

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ОЛИВ РОТАЦІЙНИМ ВІСКОЗИМЕТРОМ

Худолій М.М., кандидат технічних наук, ТОВ «Випробувальний центр паливно-мастильних матеріалів», Київ, Україна

Чуб А.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

EVALUATION OF UNCERTAINTY MEASUREMENT OF DYNAMIC VISCOSITY OILS BY ROTARY RHEOMETER

Khudoliy M.M., Ph.D., Fuel and Oil Testing Centre Ltd, Kyiv, Ukraine

Chub A.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МАСЛА РОТАЦИОННЫМ ВИСКОЗИМЕТРОМ

Худолій Н.Н., кандидат технічних наук, ООО «Испытательный центр топливно-смазочных материалов», Киев, Украина

Чуб А.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми. Динамічна в'язкість олив, що використовуються в агрегатах автомобіля, в значній мірі визначає втрати на тертя і, як наслідок, паливну економічність автомобіля. Також на значеннях динамічної в'язкості побудована загальноприйнята класифікація олив за SAE.

В зв'язку з цим актуальною задачею є достовірне визначення значень динамічної в'язкості олив.

Сутність динамічної в'язкості пов'язана з тим, що в реальних рідинах молекули розташовані дуже близько одна від одної і між молекулами виникає сила взаємодії. При русі рідини ці сили проявляються в вигляді сил внутрішнього тертя. Цю властивість рідин називають в'язкістю [1].

Для оцінки міри в'язкості користуються співвідношеннями, що пояснюються рис. 1.

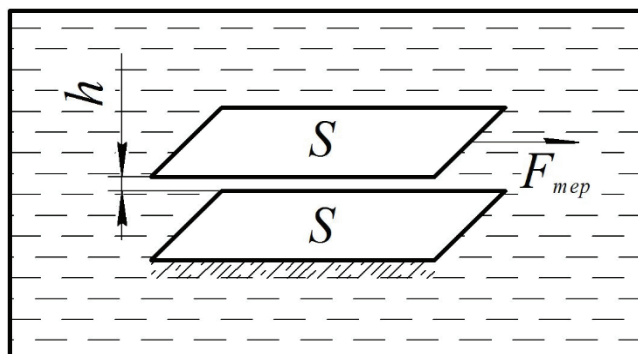


Рисунок 1 – Схема взаємодії двох твердих поверхонь в рідкому середовищі

Розглянемо взаємний рух твердих пластин у в'язкій рідині. Пластини, площею S розділені шаром рідини товщиною h . Нижня пластина – нерухома. Якщо прикласти до верхньої пластини постійну силу $F_{тер}$ то вона почне рівномірно рухатись з швидкістю v . Так як рідина змочує пластини, то тонкий її шар, що безпосередньо прилягає до верхньої пластини, буде рухатись разом з нею також з швидкістю v . Через внутрішнє тертя (в'язкість) цей шар буде впливати на шар, що розташований під ним, заставляючи його також рухатись, але з дещо меншою швидкістю ніж v . Кожний наступний шар передає рух наступному шару з ще меншою швидкістю і так до останнього, який змочує нижню пластину і залишається нерухомим. Якщо швидкість руху v відносно невелика, то кожний шар рухається «гладко» по практично лінійним траєкторіям. Цей тип руху називають ламінарним.

Очевидно, що для збільшення швидкості v доведеться збільшити силу $F_{\text{тер}}$. При збільшенні площі пластин S для збереження швидкості v також доведеться збільшити силу $F_{\text{тер}}$. Нарешті, чим менша відстань між шарами, тим менше зменшується передача сили до наступних шарів рідини.

В 1687 г. Ньютон запропонував закон в'язкої течії рідини.

$$F_{\text{мер}} = \eta S \times (v_2 - v_1) / (y_1 - y_2) \quad (1)$$

де v_2 и v_1 – швидкості шарів рідини відстань між якими дорівнює $y_1 - y_2$ (див. рис. 1);

S – площа шарів рідини, по котрим відбувається зсув;

$(v_2 - v_1) / (y_1 - y_2)$ – градієнт швидкості (інтенсивність зміни швидкості в вибраному напрямку в просторі);

η – коефіцієнт пропорційності, що визначає опір руху в рідкому в'язкому середовищі, який називають динамічною в'язкістю.

