

© Ю. М. Гузенко, к.т.н., доцент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ
ЗМАЩУВАЛЬНИХ ПЛІВОК ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ
МАТЕРІАЛІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ДРУКАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

У статті розглядається модернізований пристрій для визначення товщини змащувальних плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач. Суть модернізації такого пристрою вирішується додатковим використанням в ньому, крім послідовно з'єднаних з роликowymi зразками амперметра, реостата, акумуляторної батареї і вимикача; паралельно з'єданого із зразками вольтметра жорсткої струмопровідної пластини і двох вольтметрів, з'єднаних одними кінцями між собою та жорсткою струмопровідною пластиною, а другими кінцями з окремими зразками. Зазначений пристрій, крім визначення товщини масляної плівки та загальної товщини граничних змащувальних плівок на робочих поверхнях обох роликowych зразків, забезпечує також можливість їх визначення на робочій поверхні кожного зразка окремо, що значно розширює його функціональні можливості при фізичному моделюванні умов роботи закритих зубчастих передач друкарського обладнання.

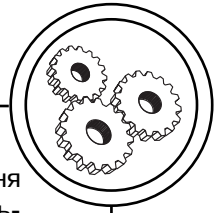
Ключові слова: пристрій; товщина; змащувальна плівка; випробування матеріалів; зубчаста передача; кутова швидкість; роликowy зразок; падіння електричної напруги; мастильний матеріал.

Постановка проблеми

Для визначення товщини змащувальних плівок в локальному контакті тертя широко використовують метод вимірювання падіння електричної напруги при пропусканні через роликowy зразки постійного струму в режимі нормального тліючого розряду [1]. Такі вимірювання падіння електричної напруги здійснюють послідовно до подачі мастильних матеріалів в зону контакту

нерухомих зразків, в початковий момент їх подачі в зону контакту рухомих зразків і через певні проміжки часу після подачі між ними.

В результаті забезпечення різних режимів тертя кочення і відносного проковзування роликowych зразків в початковий момент подачі мінеральних масел в зону їх контакту утворюється масляна плівка, а через певні проміжки часу, після початку подачі масел в зону контакту зразків,



на їх обох робочих поверхнях утворюються граничні змащувальні плівки, а саме самогенеруючі органічні плівки (СОП) [2]. Переважно останнє падіння електричної напруги між роликівими зразками вимірюють через 50–60 хвилин після подачі масла в зону їх контакту при досягненні СОП своєї максимальної товщини.

Після цього, товщину масляної плівки визначають за різницею падіння електричної напруги, виміряних до подачі і в початковий момент подачі масла в зону контакту роликівих зразків, а загальну товщину масляної плівки і СОП визначають за різницею падіння електричної напруги в початковий момент подачі та через 50–60 хвилин після подачі мінеральних масел між зразками. Проте визначення загальної товщини СОП на робочих поверхнях обох роликівих зразків не забезпечує достатню інформативність про змащувальну дію мінеральних масел в умовах роботи закритих зубчастих передач друкарської техніки.

Аналіз попередніх досліджень

Проведені триботехнічні випробування матеріалів зубчастих передач на модернізованій машині тертя СМЦ-2 [3–5] при терті кочення і відносному проковзуванні роликівих зразків показують, що при визначенні товщини масляної плівки найбільша похибка забезпечується між металевими поверхнями зразків саме при їх терті кочення, і може досягати 200–300 мВ залежно від швидкості кочення. При переході роликівих зразків від тертя кочення до відносного

проковзування величина падіння електричної напруги зменшується, і при досягненні відносного проковзування 10–15 % — дорівнює падінню електричної напруги між нерухомими зразками в межах 15–20 мВ.

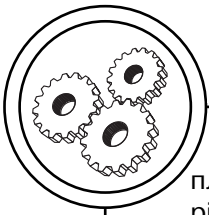
Таким чином, для покращення точності визначення товщини масляної плівки окремо необхідно враховувати величину падіння електричної напруги між металевими поверхнями рухомих роликівих зразків, а саме за умов вимірювання величини падіння електричної напруги до початкового моменту і через певні проміжки часу після подачі мінеральних масел в зону контакту їх робочих поверхонь [6, 7]. Оскільки для вимірювання падіння електричної напруги використовують пристрій, що містить тільки послідовно з'єднані з роликівими зразками амперметр, реостат, акумуляторну батарею і вимикач, а також паралельно з'єднаний із зразками вольтметр [8], можливість визначення товщини СОП на робочій поверхні кожного роликівого зразка відсутня.

