

ОСОБЛИВОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО МАЩЕННЯ ПРИ ЛІНІЙНОМУ КОНТАКТІ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Косенко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

FEATURES OF THE LUBRICATION PROCESS IN CONDITIONS OF LIMITING LUBRICATION UNDER LINEAR CONTACT

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Kosenko M.I., National Transport University, Kiev, Ukraine, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

Постановка проблеми.

Підшипники тертя кочення широко використовуються в машинобудуванні, вони є одними із найбільш навантажених деталей. Вивчення їх зносостійкості дозволяє оптимізувати процес їх експлуатації, що підвищує надійність механізмів в цілому. Визначення зносостійкості таких підшипників залежить від низки чинників, одним з яких є проковзування тіл кочення (роликів, кульок) відносно внутрішнього, зовнішнього або обох кілець підшипника[1]. Під час проковзування тертя кочення переходить до тертя ковзання при цьому значно підвищується інтенсивність зношування, адже коефіцієнт тертя ковзання набагато вищий за коефіцієнт тертя кочення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Під час роботи реальних підшипників тертя кочення контр-тіла можуть приклинювати, якщо зчеплення із кільцями недостатнє, саме в цей момент виникає проковзування[2]. Наприклад, в шарикопідшипниках навіть в процесі роботи відбувається постійне диференційоване проковзування за рахунок нелінійного контакту контр-тіла по жолобу. Для дослідження механізму проковзування ми використали модель у вигляді лінійного контакту двох дисків, притиснутих один до одного по дотичним дуг[3],[4].

Для дослідження пар тертя ковзання при граничному мащенні і лінійному контакті ми використали спеціально обладнану автоматизовану систему наукових досліджень на базі машини тертя МІ-1М. Нижче на (Рис.1) загальний вигляд установки, кінематична схема[5](Рис.2).



Рисунок 1 – Машина тертя МІ-1М
Figure 1 – Machine rubbing MI-1M

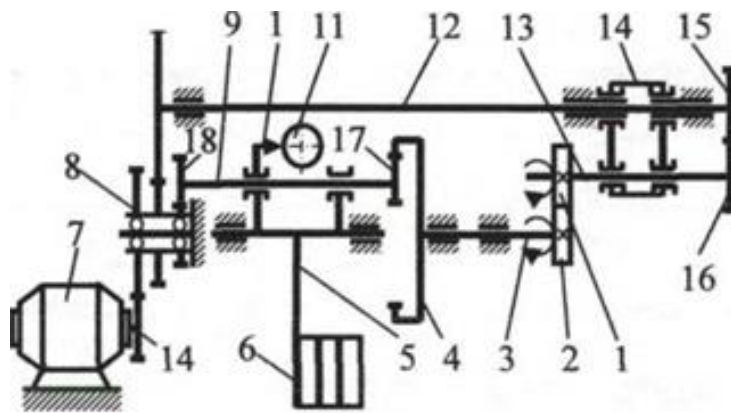


Рисунок 2 – Схема машини тертя MI-1M: 1 – Індентор; 2 – зразок; 3 – шпindelь;
4 – зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням; 5 – маятник; 6 – вантажі; 7 – двигун;
8 – блок зубчастих коліс; 9 і 13 – вали; 10,11 – датчик моменту тертя; 12 – вал каретки;
14 – корпус каретки; 15,16,17 і 18 – зубчасті колеса

Figure 2 – Scheme of the rubbing machine MI-1M: 1 – Indenter; 2 – sample; 3 – spindle;
4 – a gear wheel with internal gearing; 5 – pendulum; 6 – cargoes; 7 – engine;
8 – block of gears; 9 and 13 – shafts; 10,11 – friction moment sensor;
12 – carriage shaft; 14 – carriage body; 15,16,17 and 18 – gears

