

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ РУХОМИХ СПОЛУЧЕНИХ ПОВЕРХОНЬ З АДСОРБЦІЙНИМ ШАРОМ ПАР НА ЇХ ЗБЛИЖЕННЯ

Косолапов В. Б.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Здійснено аналіз формування локального напруженого стану в основі мікронерівностей під час взаємодії в рухомому трибо сполученні з огляду на товщину адсорбційного шару поверхнево-активних речовин на їхніх поверхнях та величини зовнішнього навантаження. Розроблено методику визначення впливу геометричних параметрів мікронерівностей рухомих сполучених поверхонь та товщини адсорбованого шару поверхнево-активних речовин на їх зближення на основі моделі взаємодії окремих мікронерівностей, яка дозволяє проаналізувати вплив у детермінованих умовах з використанням параметрів у числовій формі. Розв'язання задачі здійснено в додатку Mathcad. Отримано графіки залежності зміни зближення мікронерівностей поверхонь, що сполучаються, від їхніх геометричних параметрів і товщини адсорбованого шару поверхнево-активних речовин. Використання методу дозволяє відображати результати як у кількісній, так і в якісній формах. Метод дає можливість визначити межі впливу адсорбованого шару поверхнево-активних речовин на процес створення умов розвитку процесу зношення поверхонь тертя через втому матеріалу, створювати гнучкіші моделі його аналізу та прогнозування як на основі статистичних даних, так і на оцінках поточних значень факторів зовнішнього впливу на трибосистему.*

***Ключові слова:** адсорбція, плівка ПАР, мікронерівності, субмікронерівність.*

Вступ

У зв'язку з тенденцією збільшення обсягів дорожньо-будівельних робіт існує необхідність забезпечення підвищеної надійності дорожніх машин. Більша частина землерійно-транспортних машин працюють за високих навантажень. Тяжкі умови роботи, динамічне та вібраційне навантаження цих машин знижують надійність і час експлуатації їхніх гідравлічних приводів. Складність процесів тертя та зношування в з'єднаннях реальних деталей машин поки не дозволяють із достатньою точністю проаналізувати їх кількісно. Однак для інженерних розрахунків впливу параметрів шорсткості поверхонь тертя на інтенсивність їх зношування можуть бути використані вже відомі залежності, які визначають взаємозв'язок інтенсивності зношування з параметрами поверхонь тертя. Існують різноманітні моделі формування умов розвитку процесу зношування поверхонь рухливих сполучень. Одним з питань моделювання процесу зношування поверхонь рухливих сполучень є питання впливу адсорбційного шару ПАР на напружений стан в основі їхніх мікронерівностей.

Аналіз публікацій

Грінвуд і Вільямсон (GW) в 1966 року змоделивали взаємодію номінально плоских шорстких поверхонь через статистичне поширення пружного рішення Герца для індивідуальної напівсферичної шорсткості на сукупність нерівностей з гаусовським розподілом [1]. Розглянуті в дослідженні умови взаємодії сполучених шорсткуватих поверхонь відповідають обмежувальним умовам GW моделі, тобто деформація шорсткостей є пружною.

Застосована модель передбачає такі припущення [1]: шорстка поверхня ізотропна; нерівності поблизу їхніх вершин сферичні; всі нерівності мають однаковий радіус кривизни; розподіл висоти нерівностей відповідає гаусовському розподілу; кожна індивідуальна нерівність деформується окремо, і між сусідніми нерівностями немає взаємодії; об'ємна деформація поверхні нижче індивідуальної нерівності незначна.

Під час дослідження І.Д. Ібатулліна кінетики втомного ушкодження та руйнування поверхневих шарів [2] за основу була прийнята кінетична модель росту накопиченої енергії, яка складається з трьох рівнів. Перший рівень моделі передбачає, що вершини нерівностей безпосередньо контакту-

ють вздовж фактичних майданчиків, де діють високі тиски, близькі до значення твердості матеріалу. На них здійснюються такі процеси пошкодження, як зминання, зрушення матеріалу, мікрорізання, схоплювання та перенос речовини. На другому рівні визначається область пружно-пластичних деформацій, де відбуваються знакозмінні циклічні пружно-пластичні деформації. Під час пластичної деформації зі збільшенням щільності дислокацій частина їх утворює мікротріщини, які руйнують кристал. На третьому рівні формується зона багатоциклової контактної утоми внаслідок змінних навантажень, що перевищують межу утоми матеріалу. Механічна енергія, яка витрачається на деформації, розсіюється у вигляді тепла, але частина цієї енергії накопичується у вигляді енергії пружних викривлень кристалічної решітки внаслідок збільшення щільності дислокацій. У процесі накопичення вони досягають критичного значення та призводять до локальних руйнувань.

