

FRI-10.326-1-EEEE-04

**A COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTICAL INSTRUMENTS
PROPERTIES FOR THE PREDICTION OF MAIN CHARACTERISTICS OF
ENGINE OILS³**

Dipl. Eng. A. Ivanova-Vasileva,

Department of Automatics and Mechatronics,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +359 895 464 717
E-mail: avasileva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Zlatin Zlatev, PhD

Department of Technics and Technologies,
Trakia University
Tel.: +359 897 859 912
E-mail: zlatin.zlatev@trakia-uni.bg

Assoc. Prof. Tsvetelina Georgieva, PhD

Department of Automation and Mechatronics,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 82 888 668
E-mail: cgeorgieva@uni-ruse.bg

Prof. Plamen Daskalov, PhD

Department of Automatics and Mechatronics,
"Angel Kanchev" University of Ruse
Tel.: +359 82 888 668
E-mail: daskalov@uni-ruse.bg

***Abstract:** In the existing work, a comparative analysis of four measuring devices, operating on optical principle, was made to predict the main characteristics of motor lubricating oils. According to the colorimeter data, the regression models were found to have higher predictive properties than those obtained with a video camera and digital camera. The proposed research tools can be used with single-board microcomputer systems, which do not require complex computational procedures. The use of the proposed in this article techniques and tools in practice would reduce the effect of the measuring instrument experience.*

***Keywords:** Optical sensors, Oil production, Regression analysis, Color components, Optical instruments, Principal component analysis*

ВЪВЕДЕНИЕ

Основните характеристики на моторните масла като плътност, вискозитет, цвят, пламна температура се определят в лабораторни условия. Част от лабораторните методи за анализ са субективни и времеемки. За извършването на тези анализи се изискват квалифицирани специалисти. На съвременното ниво на развитие на науката и техниката се разработват контактни и безконтактни измервателни устройства (Kazakov, M. at all, 2017; Sejkorová, M. at all, 2021). Тези технически средства са с ниска себестойност, компактни, осигуряват експресен анализ на моторните масла и обикновено са базирани на едноплаткови микрокомпютри.

³ Докладът е представен на пленарната сесия на ... октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА СВОЙСТВОТА НА ОПТИЧНИ СРЕДСТВА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МОТОРНИ МАСЛА

Основният етап при разработката на разпознаващи системи работещи на оптичен принцип, е оценката на разделяемостта на моторните масла едно от друго чрез различни признаци, които ги описват (Hadi, M.H. at all, 2021). Също така е възможно да се прогнозира различни характеристики на маслата, които обикновено се определят в лабораторни условия и изискват специфичен хардуер и обучен персонал, който да го използва (Kanyathare, B. at all, 2018).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Анализирани са 56 проби свежи минерални моторни смазочни масла от два вискозитетни класа означени като xW-30 и xW-40, където “x” е от 5 до 20. Пробите са от различни партии моторни масла с различно приложение и експлоатационни нива. Определени са три основни характеристики на маслата, а именно Кинематичен вискозитет при 100°C, m²/s, KV100, съгласно БДС EN ISO 3104:2020-A, Цвят, Lx, (x=0.5 to 8.0), съгласно БДС ISO 2049:2002 и Обща алкалност чрез потенциометрично титруване с перхлорна киселина, TBN, mgKOH/g, съгласно ASTM D2896-15.

Измерванията са направени в лицензирана лаборатория, при стайна температура 22±3 оС и относителна влажност на въздуха 50±5 %RH.

В Таблица 1 са нанесени средни стойности и стандартно отклонение на измерените характеристики на моторните масла.

Таблица 1. Характеристики на използваните моторни масла

Характеристика \ Вискозитетен клас	xW-30	xW-40
Кинематичен вискозитет при 100, mm ² /s	13,59±3,3	11,19±0,7
Цвят	L2.5 to L5.0	L2.0 to L4.0
Обща алкалност, mgKOH/g	8,16±4	8,98±1,3

За определяне на оптичните характеристики на моторните масла са използвани два видео сензора и колориметър, като изследваната пробата от всяко масло е 5 ml.