Мета роботи

Забезпечення можливості визначення товщини СОП на робочій поверхні кожного роликівого зразка шляхом окремого вимірювання на них падіння електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду.

Результати проведених досліджень

Для досягнення в даній роботі поставленої мети здійснена модернізація пристрою для визначення товщини змащувальних



плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач (рис. 1, а і б), який крім послідовно з'єднаних з роликівими зразками 1, 2 амперметра 3, реостата 4, акумуляторної батареї 5 і вимикача 6, а також паралельно з'єданого із зразками 1, 2 вольтметра 7 додатково містить жорстку струмопровідну пластину 8 товщиною δ і ще два вольтметри 9, 10 [9] або, замість них, один трипозиційний перемикач [10, 11]. У разі використання двох допоміжних вольтметрів 9, 10, вони одними кінцями з'єднані

між собою та жорсткою струмопровідною пластиною 8, а іншими — з окремими зразками 1, 2.

Роликові зразки 1, 2 закріплюють на паралельних валах відповідної для них машини тертя, яка має привод для їх обертання з необхідними кутовими швидкостями ω_1 і ω_2 та механізм для навантаження необхідною радіальною стискуючою силою P . Для змащування роликових зразків 1, 2 під нижнім роликовим зразком 1 встановлена ванна 11 з мастильним матеріалом 12. При цьому для забезпечення однакової інтенсивності його подачі в зону контакту роликових зразків 1, 2 нижній зразок 1 обертається з постійною кутовою швидкістю ω_1 , а верхній зразок 2 здійснює ступінчасте зменшення своєї кутової швидкості ω_2 .

Для здійснення випробування використовувалася модернізована машина тертя СМЦ-2 [3–5] при забезпеченні ступінчастої зміни швидкості ковзання $v_{\text{ков}}$ роликових зразків 1, 2 від нуля до 0,628 м/с через кожні 0,157 м/с за зміною їх відносного проковзування ε від нуля до 80 % через кожні 20 %, при цьому кутова швидкість ω_1 нижнього зразка 1 встановлювалася $31,4 \text{ с}^{-1}$ (при його частоті обертання 300 хв^{-1}), а кутова швидкість ω_2 верхнього зразка 2 ступінчасто змінювалася від $31,4$ до $3,14 \text{ с}^{-1}$ через кожні $3,14 \text{ с}^{-1}$ (при зміні його частоти обертання від 300 до 30 хв^{-1} через кожні 30 хв^{-1}). Випробування здійснювалися при використанні роликових зразків 1, 2 з поліпшеної сталі 45 твердістю 255 НВ, діаметром 50 мм, шорсткістю робочих поверхонь в межах 8 класу ($R_a = 0,35 \text{ мкм}$), навантаженні

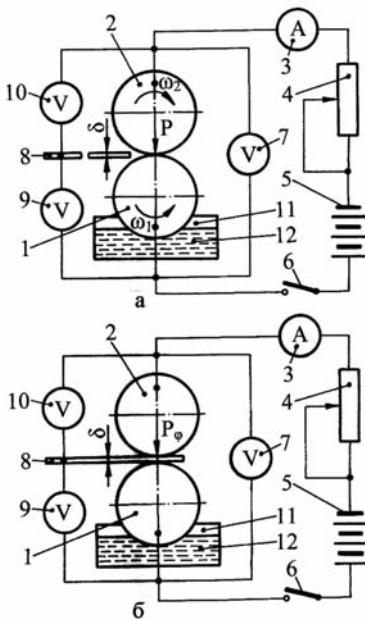
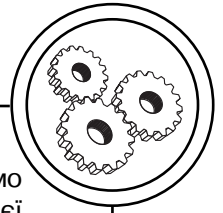


Рис. 1. Принципова електрична схема пристрою для визначення товщини змащувальних плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач: а — у умовах обертального руху роликових зразків; б — у умовах нерухомих зразків із встановленою між ними жорсткою струмопровідною пластиною



радіальною стискуючою силою P за контактних напружень стиску $\sigma_n = 500$ МПа, змащуванні мастильним матеріалом 12 «Індустріальне 45» і температурі його нагрівання в ванні 11 до 70°C . При вимірюванні величин падіння електричної напруги через роликіві зразки 1, 2 пропускався постійний струм величиною 1,5 А.