Відомо, що в процесі взаємодії поверхонь рухомого сполучення в їхньому поверхневому шарі відбувається безперервна адаптація внутрішньої структури через її перебудову до постійно мінливих зовнішніх чинників. Адаптація здійснюється відповідно до принципу найменшого примусу Ле-Шательє-Брауна [3], який передбачає, що реакція системи на зовнішній вплив, яка відхиляє її від стану рівноваги, завжди спрямована на його ослаблення. Кожна перебудова поверхневого шару збільшує ефективність опору зовнішнім впливам незалежно від їхньої структури. Найбільш інтенсивно процеси адаптації внутрішньої структури відбуваються під час припрацювання матеріалів, коли формуються рівноважні для цих умов тертя геометрія та властивості поверхневих шарів. Тому аналіз визначення поверхневих шарів для прогнозування кінетики їх втомного руйнування необхідно здійснювати після завершення процесу припрацювання [2].

Н. Б. Демкін у роботі [4] дійшов висновку, що для металів з високою чистотою оброблення деформація виступів шорсткості буде переважно пружною. Якщо виступ деформувався за умови першого навантаження пластично, то в разі повторного навантаження, поки воно не перевищує перше, деформація буде пружною.

Процес припрацювання сполучених поверхонь супроводжується складними незво-

ротними явищами в тонкому поверхневому шарі. У разі припрацювання змінюються фізико-механічні та теплофізичні властивості поверхневих шарів, макро- і мікрогеометрія. У початковий період припрацювання відбувається інтенсивне зношування нерівностей, отриманих під час механічного оброблення, їх дроблення та пластичне деформування, що зазвичай супроводжується наклепом тонкого поверхневого шару. Під час припрацювання відбувається згладжування нерівностей, часткове або повне знищення первинних нерівностей і встановлення рівноважної шорсткості, відмінної від початкової за формою і розмірами [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Рівноважна шорсткість на поверхнях тертя залежить від таких факторів, як механічні властивості поверхонь, мастила, умови роботи трибосполучення, конфігурація сполучених поверхонь тощо [1, 6, 8, 9]

У роботі [12] наведені параметри рівноважної шорсткості на припрацьованих поверхнях деталей шатунно-кривошипного механізму двигуна СМД-14 після тривалої експлуатації.

Таблиця 1 – Параметри рівноважної шорсткості на припрацьованих поверхнях деталей

Деталь	Клас чистоти	Параметри шорсткості			
		R_a	R_z	r	$t_{p=0.3}$
<i>мкм</i>					
Гільза циліндрів	9	0,19		1000	0,71
Поршневе кільце	10...11		0,38	270	0,57

Наведені дослідження [12] і відповідні рекомендації для вибору величини рівноважної шорсткості поверхні деталей не відображають умови роботи (навантаження, мастило, кліматичні умови тощо), за яких вони отримані. Аналіз шорсткості поверхні за допомогою однієї висотної характеристики R_a або R_z є недостатнім для визначення її експлуатаційних властивостей, тому додатково застосовують такі параметри, як кут нахилу нерівностей, крок нерівностей, радіуси заокруглення вершин мікронерівностей і параметри розподілу нерівностей за висотою. [13, 14, 15, 16]

Згідно з дослідженнями М. М. Хрушова, після закінчення періоду припрацювання відбувається процес стаціонарного зношування, водночас шорсткість залишається приблизно однією і тією самою, незважаючи на

зношення. Тобто шорсткість поверхні відтворюється протягом усього періоду стаціонарної роботи. Це положення визначено експериментально в роботах багатьох дослідників [17...22].