Технічні характеристики вимірювального комплексу

Параметр	Значення
Частота обертання зразка, об / хв	1000 ... 1500
Діапазон навантажень, Н	0....800
Похибка вимірювання навантаження, %	± 7
Похибка вимірювання моменту тертя, %	± 7
Похибка вимірювання зносу, %	± 7
Напруга живлення, В	220
Споживана потужність, кВт	1
Габарити, мм	1150x450x500

Проковзування оцінювалося відношенням частоти обертання (n_2) веденого диска діаметром (D_2) до частоти обертання ведучого (n_1) діаметром (D_1) за умови $D_1 = D_2$, а саме $\eta = n_2 / n_1$. [6]

Методика випробувань полягала в наступному:

1 – заповнення робочої масляної ванни експериментальним зразком змащувального матеріалу;

2 – встановлення контактної навантаження 200 та 300Н за допомогою штатної системи установки;

3 – встановлення частоти обертання приводного валу електродвигуна 1000 об/хв;

4 – регулювання гальмівного моменту на вихідному валу до моменту появи проковзування між зразками;

Важливо зазначити, що експериментальна установка дозволяє маніпулювати двома змінними параметрами: гальмівним моментом на вихідному валу, навантаженням на контактні поверхні дисків. За критерій кількісної оцінки приймається величина гальмівного моменту, при якій відбувається проковзування[7].

Описана вище методика випробувань дає можливість визначення проковзування при використанні різних мастильних матеріалів, які використовуються у підшипникових вузлах тертя[8].

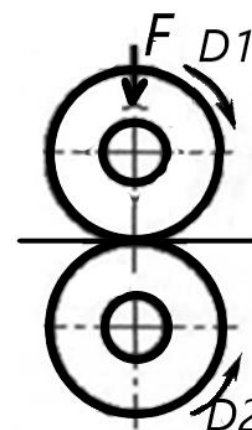


Рисунок 3 – схема обертання роликів

Figure 3 – scheme of wrapping clips

Результати модельних випробувань пар тертя кочення з проковзуванням, при граничному мащенні і лінійному контакті

Випробування пар тертя кочення з проковзуванням при граничному мащенні і лінійному контакті проводилися, згідно методики, викладеної вище з наступними вихідними характеристиками:

- ведучий та ведений ролики діаметром $D1=D2 = 50\text{мм}$ зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 термічно оброблені і відшліфовані до величини шорсткості $Ra = 1,6$;
- частота обертання валу ведучого ролика $n_1 = 1000 \dots 1500 \pm 3\% \text{ хв}^{-1}$;
- навантаження на диски $N = 200 \dots 600 \text{ Н}$;
- досліджувані мастильні матеріали: олива універсальна мінеральна. SAE-90; олива індустріальна I-40A; олива трансмісійна SAE-85.

Випробування проводилися при радіальних навантаженнях 200 і 300Н при частоті обертання веденого диска $1000 \pm 3\% \text{ хв}^{-1}$. Тривалість випробувань складала 180 хв, шлях тертя кочення приблизно становив 25400 м, частоти обертання веденого і ведучого дисків фіксувалися через кожні 15 хв.

Результати експериментальних випробувань мастильних матеріалів в парах тертя кочення представлені в (Табл.1). За співвідношенням частот обертання веденого і ведучого дисків при навантаженнях 200 і 300Н, моменті опору на валу 6 Нм були розраховані середні значення коефіцієнтів ковзання, які представлені графічно на (Рис.4), в залежності від часу випробувань.

Таблиця 1 – Результати експериментальних випробувань мастильних матеріалів
Table 1 – Results of experimental testing of maternity wards