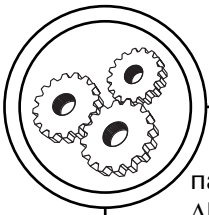
Спочатку роликіві зразки 1, 2 за відсутності між ними жорсткої струмопровідної пластини 8 приводять в обертальні рухи з необхідними для них кутовими швидкостями ω_1 і ω_2 (рис. 1, а), навантажують їх радіальною стискуючою силою P , пропускають через контакт зразків 1, 2 постійний струм i , в режимі нормального тліючого розряду вольтметром 7, послідовно вимірюють падіння електричної напруги U_1 до подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих зразків 1, 2 між їх металевими поверхнями (рис. 2, а, крива 1), U_2 в початковий момент подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих зразків 1, 2 при утворенні між ними масляної плівки (рис. 2, а, крива 2) і U_3 через 50–60 хвилин після подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих роликівіх зразків 1, 2, коли граничні змащувальні плівки досягають своєї максимальної товщини при утворенні на робочих поверхнях цих же зразків 1, 2 СОП (рис. 2, а, крива 3).

Загальну товщину масляної і граничних змащувальних плівок визначають за різницею падіння електричної напруги $\Delta U_1 = U_3 - U_1$, виміряних до подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих роликівіх зразків 1, 2 і через 50–60 хвилин після його

подачі (рис. 2, б, крива 1). Окремо товщину масляної плівки із цієї загальної товщини змащувальних плівок визначають за різницею падіння електричної напруги $\Delta U_2 = U_2 - U_1$, виміряних до подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих роликівіх зразків 1, 2 і в початковий момент його подачі (рис. 2, б, крива 2), а товщину граничних змащувальних плівок у вигляді СОП, що утворилися в процесі випробування на робочих поверхнях обох роликівіх зразків 1, 2 визначають за різницею падіння електричної напруги $\Delta U_3 = U_3 - U_2$, виміряних в початковий момент подачі мастильного матеріалу 12 в зону контакту рухомих роликівіх зразків 1, 2 і через 50–60 хвилин після його подачі (рис. 2, б, крива 3).

Після цього обертальний рух роликівіх зразків 1, 2 припиняють (рис. 1, б) і між утвореними на їх робочих поверхнях СОП встановлюють жорстку струмопровідну пластину 8. Потім через них разом пропускають постійний струм i в режимі нормального тліючого розряду при плавному збільшенні радіальної стискуючої сили P_ϕ по з'єднаному із зразками 1, 2 вольтметру 7 встановлюють падіння електричної напруги величиною ΔU_3 , пропорційною загальній товщині СОП (рис. 2, б, крива 3), утворених на робочих поверхнях обох зразків 1, 2 в процесі випробування.

В цьому положенні роликівіх зразків 1, 2 і жорсткої струмопровідної пластини 8, а також при пропусканні через них постійного струму в режимі нормального тліючого розряду додатковими вольтметрами 9, 10 вимірюють



падіння електричної напруги ΔU_4 (рис. 2, б, крива 4) і ΔU_5 (рис. 2, б, крива 5) між жорсткою струмопровідною пластиною 8 та кожним зразком 1, 2. За отриманими величинами падіння електричних напруг ΔU_4 і ΔU_5 визначають товщини СОП, що утворилися в процесі випробування на робочій поверхні кожного зразка 1, 2.

В результаті такої послідовності визначення товщини СОП вольтметром 7 забезпечується вимірювання величини встановленого між зразками 1, 2

загального падіння електричної напруги ΔU_3 , вольтметром 9 забезпечується вимірювання величини встановленого падіння електричної напруги ΔU_4 між нерухоною жорсткою струмопровідною пластиною 8 і випереджаючим при терті кочення з відносним проковзуванням нижнім зразком 1, а вольтметром 10 забезпечується вимірювання величини встановленого падіння електричної напруги ΔU_5 між цією жорсткою струмопровідною пластиною 8 і відстаючим при терті кочення з відносним проковзуванням верхнім зразком 2.

