

УДК 536.12:621.891

Ю.П. Сальник, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник

Академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО СТАНУ МЕТАЛІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ТА СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ЗМІШАНОГО ТЕРТЯ

*Розвинуто підхід до розрахунку температури в трибоз'єднаннях за умов контакту через шар мастила на ділянках співдотику. Досліджено поведінку максимальної контактної температури залежно від товщини пружногідродинамічної плівки з урахуванням змінності радіуса області контакту навантажених вузлів тертя. Встановлено, що при дуже тонкій плівці змащувальної речовини і відсутності зношування середня температура на контакті може досягати досить великих значень.*

**Ключові слова:** елементи тертя систем озброєння, змішане тертя, теплові режими, максимальна контактна температура, мікрогеометрія контактуючих поверхонь, пружногідродинамічна плівка, зближення вершин нерівностей, зношування.

### Вступ

**Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури.** В процесі експлуатації машин і механізмів, а також в умовах ведення сучасних бойових дій, їх властивості не залишаються незмінними. Зовнішньо зміна технічного стану агрегатів і систем армійської техніки проявляється у зниженні їх динамічних якостей, збільшенні витрат пального та змащувачів матеріалів; крім того відбувається поступове, природне зношування деталей та складових агрегатів.

Питання надійності та довговічності агрегатів машин пов'язані з тертям їх спряжених і контактуючих деталей [1 – 3].

Важливе значення для надійної роботи трибоз'єднань має поведінка шару мастила на ділянках співдотику поверхонь твердих тіл. При цьому, залежно від умов роботи вузла тертя, можливі три режими змащування: гідродинамічний, пружногідродинамічний (ПГД) і граничний [3]. Умови ПГД змащування мають місце як в тяжконавантажених елементах машин (шестерні, кулькові і роликові підшипники) так і в м'яких гумових ущільнювачах, підшипниках ковзання тощо [4 – 8]. ПГД змащувальний шар утворюється між пружнодеформівними твердими поверхнями. Основний вплив на такий шар має зміна в'язкості мастила при збільшенні тиску, а також модулі пружності матеріалів пари тертя. Відомо, що при певних умовах ПГД плівка руйнується, тертя і зношування на фрикційному контакті зростають. При цьому виникають умови змішаного тертя: одна частина навантаження передається через вершини мікроступів поверхонь, а інша – через мастило, яке заповнює заглиблення і виїмки. На ділянках сухого тертя металічних поверхонь питомі навантаження можуть досягати великих значень і тут відбувається інтенсивне виділення тепла; воно відводиться в метал, що утворює ділянки контакту, і

в мастило. Внаслідок підвищення температури відбувається подальше збільшення області сухого тертя, де, в кінцевому підсумку, можливе схоплювання металів, задирання та інтенсивне руйнування поверхонь. Таким чином, температура, що розвивається при терті, та викликає нагрівання тонких приповерхневих смуг в спряжених тілах і мастил, що їх розділяє, є одним з найважливіших чинників, що визначає антифрикційні властивості вузлів тертя.

Значний вплив на процеси контактної взаємодії деталей виявляє також мікрогеометрія поверхні [9 – 13]. Відхилення реальної поверхні від ідеальної зумовлене наявністю шорховатостей, які виникають в результаті технологічних процесів виготовлення (обробки) і наступної експлуатації (зношування, спрацьовування). Між рівнем фрикційної температури і параметрами, які описують мікрогеометрію співдотичних поверхонь, існує безпосередній зв'язок. Ймовірніший підхід до вивчення температури тертя у вершинах мікроступів шорстких поверхонь запропоновано в роботах [14, 15]. Розв'язок відповідної нестационарної задачі теплопровідності для одного мікроступу тут отримано за припущення, що радіус контактної області сталій протягом всього перехідного процесу розігріву. Насправді ж, в результаті термічного викривлення поверхні, розміри контактної площадки змінюються з часом [16 – 18].

**Мета статті.** На основі наближеного розв'язку [19, 20] для окремої мікронерівності розвинемо підхід до дослідження залежності максимальної контактної температури від товщини ПГД плівки при змінному радіусі області дотику.