Виразивши рівняння (1) відносно η та позначивши градієнт швидкості через v / d отримаємо:

$$\eta = (F / S) / (v / d) \quad (2)$$

Вираз (2) визначає зміст та розмірність одиниці в'язкості. В системі СІ відношення F / S є напругою зсуву і виражається в Паскалях, а v / d в знаменнику виражається в с^{-1} .

$$[\eta] = \text{Па} \times \text{с} \quad (3)$$

Для вимірювання динамічної в'язкості широко застосовуються ротаційні віскозиметри. Принцип вимірювання динамічної в'язкості ротаційним віскозиметром пояснюється рис. 2.

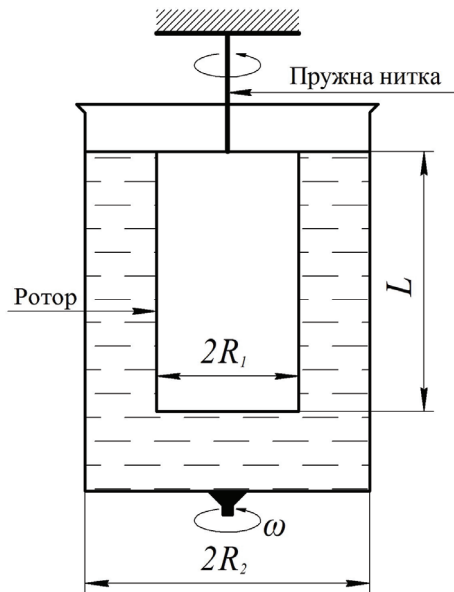


Рисунок 2 – Схема ротаційної віскозиметрії

Ротаційний метод віскозиметрії полягає в тому, що досліджувана рідина розміщується в малий зазор між двома циліндричними тілами. Одне з тіл нерухоме та утримується пружною ниткою (струною), друге, що називається ротором, здійснює обертання з постійною швидкістю. Очевидно, що обертовий рух ротора віскозиметра внаслідок взаємодії з рідиною буде передаватись до другої поверхні, що призведе до закручування пружної нитки на певний кут, пропорційний моменту взаємодії між циліндричними поверхнями. Цей момент є мірою в'язкості рідини, що досліджується [2].

Подібний принцип вимірювання застосовується в ротаційних віскозиметрах типу «Реотест». Відмінність із схемою на рис. 2 полягає в тому, що в віскозиметрах типу «Реотест» нерухомим є

зовнішній циліндр, а обертається (ротор) – внутрішній. Передача крутого моменту до ротора здійснюється через динамометр, який вимірює крутний момент, що виникає при обертанні ротора. Цей момент і є мірою в'язкості рідини, яка розміщена в зазорі між циліндрами. Схема ротаційного віскозиметра типу Реотест 2.1 показана на рис. 3 [3].

Використання такого типу віскозиметрів передбачено, зокрема, ГОСТ 1929–87 «Нефтепродукты. Методы определения динамической вязкости на ротационном вискозиметре».

При дослідженнях динамічної в'язкості оливо важливо оцінити невизначеність отримуваних результатів вимірювання їх динамічної в'язкості.

З цією метою були проведені експериментальні дослідження невизначеності результатів вимірювання динамічної в'язкості моторних оливо при використанні ротаційного віскозиметра «Реотест 2.1».

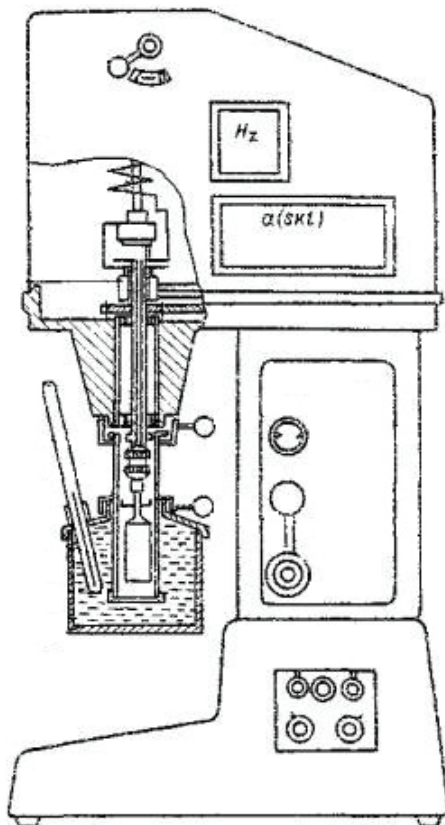


Рисунок 3 – Схема віскозиметра типу Реотест 2.1

До числа найбільш вагомих факторів, що впливають на невизначеність результату вимірювання динамічної в'язкості можна віднести відхилення, що пов'язані з похибками роботи динамометра та випадкові відхилення, що мають стохастичний характер.