За даними роботи [23], автокореляційна функція, повністю визначає профіль досліджуваної поверхні за умови, що функція профілю $f(x)$ стаціонарна і одночасно підпорядковується розподілу Гауса та визначається двома залежностями

$$N_i = c_0 \delta^m$$

$$A_i = c_1 + c_2 \delta^n$$

де N_i – кількість нерівностей, що перетинаються i -ю площиною, розташованою на відстані δ від базової площини; A_i – сумарна контурна площа нерівностей; c_1 – площа підмудру (базова лінія); c_0, m – константи, що визначають розподіл нерівностей за висотою; c_2, n – константи, що визначають вид нерівностей.

Моделювання поверхонь сполучення у дослідженні здійснено з використанням детермінованої моделі рельєфу, яка, за висновком у роботі [], значно простіша в описанні ніж статистикоімовірнісні моделі (гаусовські [24] та дифузійні [25]). В основі детермінованих моделей побудова поверхні у вигляді сукупності найпростіших геометричних елементів [26, 27]. Наприклад, в роботі [28] геометрична модель мікрорельєфу є сукупністю модулів параболоїдів, що стикаються і мають негладку (рис. 1, а) або гладку (рис. 1, б) «зшивку».

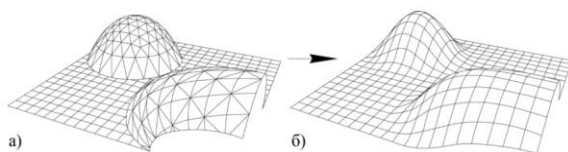


Рис. 1. Модель поверхні у тривимірному просторі

Найбільш загальний вид контактування рухомих поверхонь відповідає шорсткості поверхонь з нелінійним розподілом нерівностей за висотою. Визначення N_i та A_i для такого типу контактування поверхонь наведено в табл. 2. [23]

Згідно з умовою взаємодії шорстких поверхонь кількість контактувальних виступів,

що сприймають навантаження, залежить від товщини мастильної плівки. Навантаження на поверхню сприймається мастильною плівкою з молекул ПАР, передається на виступи поверхні з максимальною висотою R та на виступи, висота яких обмежена товщиною мастильної плівки ($R - h$).

Таблиця 2 – N_i та A_i для шорсткості поверхонь з нелінійним розподілом нерівностей за висотою

Розподіл нерівностей за висотою	c_0	m	c_1	c_2	n	A_i
нелінійний	$\frac{L}{40 \cdot R \cdot \delta^4}$	4	0	$\frac{7 \cdot \pi \cdot L}{36 \cdot R}$	1	$\frac{7 \cdot \pi \cdot L}{36 \cdot R} \cdot \delta^1$

Таким чином, кількість виступів, що взаємодіють, визначаємо за виразом [29]

$$n_r = n \cdot \int_{z-h_{\max}}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(z-M)^2}{2\sigma^2}} dz. \quad (1)$$

де M – математичне очікування середньоарифметичного відхилення профілю; σ – середньоквадратичне відхилення профілю від середньої лінії; z – висота вершин виступів; h_{\max} – товщина мастильної плівки.

У першому наближенні скористаємося уявленням про однорідність полімолекулярного адсорбованого шару, що має постійні характеристики міцності. Несна здатність мастильної плівки, що діє в зоні одиничного контактування, відповідно до закону Гука визначається як [29]

$$N^{пл} = \sigma_{гп}^{пл} \cdot S^{пл} = \sigma_{гп}^{пл} \cdot \pi (2\delta(R+h) - \delta^2), \quad (2)$$

де $\sigma_{гп}^{пл}$ – граничний тиск руйнування мастильної плівки; R – радіус кривизни вершин вістря мікронерівностей; h – поточне значення товщини мастильної плівки; δ – зближення мікронерівностей, м;

Мета та постановка завдання

Метою досліджень було визначення зміни зближення мікроставупів сполучених поверхонь у разі зміни радіуса вершин мікроставупів за умови присутності на них адсорбційного шару ПАР.

Результати досліджень

Моделювання процесу контактування окремих мікроставупів здійснюємо відповідно до розрахункової схеми на рис. 2.