### Основна частина

Розглянемо контакт двох попередньо плоских пружних шорстких поверхонь, що мають середньоквадратичні відхилення піків профілю  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$ . Відомо, що при контакті пружних тіл без тертя контактні напруження залежать тільки від форми

зазору між тілами до прикладення навантаження. Тому систему двох пружних шорстких тіл замінимо плоскою жорсткою поверхнею, що контактує з тілом, яке має ефективні пружні  $(E, \nu)$  і теплофізичні  $(K, k, \alpha)$  модулі, а також еквівалентне середньоквадратичне відхилення піків профілю  $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ , розподілених за нормальним законом

$$f_1(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z+c)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Слід мати на увазі, що максимум на профілометричному сліді, який називають «піком», не обов'язково співпадає з дійсним максимумом на поверхні, що називається «вершиною», оскільки слід є не що інше, як одомірне січення двовимірної поверхні. Для ізотропної поверхні, що має гаусівський розподіл піків профілю (1), розподіл висот вершин також буде гаусівським

$$f_2(z) = \frac{1}{\sigma_*\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z+d)^2}{2\sigma_*^2}} \quad (2)$$

з середньоквадратичним відхиленням [21]

$$\sigma_* = M\sigma, \quad M = \sqrt{1 - 0,8962/\alpha_*} \quad (3)$$

де  $\alpha_*$  – параметр шорсткості.

Розподіл густин ймовірностей  $f_j(z)$  ( $j=1,2$ ), що визначаються виразами згідно (1), (2), показано на рис. 1. Вони мають різні серединні поверхні  $z_1 = -c$  і  $z_2 = -d$ , причому [21 – 23]

$$d = c - 0,8\sigma \quad (4)$$

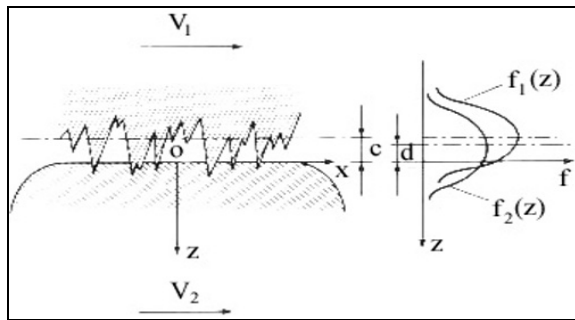


Рис. 1. Схема контактування та розподіл густин ймовірностей двох шорстких поверхонь в умовах змішаного тертя

Згідно моделі Грінвуда-Вільямсона [10] покладаємо, що поблизу вершин нерівності мають форму сферичного сегмента з еквівалентним радіусом  $R_0$ , однаковим для всіх нерівностей.

Встановлено, що на поверхні металічних деталей розміщується декілька шарів [3]: адсорбована плівка масла утворюється як результат взаємодії молекул масла з поверхнею метала, її міцність залежить від властивостей мастила і металу; адсорбова-

на плівка знижує коефіцієнт тертя порівняно з тертям без змащування від 10 до 80 раз.

Основним видом зношування металічних деталей автомобілів і бронетанкових систем на гусеничному ході в умовах експлуатації є механічне зношування, яке безпосередньо пов'язане з рівнем температур в околі ділянки контакту. Правильне визначення характеру нагрівання, зношування та їх прояви на поверхні контакту елементів трибоспряджень, вироблення відповідних методів розрахунку теплових режимів та зменшення інтенсивності зношування дозволяє в значній мірі збільшити строки служби машин в процесі їх експлуатації.

Середня товщина ПГД шару при змішаних умовах тертя наближено може бути знайденою за формулою Даусона-Хігінсона [10]

$$h_0 = 1,6\alpha_p^{0,6} (\eta_0 V)^{0,7} E^{-0,03} R_0^{0,43} P^{-0,13} \quad (5)$$

Тут  $\alpha_p$  – п'єзокоефіцієнт вязкості мастила;  $\eta_0$  – в'язкість масла за відсутності контактного тиску.