Сума виміряних двома вольтметрами 9, 10 величин падіння електричної напруги ΔU_4 і ΔU_5 між нерухоною жорсткою струмопровідною пластиною 8 і кожним роликовим зразком 1, 2 повинна дорівнювати величині загального падіння електричної напруги ΔU_3 , яка вимірюється вольтметром 7 між обома зразками 1, 2, оскільки в даному випадку нерухоно розміщується між ними жорстка струмопровідна пластина 8 ділить це ж загальне падіння електричної напруги ΔU_3 на окремі складові ΔU_4 та ΔU_5 пропорційно товщині СОП, що утворилися в процесі випробування матеріалів зубчастих передач на робочій поверхні кожного роликового зразка 1, 2 окремо. Після визначення товщини всіх змащувальних плівок за величинами падіння на них електричної напруги ΔU_1 , ΔU_2 , ΔU_3 , ΔU_4 і ΔU_5 в мілівольтах визначають їх дійсну товщину h в мікрометрах за попередньо підготовленими тарувальними залежностями або при використанні для них пропорції $1 \text{ мВ} = 0,006 \text{ мкм}$ [12].

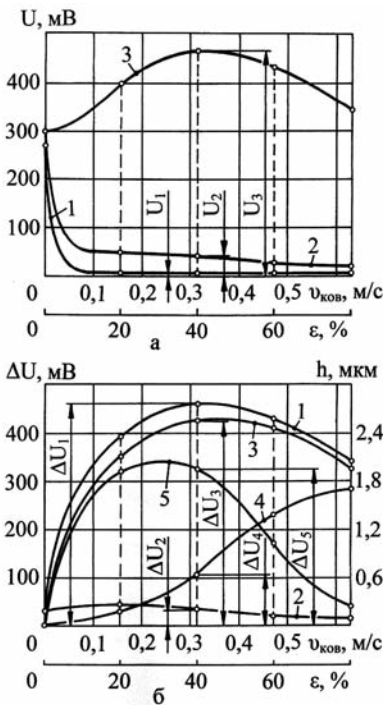
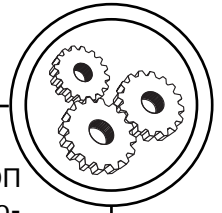


Рис. 2. Залежності визначення товщини змащувальних плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач: а — в умовах обертального руху роликових зразків; б — в умовах нерухомих зразків із встановленою між ними жорсткою струмопровідною пластиною



В результаті такого виконання і використання пристрою для визначення товщини змащувальних плівок забезпечується також можливість визначення товщини СОП на робочих поверхнях окремих роликів зразків, що значно розширює його функціональні можливості при фізичному моделюванні умов роботи закритих зубчастих передач друкарського обладнання [13, 14].

Висновки

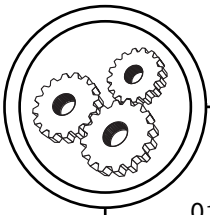
1. Здійснена модернізація пристрою за рахунок використання в ньому двох додаткових вольтметрів забезпечує можли-

вість визначення товщини СОП на робочій поверхні кожного роликів зразка шляхом окремого вимірювання на них падіння електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду.

2. Забезпечення при випробуваннях матеріалів зубчастих передач тертя кочення та відносного проковзування роликів зразків дозволяє визначати товщину СОП на робочих поверхнях випереджаючого і відстаючого зразків, а також розширити можливості їх визначення при фізичному моделюванні умов роботи закритих зубчастих передач друкарського обладнання.

Список використаної літератури

1. Райко М. В. Смазка зубчатых передач / М. В. Райко. Киев: Техника, 1970. 196 с.
2. Кадомский В. П. Исследование смазочных слоев твердопластичных пленок, образующихся в контакте деталей при качении со скольжением: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / В. П. Кадомский. К.: КИИГА, 1971. 140 с.
3. А. с. № 1348714 СССР. МПК4 G 01 N 3/56. Машина для испытания материалов и смазывающих масел на трение и износ / Ю. М. Гузенко. Заявл. 14.04.1985; Опубл. 30.10.1987. Бюл. № 40, 1987. 3 с.
4. Гузенко Ю. М. Модернизация машины трения СМЦ-2 для расширения диапазона относительного проскальзывания образцов / Ю. М. Гузенко // Заводская лаборатория. 1993. Т. 59. № 3. С. 55–56.
5. Гузенко Ю. М. Розширення діапазонів відносних проковзувань роликів зразків на машині тертя СМЦ-2 для випробування матеріалів зубчастих передач / Ю. М. Гузенко, І. Т. Магеровський, Д. Ю. Розумний // Тези доповідей XIV Міжнародної наук.-техн. конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». Київ: НТУУ «КПІ», 2013. С. 54–55.
6. А. с. № 1649250 СССР. МПК5 G 01 B 7/06; G 01 N 3/56. Способ определения толщины смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач / Ю. М. Гузенко. Заявл. 24.05.1989; Опубл. 15.05.1991. Бюл. № 18, 1991. 3 с.
7. Гузенко Ю. М. Удосконалений метод визначення товщини змащувальних плівок при триботехнічних випробуваннях матеріалів зубчастих передач / Ю. М. Гузенко, О. П. Красавін, М. І. Кваша // Тези доповідей XII Всеукраїнської молодіжної наук.-техн. конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво». Київ: НТУУ «КПІ», 2012. С. 21–23.
8. Рещиков В. Ф. Трение и износ тяжело нагруженных передач / В. Ф. Рещиков. М.: Машиностроение, 1975. 245 с.