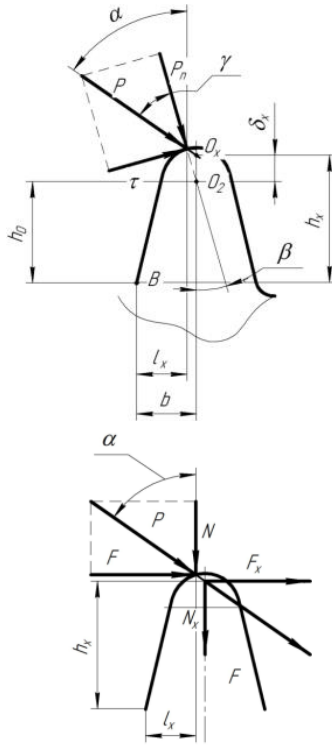


Рис. 2. Розрахункова схема контактування окремих мікроставупів

Сумарна напруженість σ_f на розтягнутому боці нерівності буде дорівнювати

$$\sigma_f(x) = \sigma_n(x) - \sigma_c, \quad (3)$$

де σ_n, σ_c – напруга вигинання та стискання на розтягнутому боці нерівності.

Напруга вигинання на розтягнутому боці нерівності визначається за виразом

$$\sigma_n(x) = [h_0 + \delta(x)] \cdot \frac{32 \cdot F(x)}{(2 \cdot l(x))^3}, \quad (4)$$

де $(h_0 + \delta(x))$ – відстань від точки сполучення нерівностей до небезпечного перерізу; $F(x)$ – горизонтальне зусилля за умови контактування з огляду на тертя; $l(x)$ – відстань

від точки сполучення бічної утворювальної з утворювальною западиною до вертикальної осі симетрії нерівності.

Відповідно до виразу (4), напруга на розтягнутому боці мікроставупів залежить від їхньої геометрії, а також від величини зближення мікроставупів, що взаємодіють. Вона визначається також параметрами адсорбційного шару $\delta(x)$ на їхніх поверхнях. Товщина цього шару (h_{01} та h_{02} на рис. 3), а також його несна здатність N^{III} значно впливають на величину зближення мікроставупів.

За умови $N^{III} \geq N$ зближення мікронерівностей визначаємо за схемою контактування на рис. 3.

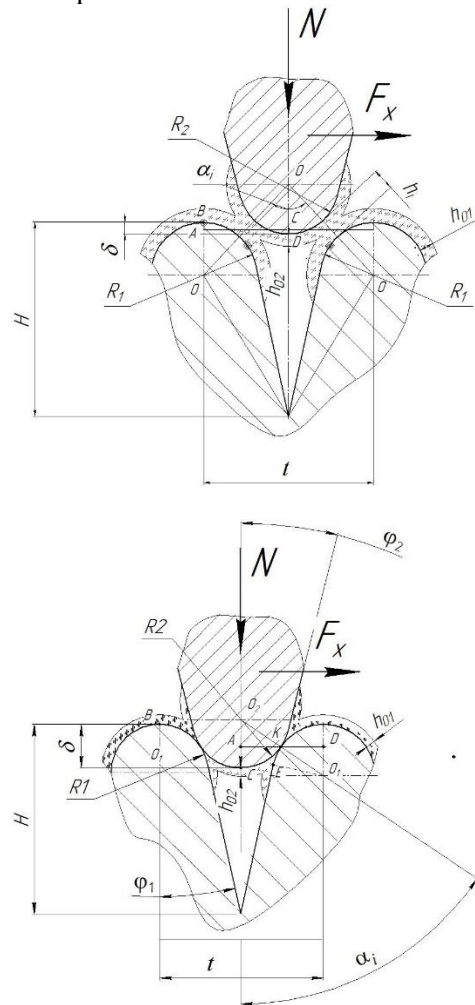


Рис. 3. Схема контактування мікронерівностей з огляду на мастильну плівку

Для визначення величини зближення мікронерівностей трибосполучення δ з огляду на адсорбційний шар ПАР на поверхнях мікроставупів припустимо, що параметри шорсткості R_i, ϕ_i, t_i і H_i пов'язані між собою.

