

УДК 621.829

Д. В. Онопрейчук

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МАШИН ІНЖЕНЕРНОГО ОЗБРОЄННЯ ШЛЯХОМ ОБРОБЛЕННЯ РОБОЧОЇ РІДИНИ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИМ ПОЛЕМ

Розглядається фізико-математична модель підвищення продуктивності машин інженерного озброєння шляхом оброблення робочої рідини електростатичним полем.

**К л ю ч о в і с л о в а:** машини інженерного озброєння, робоча рідина, електростатичне оброблення, поверхнево-активні речовини, об'ємний коефіцієнт корисної дії.

**Постановка проблеми.** Аналіз досліджень технічного стану машин інженерного озброєння (МІО) показав, що на сьогоднішній день кількість зразків МІО з об'ємним гідроприводом, строк експлуатації яких більше 20 років, складає 100 %. Тенденція до погіршення якісного стану МІО зберігається, що ставить під сумнів надійність та своєчасність виконання завдань за призначенням [1]. Це, перш за все, пов'язане зі зниженням продуктивності машин, з причини зносу головного агрегата гідроприводу – насоса.

Враховуючи економічну неспроможність держави до оновлення парку інженерних машин та навіть до агрегатного методу ремонту, гостро постає проблема подовження строків експлуатації техніки, а найголовніше – підтримання її експлуатаційних показників (продуктивності) на належному рівні, який забезпечуватиме своєчасне виконання поставлених завдань.

**Огляд останніх досліджень і публікацій** дозволяє зробити висновок, що одним з перспективних методів підвищення експлуатаційних характеристик насоса є оброблення робочої рідини електростатичним полем [1–5].

**Мета статті** – розроблення фізико-математичної моделі процесу підвищення продуктивності МІО.

**Виклад основного матеріалу.** Продуктивність є базовим інтегральним показником і мірою виробничої ефективності. Він залежить від багатьох факторів: конструкції і технічного стану МІО; виду виконуваних робіт і т. д. Середнє значення продуктивності МІО під час виконання інженерних робіт на ділянках місцевості, що характеризуються різними умовами роботи, можна представити виразом

$$P_{CP} = \sum_{i=1}^m P_i \cdot P_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – продуктивність машини під час роботи на  $i$ -й ділянці;  $P_i$  – ймовірність такої роботи (питома вага обсягу робіт на ділянці).

Розглянемо зміну продуктивності у функції тривалості робочого циклу, оскільки МІО обладнані об'ємним гідроприводом і тривалість роботи циклу визначається швидкістю виконавчих елементів різних операцій виконання робіт.

Годинна експлуатаційна продуктивність (на прикладі ЕОВ 4421) визначається виразом

$$P_{EG} = P_{TG} \cdot K_T = \frac{q \cdot K_H \cdot K_Q}{K_P \cdot T_{Ц}} \cdot K_T \cdot K_O, \quad (2)$$

де  $P_{TG}$  – годинна технічна продуктивність, *од.прод./маш.год*;  $q$  – об'єм ковша ЕОВ-4421,  $m^3$ ;  $K_H$  – коефіцієнт наповнення ковша;  $K_Q$  – коефіцієнт використання машини за часом;  $K_P$  – коефіцієнт розпушення ґрунту;  $K_T$  – коефіцієнт переходу від технічної продуктивності до експлуатаційної;  $K_O$  – коефіцієнт, що враховує вплив на продуктивність кваліфікації оператора;  $T_{Ц}$  – тривалість повного робочого циклу машини, *маш.год*.

Тривалість робочого циклу МІО складається з часу окремих операцій. Для гідрофікованої машини час окремої операції можна визначити за формулою

$$t_i = \frac{L_i \cdot F_i}{Q_{t_i} \cdot \eta}, \quad (3)$$

де  $L_i$  – середнє переміщення поршня гідроциліндра (виконавчого робочого органу) за час  $i$ -ї операції циклу,  $m$ ;  $F_i$  – площа поршня керуючого гідроциліндра,  $m^2$ ;  $Q_i$  – середня витрата робочої рідини за час  $i$ -ї операції циклу,  $m^3/год$ ;  $\eta$  – об’ємний ККД насоса.

Тоді тривалість повного робочого циклу відобразить залежність

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \cdot F_i}{Q_i \cdot \eta}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість окремих операцій в повному робочому циклі ЕОВ-4421.