Відхилення в роботі динамометра можуть мати систематичний характер і при їх врахуванні можна забезпечити зменшення відхилень у визначенні динамічної в'язкості. Калібрування динамометра здійснено за допомогою гир класу Г4. Навантаження динамометра здійснювалось при горизонтальному положенні ротора віскозиметра. На роторі закріплювався тонкий шпагат, до якого підвішувалась корзинка з гирьками. Зміна положення динамометра від зміни величини крутного моменту, прикладеного до ротора, реєструвалось по відхиленню стрілки (α в %) на шкалі показуючого приладу вимірювального блоку віскозиметра Реотест 2.1. Результати калібрування динамометра наведені в табл. 1.

В таблиці використано наступні позначення:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – показання приладу вимірювального блоку віскозиметра в послідовних спробах;

σ – середньоквадратична похибка;

$\Delta\alpha$ – довірчий інтервал;

p – довірна вірогідність;

δ – відносний довірчий інтервал.

Залежність середньоарифметичного значення α , отриманого в п'яти послідовних дослідах, від прикладеного до ротора крутного моменту зображена на рис. 4.

Таблиця 1 – Результати калібрування динамометра

| № | Вага, Н | Крутний момент, Н·м | Значення α , % | | | | | Середнє арифметичне α , % | σ | $\Delta\alpha$ ($p = 0,95$) | δ , % |
|----|---------|---------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|----------|-------------------------------|--------------|
| | | | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | | | | |
| 1 | 0,02 | 3,87E-04 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,50 | 0,00 | 0 | 0 |
| 2 | 0,039 | 7,75E-04 | 2 | 2,5 | 2,5 | 2,8 | 3 | 2,56 | 0,17 | 0,469 | 18,34 |
| 3 | 0,069 | 1,36E-03 | 8 | 8 | 8,9 | 8,9 | 9 | 8,56 | 0,23 | 0,637 | 7,438 |
| 4 | 0,098 | 1,94E-03 | 13,2 | 14,2 | 14,9 | 13,5 | 14,5 | 14,06 | 0,31 | 0,872 | 6,200 |
| 5 | 0,118 | 2,32E-03 | 16 | 17,5 | 18,5 | 17,5 | 19 | 17,70 | 0,51 | 1,429 | 8,074 |
| 6 | 0,137 | 2,71E-03 | 21,5 | 21,2 | 22,5 | 21,5 | 23 | 21,94 | 0,34 | 0,956 | 4,357 |
| 7 | 0,167 | 3,29E-03 | 27,1 | 28,5 | 29,2 | 29 | 28,2 | 28,40 | 0,37 | 1,027 | 3,618 |
| 8 | 0,196 | 3,87E-03 | 34,2 | 35,5 | 34,5 | 34,2 | 35,1 | 34,70 | 0,26 | 0,719 | 2,071 |
| 9 | 0,216 | 4,26E-03 | 39 | 39,5 | 39 | 39,1 | 39,8 | 39,28 | 0,16 | 0,442 | 1,126 |
| 10 | 0,235 | 4,65E-03 | 42,5 | 44,2 | 43,5 | 44 | 43,1 | 43,46 | 0,31 | 0,854 | 1,965 |
| 11 | 0,265 | 5,23E-03 | 49,5 | 50,2 | 50,2 | 49,5 | 49,5 | 49,78 | 0,17 | 0,476 | 0,956 |
| 12 | 0,294 | 5,81E-03 | 55 | 55,5 | 55,5 | 55,2 | 55,5 | 55,34 | 0,10 | 0,286 | 0,516 |
| 13 | 0,314 | 6,20E-03 | 58,5 | 59,1 | 59 | 58,5 | 59,2 | 58,86 | 0,15 | 0,417 | 0,709 |
| 14 | 0,334 | 6,59E-03 | 62 | 63,8 | 62,5 | 62,9 | 62,2 | 62,68 | 0,32 | 0,884 | 1,41 |
| 15 | 0,363 | 7,17E-03 | 68 | 68,2 | 68,1 | 67,5 | 67,5 | 67,86 | 0,15 | 0,417 | 0,615 |
| 16 | 0,392 | 7,75E-03 | 72,1 | 73,5 | 73,8 | 73,5 | 73,5 | 73,28 | 0,30 | 0,835 | 1,139 |
| 17 | 0,412 | 8,14E-03 | 76,9 | 77,5 | 77,2 | 75,9 | 76,9 | 76,88 | 0,27 | 0,747 | 0,972 |
| 18 | 0,432 | 8,52E-03 | 79,8 | 79,9 | 79,8 | 79,8 | 79,1 | 79,68 | 0,15 | 0,406 | 0,51 |
| 19 | 0,461 | 9,11E-03 | 83,9 | 85 | 84,5 | 84 | 83,8 | 84,24 | 0,22 | 0,624 | 0,741 |
| 20 | 0,491 | 9,69E-03 | 88,1 | 89,5 | 90 | 89 | 89 | 89,12 | 0,32 | 0,875 | 0,982 |