Документ-камера Triumph Board A 405 (TRIUMPH BOARD a.s., Prague, The Czech Republic). Измерванията с видео сензора на тази камера са при дневна светлина, означени като Dev1. Измерването е направено при използване на стиропорена кутия с размер 45x40x35 cm, която е покрита отвътре с черно фолио, за да се избегне разсейването на светлината и смущения, осигуряващи еднородност на заснетия образ. Това измерване е означено като Dev2. Камерата е поставена вертикално в центъра на кутията и над държача на пробата. Разстоянието между камерата и държача на пробата е 20 cm. За заснемането е използвана вградената в документната камера диодна лампа, използваща бели светодиоди с най-голям интензитет на светлината при 450nm. Цифров фотоапарат (Dev3), с 25-мегапикселов видео сензор Nikon D5300, DLSR (Nikon Inc., New York, USA), с размер на сензора 23,5x15,6 mm. При измерване с видео сензори, от полученото цветно цифрово изображение е селектиран регион на интерес (ROI) с размери 1x1 cm. Колориметър (Dev4), модел PCE-RGB-2 (PCE Holding GmbH, Germany). Произведен съгласно стандарт DIN 5033. Уредът измерва 10-битов RGB цвят. При измерването с колориметър е определен цвета в три точки от пробата и е приета тяхната средна стойност.

В Таблица 2 са обобщени данните за използваните измервателни устройства.

Таблица 2. Използвани измервателни устройства

Означение	Устройство	Условия на измерване
Dev1	Документ-камера Triumph Board A 405	Дневна светлина
Dev2	Документ-камера Triumph Board A 405	Хомогенно осветление
Dev3	Цифров фотоапарат Nikon D5300	Дневна светлина
Dev4	Колориметър PCE-RGB-2	Сонда на уреда

Измерените чрез видео сензори 8-битови стойности на цветовете компоненти от RGB цветовия модел са преобразувани в Lab, в диапазоните $L=[0, 100]$; “a” и $b=[-100, 100]$. Преобразуването е към CIE $L^*a^*b^*$ 1976. Използвани са изчислителни функции при осветеност D65. Получените чрез колориметъра 10-битови стойности на RGB цветовете компоненти са преобразувани към 8-битови, по формулата:

$$RGB_8 = \frac{RGB_{10}}{1023} \cdot 255 \quad (1)$$

В Таблица 3 са нанесени данни за RGB и Lab цветовете компоненти за двата класа моторни масла. Посочени са техните средни стойности и стандартно отклонение.

Таблица 3. Стойности на цветови компоненти за използваните моторни масла

VG	xW-30				xW-40			
	Dev1	Dev2	Dev3	Dev4	Dev1	Dev2	Dev3	Dev4
R	175±15	174±16	75±24	44±12	175±12	173±12	66±7	40±12
G	142±17	142±17	71±22	50±13	146±14	144±14	64±7	54±13
B	30±24	29±24	40±18	2±0	48±25	46±25	36±12	2±0
L	60,5±5,8	60,3±5,8	29,8±9,3	19,8±4	61,6±4,8	61±4,9	26,5±3,1	20,6±4,3
a	1,9±6,3	2±6,3	-3,5±2	-9,2±12,7	0,5±4,8	0,5±4,9	-3,8±1,2	-13,1±12,4
b	57,4±8,8	57,7±8,8	19,2±7,4	26,8±4,4	52,4±8,1	52,3±8,1	17±7,2	27,5±4,6

VG Вискозитетен клас; D- Устройство; CC- Цветови компоненти

Стойностите на хрома C и hue (h) от LCh цветовия модел са определени по:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad h^\circ = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2)$$

Тези стойности са използвани при изчисление на цветови индекси. Индексите са определени, по формулите, обобщени от Pathare и колектив (Pathare, P.V. at all, 2013).