Номинальна тривалість повного робочого циклу (за умови  $\eta = \eta_H$ , тобто об’ємний ККД насоса має номінальне значення) визначатиметься виразом

$$T_{\text{цн}} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \cdot F_i}{Q_i \cdot \eta_H}. \quad (5)$$

Можна вважати, що відношення поточної і номінальної годинної експлуатаційної продуктивності залежить, головним чином, від співвідношення тривалості робочих циклів для номінальної і поточної годинної експлуатаційної продуктивності

$$\frac{P_{\text{ЕГ}}}{P_{\text{ЕГН}}} = \frac{T_{\text{цн}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (6)$$

де  $P_{\text{ЕГН}}$  – номінальна годинна експлуатаційна продуктивність;  $T_{\text{цн}}$  – тривалість повного робочого циклу, що відповідає номінальній годинній експлуатаційній продуктивності, *маш.год*.

Використовуючи вирази (4), (5) і (6), отримаємо

$$\frac{P_{\text{ЕГ}}}{P_{\text{ЕГН}}} = \frac{\eta}{\eta_H}. \quad (7)$$

Правильність співвідношення (7) підтверджують експериментальні дослідження, проведені у Красноярьському філіалі ВНДІбуддормашу.

Із залежності (7) визначимо годинну експлуатаційну продуктивність

$$P_{\text{ЕГ}} = P_{\text{ЕГН}} \cdot \frac{\eta}{\eta_H}. \quad (8)$$

У свою чергу зміну об’ємного ККД насоса визначає інтенсивність зносу поверхонь тертя, тобто величина зазора плунжерної пари насоса [6; 7]. За умови рівномірного зносу всіх плунжерних пар насоса сумарний граничний знос визначатиметься виразом

$$U_{\text{ГР}} = N_{\text{ПЛ}} (\delta_{\text{ГР}} - \delta_0), \quad (9)$$

де  $N_{\text{ПЛ}}$  – кількість плунжерних пар насоса;  $\delta_{\text{ГР}}$  – граничний зазор в одному спряженні, *мкм*;  $\delta_0$  – початковий зазор, *мкм*.

Величину зазора в спряженнях можна визначити, знаючи ККД насоса

$$\eta = \frac{Q_{\text{ПН}}}{Q_0} = \frac{Q_0 - Q_{\text{ВТ}}}{Q_0} = 1 - \frac{Q_{\text{ВТ}}}{Q_0}, \quad (10)$$

де  $Q_{\text{ПН}}$  – подача насоса за умов номінального тиску і частоти обертання, *л/хв*;  $Q_0$  – подача насоса за умов мінімального тиску в нагнітальній магістралі і номінальної частоти обертання, *л/хв*.

$$Q_{\text{ПН}} = V_0 \cdot n - Q_{\text{ВТ}}, \quad (11)$$

де  $V_0$  – робочий об’єм насоса, що залежить від кількості плунжерів, їх діаметра та ходу,  $m^3$ ;  $n$  – частота обертання вала насоса,  $c^{-1}$ ;  $Q_{\text{ВТ}}$  – величина витікання робочої рідини через зазори спряжень насоса,  $m^3/c$ .

Величина сумарних витікань через зазори визначатиметься за формулою

$$Q_{\text{ВТ}} = \frac{\pi \cdot k_e \cdot N_{\text{ПЛ}} \cdot \Delta p \cdot d_{\text{ПЛ}} \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot l_{\text{ПЛ}}}, \quad (12)$$

де  $k_e$  – коефіцієнт, що враховує ексцентриситет розташування плунжера відносно осі втулки;  $\Delta p$  – перепад тиску в насосі, *МПа*;  $d_{\text{ПЛ}}$  – діаметр плунжера, *м*;  $\mu$  – динамічна в’язкість робочої рідини, *Па·с*;  $l_{\text{ПЛ}}$  – середня довжина зазора, що дорівнює половині ходу поршня, *м*.