Відповідно до схеми на рис. 3 а, крок мікроставупів t буде дорівнювати

$$t = 2 \left[R_1 \cos \varphi_1 + [H - R_1 \cdot (1 + \sin \varphi_1)] \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \right], \quad (5)$$

де R_1 – радіус вершини нерівності; H – висота нерівності; φ_1 – кут нахилу бічної, що утворює мікроставупи.

Відповідно до виразу (5) радіус кривизни вершини вістря мікроставупу R_2 буде дорівнювати

$$R_2 = \frac{t}{2 \sin \left(\frac{\alpha_i}{2} \right)} - (R_1 + h_i) \quad (6)$$

За попередньої умови, що контактування здійснюється вздовж вершин мікроставупів, радіус кривизни вершини вістря мікроставупу R_2 має відповідати умові

$$R_2 \geq \frac{t}{2 \cos \varphi_1} - R_1, \quad (7)$$

Зближення мікронерівностей з огляду на адсорбційний шар ПАР, відповідно до схеми на рис. 3, визначається з виразу

$$\delta_i = \left[R_1 - (R_1 + h) \cdot \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] + \left[R_2 - (R_2 + h) \cdot \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right], \quad (8)$$

де α – кут між вертикаллю та лінією, яка з'єднує центри, що утворюють контури вершин мікроставупів, що контактують.

Відповідно до схеми на рис. 3, кут α буде дорівнювати

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{t}{2} \cdot \frac{1}{(R_1 + R_2 + h)} \right). \quad (9)$$

Моделювання здійснюється та таких умов:

- верхня нерівність переміщується в горизонтальному напрямку з постійною швидкістю;
- верхня нерівність може переміщуватися в вертикальному напрямку;
- на верхню нерівність діє вертикальна сила (рис. 3 а);
- нижня нерівність є нерухомою, жорстко закріпленою;
- величина перекриття мікронерівностей задавалася з огляду на параметри шорсткості та властивості матеріалу.

Як приклад моделювання зміни зближення мікроставупів за зміни радіуса вершини мікроставупу R_2 для різної шорсткості поверхонь з огляду на адсорбційний шар

ПАР здійснено розрахування з використанням застосунку Mathcad, за результатами якого побудовано відповідні графіки (рис. 4...7).

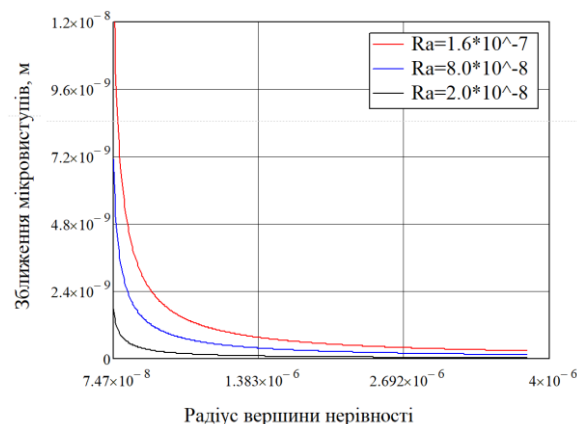


Рис. 4. Графік залежності зміни зближення мікроставупів за зміни радіуса їхньої вершини R_2 за умови відсутності на поверхнях мастильної плівки ($h=0$)

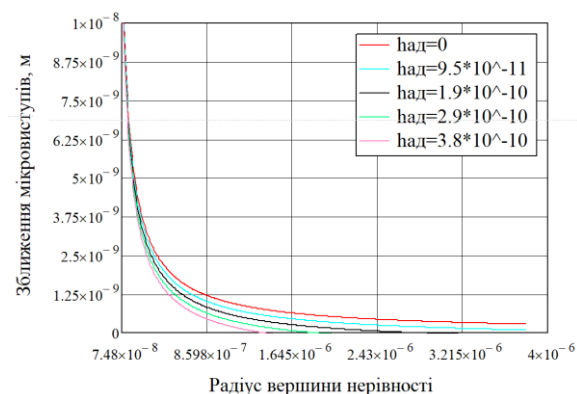


Рис. 5. Графік залежності зміни зближення мікроставупів за зміни радіуса вершини мікроставупу R_2 , якщо $R_1 = 3.2 \cdot 10^{-8}$ м та $R_z = 1.68 \cdot 10^{-7}$ м

