНИХ ПАЛИВ

Лахін Б. Ф., канд. техн. наук; Терсков Я. Є.

Національний авіаційний університет

int2080@ukr.net

Наведено результати дослідження кореляції між показниками якості реактивних палив — в'язкістю і густиною. Схарактеризовані роботи інших авторів у цьому напрямі, а також результати експериментальних досліджень авторів статті. Отримано стійку залежність між в'язкістю і густиною, що дає змогу розробити розрахунковий метод визначення в'язкості з достатньою для експлуатаційних підприємств точністю, і відмовитися від контролю в'язкості в лабораторіях авіаційних підприємств.

Ключові слова: кореляція, в'язкість, густина, реактивне паливо

In this paper the results of studying the correlation between the jetengine fuel property-viscosity and density are given. There are shown review of works by other authors and the experimental results obtained by the authors of this paper. There was obtained the stable viscosity- density correlation which allows to develop the calculation method for viscosity determination which accuracy sufficient for operating enterprises, and to eliminate the viscosity monitoring in the laboratories of aviation enterprises.

Key words: correlation, viscosity, density, jetengine fuel

Вступ

Відомо, що в'язкість рідини визначається Ван-дер-ваальсовими силами взаємодії між молекулами, з яких складається рідина. Для певної рідини зміна сил міжмолекулярної взаємодії пов'язана зі зміною відстані між молекулами, тобто густиною рідини. Звідси й очікувана кореляція між ними. Наведено формули, що описують зміну в'язкості вуглеводневих рідин від її густини за різних температур.

за Бачинським [1]:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{A}{\rho} + B, \qquad (1)$$

у цьому рівнянні два коефіцієнти A і B різні для кожної рідини;

за Саудерсом [2]:

$$\lg\lg\mu = \rho\frac{I}{M} + 2{,}9, \qquad (2)$$

де I — стала, обумовлена для кожної рідини сумарною часткою, що враховує сполука й будовою молекул цієї рідини; M — мольна маса рідини.

За даними праці [3] в'язкість нафтопродуктів з точністю 0,1—0,3 мм^2 /с можна розрахувати за формулами:

$$\lg\lg(\nu_{20} - 0{,}5) = 14{,}85\cdot10^{-3}\rho_{20} - 12{,}035; \qquad (3)$$

$$\lg\lg(\nu_{50} - 0{,}35) = 17{,}25\cdot10^{-3}\rho_{20} - 14{,}535, \qquad (4)$$

де ν_{20} й ν_{50} — в'язкість за температури 20 і 50 °С, у мм^2/с відповідно; ρ_{20} — густина при 20°С, у кг/м^3.

Формули (1)—(4) не мають необхідної універсальності, оскільки для кожної рідини необхідно використати різні значення коефіцієнтів, що враховують індивідуальні властивості рідини. Крім того, ці формули застосовні тільки для певних класів вуглеводнів і дають більшу відносну похибку розрахунку — 10—45 %.

Змістовним фактом у пошуках кореляцій між показниками якості реактивних палив є подібність властивостей нафтових палив, а також відносно вузький діапазон значень густини. Оскільки рівняння (1), (2) і (3) для розрахунку в'язкості реактивних палив використати не вдалося, нами були проведені додаткові дослідження.

Сутність питання полягає в тому, що знайти палива, виготовлені на заводах і маючи значення в'язкості в діапазоні від 1,25 до 1,55 мм^2/с, є проблемним, тому такі палива виготовили самі. Як базові палива були взяті товарні палива РС-1 і РТ, до яких концентрацією 1, 2, 5, 10 й 25 % додавалися бензини й дизельні палива різних зразків. Для запобігання змін сполуки вихідних палив за рахунок випаровування перед змішуванням палива охолоджували до температури 2—4 °С. Задля цього відбір бензинів для готування зразків з концентраціями 1 і 2 % проводився медичними шприцами ємністю 5 і 10 см^3, із граничними відхиленнями за об'ємом ±0,20 й 0,40 см^3 відповідно.

