УДК 656.13 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.35

О. В. СТЕПАНОВ
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри тракторів і автомобілів
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0003-4954-2532

Т. В. ВОЛОБУЄВА
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри машинобудування
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0000-0003-0340-3326

ІНТЕГРАЛЬНИЙ БРАКУВАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР МАСТИЛЬНОЇ ОЛИВИ ДЛЯ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Під час роботи вантажного автотранспорту водій не має інформації про стан мастильної оливи. Це ускладнює ухвалення своєчасного рішення щодо її заміни та призводить до передчасного ламання силових агрегатів. Для контролю на автопідприємстві якості оливи шляхом проведення фізико-хімічного аналізу проб необхідно мати спеціальну лабораторію, постійний штат спеціально підготовлених співробітників та відповідне обладнання. Це призводить до того, що автотранспорт змушений простоювати в очікуванні результатів аналізу. Метою дослідження є визначення інтегрального бракувального параметра мастильної оливи, що характеризує фактичний стан мастильної оливи в силових агрегатах вантажного автотранспорту під час експлуатації. Для надійності силових агрегатів автотранспорту необхідно визначити бракувальний параметр мастильної оливи для визначення якісного стану та своєчасної заміни мастильної оливи в силових агрегатах автотранспорту. З'ясовано, що інтегральним бракувальним параметром мастильної оливи, для характеристики фактичного стану оливи, може бути електропровідність оливи. Вона реагує на зміну її важливих властивостей, зокрема, протизносних. Інтенсивність зміни електропровідності, в міру збільшення ступеня відпрацьованості мастильної оливи та збільшення температури мастильної оливи в умовах підвищеної запиленості, обумовлена значним зростанням у мастилі частинок зносу від тертя поверхні. Зроблено висновок, що електропровідність може бути інтегральним бракувальним параметром мастильної оливи. Зокрема, для кожної мастильної оливи існують допустимі значення електропровідності (бракувальні значення). При досягненні величини електропровідності бракувального значення різко зростає зношеність у вузлах тертя, а разом із ним і сама електропровідність, що обумовлено різким збільшенням концентрації в мастильній оливі механічних домішок неорганічного походження (часток зношення).

Ключові слова: *вантажний автотранспорт, силові агрегати, мастильна олива, інтегральний бракувальний параметр, електропровідність.*

O. V. STEPANOV
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Tractors and Cars
National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine
ORCID: 0000-0003-4954-2532

T. V. VOLOBUYEVA
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering
Odesa State Academy of Construction and Architecture
ORCID: 0000-0003-0340-3326

INTEGRAL REJECTION OF LUBRICATING OIL FOR FREIGHT VEHICLES

During the operation of a freight vehicle, the driver has no information about the condition of the lubricating oil. This makes it difficult to make a timely decision to replace it and leads to premature breakdown of power units. In order to control the quality of oil at an automotive enterprise by conducting physical and chemical analysis of samples, it is necessary to have a special laboratory, a permanent staff of specially trained employees and the appropriate equipment. This leads to the fact that vehicles are forced to stand idle while waiting for the results of the analysis. The aim of the study is to determine the integral rejected parameter of lubricating oil, which characterizes the actual state of lubricating oil in the power units of freight vehicles during operation. In order to ensure the reliability of motor vehicle power units,

it is necessary to determine the rejection parameter of lubricating oil to determine the quality condition and timely replacement of lubricating oil in motor vehicle power units. It has been found that the integral rejected parameter of lubricating oil to characterize the actual state of the oil can be the electrical conductivity of the oil. It reacts to changes in its important properties, in particular, anti-wear properties. The intensity of the change in electrical conductivity, as the degree of lubricating oil wear increases and the temperature of the lubricating oil increases under conditions of high dust content, is due to a significant increase in the wear particles in the lubricating oil from surface friction. It is concluded that electrical conductivity can be an integral rejection parameter of lubricating oil. In particular, for each lubricating oil, there are permissible values of electrical conductivity (rejection values). When the value of electrical conductivity reaches the reject value, wear in friction units increases sharply, and with it the electrical conductivity itself, due to a sharp increase in the concentration of mechanical impurities of inorganic origin (wear particles) in lubricating oil.