Отримані результати свідчать, що на невизначеність калібрування віскозиметра впливають як систематичні відхилення в роботі динамометра, так і випадкові процеси. Зменшити вплив систематичних відхилень можна, якщо при розрахунках динамічної в'язкості враховувати реальну залежність значень показуючого приладу від прикладеного до динамометра моменту. Це можна зробити за допомогою апроксимуючого рівняння, яке показано на рис. 4.

Найбільший вплив випадкових процесів на відхилення результатів виміру крутного моменту при калібруванні динамометра спостерігаються в діапазоні шкали показуючого приладу від 0 до 16 %. Відносний довірчий інтервал визначений при значенні коефіцієнта Стюдента рівному 2,776, що відповідає довірчій вірогідності 0,95, в цьому діапазоні змінюється в межах від 18,3 до 8 %. Це свідчить про те, що для зменшення невизначеності результату вимірювання (довірчого інтервалу) доцільно вибирати такі вимірювальні циліндри з комплексу приладів Реотест 2.1, котрі забезпечують зчитування результату в діапазоні шкали показуючого приладу в межах 20...90 %.

Наступним етапом дослідження було оцінювання невизначеності вимірювання динамічної в'язкості моторної оливи ротаційним віскозиметром Реотест 2.1. Об'єктом випробувань була мінеральна моторна олива 15W-40. Вимірювання здійснювалось при температурі зразка мінус 18°C. в залежності від швидкості зсуву Dr . Результати вимірювання динамічної в'язкості η_i в залежності від швидкості зсуву Dr у п'яти послідовних спробах наведені в табл. 2. Залежність середнього значення η від Dr наведена на рис. 5.