Типовий порядок жорсткості ПГД плівки рівний  $10^{11}$  Н/м [22], тоді як еквівалентна жорсткість металічного контакту не перевищує  $10^9$  Н/м. Тому будемо розглядати такий контакт шорстких поверхонь, при якому зближення  $\delta$  вершин нерівностей залежить від їх початкової висоти при сталій товщині  $h_0$  (5) ПГД плівки. Вона в свою чергу пов'язана з статистичними параметрами густини розподілу піків профілю (1) залежністю [15]

$$h_0 = c - 0,5\sigma \quad (6)$$

Розглядаємо контактування під дією нормальної сили  $P$  пружної сфери радіуса  $R_0$  і жорсткого півпростору, який ковзає з сталюю швидкістю  $V$  в напрямку деякої осі. В результаті дії сил тертя в області контакту  $r \leq a$  ( $a \ll R_0$ ) на граничній поверхні  $z = 0$  виділяється тепла енергія. Припускаємо, що все тепло поглинається сферою, а поверхня півпростору теплоізолювана. Вважаємо також, що контакт двох тіл осесиметричний, тобто впливом тангенціальних напружень на контактний тиск нехтуємо.

При вказаних припущеннях розв'язок розглядуваної термоконтактної задачі представимо як суперпозицію таких задач:

- розв'язок квазістатичної задачі термопружності для півпростору, що нагрівається тепловим потоком

$$q(r, t) = fVp(r, t)H[a(t) - r], \quad 0 \leq r \leq \infty, \quad t > 0; \quad (7)$$

- розв'язок ізотермічної контактної задачі для пружного тіла, поверхня якого термічно деформована у відповідності з розв'язком задачі термопружності, і жорсткого півпростору.

Температуру  $T(r, t)$  поверхні півпростору, що нагрівається тепловим потоком (7), можна представити у вигляді згортки, використовуючи фундаментальний розв'язок для точкового джерела, наведений в монографії [24]; відповідно матимемо залежність для розподілу температури

$$T(r, t) = \frac{1}{2K\sqrt{\pi k}} \int_0^{t-a(t)} \int_0^{\frac{a(t)}{t-\tau}} \frac{q(s, \tau)}{(t-\tau)^{3/2}} e^{-X^2} I_0(2rS) s ds d\tau, \quad (8)$$

де  $X^2 = \frac{r^2 + s^2}{4k(t-\tau)}$ ,  $S = \frac{s}{4k(t-\tau)}$ ,  $I_0(2rS)$  – модифікована функція Бесселя першого роду порядку нуль [25, 26].

Після інтегрування по змінній  $s$  співвідношення (8) при  $r = 0$  можна записати в наступному виді

$$T(t^*) = \frac{4T_{\max}}{\pi\sqrt{\pi}} \int_0^{t^*} \chi(A) \frac{d\tau^*}{b^3(\tau^*)} d\tau^*, \quad (9)$$

де

$$\chi(A) = 0,5A[1 - F_1(A)]; \quad (10)$$

$$F_1(A) = e^{-A^2} \frac{1}{A} \int_0^A e^{\xi^2} d\xi; \quad (11)$$

$$T_{\max} = \frac{3fVP}{8a_0K}. \quad (12)$$

Відзначимо, що величина  $T_{\max}$  визначає стаціонарну температуру поверхні півпростору в центрі контактної площини даного радіуса  $a_0$  при його нагріванні тепловим потоком (7).

Аналіз зміни безрозмірної максимальної температури  $T^*(t^*)/T_{\max}$  в часі представлено на рис. 2; при цьому безрозмірний параметр  $b_0$  визначає початкове значення розміру ділянки контакту.

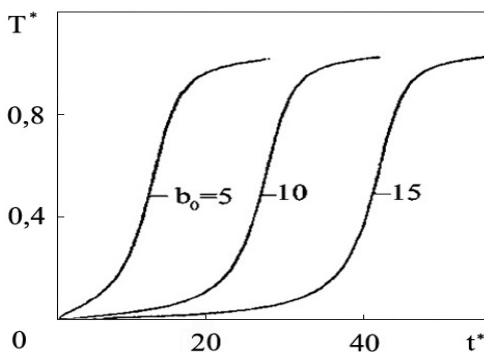


Рис. 2. Зміна в часі безрозмірної максимальної температури

Отримані дані свідчать, що протягом всього перехідного періоду максимальна температура контакту утримується на доволі низькому рівні і лише перед виходом системи в стаціонарний стан спостерігається її стрімке збільшення до рівня  $T_{\max}$ .