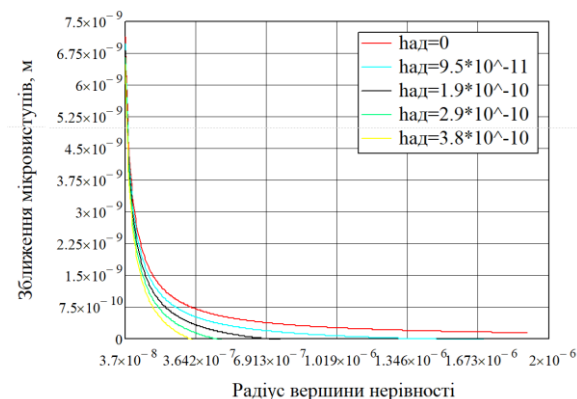


Рис. 6. Графік залежності зміни зближення мікроставупів за зміни радіуса вершини мікроставупу R_2 , якщо $R_1 = 1.6 \cdot 10^{-8}$ м та $R_z = 8.0 \cdot 10^{-8}$ м

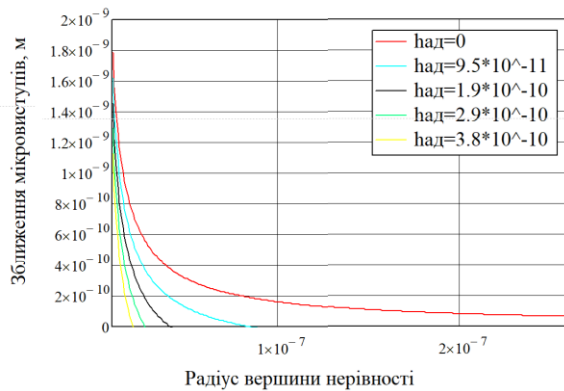


Рис. 7. Графік залежності зміни зближення мікроступів за зміни радіуса вершини мікроступу R_2 , якщо $R_1 = 4.0 \cdot 10^{-9}$ м та $R_z = 2.0 \cdot 10^{-8}$ м

Висновки

Отримано залежність величини зближення мікронерівностей в сполученні від геометрії мікронерівностей та товщини адсорбованого шару ПАР.

Розроблена математична модель дозволяє здійснити аналіз функції зближення мікронерівностей за схемою на рис. 3 з огляду на зміни їхньої геометрії і умов контактування.

Розрахування зближення мікронерівностей з огляду на товщину адсорбційного шару ПАР демонструє, що за цих початкових умов зближення поверхонь мікронерівностей може скласти до 19 % відносно радіуса їхніх вершин.

Література

1. Сулов А. Г. Качество поверхности деталей машин. Москва: Машиностроение, 2000. 320 с.
2. Ибатуллин И. Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоёв. Самара: СГТУ, 2008. 387 с.
3. Синергетика и фракталы в материаловедении / Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж., Оксогоев А. А. Москва: Наука, 1994. 383 с.
4. Демкин Н. Б. Контактное шероховатых поверхностей. Москва: Наука, 1970. 226 с.
5. Дьяченко П. Е., Слинко Б. Л. Влияние микрогеометрии поверхностей цапф на работу подшипников из свинцовой бронзы. Москва: Изд-во АН СССР, 1950.
6. Косенко П. А. Оптимальная шероховатость трущихся поверхностей. Качество обработанных поверхностей. Москва, 1954.
7. Костецкий Б. И., Колесниченко Н. Ф. Качество поверхности и трение в машинах. Киев, «Техника», 1969.
8. Пузанков В. В. Исследование оптимальной чистоты поверхности трудящихся пар. Качество поверхностей деталей машин. 1959. № 4.