Підставивши (12) у (10), отримаємо рівняння для визначення зазора в плунжерній парі насоса:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \mu \cdot l_{\text{пл}} \cdot (Q_0 - Q_{\text{пл}})}{\pi \cdot k_e \cdot N_{\text{пл}} \cdot \Delta p \cdot d_{\text{пл}}}} \quad (13)$$

Необхідно врахувати, що на поверхнях тертя плунжерної пари знаходиться шар змащувальної плівки, із збільшенням якого зменшується об'єм робочої рідини (РР), що витікає, та інтенсивність зносу поверхонь.

Таких результатів можна досягти за допомогою оброблення РР електростатичним полем [1; 2; 5]. На основі фізичних процесів, що проходять на поверхні тертя в мастильному середовищі, та впливу електростатичного оброблення РР на ці процеси, що описано в роботах [1; 2; 4; 8; 9], розглянемо формування мастильного шару.

У роботі [10] визначення товщини мастильного шару (адсорбованих молекул присадки) починається з визначення напруженості електростатичного поля рівномірно розподіленого заряду іонних остовів ділянки поверхні радіусом  $r_1$  у точці на осі, перпендикулярній до поверхні (рис. 1).

Із [11] потенціал поля поверхневого заряду дорівнює

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_S \frac{\sigma \cdot dS}{r}, \quad (14)$$

де  $r$  – відстань між елементом площі  $dS$  і точкою, в якій шукаємо потенціал;  $\varepsilon$  – діелектрична проникність РР;  $\varepsilon_0$  – електрична стала;  $\sigma = \frac{q_i}{a_0^2}$  – щільність заряду на ділянці поверхні;  $q_i$  – заряд одного іонного остова, Кл;  $a_0$  – міжатомна відстань у кристалічній решітці металу.

Для рис.1 вираз (14) матиме вигляд:

$$\varphi(d) = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_S \frac{\sigma \cdot dx dy}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}, \quad (15)$$

де  $x, y$  – координати довільної точки поверхні  $M$ .

Для знаходження інтеграла перейдемо до полярних координат у площині кола (рис. 1). При цьому  $x^2 + y^2 = c^2$ ,  $dx \cdot dy = c \cdot dc \cdot da$ . Тоді

$$\varphi(d) = \frac{\sigma}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{r_1} \frac{c dc}{\sqrt{c^2 + h^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot (\sqrt{r_1^2 + h^2} - h), \quad (16)$$

де  $r_1 = \sqrt{r^2 - d^2}$  – радіус площадки зносу, що залежить від висоти зрізаної нерівності  $d$ .

Звідси напруженість електростатичного поля ділянки поверхні визначається виразом

$$E_h = -\frac{\partial \varphi}{\partial d} = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \left( 1 - \frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}} \right). \quad (17)$$

Знаючи напруженість поля, визначимо потенційну енергію молекули присадки  $W_{\text{п}}$ , що знаходиться в області дії даного поля на осі OZ (рис. 1), враховуючи, що вісь диполя розташована нормально до поверхні. Тоді

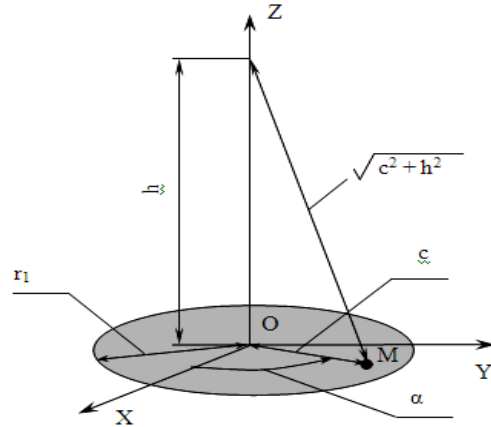


Рис. 1. Схема визначення напруженості поля ділянки поверхні діаметром  $2r_1$

$$W_{II} = -pE_h = -\frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}}\right), \quad (18)$$

де  $p$  – дипольний момент молекули поверхнево-активної речовини (ПАР).

Одночасно з адсорбційними процесами на поверхні трибосполучень відбуватимуться процеси десорбції, викликані хаотичним рухом молекул. Це пов'язано з тим, що всі молекули мають кінетичну енергію, величина якої залежить від температури рідини. Якщо зазначена енергія перебільшуватиме енергію взаємодії молекули ПАР з поверхнею, то це призведе до її десорбції. У зв'язку з цим умова адсорбційно-десорбційної рівноваги матиме вигляд

$$W_{II} \geq W_T, \quad (19)$$

де  $W_T$  – кінетична енергія молекули ПАР, що визначається за формулою

$$W_T = K \cdot T, \quad (20)$$

де  $K$  – стала Больцмана;  $T$  – температура РР,  $K$ .