Key words: *freight vehicle, power units, lubricating oil, integral rejection parameter, electrical conductivity.*

Постановка проблеми

Технічний стан вантажного автотранспорту (далі – автотранспорт) змінюється з часом, і в процесі збільшення пробігу його характеристики погіршуються. Ефективність роботи силових агрегатів автотранспорту залежить від якості мастильної оливи, яку використовують. Потреба в заміні оливи визначається на основі закономірностей зміни її властивостей залежно від умов роботи і експлуатації автотранспорту [2, 4].

Для встановлення терміну служби мастильної оливи в силових агрегатах автотранспорту необхідно регулярно контролювати її якість через фізико-хімічний аналіз проб. Спеціалізовані автопідприємства мають лабораторії, що оснащені необхідним обладнанням і штатними співробітниками для проведення таких аналізів. Однак, оскільки кожен аналіз потребує значного часу, це може призвести до простою технологічного автотранспорту, який чекає на результати.

З метою забезпечення надійності силових агрегатів автотранспорту необхідно розробити мобільний інтегральний бракувальний параметр мастильної оливи, що дозволить оперативно оцінювати її фактичний стан під час експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми тертя та зносу в елементах транспортних засобів за різних умов експлуатації, а також підвищення допустимих норм зносостійкості висвітлювали у своїх різнопланових працях Г. А. Баглюк, А. О. Бабенко, Л. І. Бершадський, Є. С. Венцель, В. І. Голінько, Є. А. Дубінін, О. В. Закалов, Б. І. Костецький, М. В. Кондрачук, І. Г. Носовський, П. В. Назаренко, Є. В. Пашечко, С. М. Попов, О. С. Полянський й ін. Ними зазначено, що в загальній проблемі зношуванню поверхонь деталей важливе місце належить питанням змащувальної дії та, відповідно, якості мастильної оливи [1–3, 5, 6–8, 10].

Аналіз наукових джерел показує, що ефективність роботи масляних фільтрів та гумових ущільнень залежить від рівня запиленості повітря, на що, в свою чергу, впливає кількість абразивних часток (пилу), які потрапляють у вузли й агрегати автотранспорту [2, 6, 9, 11]. Отже, під час експлуатації автотранспорту, зокрема технологічного, мастильна олива забруднюється різними механічними домішками, а їхня кількість поступово зростає [9, 11]. Це створює необхідність для розвитку більш ефективних засобів діагностики, які можуть контролювати рівень забруднення мастильної оливи в силових агрегатах автотранспорту під час їх роботи.

Формулювання мети дослідження

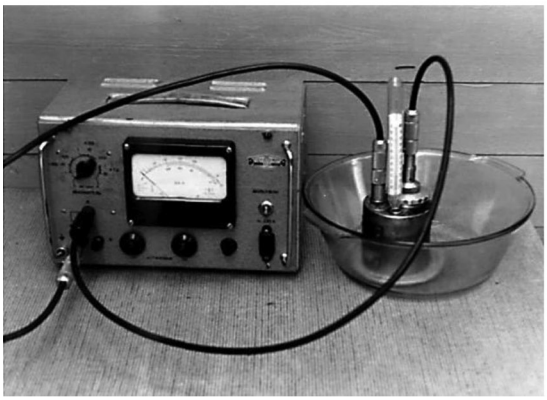
Визначити інтегральний бракувальний параметр мастильної оливи, що характеризує фактичний стан мастильної оливи в силових агрегатах вантажного автотранспорту.