При обчисленні інтеграла в співвідношенні (9) і підрахунку функції  $\chi(A)$  (10), функцію  $F_1(A)$  (11) знаходимо за формулами, наведеними в роботі [14]

$$F_1(A) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(-2A^2)^j}{(2j+1)!!}, & A \leq 2,9, \\ \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(2j-1)!!}{(2A^2)^{j+1}}, & A > 2,9. \end{cases}$$

Представимо формулу (12) для максимальної контактної температури в такому виді

$$T_{\max} = \frac{3b_0 fVP}{8a(0)K}, \quad (13)$$

де  $a(0)$  – радіус площадки контакту ізотермічної задачі Герца [10], який зв'язаний із зближенням співвідношенням

$$a(0) = \sqrt{\delta R_0}. \quad (14)$$

Нормальна сила також може бути вираженою через зближення  $\delta$  за формулою Герца

$$P = \frac{4E\delta a(0)}{3}. \quad (15)$$

З врахуванням залежностей (14) і (15) рівність (13) перепишемо так

$$T_{\max} = \frac{b_0 fV\delta}{2K}. \quad (16)$$

Таким чином, максимальна температура в центрі контактної площини залежить від зближення  $\delta$  – параметра, який має стохастичну природу. Отже, температура  $T_{\max}$  (16) також буде випадковою величиною, статистичні параметри якої необхідно встановити.

Оскільки густина ймовірності розподілу висот вершин гаусівська (2), то зближенню вершин  $\delta$  ( $0 \leq \delta < \infty$ ) відповідає обрізаний нормальний розподіл  $f(\delta)$ . Припускаючи додатково, що в області контакту при умові  $\delta > \delta_w$  відбувається зношування вершин нерівностей, отримуємо для зближення  $\delta$  густину ймовірності [11]

$$f_w(\delta) = \frac{c}{\sigma_* \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\delta+d)^2}{2\sigma_*^2}} H(\delta_w - \delta), \quad (17)$$

$$\text{де } c = \left[ \Phi\left(\frac{\delta+d}{\sigma_*}\right) - \Phi\left(\frac{d}{\sigma_*}\right) \right]^{-1};$$

$$\Phi(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\delta} e^{-\frac{s^2}{2}} ds - \text{функція Лапласа [26].}$$

Ввівши безрозмірні змінні

$$h_0^* = h_0 / \sigma, \quad \delta^* = \delta / \sigma, \quad \delta_w^* = \delta_w / \sigma$$

і, прийнявши до уваги рівності (3), (4), (6), запишемо співвідношення (17) у вигляді

$$f_w(\delta^*) = \frac{c^*}{\sigma M \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2(\delta^*)}{2}} H(\delta_w^* - \delta^*), \quad (18)$$

де  $c^* = \{\Phi[Z(\delta_w^*)] - \Phi[Z(0)]\}^{-1}$ ;

$$Z(\delta^*) = (\delta^* + h_0^* - 0,3) / M, \quad Z(0) = (h_0^* - 0,3) / M;$$

$$H(\delta_w^* - \delta^*) = \begin{cases} 1, & \delta_w^* > \delta^*, \\ 0, & \delta_w^* < \delta^* \end{cases} \quad \text{— одинична функція}$$

Гевісайда [26].

Математичне сподівання (середнє значення) зближення вершин нерівностей для густини ймовірностей (18) рівне

$$\begin{aligned} \delta_e^* &= \sigma \int_{-\infty}^{\infty} \delta^* f_w(\delta^*) d\delta^* = \\ &= \frac{Mc^*}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[ e^{-\frac{Z^2(0)}{2}} - e^{-\frac{Z^2(\delta_w^*)}{2}} \right]} + 0,3 + h_0^*, \end{aligned} \quad (19)$$

а квантиль порядку  $q$  знаходимо як корінь трансцендентного рівняння

$$F(\delta_q^*) = q, \quad (20)$$

де  $F(\delta_q^*)$  — функція розподілу випадкової величини  $\delta_q^*$ , яка визначається залежністю

$$F(\delta_q^*) = \sigma \int_{-\infty}^{\delta_q^*} f_w(\delta) d\delta = c^* \{\Phi[Z(\delta_q^*)] - \Phi[Z(0)]\}. \quad (21)$$

Квантиль порядку 0,5 (медіана) відповідає такій величині зближення  $\delta_{0,5}^*$  вершин нерівностей, коли 50 % всіх зближень, менші за  $\delta_{0,5}^*$ .