З умови (19) визначимо відстань, на якій можливе утримання молекули ПАР електростатичним полем поверхні.

$$W_T = \frac{p\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{h}{\sqrt{r_1^2 + h^2}} - 1\right). \quad (21)$$

Проведемо заміну:  $k = (2\varepsilon\varepsilon_0)/(p\sigma)$  і визначимо відстань  $h$ .

$$h = r_1 \cdot \sqrt{\frac{(W_T k + 1)^2}{2W_T k - W_T^2 k^2}}. \quad (22)$$

Максимальна товщина мастильної плівки графічно визначатиметься в точці перетину значення енергії взаємодії молекули присадки з поверхнею тертя та значенням енергії теплових коливань молекули (рис. 2) [4].

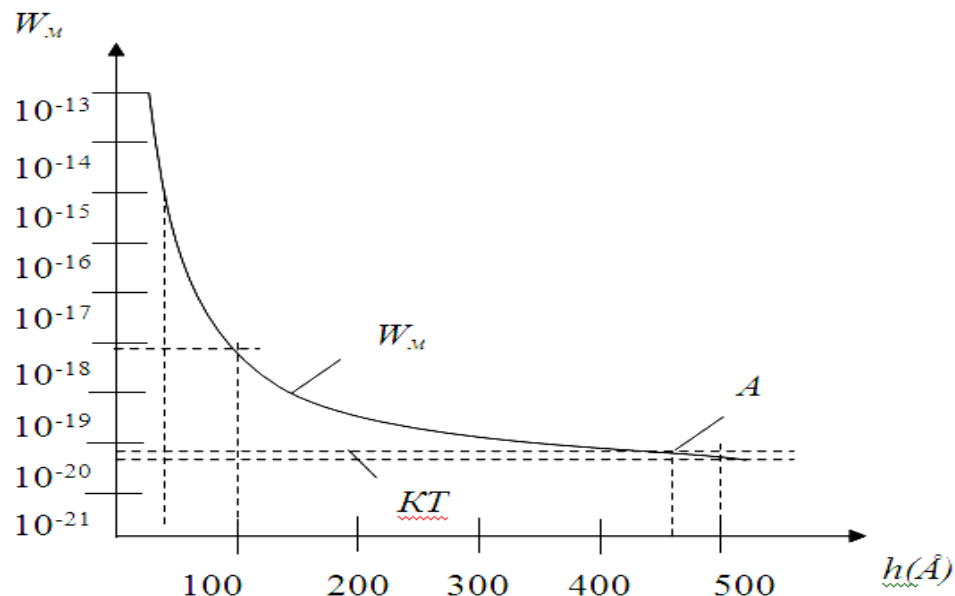


Рис. 2. Графік зміни потенційної енергії молекули присадки  $W_m$  у мастильному шарі залежно від його товщини  $h$ :  $A$  – точка припинення адсорбції ( $W_m = W_T$ )

За допомогою даної моделі розглянуто варіант знаходження молекули присадки в мастильному матеріалі у вигляді мономеру без впливу зовнішніх силових полів.

Під час оброблення РР електричним полем [4; 12; 13] дипольні моменти молекул ПАР орієнтуються в одному напрямку, змінюючи хаотичне розташування молекул у міцелі на орієнтоване за вектором поля. Дипольний момент такої структури адсорбує на поверхню тертя і її величина зростає у  $N$  разів:

$$p' = p \cdot N, \quad (23)$$

де  $N$  – кількість диполів у надмолекулярній структурі.