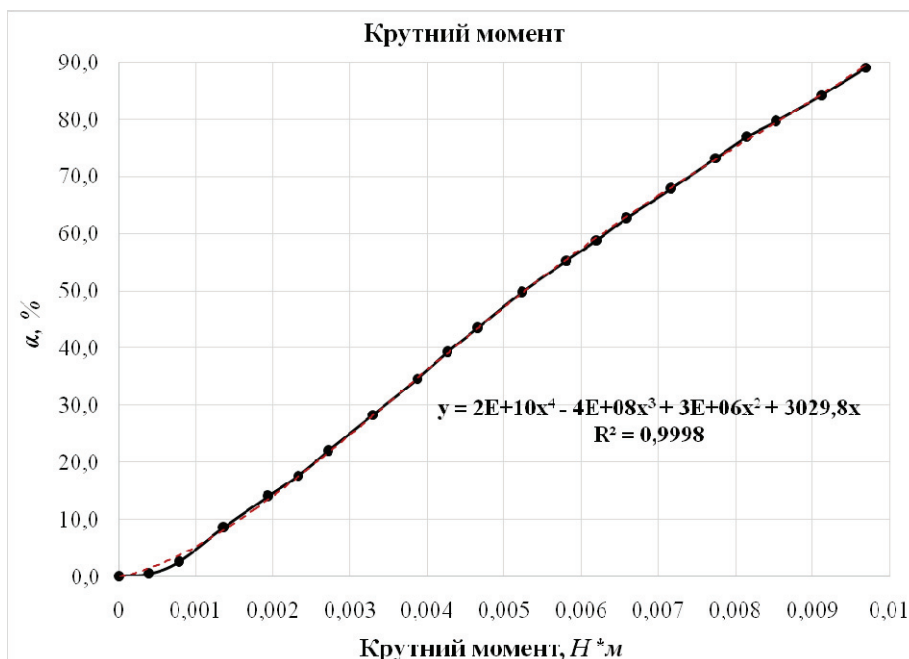


Рисунок 4 – Залежність α від величини прикладеного до динамометра моменту

Таблиця 2 – Результати вимірювання динамічної в'язкості оливи 15W-40

| D_r, c^{-1} | $\eta_i, Pa \cdot s (-18^{\circ}C)$ | | | | | $\eta, Pa \cdot s$ | σ | $\Delta\eta(p = 0,95), Pa \cdot s$ | $\delta, \%$ |
|---------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|----------|------------------------------------|--------------|
| | спр. 1 | спр. 2 | спр. 3 | спр. 4 | спр. 5 | | | | |
| 3,00 | 8,00 | 7,90 | 7,70 | 8,10 | 8,00 | 7,94 | 0,0678 | 0,1883 | 2,37 |
| 5,40 | 6,50 | 6,28 | 6,17 | 5,94 | 6,11 | 6,20 | 0,0923 | 0,2562 | 4,13 |
| 9,00 | 5,40 | 5,13 | 5,03 | 5,00 | 5,03 | 5,12 | 0,0735 | 0,2040 | 3,98 |
| 16,20 | 4,56 | 4,41 | 4,35 | 4,35 | 4,37 | 4,41 | 0,0384 | 0,1066 | 2,42 |
| 27,00 | 4,22 | 4,10 | 4,02 | 4,07 | 4,09 | 4,10 | 0,0333 | 0,0925 | 2,26 |
| 48,60 | 4,07 | 3,90 | 3,89 | 3,91 | 3,90 | 3,94 | 0,0348 | 0,0966 | 2,45 |

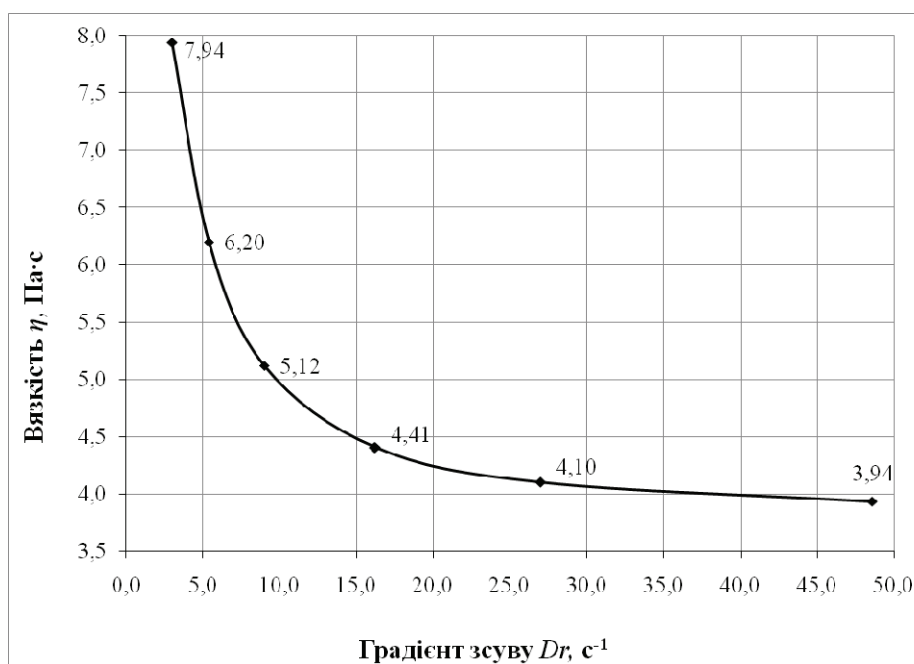


Рисунок 5 – Залежність динамічної в'язкості мінеральної оливи 15W-40 при мінус 18°C від швидкості зсуву

Як видно з приведених даних, невизначеність відносного довірчого інтервалу при довірчій вірогідності рівної 0,95 в п'яти послідовних дослідах (коефіцієнт Стюдента дорівнює 2,776) не перевищує 4,1 %.