В інших випадках використалися мірні циліндри класу точності 2, ємністю 25, 50 й 100 см^3. Таким чином, реальні об'ємні концентрації домішок становили: 1,00 ± 0,04 %; 2,00 ± 0,08 %; 5,00 ± 0,15 %; 10,0 ± 0,3 % й 25,0± 0,5 %.

Змішування й зберігання зразків відбувалося в колбах ємністю 500 см^3. Після змішування об'єм колби був заповнений на 95 %, що запобігало випаровування в паровий простір легких фракцій, що перебувають у сумішах.

Визначення густини палив в експлуатаційних підприємствах проводиться за допомогою нафтоденсиметрів [4]. Попередні розрахунки показали, що збіг визначення густини за допомогою нафтоденсиметра (5 кг/см^3) порівнянний зі зміною густини, яка викликана додаванням бензину або дизельного палива кількістю 1,5—4,0 %. Тому для підвищення точності вимірів густина визначалася за допомогою пікнометра ємністю 10 см^3. Збіг визначення в цьому випадку дорівнював 0,4 кг/см^3 [5]. Результати отримані в ході експериментів, наведені в табл. 1.

© Б. Ф. Лахін, Я.Є. Терсков, 2010

Дослідження в'язкості проводилося за допомогою віскозиметра ВПЖ з діаметром капіляра 0,34 мм, за методикою ДЕРЖСТАНДАРТ 33-82 [6]. Дані, отримані в результаті експериментів, наведено в табл. 2.

З наведених даних видно, що отримані зразки сумішей палив мають діапазон зміни густини 760—800 кг/м^3 і в'язкості 1,0 — 1,8 мм^2/с. На базі отриманих даних було побудовано залежність в'язкості сумішей при температурі 20 °С від густини за температури 20 °С (рис. 1).

Математично описати цю залежність можна за таким рівнянням:

$$\lg\lg(\nu_{20} - 0{,}75) = 14{,}92 \cdot 10^{-3}\rho_{20} - 12{,}035. \quad (5)$$

Видно, що воно подібне до рівнянь (2) і (3), але має інші значення ніж перших двох коефіцієнтів.

Середньоквадратичне відхилення значень в'язкості, розрахованих за отриманою формулою, від експериментальних дорівнює 0,03 мм^2/с.

У діапазоні значень в'язкості для реактивних палив 1,25 — 1,55 мм^2/с залежність в'язкості від густини можна описати більш спрощеним рівнянням

$$\nu_{20} = 23{,}077 \cdot 10^{-3}\rho_{20} - 16{,}785 \text{ мм}^2/\text{с}. \quad (6)$$

Середньоквадратична похибка між експериментальними значеннями в'язкості й розрахованими за цією формулою становить 0,03 мм^2/с (2,1 %).

Розрахункову формулу (6) було перевірено додатково за значеннями густини й в'язкості палив, які використовувалися під час експлуатації в авіаційних підприємствах. Результати подано на рис. 2 у вигляді гістограм.

Таблиця 1

Щільність сумішей палив для реактивних двигунів з бензинами й дизельними паливами

Зразок	Густина кг/м^3						
	Вміст добавки, %						
	0	1	2	5	10	25	100
ТС-1+ бензин (зразок 1)	788,7	788,1	786,8	784,6	779,4	765,8	687,4
ТС-1+ бензин (зразок 2)	788,7	788,3	787,8	786,1	783,7	774,8	732,7
ТС-1+ Дизель Л (зразок 1)	788,7	789,1	790,0	791,2	793,7	800,9	836,3
РТ+ бензин (зразок 3)	787,7	787,1	786,6	785,8	784,4	778,8	750,6
РТ + Дизель Л (зразок 2)	787,7	788,2	788,8	790,3	792,2	800,2	840,7
РТ + бензин (зразок 3)+ Дизель Л (зразок № 2)	787,7	787,5	787,9	788,4	789,4	790,8	—

Таблиця 2

В'язкість сумішей палив для реактивних двигунів з бензинами й дизельними паливами