Енергія взаємодії домена та поверхні тертя матиме вигляд:

$$W_{об} = W_{\Pi} + \Delta W. \quad (24)$$

Величина  $\Delta W$  залежить від напруження зовнішнього електростатичного поля  $E_{36}$ , тобто  $\Delta W = f(E_{36})$ . Звідси

$$\Delta W = p' \cdot E_{36} = p \cdot N \cdot E_{36}. \quad (25)$$

Умова адсорбційно-десорбційної рівноваги матиме вигляд

$$W_{\Pi} + \Delta W \geq W_T. \quad (26)$$

З умови (25) визначимо товщину мастильної плівки у разі оброблення мастильного середовища електростатичним полем, підставивши (26) у (22):

$$h_{об} = r_1 \cdot \sqrt{\frac{((W_T - \Delta W)k + 1)^2}{2(W_T - \Delta W)k - (W_T - \Delta W)^2 k^2}}. \quad (27)$$

Для розрахунку використаємо такі вихідні дані:

- відстань між позитивно зарядженими центрами  $a_0 = 5 \text{ \AA}$ ;
- заряд одного центра  $q_i = 0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ;
- радіус мікронерівності  $r = 0,08 \text{ мкм}$ ;
- дипольний момент молекули  $p \approx 0,2 \cdot 10^{-29} \text{ Кл}\cdot\text{м}$ ;
- діелектрична проникність робочої рідини  $\varepsilon = 2,6$  [4];
- температура робочої рідини у місці контакту поверхонь  $T = 300 \text{ К}$  [14];
- електрична стала  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н}\cdot\text{м}^2)$ ;
- кількість молекул у домені  $N = 1200 \text{ шт.}$  [12];
- напруженість електростатичного поля, яким оброблюють РР,  $E = 1,25 \cdot 10^6 \text{ В/м}$  [5; 8];
- стала Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ .

У результаті розрахунку отримаємо  $h_{об} = 0,22 \text{ мкм}$ .

Товщина мастильної плівки без оброблення РР електростатичним полем згідно з формулою (22) дорівнюватиме  $h = 0,117 \text{ мкм}$ .

Відповідно  $\frac{h_{об}}{h} = \frac{0,22}{0,117} \approx 1,88$ .

Таким чином, оброблена електричним полем робоча рідина утворює на поверхні тертя мастильну плівку майже вдвічі товщу, ніж без оброблення.

Зазор у плунжерній парі у випадку оброблення РР електростатичним полем зменшиться на  $2h$ . Підставивши (24) у (26), вираз (13) матиме вигляд:

$$\delta_{об} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \mu \cdot l_{\Pi\Pi} \cdot (Q_O - Q_{\Pi\Pi})}{\pi \cdot k_6 \cdot N_{\Pi\Pi} \cdot \Delta p \cdot d_{\Pi\Pi}}} - 2 \cdot r_1 \sqrt[3]{\frac{((W_T - p \cdot N \cdot E_{36})k + 1)^2}{2(W_T - p \cdot N \cdot E_{36})k - (W_T - p \cdot N \cdot E_{36})^2 k^2}}. \quad (28)$$

Зі зменшенням зазора зменшиться і величина витікань. Отже, підставивши вираз (28) у (12), знайдемо величину сумарних витікань через зазори

$$Q_{вт} = \frac{\pi \cdot k_6 \cdot N_{\Pi\Pi} \cdot \Delta p \cdot d_{\Pi\Pi}}{12 \cdot \mu \cdot l_{\Pi\Pi}} \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \mu \cdot l_{\Pi\Pi} \cdot (Q_O - Q_{\Pi\Pi})}{\pi \cdot k_6 \cdot N_{\Pi\Pi} \cdot \Delta p \cdot d_{\Pi\Pi}}} - 2 \cdot r_1 \sqrt[3]{\frac{((W_T - p \cdot N \cdot E_{36})k + 1)^2}{2(W_T - p \cdot N \cdot E_{36})k - (W_T - p \cdot N \cdot E_{36})^2 k^2}} \right)^3. \quad (29)$$

Зі зменшенням витікань збільшиться ККД насоса, який можна обчислити за формулою

$$\eta_{об} = 1 - \frac{\pi \cdot k_6 \cdot N_{III} \cdot \Delta p \cdot d_{III}}{12 \cdot \mu \cdot l_{III}} \cdot \frac{\left( \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \mu \cdot l_{III} \cdot (Q_0 - Q_{III})}{\pi \cdot k_6 \cdot N_{III} \cdot \Delta p \cdot d_{III}}} - 2 \cdot r_1 \sqrt{\frac{((W_T - p \cdot N \cdot E_{зс})k + 1^2)}{2(W_T - p \cdot N \cdot E_{зс})k - (W_T - p \cdot N \cdot E_{зс})^2 k^2}} \right)^3}{Q_0}. \quad (30)$$