Сумарна невизначеність вимірювання, що враховує невизначеність, пов'язану з невизначеністю калібрування та невизначеність, пов'язану впливом на результат вимірювання випадкових процесів, для діапазону шкали приладу α від 20 до 90 % не перевищує 7,0 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wilkinson W.L. Non-newtonian fluids. Pergamon press, 1960.
2. Gebhard Schramm. A practical approach to rheology and rheometry. Gebrueder HAAKE GmbH, 1994.
3. Белкин И.М. Ротационные приборы. Измерение вязкости и физико-механических характеристик материалов / И.М. Белкин, Г.В. Виноградов, А.И. Леонов. — М. : Машиностроение, 1967. — 272 с.

REFERENCES

1. Wilkinson W.L. Non-newtonian fluids. Pergamon press, 1960.
2. Gebhard Schramm. A practical approach to rheology and rheometry. Gebrueder HAAKE GmbH, 1994.
3. Belkin I.M., Vinogradov G.V., Leonov A.I. Rotary equipment. Measuring of viscosity and physical-mechanical characteristics of materials. Moscow: «Mashynostroenie» Publ., 1967. P 272. (Rus).

РЕФЕРАТ

Худолій М.М. Оцінка невизначеності вимірювання динамічної в'язкості оливо ротацийним віскозиметром / М.М. Худолій, А.М. Чуб // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

В статті розглянуто експериментальні дослідження впливу систематичних похибок та випадкових факторів на результат вимірювання динамічної в'язкості моторних оливо ротацийним віскозиметром.

Об'єкт дослідження – ротацийний віскозиметр Реотест 2.1.

Мета роботи – дослідження невизначеності результатів при вимірюванні динамічної в'язкості ротацийним віскозиметром Реотест 2.1.

Метод дослідження – статистичний.

Найчастіше динамічна в'язкість вимірюється ротацийними віскозиметрами. Для дослідження динамічної в'язкості оливи використано ротацийний віскозиметр Реотест 2.1. Раніше ніж почати проведення досліджень динамічної в'язкості оливи, необхідно зробити оцінку отриманих результатів на предмет їх невизначеності. На невизначеність впливають наступні фактори: промах, систематичний відхил та випадковий відхил. Фактор промаху виключається, так як проводилось більше двох вимірів. Калібрування дозволило врахувати систематичний відхил. Динамометр віскозиметра відкалібровано прямим ваговим способом. Результати вимірювань було оброблено методом найменших квадратів. В результаті отримано апроксимуючі рівняння та вірогідність апроксимації. Оцінку впливу випадкових факторів виконано при вимірюванні динамічної в'язкості мінеральної моторної оливи з класом в'язкості за SAE 15W-40 за стандартною методикою ГОСТ 1929-87. Виконано серію з 5 послідовних вимірювань. Обробка даних виконана з припущенням нормального розподілу їх відхилів.

Отримані результати невизначеності будуть використані в подальших дослідженнях з використанням віскозиметра Реотест 2.1.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: В'ЯЗКІСТЬ, ДИНАМІЧНА В'ЯЗКІСТЬ, РОТАЦІЙНИЙ ВІСКОЗИМЕТР, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ, МОТОРНА ОЛИВА.

ABSTRACT

Khudoliy M.M., Chub A.M. Evaluation of uncertainty measurement of dynamic viscosity oils by rotary rheometer. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2016. – Issue 1 (34).

In the article considers the experimental research of influence of systematic errors and random factors on the result of measurement of dynamic viscosity of motor oils rotary rheometer.

The object of study is a rotary rheometer Rheotest 2.1.

The purpose is the research the uncertainty of results in measurement of dynamic viscosity rotary rheometer Rheotest 2.1.

Research methods – statistical.