Мастильний матеріал: олива трансмісійна SAE-90 при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1008	1012	1003	989	1002	1004	1001	1009	995	1000	1015	1001
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	906	882	870	850	846	841	841	845	828	824	827	823
Коефіцієнт проковзування η	0,899	0,872	0,867	0,859	0,844	0,838	0,840	0,837	0,832	0,824	0,815	0,822
Мастильний матеріал: олива індустріальна I-40A при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1014	1007	1005	998	1008	1009	1005	1015	1005	1008	1001	1003
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	893	857	842	831	838	835	827	831	813	815	804	808
Коефіцієнт проковзування η	0,881	0,851	0,838	0,833	0,831	0,828	0,823	0,819	0,809	0,809	0,803	0,806
Мастильний матеріал: олива універсальна мінеральна, SAE-85 при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1005	1006	1006	988	1007	999	1005	1006	1003	998	1001	1005
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	845	826	808	795	805	797	795	791	790	787	788	784
Коефіцієнт проковзування η	0,841	0,821	0,803	0,805	0,799	0,798	0,791	0,786	0,788	0,789	0,787	0,780
Мастильний матеріал: олива трансмісійна SAE-90 при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1008	1014	993	997	1008	1006	1007	1014	998	1006	1002	1004
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	939	917	893	895	899	898	899	898	887	891	887	895
Коефіцієнт проковзування η	0,932	0,904	0,899	0,898	0,892	0,893	0,893	0,886	0,889	0,886	0,885	0,891
Мастильний матеріал: олива індустріальна I-40A при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1005	1007	998	997	1001	1003	1006	1004	997	1002	995	1008
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	921	891	885	878	878	884	884	879	868	874	868	878
Коефіцієнт проковзування η	0,916	0,885	0,887	0,881	0,877	0,881	0,879	0,875	0,871	0,872	0,872	0,871
Мастильний матеріал: олива універсальна мінеральна, SAE-85 при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Частота ведучого диску n_1 , Об/хв	1005	1012	1006	1008	998	1007	1009	1005	999	1008	1005	998
Частота веденого диску n_2 , Об/хв	894	875	868	857	854	857	856	851	845	847	845	840
Коефіцієнт проковзування η	0,890	0,865	0,863	0,850	0,856	0,851	0,848	0,847	0,846	0,840	0,841	0,842