Для розрахунку ККД насоса у разі оброблення РР електростатичним полем використаємо параметри та характеристики аксіально-поршневого насоса 321.224 з об'ємним ККД 0,8, що на 17 % менше номінального значення

$$\eta_{об} = 0,874.$$

Отже, у разі оброблення РР електростатичним полем ККД насоса буде більшим ніж ККД насоса без оброблення (час напрацювання РР однаковий). Звідси, згідно з виразом (8), визначимо годинну експлуатаційну продуктивність ЕОВ 4421 після електрооброблення РР:

$$P_{EG}^{об} = P_{EGH} \cdot \frac{\eta_{об}}{\eta_H} = 70 \cdot \frac{0,874}{0,95} = 64,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Без електрооброблення  $P_{EG} = 58,3 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Звідси приріст продуктивності МІО у випадку оброблення РР електростатичним полем складатиме

$$\Delta P = P_{EG}^{об} - P_{EG} = 64,4 - 58,3 = 6,1 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, приріст продуктивності складає 9 %, що свідчить про скорочення часу на виконання інженерних робіт, тобто про підвищення темпу.

## Висновки

1. Розроблено фізико-математичну модель процесу збільшення продуктивності (темпу робіт) МІО за критерієм товщини мастильної плівки. Модель також враховує у процесі формування мастильної плівки надмолекулярні структури у РР, що утворюються під дією зовнішнього силового поля, та напруженість даного поля.

2. Отримано аналітичну залежність товщини мастильної плівки на поверхнях тертя від напруженості електростатичного поля, що впливає на РР.

## Список використаних джерел

1. Лисіков, Є. М. Підвищення темпу інженерних робіт при виконанні службово-бойових завдань ВВ МВС України шляхом модернізації гідроприводу машин інженерного озброєння [Текст] / Є. М. Лисіков, Д. В. Онопрійчук // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Вип. 2. – Х., 2010. – С. 19–22.

2. Повышение ресурса технических систем путем воздействия электрическими и магнитными полями [Текст] / Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. Н. Лысиков и др. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2006. – 544 с.

3. Косолапов, В. Б. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин при воздействии внешнего электрического поля на рабочую жидкость [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Косолапов Віктор Борисович. – Х., 1995. – 212 с.

4. Лысиков, Е. Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин. – Х. : ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

5. Лисіков, Є. М. Швидкість зносу спряжень в гідроприводах технічних систем при обробці робочої рідини електростатичним полем [Текст] / Є. М. Лисіков, Д. В. Онопрійчук // Механіка і машинобудування. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2010. – № 1. – С. 171–176.

6. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Аврунин, И. В. Грицай, И. Г. Кириченко и др. – Х. : ХНАДУ, 2008. – 412 с.

7. Техническая диагностика гидравлических приводов [Текст] / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта и др. ; под общ. ред. Т. М. Башты. – М. : – Машиностроение, 1989. – 264 с.

8. Онопрейчук, Д. В. Вплив напруження електростатичного поля на товщину мастильної плівки в гідроприводі при граничному терті [Текст] / Д. В. Онопрейчук // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Вип. 122. – Х. : УкрДАЗТ, 2011. – С. 282–288.

9. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 471 с.

10. Лысиков, Е. Н. Расчет толщины адсорбированных слоев молекул ПАВ на поверхностях трибосопряжений [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин // Автомобильный транспорт: сборник науч. тр. – Вип. 7–8. – Х. : ХНАДУ, 2001. – С. 95 – 99.

11. Матвеев, А. Н. Электричество и магнетизм [Текст] / А. Н. Матвеев. – М. : Высш. шк., 1983. – 463 с.

12. Адамчик, А. Жидкие кристаллы [Текст] / А. Адамчик, З. Стругальский: пер. с польского; под ред. И. Г. Чистякова. – М. : Сов. радио, 1979. – 160 с.

13. Спосіб обробки рідких мастильних матеріалів [Текст] : патент UA № 83946, МКП7: C10N. № а 2007 01155. / Лисіков Є. М., Воронін С. В.; заявл. 15.02.07; опубл. 26.08.08, Бюл. № 16.

14. Матвеевский, Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов [Текст] / Р. М. Матвеевский. – М. : Высш. шк., 1971. – 225 с.

*Стаття надійшла до редакції 24.10.2011 р.*