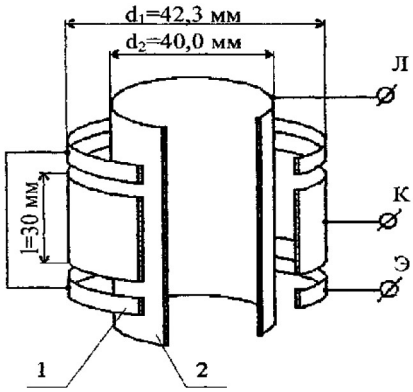
Викладення основного матеріалу дослідження

Під час експлуатації автотранспорту водій не отримує інформацію про стан мастильної оливи, що ускладнює прийняття рішення щодо її своєчасної заміни. Таким чином, виникає потреба у мобільній діагностиці для оцінки стану мастильної оливи (бракувального параметра) в силових агрегатах транспорту. Було висунуто припущення, що електропровідність оливи, яка змінюється в залежності від змін її ключових властивостей, може слугувати інтегральним бракувальним параметром для оцінки її фактичного стану. Це пояснюється тим, що електропровідність чутливо реагує на зміни важливих характеристик оливи, зокрема, її протизносних властивостей.

Дослідження електропровідності оливи було проведене за допомогою лабораторного тераомметра типу МОМ-4 (надалі – прилад). Прилад дозволяє вимірювати опір в широкому діапазоні значень, має компактні розміри (308x194x216 мм), простий у використанні та експлуатації. Він живиться від мережі змінного струму 220 В з частотою 50 Гц і споживає потужність 40 Вт (рис. 1).

Прилад оснащений додатковими вимірювальними електродами для визначення питомого опору електроізоляційних матеріалів (який є оберненою величиною електропровідності) в діапазоні від 2×10^3 Ом до 10^{13} Ом, з дев'ятьма межами вимірювань (від 1 кОм до 10 TΩ). Вимірювальне осердя приладу, що призначене для оцінки опору рідких діелектриків, складається з двох вимірювальних електродів, розташованих у коаксіальному циліндровому виконанні.





(а) (б)

Рис. 1. Тераомметр МОМ-4 з вимірювальним осередком (а) та вимірювальне осердя приладу для вимірювання опору рідких діелектриків (б) (фото авторів)

Принцип роботи приладу полягає в підключенні вимірюваного опору до відомого каліброваного опору, що утворює дільник напруги, живлений стабілізованим джерелом. Визначення опору здійснюється через вимірювання розподілу напруги, з подальшим посиленням сигналу і вимірюванням за допомогою приладу для відліку.

Для оцінки електропровідності мастильних олив М-10-$Г_2$К і ТАП-15 (для автосамоскида КрАЗ) використовувалася чинна методика лабораторних вимірювань. Після завершення вимірювань обчислювався питомий об'ємний опір ρ, що визначається за спеціальною формулою:

$$\rho = R_V \cdot L \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} = 3{,}37 \cdot R_V \left[\text{Ом} \cdot \text{м}\right], \tag{1}$$

де R_v – отримане значення об'ємного опору на шкалі приладу, Ом; L – відстань між електродами, ($L = 30 \cdot 10^{-3}$ м); d_1 – діаметр зовнішнього циліндра, ($d_1 = 42{,}3 \cdot 10^{-3}$ м); d_2 – діаметр внутрішнього циліндра, ($d_2 = 40 \cdot 10^{-3}$ м).

Електропровідність мастила можна визначити як величину, обернену до його об'ємного опору. Встановлено, що у відпрацьованій моторній оливі М-10-$Г_2$К електропровідність є вищою через наявність металевих часток зносу, які сприяють підвищенню провідності оливи. Отже, з підвищенням кількості часток зносу в оливі її електропровідність збільшується (рис. 2, 3).