$$YI = \frac{142,86b}{L} \quad (3)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (4)$$

$$BI = \frac{x-0,31}{0,17} \text{ where } x = \frac{a+1,75L}{5,645L+a-0,012b} \quad (5)$$

$$SI = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6)$$

$$CIRG = \frac{180 - h}{L + C} \quad (7)$$

$$COL = \frac{2000a}{LC} \quad (8)$$

$$CI = \frac{a}{b} \quad (9)$$

$$ECB = \frac{a}{b} + \frac{a}{L} \quad (10)$$

$$FCI = L - b \quad (11)$$

$$WL = \frac{L}{b} \quad (12)$$

$$PACI = \frac{1000a}{L + h} \quad (13)$$

Селектирани са информативни цветови индекси, като е използван методът на последователно подобряващи се оценки, чрез който се намалява броят на получаваните

комбинации от признаци. Чрез метода се прави избор на регресионни признаци, чрез анализ на съседни компоненти, FSRNCA (Frank, A., 2010). Теглото на признаците се определя, чрез диагонална адаптация на метода анализ на съседните компоненти (NCA). За информативни са приети тези цветови индекси, които имат тегловни коефициенти, със стойност по-голяма или равна на 0,6.

Данните на полученият вектор от признаци са редуцирани с метод Анализ на главните компоненти (PCA). Определен е необходимият брой главни компоненти (PC) за описание на дисперсията в данните. Един от подходите за оценка на работата на различни оптични устройства, се базира на предсказващи модели (Ranjbarzadeh, R. & Chaabane, R., 2021; Veleva P. at all, 2020), за които съществуват разработени алгоритми за едноплаткови микрокомпютри (Alsouda, Y. at all, 2018; Heredia-Cancino, J.A. at all, 2021). Моделите са подходящи за програмна реализация в такива устройства.

Регресионните предсказващи модели от вида $Z=f(X,Y)$, дават възможност за определяне на стойността на дадена характеристика, в кой да е момент от времето, включително и за бъдещи моменти.

Използван е изходен модел, описващ връзката между селектирани характеристики на моторните масла от вида:

$$z = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (14)$$

където b са коефициенти на модела; x и y са независимите променливи; z зависимата променлива, съответстваща на характеристика на моторните масла.

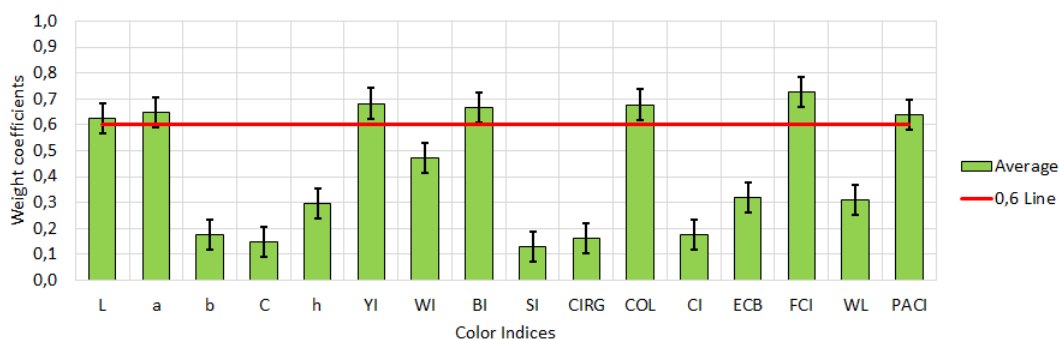
Точността на предсказващите модели е оценена на база статистически параметри: коефициент на определеност, стандартно отклонение, грешки с цел получаването на информация чрез анализ и интерпретация на емпирични данни.

Определени са коефициентите на модела, тяхната стандартна грешка (SE), t-статистика (tStat), p-стойност. Направен е анализ на коефициентите на модела в зависимост от стойността p , за всеки от тях. Неинформативните коефициенти са отхвърлени от модела.

Направен е анализ на остатъците, които са определени по разликата между реално измерените стойности и тези на модела. За обработка на опитните данни са използвани програмните продукти Matlab 2017b (The Mathworks Inc.) и Statistica 12 (Stat Soft Inc.). Всички данни са обработени при ниво на значимост $\alpha=0,05$.