Середнє значення  $T_{\max}^e$  і медіану  $T_{\max}^{0,5}$  максимальної контактної температури визначаємо за формулою, аналогічною (16), замінивши в ній  $\delta$  на  $\sigma\delta_e^*$  і  $\sigma\delta_{0,5}^*$  відповідно

$$T_{\max}^e = \frac{b_0 f V \delta}{2K} \sigma \delta_e^*; \quad (22)$$

$$T_{\max}^{0,5} = \frac{b_0 f V \delta}{2K} \sigma \delta_{0,5}^*, \quad (23)$$

де  $\delta_e^*$  визначається співвідношенням (19), а  $\delta_{0,5}^*$  знаходиться з розв'язку рівняння (20) при  $q = 0,5$  і функції розподілу (21).

Графічна залежність середнього значення максимальної температури  $T_{\max}^e$  (22) від безрозмірної товщини ПГД плівки  $h_0^*$  приведена на рис. 3. Матеріали пари тертя — сталь, для якої модуль Юнга згідно довідкових даних [27] рівний 120 ГПа, а коефіцієнт теплопровідності — 40 Вт/(м·К). Умови роботи трибоспрямлення визначаються такими параметрами:  $\alpha_* = 4$ ,  $\sigma = 10^{-6}$  м,  $b_0 = 5$ ,  $f = 0,2$ ,  $V = 1$  м/с.

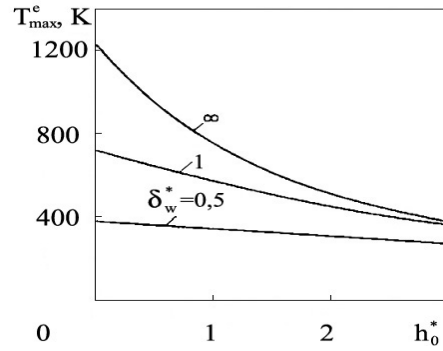


Рис. 3. Залежність середнього значення максимальної температури від безрозмірної товщини ПГД плівки

Приведені графіки, отримані з використанням залежностей (22), (23), показують, що збільшення товщини шару мастила приводить до зменшення температури на контакті. При дуже тонкій ПГД плівці і відсутності зношування ( $\delta_w^* \rightarrow \infty$ ) середня температура може досягати досить великих (порядка 1000 К і вище) значень. Зношування (параметр  $\delta_w^*$ ) обумовлює пониження  $T_{\max}^e$  і  $T_{\max}^{0,5}$ .

## Висновки

Відмітимо, що отримані формули дають змогу розраховувати температуру в центрі контактної області при стаціонарному режимі тепловиділення. Також проведені дослідження показують, що значення нестационарної температури в довільний момент часу можна досить просто знайти шляхом перемноження даних числового розрахунку.

Отже запропонований метод розрахунку нестационарної температури в центрі вершин нерівностей при змішаних умовах тертя дає можливість враховувати зміну геометрії області контакту внаслідок її термічного викривлення.

Показано, що ця температура залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів контактуючих тіл, умов контактування, а також від товщини ПГД шару.

Отримано чисельні залежності середнього значення і медіани максимальної контактної температури від товщини ПГД плівки.

## Список літератури

1. Беляев Ю.К. Надежность технических систем. Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Бокотин; под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 606 с.
2. Харазов А.М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей / А.М. Харазов. — М.: Высш. школа, 1990. — 208 с.
3. Эксплуатация армейских машин: учебн. / под общ. ред. А.Т. Смирнова. — М.: Воениздат, 1978. — 430 с.
4. Андрейкив А.Е. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин / А.Е. Андрейкив, М.В. Чернец. АН УССР. Физ.-мех. ин-т им. Г.В. Карпенко. — К.: Наук. думка, 1991. — 154 с.