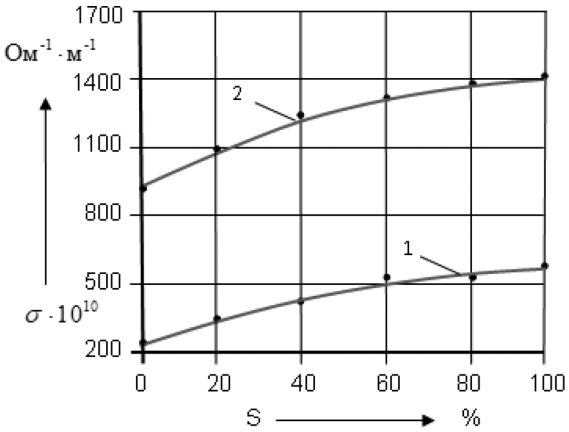


Рис. 2. Залежність електропровідності моторної оливи М-10-$Г_2$К від ступеня *S* його відпрацьованості при температурі: 20 °С (1) і 40 °С (2)

Під час дослідження кожна проба відпрацьованої оливи була протестована на електропровідність за встановленою методикою при температурах 20 °С, 40 °С, 60 °С та 80 °С (табл. 1).

Дослідження підтвердили, що з підвищенням температури моторної оливи, незалежно від ступеня її відпрацьованості, її електропровідність зростає експоненційно (рис. 4).

Подібні дослідження були проведені і для трансмісійної оливи ТАП-15, що знаходилася в коробці передач (КП), роздавальній коробці (РК) та редукторі заднього моста (ЗМ) автосамоскида (табл. 2). З'ясовано, що електропровідність трансмісійної оливи ТАП-15 зростає параболічно зі збільшенням її відпрацьованості (табл. 2).

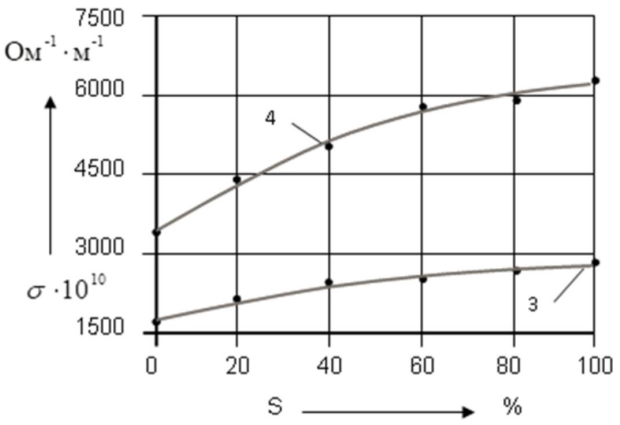


Рис. 3. Залежність електропровідності моторної оливи М-10-Г$_2$К від ступеня *S* його відпрацьованості при температурі: 60 °С (3) і 80 °С (4)

Таблиця 1

Зміна електропровідності відпрацьованої моторної оливи М-10-Г2 К у порівнянні з новою моторною оливою

Марка оливи	Температура t °С	Електропровідність $\sigma \cdot 10^{10}$, Ом$^{-1}$ · м$^{-1}$				Збільшення електропровідності в порівнянні зі свіжим
		S = 0 %	*S* = 80 %	*S* = 90 %	*S* = 100 %	
М-10-Г$_2$К	20	247,38	498,2	504,5	529,39	2,14
	40	913,41	1241,3	1324,4	1406,65	1,54
	60	1521,22	2251,4	2163,3	2479,58	1,63
	80	3121,13	5983,8	6158,6	6373,24	1,81