РЕЗУЛТАТИ

На фигура 1 са показани обобщени резултати от тази селекция. От Lab цветовият модел са селектирани две компоненти „L“ и „a“ . Вижда се, че индексите на кафявото и жълтото също са информативни за моторните масла, както и тези зависещи от компонентите на Lab модела. Индексите COL и PACI, които зависят от „L“, „a“ и „C“, „h“ цветовете компоненти също имат тегловни коефициенти над 0,6.



Фиг. 1. Селекция на информативни цветови индекси

Формиран е вектор от признаци, съдържащ общо седем цветови индекса. Той има вида:

$$FV=[L \text{ a } YI \text{ BI } COL \text{ FCI } PACI] \quad (15)$$

Определен е необходимият брой главни компоненти за описание на 95% от дисперсията в данните на вектора от признаци, съдържащ цветови индекси от всяко от четирите анализирани устройства. Установено е, че за описание на тези данни са необходими две главни компоненти за всички случаи. Главните компоненти са използвани като независими променливи при съставянето на регресионни предсказващи модели за трите характеристики на моторните масла. От основния модел са премахнати незначимите коефициенти, които имат $p\text{-value} > 0,05$.

В Таблица 4, Таблица 5 и Таблица 6 са нанесени съответно стойностите на критериите за оценка на получените модели по данни от Dev1, Dev2 и Dev3. Стойностите на коефициента на определеност са по-ниски от 0,5, като и нивата на грешки е висока. Това показва, че получените модели не описват с достатъчна точност опитните данни. Независимо, че при моделите $p < 0,01$, стойността на критерия на Фишер е много по-голяма от критичната ($F \gg F_{cr}$), което доказва, че моделите не са подходящи за описание на опитните данни.

Таблица 4. Критерии за оценка на получените модели за Dev1

	R²	F	p-value	SE
KV=f(PC ₁ , PC ₂)	0,39	F(4,53)=8,31 F _{cr} =2,54	<0,00	2,24
L=f(PC ₁ , PC ₂)	0,40	F(3,54)=11,77 F _{cr} =2,78	<0,00	0,46
TBN=f(PC ₁ , PC ₂)	0,23	F(3,54)=5,23 F _{cr} =2,78	<0,01	1,68

Таблица 5. Критерии за оценка на получените модели за Dev2

	R²	F	p-value	SE
KV=f(PC ₁ , PC ₂)	0,33	F(3,54)=8,96 F _{cr} =2,78	<0,00	2,31
L=f(PC ₁ , PC ₂)	0,44	F(3,54)=14,26 F _{cr} =2,78	<0,00	0,44
TBN=f(PC ₁ , PC ₂)	0,11	F(2,55)=3,37 F _{cr} =3,17	<0,04	1,78

Таблица 6. Критерии за оценка на получените модели за Dev3

	R²	F	p-value	SE
KV=f(PC ₁ , PC ₂)	0,46	F(3,54)=15,46 F _{cr} =2,78	<0,00	2,0 7
L=f(PC ₁ , PC ₂)	0,69	F(3,54)=41,42 F _{cr} =2,78	<0,00	0,3 3
TBN=f(PC ₁ , PC ₂)	0,11	F(3,54)=2,15 F _{cr} =2,78	<0,1	1,8 1

При модела за прогнозиране на цвят на моторните смазочни масла на Dev 3, коефициентът на определеност е над 0,5, ниската стойност на грешките показват, че с това устройство с точност до 69% може да бъде прогнозиран цвета на пробите.

Таблица 7. Критерии за оценка на получените модели за Dev4

	R²	F	p-value	SE
KV=f(PC ₁ , PC ₂)	0,77	F(3,54)=6,82 F _{cr} =2,78	<0,00	1,3 5
L=f(PC ₁ , PC ₂)	0,84	F(3,54)=9,07 F _{cr} =2,78	<0,00	0,2 4
TBN=f(PC ₁ , PC ₂)	0,75	F(3,54)=5,82 F _{cr} =2,78	<0,00	0,9 5

В Таблица 7 са нанесени стойностите на критериите за оценка на получените модели по данни от Dev4. При трите модела за прогнозиране на трите основни характеристики на моторните масла, коефициентът на определеност е над 0,5, ниската стойност на грешките, критерият на Фишер е близък до критичните му стойности за съответните степени на свобода. Това показва, че данните, получени с устройството са подходящи за прогнозиране с точност до 75-84% на тези характеристики.