Зразок	Густина кг/м^3						
	Вміст добавки % про.						
	0	1	2	5	10	25	100
ТС-1+ бензин (зразок 1)	788,7	788,1	786,8	784,6	779,4	765,8	687,4
ТС-1+ бензин (зразок 2)	788,7	788,3	787,8	786,1	783,7	774,8	732,7
ТС-1+Дизель Л (зразок 1)	788,7	789,1	790,0	791,2	793,7	800,9	836,3
РТ + бензин (зразок 3)	787,7	787,1	786,6	785,8	784,4	778,8	750,6
РТ + Дизель Л (зразок 2)	787,7	788,2	788,8	790,3	792,2	800,2	840,7
РТ + бензин (зразок 3)+Дизель Л (зразок 2)	787,7	787,5	787,9	788,4	789,4	790,8	—

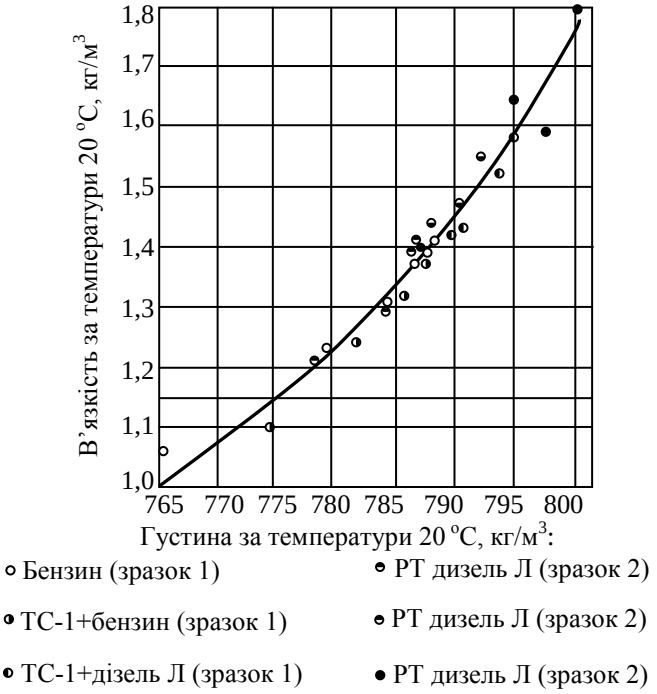

Рис. 1. Залежність в'язкості сумішей при температурі 20 °С від густини за температури 20 °С

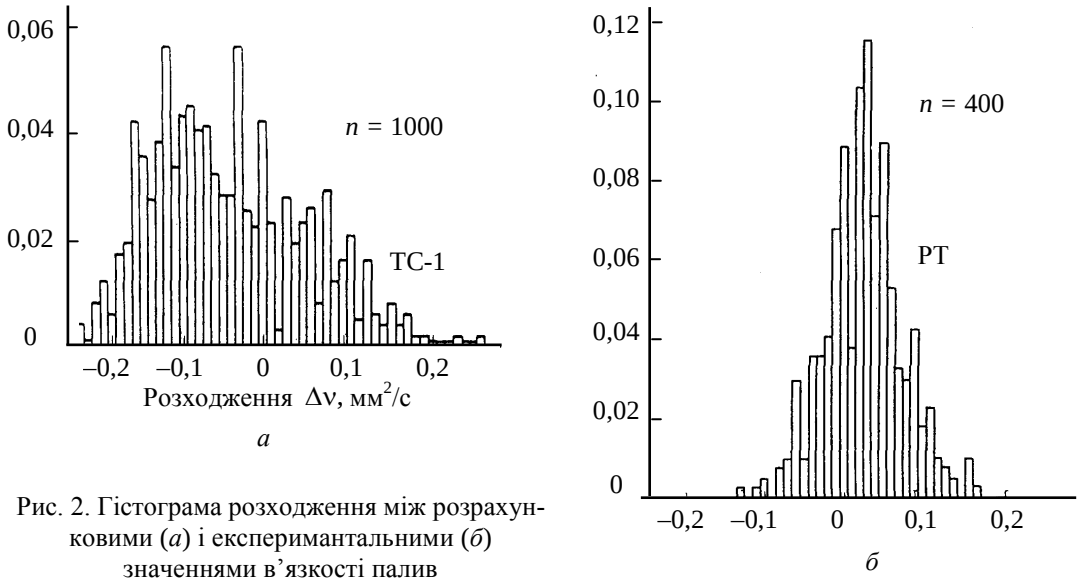

Рис. 2. Гістограма розходження між розрахунковими (*а*) і експериментальними (*б*) значеннями в'язкості палив