5. Дроздов Ю.Н. Противозадирная стойкость трущихся тел / Ю.Н. Дроздов. – М.: Наука, 1981. – 140 с.
6. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.
7. Коваленко Е.В. Износ подшипников скольжения с учетом тепловыделения от трения / Е.В. Коваленко, А.А. Евтушенко // Трение и износ. – 1993. – Т. 14, № 2. – С. 259-269.
8. Матвеевский Р.М. Температурная стойкость смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р.М. Матвеевский. – М.: Наука, 1971. – 228 с.
9. Коротков М.А. Влияние шероховатости на формирование единичной контурной площадки контакта / М.А. Коротков // Вопр. механики. – Калинин. – 1972. – Вып. 15(13). – С. 163-177.
10. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
11. Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей / Я.А. Рудзит. – Рига: Зинатне, 1975. – 216 с.
12. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1994. – 228 с.
13. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
14. Евтушенко А.А. Нестационарное теплообразование на контакте скольжения шероховатых поверхностей в условиях смешанного трения / А.А. Евтушенко, О.М. Уханская // ДАН Украины. – 1993. – № 11. – С. 51-57.
15. Свириденко А.И. Механика дискретного фрикционного контакта / А.И. Свириденко, С.А. Чижик, М.И. Петроковец. – Минск: Наука і техника, 1990. – 272 с.
16. Евтушенко А.А. Нестационарный фрикционный разогрев упругого шероховатого тела / А.А. Евтушенко, Е.Г. Иваник, Е.В. Коваленко // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 1. – С. 17-25.
17. Богданович П.Н. Температура на локальных участках скольжения контакта / П.Н. Богданович, В.М. Белов, Н.В. Сысов // Трение и износ. – 1993. – Т. 14, № 5. – С. 842-850.
18. Боуден Ф.П. Температура поверхности трущихся тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор // Трение и граничная смазка. Сборник статей под ред. И.В. Крагельского. – М.: Изд-во иностр. лит., 1953. – С. 231-254.
19. Евтушенко А.А. Нестационарное распределение фрикционной температуры в окрестности единичного пятна касания вершин микронеровностей / А.А. Евтушенко, Е.Г. Иваник // Трение и износ. – 1994. – Т. 15, № 6. – С. 949-957.
20. Галазюк В.А. Нестационарный фрикционный разогрев выступов микронеровностей скользящего контакта / В.А. Галазюк, А.А. Евтушенко, И.Н. Турчин // Инж.-физ. журн. – 1996. – Т. 69, № 5. – С. 768-772.
21. Hofman S. Determination of stresses in elastohydrodynamically lubricated elements on the basis of measured pressure and temperature distributions / S. Hofman, M. Szczerek // Wear. – 1988. – V. 123, N 3. – P. 333-344.
22. Wisniewski M.R. Thermomechanical aspects of mixed friction in concentrated contacts / M.R. Wisniewski // Wear. – 1986. – V. 111, N 1. – P. 259-274.
23. Wisniewski M.R. Temperaturverteilung in elasto-hydrodynamischen schmierfilmen / M.R. Wisniewski, K.J. Janczak // Wear. – 1979. – V. 52, N 2. – P. 263-273.
24. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
25. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1986. – 1108 с.
26. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и таблицами / под ред. М. Абрамовиц, И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.
27. Марочник конструкционных сталей станкостроения. – М.: Центральное бюро технической информации, 1958. – 143 с.

Надійшла до редколегії 15.07.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ СМЕШАННОГО ТРЕНИЯ

Ю.П. Сальник, П.И. Ванкевич, Е.Г. Иваник

Развит подход к определению температуры в трибосопряжениях в условиях контакта посредством слоя смазочного материала на площадках контактирования. Исследуется поведение максимальной контактной температуры в зависимости от толщины упругогидродинамической пленки с учетом переменности радиуса области контакта на нагруженных узлах трения. Установлено, что при очень тонкой пленке смазочного вещества и отсутствии изнашивания средняя температура на контакте может достигать достаточно больших значений.

**Ключевые слова:** трущиеся элементы систем вооружения, смешанное трение, тепловые режимы, максимальная контактная температура, микрогеометрия контактирующих поверхностей, упругогидродинамическая пленка, сближение вершин неровностей, износ.

## CALCULATED OF HEAT STATE OF THE METALLIC PART OF UNIT AND MILITARY TECHNICS SYSTEMS BY CONDITION OF MIXED FRICTION

Yu.P. Sahnik, P.I. Vankevych, E.G. Ivanyk

The approach to determinate of temperature in tribologic conjunct by condition of contact with layer of lubricating material on the contact area is developed. The behavior of maximal contact temperature in dependence from thickness of elastohydrodynamically films by into account change of radius contact area powered friction junct is investigation. Is assumed that by much thin film of lubricated substance and wear absence the mean temperature on the contact is possible acquire great values.

**Keywords:** frictional elements of military systems, mixed friction, heat regime, maximal contact temperature, microgeometric of contacting surfaces, elastohydrodynamical films, drawing apex of asperity, wear.