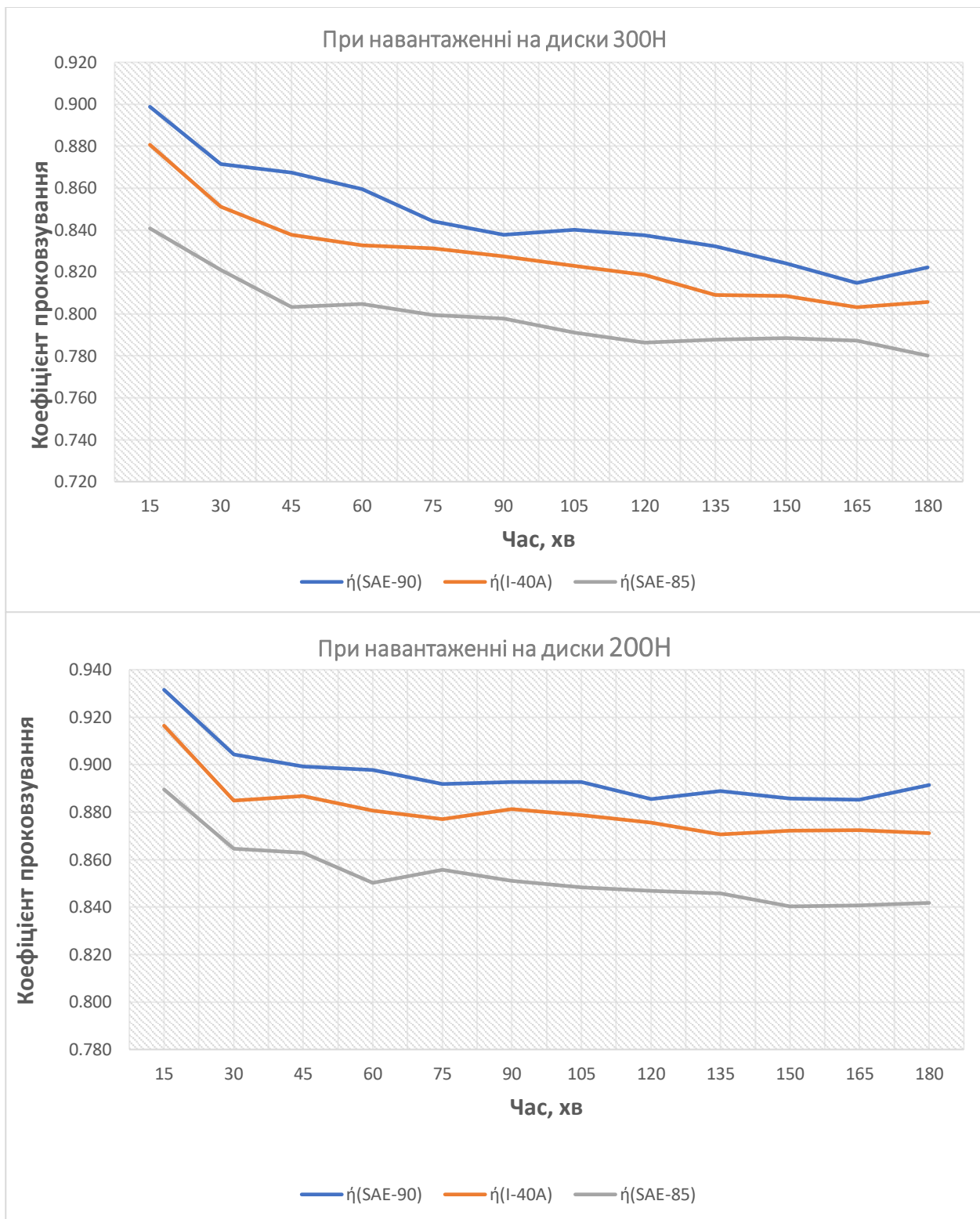


Рисунок 4 – Середні значення коефіцієнтів ковзання
Figure 4 – The middle value of the coded area

Висновки.

На підставі проведених випробувань встановлено, що досліджувані мастильні матеріали SAE-90, I-40A, SAE-85 в парі тертя кочення типу «ролик – ролик» при зміні навантаження від 200 до 300Н знижують коефіцієнт проковзування на 3–4%, аналогічні результати були отримані і в роботі[9] Отже, ми припустили, що в підшипнику тертя кочення при робочій температурі і нормальному

навантаженні, знос матиме оптимальну величину (етап експлуатації), так як процес тертя буде прагнути перейти в сторону чистого кочення з пониженням втрат енергії на тертя.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя/ В.И. Анурьев: в 3т. Т.1. 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Албагачиев, В. Д. Кожемякина, А. В. Чичинадзе // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 3. – С. 19-29.
3. Дмитриченко М.Ф. Мнацаканов Р.Г. Триботехніка та основи надійності машин [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. /; Національний транспортний ун-т. – К. : ІНФОРМАВТОДОР, 2006. – 216 с. – Бібліогр.: с. 208-209. – ISBN 966-2945-01-6
4. Дрогомирецький, Я. М. Триботехніка і основи надійності машин : лабор. практикум / Я. М. Дрогомирецький. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2004. – 38 с.
5. Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах. / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 190 с.
6. Курапов, П.А. Прогнозирование противозадирной стойкости смазываемых пар трения/ П.А. Курапов// Трение и смазка в машинах и механизмах – М.: Машиностроение, 2006. №9. С. 29-32.
7. Леликов, О.П. Валы и опоры с подшипниками качения./ О.П. Леликов. Конструирование и расчет. Справочник. М.: Машиностроение, 2006 – 640с.
8. Крагельский, И.В. Основы расчета на трение и износ/ И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комболов.-М.: Машиностроение. 1978.-528 с.
9. Шец С.П. Повышение износостойкости подшипниковых узлов трения машин и механизмов/ Брянск 2011 – 312 с.