З отриманих гістограм видно, що розбіжності між розрахунковими й експериментальними даними для рівня довірчої ймовірності 0,95 становили:

–0,20 — +0,15 мм^2/с — для палива ТС-1;

–0,08 — +0,12 мм^2/с — для палива РТ.

Отримані дані свідчать про те, що експериментальне визначення в'язкості точніше, ніж розрахункове. Однак це не свідчить, що відмова від застосування розрахункового методу, оскільки в нашому випадку менша точність розрахункового методу є наслідком того, що густина в експлуатаційних підприємствах визначається з набагато меншою точністю, ніж в'язкість. Так, для визначення в'язкості за формулою (6) з точністю, що дорівнює відтворюваності методу експериментального визначення, густину необхідно визначати з точністю 1,0 кг/м^3, замість 5,0 кг/м^3, одержуваних при визначенні густини за допомогою ареометра. Тобто $\Delta\rho = 4{,}0$ кг/м^3, при цьому $\Delta\nu = 0{,}1$ мм^2/с, що в п'ять разів перевищує відтворюваність визначення в'язкості.

За стандартом для палива для реактивних двигунів [7] значення в'язкості обмежується нижнім значенням — не менш 1,25 мм^2/с. Таким чином, небезпеку становлять випадки, коли розрахункове значення в'язкості буде дорівнює 1,25 мм^2/с, а дійсне, у силу великої похибки визначення густини, буде менше, ніж 1,25 мм^2/с. Для усунення таких випадків перед розрахунком

в'язкості її величину необхідно збільшити на різницю $\Delta\rho = 4{,}0$ кг/м^3.

Певна із цієї умови густина дорівнює 785 кг/м^3 Отже, якщо густина палива, яка виміряна ареометром, менше або дорівнює 785 кг/м^3, в'язкість необхідно визначати експериментально. В інших випадках значення в'язкості буде більше ніж 1,25 мм^2/с і визначати її значення не має смислу.

Статистичні дані, отримані при контролі в'язкості й густини палив в експлуатаційних підприємствах, свідчать про те, що реактивні палива із густиною, меншою 785 кг/м^3, трапляються в середньому в шести випадках зі 100 аналізів.

Таким чином, проведені дослідження дали змогу встановити стійку кореляцію між в'язкістю за температури 20 ^{o}C і густиною при 20 ^{o}C реактивних палив. Наявність такої кореляції дає можливість розробити метод розрахункового визначення в'язкості реактивних палив при 20 ^{o}C і відмовитися від експериментального визначення цього показника під час проведення лабораторного контролю.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бретшнайдер С. Т.* Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета: пер. с польского. — М. — Л. : Химия, 1966. —536 с.

2. *Рид Р.* Свойства газов и жидкостей: пер. с английского / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. —Л. : Химия, 1982. — 592 с.

3. *Расчетные* методы оценки качественных показателей нефти и нефтепродуктов. — М. : Серия переработка нефти. 1982. — 45 с.

4. *Инструкция* по применению и контролю качества авиационных горюче смазочных материалов и специальных жидкостей в гражданской авиации. — М. : Воздушний транспорт, 1986. — 200 с.

5. *Рачинский Ф. Ю.* Техника лабораторных работ / Ф. Ю. Рачинский, М. Ф. Рачинская. — Л. : Химия, 1982. — 265 с.

6. *Нефтепродукты*. Методы испытаний. — Ч. 1. — М. : Изд-во Стандартов 1977. — 377 с.

7. *ГОСТ 10227-86*. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. — Введ. 01.01.86.

Стаття надійшла до редакції 21.09.10.