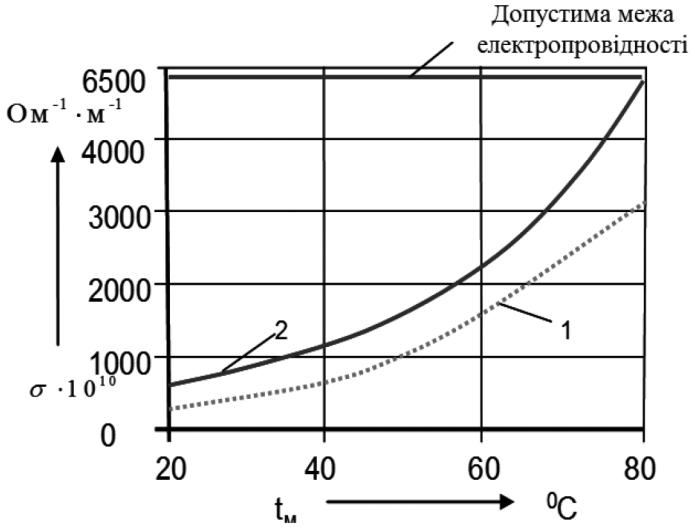


Рис. 4. Залежність електропровідності моторної оливи М-10-Г$_2$К від температури $t_м$, °С: 1 – нова олива; 2 – відпрацьована олива на 100 %

Таблиця 2

Зміна електропровідності відпрацьованої трансмісійної оливи ТАП-15 в порівнянні з новою трансмісійною оливою

Марка оливи	Температура *t* °С	Електропровідність при *S* = 100 % $\sigma \cdot 10^{10}$, Ом$^{-1}$ · м$^{-1}$			
		S = 0 %	РК	КП	ЗМ
ТАП-15	20	216,7	524,6	508,2	441,8
	40	425,8	2421,3	2121,8	1903,6
	60	704,2	4010,7	3224,5	2926,8
	80	1598	5772,4	5398,6	4781,1

Зі збільшенням температури трансмісійної оливи ТАП-15 також відзначалося зростання її електропровідності (рис. 5).

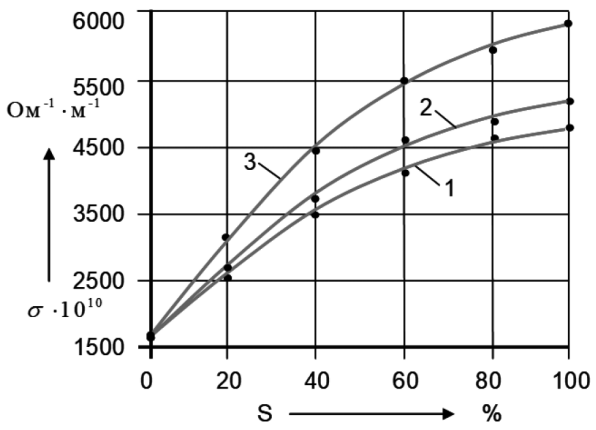


Рис. 5. Залежність електропровідності трансмісійної оливи ТАП-15 від ступеня *S* його відпрацьованості в агрегатах при $t_м$ = 80 °С: ЗМ (1), КП (2), РК (3)

Дослідження показали, що інтенсивність зміни електропровідності зростає із підвищенням ступеня відпрацьованості мастильної оливи (рис. 6) та температури мастила в умовах підвищеної запиленості (рис. 7). Це зумовлено значним збільшенням кількості частинок зносу, що утворюються внаслідок тертя поверхонь (табл. 3).

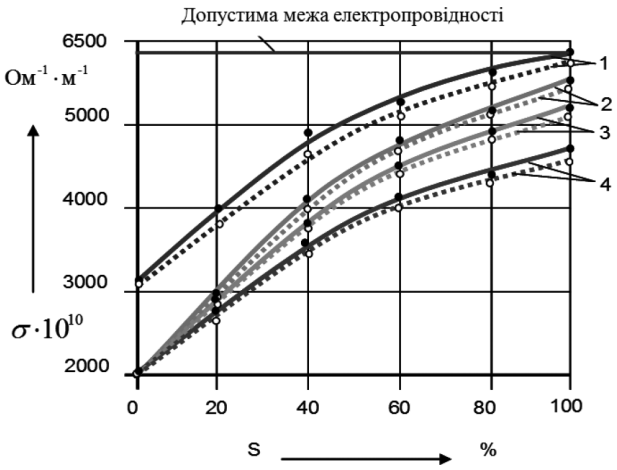


Рис. 6. Залежність електропровідності моторної оливи М-10-Г$_2$К (1) і трансмісійної оливи ТАП-15 від ступеня відпрацьованості, де: 2 – РК, 3 – КП, 4 – ЗМ