ИЗВОДИ

Получените резултати показват, че моделите, получени по данни от документ камера, при заснемане с хомогенна светлина (Dev2) и тези, получени с колориметър (Dev4), описват с достатъчна точност опитните данни. Заснеманите при околна светлина изображения и получените от тях цветови индекси са засегнати до голяма степен от околните смущения. Това е доказано, чрез получените предсказващи модели и недостатъчната точност, с която се описват опитните данни и слабата им прогнозираща способност.

Моделите получени с документ камера, при хомогенно осветление (Dev2) са по-точни с около 5%, в сравнение с тези, получени със същото устройство, но при дневна светлина (Dev1).

Измежду сравняваните устройства, колориметърът (Dev4), показва най-голяма точност и повторимост на получаваните резултати.

Получените по-добри резултати за определяне на цвят на моторни масла, чрез използване на колориметър достига до 84%, в сравнение с другите устройства използвани при същия анализ (видео камера и цифров фотоапарат).

Предимство на предложението в настоящата работа метод за определяне на цвят на маслото има точност до 84%, но не се изисква специализирано оборудване и кювета.

Получените в тази работа резултати в някои случаи могат да подобрят предложените от други автори решения. Изследванията с използването на оптични сензори, са насочени към разработване на специализирани устройства работещи на пропускане на светлината за определяне на основни характеристики на моторни смазочни масла.

БЛАГОДАРНОСТ

Изследванията са подкрепени по договор с № 2022-EEA-05 „Разработване на методология за експресно определяне на качествени показатели на моторни и индустриални масла“, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ при РУ „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

- Alsouda, Y., Pllana, S., Kurti, A. (2018). *A machine learning driven IoT solution for noise classification in smart cities*. arXiv preprint arXiv:1809.00238
- Frank, A. (2010). *UCI Machine Learning Repository*. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science. <http://archive.ics.uci.edu/ml>
- Hadi, M.H., Ker, P.J., Lee, H.J., Leong, Y.S., Hannan, M.A., Jamaludin, M., Mahdi, M.A (2021). *Color Index of Transformer Oil: A Low-Cost Measurement Approach Using Ultraviolet-Blue Laser*. *Sensors*, 21(21), 7292.
- Heredia-Cancino, J.A., Carrillo-Torres, R.C., Félix-Domínguez, F., Álvarez-Ramos, M.E. (2021). *Experimental Characterization of Chemical Properties of Engine Oil Using Localized Surface Plasmon Resonance Sensing*. *Applied Sciences*, 11(8518), 1-11.
- Kanyathare, B., Kuivalainen, K., Rätty, J., Silfsten, P., Bawuah, P., Peiponen, K-E. (2018). *A prototype of an optical sensor for the identification of diesel oil adulterated by kerosene*. *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*, 14(1), 1-6.
- Kazakov, P., Dimitrov, M., Vasilev, M. (2017). *Automobile oils parameters prediction by spectral characteristics*. *Proceedings of University of Ruse*, 56(4), 142-146.

Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.AJ. (2013). *Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review*. Food Bioprocess Technol 6(1), 36-60.

Ranjbarzadeh, R., Chaabane, R. (2021). *Experimental study of thermal properties and dynamic viscosity of graphene oxide/oil nano-lubricant*. Energies, 14(2886), 1-16.

Sejkorová, M., Hurtová, I., Jilek, P., Novák, M., Voltr, O. (2021). *Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity*. Coatings, 11(1), 60.

Veleva P., Nikolova, M., Georgieva, Ts. (2020). *Study on the effect of some major environmental factors on the egg-laying capacity of free-range Guinea fowls (Numida meleagris)*. 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 1-4. IEEE.