Most dynamic viscosity is measured by rotary rheometer. For research of dynamic viscosity of oil used rotary rheometer Reotest 2.1. Before you begin research the dynamic viscosity of the oils, it is necessary to make an assessment of the results obtained in terms of their uncertainty. The uncertainty affecting the following factors: blunder, systematic deviation and random deviation. Factor blunder excluded, as were conducted more than two measurements. Calibration allowed to take into account a systematic deviation. Dynamometer rheometer is calibrated direct weight method. The results of measurement were processed by the method of least squares. As a result received approximation equations and probability approximation. Assessment of the impact of random factors performed measurement of dynamic viscosity of mineral motor oils with viscosity class SAE 15W–40 by the standard method GOST 1929–87. Performed a series of 5 consecutive measurements. Data processing executed with the assumption of normal distribution of deviations.

The results of uncertainty will be used in further studies using rheometer Rheotest 2.1.

KEYWORDS: VISCOSITY, DYNAMIC VISCOSITY, ROTARYRHEOMETER, THE UNCERTAINTY OF RESULTS, MOTOR OIL.

РЕФЕРАТ

Худолий Н.Н. Оценка неопределенности измерения динамической вязкости масла ротационным вискозиметром / Н.Н. Худолий, А.Н. Чуб // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2016. – Вып. 1 (34).

В статье рассмотрены экспериментальные исследования влияния систематических погрешностей и случайных факторов на результат измерения динамической вязкости моторных масел ротационным вискозиметром.

Объект исследования – ротационный вискозиметр Реотест 2.1.

Цель работы – исследование неопределенности результатов при измерении динамической вязкости ротационным вискозиметром Реотест 2.1.

Метод исследования – статистический.

Чаще всего динамическая вязкость измеряется ротационным вискозиметром. Для исследования динамической вязкости масла использован ротационный вискозиметр Реотест 2.1. Прежде чем начать проведение исследований динамической вязкости масел, необходимо произвести оценку полученных результатов на предмет их неопределенности. На неопределенность влияют следующие факторы: промах, систематический отклонение и случайный отклонение. Фактор промаха исключается, так как проводилось более двух измерений. Калибровка позволило учесть систематическое отклонение. Динамометр вискозиметра откалиброван прямым весовым способом. Результаты измерений были обработаны методом наименьших квадратов. В результате получено аппроксимирующие уравнения и достоверность аппроксимации. Оценку влияния случайных факторов выполнено при измерении динамической вязкости минерального моторного масла с классом вязкости по SAE 15W–40 по стандартной методике ГОСТ 1929–87. Выполнено серию из 5 последовательных измерений. Обработка данных выполнена с предположением нормального распределения их отклонений.

Полученные результаты неопределенности будут использованы в дальнейших исследованиях с использованием вискозиметра Реотест 2.1.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВЯЗКОСТЬ, ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ, РОТАЦИОННЫЙ ВИСКОЗИМЕТР, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОЦЕНКИ, МОТОРНОЕ МАСЛО.

АВТОРИ:

Худолий Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, ТОВ «Випробувальний центр паливно-мастильних матеріалів», директор, e-mail: pmm@ntu.edu.ua, тел. +380675099110, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1.

Чуб Анатолій Миколайович, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: anatoliy.chub@gmail.com, тел. +380664255090, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 410.

AUTHOR:

Khudoliy Mykola Mykolaiovych, Ph.D., associate professor, Fuel and Oil Testing Centre Ltd, director, e-mail: pmm@ntu.edu.ua, tel. +380675099110, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov str.1.

Chub Anatolii Mykolaiovych, National Transport University, assistant of department of automobiles technical exploitation and automobiles services center, e-mail: anatoliy.chub@gmail.com, tel. +380664255090, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorovstr. 1, of. 410.

АВТОРЫ:

Худолий Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ООО «Испытательный центр топливно-смазочных материалов», директор, e-mail: pmm@ntu.edu.ua, тел. +380675099110, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1.

Чуб Анатолий Николаевич, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: anatoliy.chub@gmail.com, тел. +380664255090, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 410.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою автомобілів, Київ, Україна.

Шамкіна С.С., ТОВ «Паливно-альтернативні технології», спеціаліст, Київ, Україна

REVIEWER:

Sakhno V.P., Dr., professor, National Transport University, head of department of automobiles, Kyiv, Ukraine.

Shamkina S.S., Fuel and alternative technologies LLC, specialist, Kyiv, Ukraine.