9. Патент на изобретение № 2055344 Российская Федерация. МПК6 G 01 N 3/56. Способ определения толщины граничных смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач / Ю. М. Гузенко. Заявл. 07.09.1990; Оpubл. 27.02.1996. Бюл. № 6, 1996. 4 с.

10. Патент на винахід № 42234 Україна. МПК7 G 01 N 3/56; F 16 H 57/00. Пристрій для визначення товщини змащувальних плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач / Ю. М. Гузенко; НТУУ «КПІ». Заявл. 29.11.2000; Оpubл. 15.10.2001. Бюл. № 9, 2001. 6 с.

11. Гузенко Ю. М. Удосконалений пристрій для визначення товщини змащувальних плівок при випробуваннях матеріалів зубчастих передач / Ю. М. Гузенко, В. І. Туровський, С. Ю. Перелай // Тези доповідей XIV Міжнародної наук.-техн. конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». Київ: НТУУ «КПІ», 2013. С. 56–58.

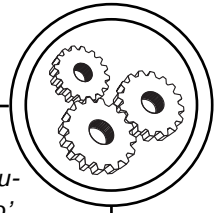
12. Гузенко Ю. М. Влияние скорости скольжения на смазочное действие самогенерирующихся органических пленок, образованных индивидуальными углеводородами в условиях трения качения со скольжением: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Ю. М. Гузенко. К.: КМУГА, 1994. 150 с.

13. А. с. № 1289780 СССР. МПК4 В 65 Н 9/14. Механизм привода самонаклада листовой печатной машины / В. А. Андреев, М. С. Ерхман; Специальное конструкторское бюро полиграфического машиностроения. Заявл. 07.01.1985; Оpubл. 15.02.1987. Бюл. № 6, 1987. 3 с.

14. Друкарське устаткування: Підручник / Я. І. Чехман, В. Т. Сенкус, В. П. Дідич, О. В. Босак. Львів: УАД, 2005. 468 с.

References

1. Rayko, M. V. (1970). *Smazka zubchatykh peredach*. Kiev: Tehnika [in Russian].
2. Kadomskiy, V. P. (1971). *Issledovanie smazochnykh sloev tverdoplastichnykh plenok, obrazuyushchikhsya v kontakte detaley pri kachenii so skol'zheniem*. Kiev: KIIGA [in Russian].
3. Guzenko, Yu. M. *Mashina dlja ispytaniya materialov i smazyvayushchih masel na trenie i iznos* // А. с. № 1348714. USSR. G 01 N 3/56. Publish 30.10.1987 [in Russian].
4. Guzenko, Yu. M. (1993). Modernizacija mashiny trenija SMC-2 dlja rasshirenija diapazona odnositel'nogo proskal'zyvaniya obrazcov. *Journal of Zavodskaja laboratoija*, 3, 59 [in Russian].
5. Huzenko, Yu. M. & Maherovskiy, I. T. & Rozumnyi, D. Yu. (2013). Rozshyrennia diapazoniv vidnosnykh prokovzuvan rolykovykh zrazkiv na mashyni tertia SMTs-2 dlja vyprobuvannia materialiv zubchastykh peredach. *Journal of Tezy dopovidei XIV Mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konferentsii 'Prohresyva tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita'*, 54–55. Kyiv: NTUU 'KPI' [in Ukrainian].
6. Guzenko, Yu. M. *Sposob opredelenija tolshchiny smazochnykh plenok pri ispytaniyah materialov zubchatykh peredach* // А. с. № 1649250. USSR. G 01 B 7/06; G 01 N 3/56. Publish 15.05.1991 [in Russian].
7. Huzenko, Yu. M. & Krasavin, O. P. & Kvasha, M. I. (2012). Udoskonalenyi metod vyznachennia tovshchyny zماشчуvalnykh plivok pry trybotekhnichnykh vyprobuvanniakh materialiv zubchastykh peredach. *Journal of Tezy*



dopovidei XII Vseukrainskoi molodizhnoi nauk.-tekhn. konferentsii 'Mashynobuduvannia Ukrainy ochyma molodykh: prohresyvni idei-nauka-vyrobnytstvo', 21–23. Kyiv: NTUU 'KPI' [in Ukrainian].