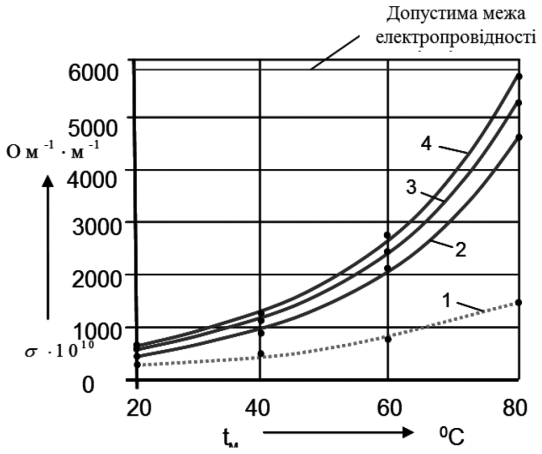


Рис. 7. Залежність електропровідності трансмісійної оливи ТАП-15 від температури $t_м$, °С, де: 1 – нова олива. Відпрацьована олива на 100 % в агрегатах: 2 – ЗМ, 3 – КП, 4 – РК

Таблиця 3

Концентрація в мастильній оливі механічних домішок неорганічного походження (за масою)

Марка мастила	Концентрація механічних домішок, %		
	S = 80 %	S = 90 %	S = 100 %
Моторна олива М-10-$Г_2К$	0,7612	1,3899	2,1430
Трансмісійна олива ТАП-15	0,8453	1,5642	2,024

Лабораторні дослідження дали змогу визначити критичні значення електропровідності мастильної оливи, при яких її ступінь відпрацьованості досягає 100 %, враховуючи фактичний пробіг автотранспорту до заміни оливи в умовах сезонної експлуатації (табл. 4).

Таблиця 4

Бракувальні значення електропровідності мастильної оливи і терміни її служби ($t_м$ = 80 °C; S = 100 %)

Марка мастила	Бракувальні значення оливи σ, $Ом^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{10}$	Термін служби мастильної оливи, тис. км	Фактичний пробіг, тис. км			
			літо	осінь	зима	весна
Моторна олива М-10-$Г_2К$	6373,24	7,5	6,0	8,5	11,0	8,0
Трансмісійна олива ТАП-15	5772,4	15,0	14,2	16,0	17,5	16,5

Лабораторні дослідження показали, що для кожної мастильної оливи існують визначені допустимі рівні електропровідності (бракувальні значення). Коли електропровідність досягає цього порогового значення, зношення в елементах тертя різко зростає, що, у свою чергу, призводить до підвищення електропровідності. Це пов'язано зі значним збільшенням концентрації механічних домішок неорганічного походження (часток зношення) у мастильній оливі.

Висновки

Електропровідність може слугувати інтегральним бракувальним параметром для оцінки якості мастильної оливи. Бракувальний параметр відображає реальний стан якості мастильної оливи в силових агрегатах автотранспорту під час експлуатації з урахуванням забруднення частинками зношення.

Під час експлуатації автотранспорту в різні пори року та за різних погодних умов (дощ, туман, сніг) спостерігалися різні граничні значення електропровідності, що впливає на зміни фактичного пробігу автомобіля до потреби заміни оливи.

Одним з основних недоліків лабораторних досліджень є те, що забруднення оливи визначається за допомогою спеціалізованого лабораторного обладнання, що займає багато часу, чого не можна допускати для технологічного автотранспорту, яким необхідно продовжувати експлуатацію, поки очікуються результати аналізу.