REFERENCES

1. Anurev, V.I. Engineering Designer Handbook / V.I. Anurev: in 3t. T.1. 8th ed., Pererab. and add. Ed. I.N. Zhestkova. – M.: Mashinostroenie, 2001. – 920 p.
2. Albagachiev, V.D. Kozhemyakina, A.V. Chichinadze // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2010. – № 3. – p. 19-29.
3. Dmitrichenko M.F. Mnatsakanov R.G. Tribotechnika and the foundations of machines [Text]: navch. posib for stud. /; National Transport University. – K.: INFORMATODOR, 2006. – 216 p.: c. 208-209. – ISBN 966-2945-01-6
4. Drogomiretsky, Ya. M. Tribotechnika and the foundations of the machinery: lab. workshop Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2004. – 38 p.
5. Brown, E.D. Simulation of friction and wear in machines. / E.D. Brown, Yu.A. Evdokimov, A.V. Chichinadze. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 190 p.
6. Kurapov, P.A. Prediction of extreme stability of lubricated friction pairs / P.A. Kurapov // Friction and lubrication in machines and mechanisms – M.: Mashinostroenie, 2006. №9. Pp. 29-32.
7. Lelikov, O.P. Shafts and bearings with rolling bearings. / OP Lelikov. Design and calculation. Directory. M.: Mashinostroenie, 2006 – 640p.
8. Kragelsky, I.V. Basics of calculation for friction and wear / I.V. Kragelsky, M.N. Dobychin, V.S. Kombolov.-M.: Mechanical Engineering. 1978.-528 p.
9. Shets S.P. Increased wear resistance of friction bearing units of machines and mechanisms / Bryansk 2011 – 312 p.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Особливості змащувального процесу в умовах граничного навантаження при лінійному контакті / М.Ф. Дмитриченко, М.І. Косенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Підшипники тертя кочення широко використовуються в машинобудуванні, вони є одними із найбільш навантажених деталей. Вивчення їх зносостійкості дозволяє оптимізувати процес їх експлуатації, що підвищує надійність механізмів в цілому.

Метою дослідження є визначення впливу навантаження на проковзування в реальних підшипниках тертя кочення.

Матеріали та методи дослідження: для дослідження механізму проковзування ми використали модель у вигляді лінійного контакту двох дисків, притиснутих один до одного по дотичним дуг на базі машини тертя МП1-М.

На підставі проведених випробувань встановлено, що досліджувані мастильні матеріали в парі тертя кочення типу «ролик – ролик» при зміні навантаження від 200 до 300Н знижують коефіцієнт проковзування на 3 – 4%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПІДШИПНИК ТЕРТЯ КОЧЕННЯ, ПРОКОВЗУВАННЯ, ЛІНІЙНИЙ КОНТАКТ, КОЕФІЦІЄНТ ПРОКОВЗУВАННЯ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Kosenko M.I. Features of the lubrication process in conditions of limiting lubrication under linear contact. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Roller friction bearings are widely used in machine-building, they are one of the most loaded parts. Studying their wear resistance allows to optimize the process of their exploitation, which increases the reliability of mechanisms in general.

The purpose of the study is to determine the effect of load on the slip in real bearings of rolling friction.

Materials and methods of research: to study the mechanism of slipping, we used the model in the form of a linear contact of two disks, pressed against each other by tangent arcs on the basis of friction machine MI1-M.

On the basis of the performed tests it was established that the studied lubricants in the friction pairs of the roller – roller type, when changing the load from 200 to 300 N, reduce the slip factor by 3 – 4%.

KEYWORDS: ROLLING FRICTION BEARING, SLIPPING, LINEAR CONTACT, SLIPPING COEFFICIENT.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

AUTHORS:

Dmytrychenko Nikolay F., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Kosenko Maxim Igorovich, master's degree, postgraduate student, NTU, Ukraine, Kyiv, str. Omelyanovicha-Pavlenko 1. Tel. 0669708998 orcid.org / 0000-0002-5155-1828

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Савчук А.М., кандидат технічних наук, доцент, Національний Транспортний Університет, Україна, Київ

REVIEWER:

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of motors and heating, Kyiv, Ukraine.

Savchuk A.M., Ph.D., associate professor, National Transport University, Ukraine, Kyiv