8. Reshchikov, V. F. (1975). *Trenie i iznos tjazhelonagruzhennyh peredach*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

9. Guzenko, Yu. M. *Sposob opredelenija tolshchiny granichnyh smazochnyh plenok pri ispytaniyah materialov zubchtyh peredach* // Patent № 2055344. Russian Federation. G 01 N 3/56. Publish 27.02.1996 [in Russian].

10. Huzenko, Yu. M. *Prystrii dlia vyznachennia tovshchyny zماشчуvalnykh plivok pry vyprobuvanniach materialiv zubchastykh peredach* // Patent № 42234. Ukraine. G 01 N 3/56; F 16 H 57/00. Publish 15.10.2001 [in Ukrainian].

11. Huzenko, Yu. M. & Turovskiy, V. I. & Perelai, S. Yu. (2013). Udoskonalenyi prystrii dlia vyznachennia tovshchyny zماشчуvalnykh plivok pry vyprobuvanniakh materialiv zubchastykh peredach. *Journal of Tezy dopovidei XIV Mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konferentsii 'Prohresyvna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita'*, 56–58. Kyiv: NTUU 'KPI' [in Ukrainian].

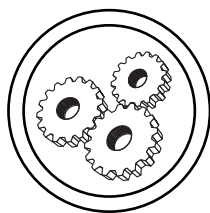
12. Guzenko, Yu. M. (1994). *Vlihanie skorosti skol'zhenija na smazochnoe deystvie samogeneriruyushchikhsja organicheskikh plenok, obrazovannyh individual'nymi uglevodorodami v usloviyah kachenija so skol'zheniem*. Kiev: KMUGA [in Russian].

13. Andreev, V. A. & Erkhman, M. S. *Mekhanizm privoda samonaklada listovoy pechatnoy mashiny* // A. s. № 1289780 USSR. МРК4 V 65 N 9/14. Publish 15.02.1987 [in Russian].

14. Chekhman, Ia. I. & Senkus, V. T. & Didych, V. P. & Bosak, O. V. (2005). *Drukarske ustatkuvannia*. Lviv: UAD [in Ukrainian].

В статье рассматривается модернизированное устройство для определения толщины смазочных пленок при испытаниях материалов зубчатых передач. Суть модернизации такого устройства решается дополнительным использованием в нем, кроме последовательно соединенных с роликовыми образцами амперметра, реостата, аккумуляторной батареи и выключателя; параллельно соединенного с образцами вольтметра жесткой токопроводящей пластины и двух вольтметров, соединенных одними концами между собой и жесткой токопроводящей пластиной, а вторыми концами с отдельными образцами.

Указанное устройство, кроме определения толщины масляной пленки и общей толщины граничных смазочных пленок на рабочих поверхностях обоих роликовых образцов, обеспечивает также возможность их определения на рабочей поверхности каждого образца отдельно, что значительно расширяет его функциональные возможности при физическом моделировании условий работы закрытых зубчатых передач печатного оборудования.



Ключевые слова: устройство; толщина; смазочная пленка; испытание материалов; зубчатая передача; угловая скорость; роликовый образец; падение электрического напряжения; смазочный материал.

The article considers the upgraded device to determine the thickness of lubricating films when testing the gear materials. The content of modernization of such a device includes apart from the connected in series the rolling samples of ammeter, rheostat, battery and switch as well as the voltmeter samples connected in parallel with the additional the rigid conductive plate and two voltmeters connected by ones of their ends between themselves and the rigid conductive plate and by the other ones with the individual samples.

The mentioned above device in addition to the determining the oil film thickness and the total thickness of boundary lubricating films on the working surfaces of both roller samples provides also the possibility of determining on the working surface of each sample separately. This enhances significantly its functional capacity for physical simulation of work conditions for closed gear trains of the printing equipment.

Keywords: device; thickness; lubricant film; testing the materials; gear transmission; angular velocity; roller sample; drop of electric voltage; lubricant.

Рецензент — Л. Ф. Головки, д.т.н.,
професор, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції 25.12.17