Для покращення надійності силових агрегатів автотранспорту слід розробити мобільний бортовий пристрій для технічної діагностики, який автоматично, без участі водія, зможе оцінити стан мастильної оливи під час експлуатації транспортного засобу. Це є перспективним напрямом для подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Баглюк Г. А. Зносостійкі матеріали. Енциклопедія сучасної України / ред. кол.: І. М. Дзюба [та ін.]. НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2001-2022. ISBN 966-02-2074-X.
2. Венцель Є. С. Бабенко А. О., Щукін О. В., Орел О. В. Інтенсивність зношування трибо вузлів машин в залежності від електропровідності змащувальної плівки. *Підйомно-транспортна техніка*, 2018. № 3(59). С. 15–19.
3. Дубінін Є. А. Молодан А. А., Степанов О. В. Кількісна оцінка надійності нових та відремонтованих автотракторних двигунів. *Вісник харківського державного технічного університету сільського господарства*. 2003. № 17. С. 18–20.
4. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення.
5. Закалов О. В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с.
6. Закалов, О. В. Триботехніка і підвищення надійності машин [Текст]: О. В. Закалов. Тернопіль : ТДТУ, 2000. 354 с.
7. М. В. Кондрачук, В. Ф. Хабутель М. І., Пашечко Є. В. Корбут. Трибологія. К. : Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. 232 с.
8. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д.:Східний видавничий дім, 2013. Т. 3. 644 с.
9. Полянський О. С., Степанов О. В. Підвищення надійності автосамоскидів застосуванням устрою пилового контролю в системі технічної діагностики. *Автомобільний транспорт*: зб. наук. тр. ХНАДУ. 2005. № 15. С. 55–60.

10. Попов. С. М. Антонюк Д. А., Нетребко В. В. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні : Навчальний посібник. Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2010. 368 с.

11. Степанов О. В. Чинники, що впливають на надійність вантажного автомобіля під час роботи на породних відвалах. *Автомобільний транспорт*. № 13. 2003. С. 140–142.

References

1. Wear-resistant materials. Encyclopedia of Modern Ukraine / ed. by I.M. Dziuba [et al]. (2001–2022). Kyiv : Institute of Encyclopedic Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine. ISBN 966-02-2074-X.

2. Ventsel E. S., Babenko A. O., Shchukin O. V., Orel O. V. (2018). Intensity of wear of tribo units of machines depending on the electrical conductivity of the lubricating film. *Lifting and transport equipment*, No. 3(59). P. 15–19.

3. Dubinin E. A., Molodan A. A., Stepanov O. V. (2003). Quantitative assessment of the reliability of new and repaired automotive tractor engines. *Bulletin of the Kharkiv State Technical University of Agriculture*. No. 17. P. 18–20.

4. DSTU 2823-94. Wear resistance of friction, wear and lubrication products. Terms and definitions.

5. Zakalov O. V. (2011). Fundamentals of friction and wear in machines: Study guide. Ternopil : TNTU Publishing House, P. 322.

6. Zakalov O. V. (2000). Tribotechnics and improvement of machine reliability [Text]: O. V. Zakalov. Ternopil : TSTU. P. 354.

7. Kondrachuk M. V., Khabutel M. I., Pasechko E. V. Korbut. Tribology. (2009). K. : National Aviation University Publishing House “NAU-druk”. P. 232.

8. Small Mining Encyclopedia : in 3 volumes / edited by V. S. Biletskyi. D. : Eastern Publishing House, 2013. V. 3. p. 644.

9. Polianskyi O. S., Stepanov O. V. (2005). Improving the reliability of dump trucks by using a dust control device in the technical diagnostics system. *Motor transport*: a collection of scientific works. KhNADU. No. 15. P. 55–60.

10. Popov. S. M. Antoniuk D. A., Netrebko V. V. (2010). Tribotechnical and material science aspects of fracture of steels and alloys during wear: Study guide. Zaporizhzhia: Motor Sich OJSC. P. 368.

11. Stepanov O. V. (2003). Factors influencing the reliability of a freight vehicle during work on waste heaps. *Automobile transport*. No. 13. P. 140–142.