9. Тененбаум М. М. Анализ измененной шероховатости обработанных поверхностей. Заводская лаборатория. 1950. № 2.
10. Хрущов М. М. Исследование приработки подшипниковых сплавов и цапф. Москва: Изд-во АН СССР, 1946.
11. Щедров В. С. Исследование процессов трения и износа на скользящем контакте: дис. ... д-ра тех. наук / Москва, 1953.
12. Серая Е. А. Методика определения параметров оптимальной шероховатости поверхности деталей при ремонте двигателей тракторов сельскохозяйственного назначения: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. наук. Москва, 1971.
13. Рьжов Э. В. Контактная жесткость деталей машин. Москва: «Машиностроение», 1966.
14. Хворостухин Л. А., Машкина В. Н., Чабан С. А. Влияние алмазного выглаживания на износостойкость деталей, подвергнутых химико-термической обработке. Технология машиностроения. 1973.
15. Шнейдер Ю. Г., Кравцов А. Н. Влияние микрорельефа поверхностей на силы трения. Вести, машиностроения. 1968. № 6.
16. Williamson I.B.P., Hunt R.T. Res. Rept, N 59. Burneau Res. Division (USA). 1968
17. Кислик В. А. Износ деталей паровозов. Труды Всесоюзного н.-иссл. ин-та железнодорожного транспорта. 1948. Вып. 24.
18. Тененбаум М. М. Микрогеометрия и износ поверхностей трения. Качество поверхностей деталей машин. 1950. Кн. 16.
19. Тененбаум М. М. Анализ измененной микрогеометрии при трении баббита о сталь. Трение и износ в машинах. 1950. № 4.
20. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. Москва: «Машиностроение», 1966.
21. Щедров В. С. К теории абразивного изнашивания металлов. Труды 2-й Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах». 1949. Т. 3. Москва: Изд-во АН СССР, 1949. С. 184–189.
22. Щедров В. С. Температура на скользящем контакте. Трение и износ в машинах 1955. № 10.
23. Комбалов В. С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и знос. Москва: Наука, 1974. 112 с.
24. Баранцев Р. Г. Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями. Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1975. 343 с.
25. Aksenova, O. A., Khalidov I. A. The diffusion process as a model of rarefied gas atom scattering from a surface. Proc. XIX Int. Symp. on Rarefied Gas Dynamics. Oxford, 1995. Vol. 2. P. 1030–1036.
26. High-speed in situ surface X-ray diffraction studies of the electrochemical dissolution of Au / Golks F., Krug K., Gründer Y., Zegenhagen J.

- Magnussen. J. Am. Chem. Soc. 2011. № 133. P. 3772–3775.
27. Sawada, T., Horie B. Y., Sugiyama W. Diffuse scattering of gas molecules from conical surface roughness. *Vacuum*. 1997. Vol. 47 (6–8). P. 795–797.
28. Белкин, Е. А. Модульно-геометрический подход к моделированию процесса формирования микрорельефа поверхности: дис. ...доктора технических наук: 05.01.01 / Н. Новгород, 2012. 341 с.
29. Косолапов В. Б., Литовка С. В., Хаас С. А. Повышение надежности объемных гидроприводов путем подбора рациональной микрогеометрии трибосопряжений. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2007. № 51. С. 178–184.
- ### References
1. Suslov A. G. *Kachestvo poverhnosti detalej mashin*. Moskva: Mashinostroenie, 2000. 320 s.
 2. Ibatullin I. D. *Kinetika ustalostnoj povrezhdaemosti i razrusheniya poverhnostnyh sloev/ Samara: SGTU, 2008. 387 s.*
 3. *Sinergetika i fraktaly v materialovedenii / Ivanova V. S., Balankin A. S., Bunin I. Zh., Oksogoev A. A.* Moskva: Nauka, 1994. 383 s.
 4. Demkin N. B. *Kontaktirovanie sheroho-vatyh poverhnostej*. Moskva: Nauka, 1970. 226 s.
 5. Dyachenko P. E. *Vliyanie mikrogeometrii poverhnostej capf na rabotu podshipnikov iz svincovistoj bronzy. / Trenie i iznos v mashinah. Sb. V. M., Izd-vo AN SSSR, 1950.*
 6. Kosenko P. A. *Optimalnaya sherohovatost trushihsya poverhnostej. Kachestvo obrabotannyh poverhnostej, 1954. Ki. 34. Str. 85.*
 7. Kosteckij B. I., Kolesnichenko H. F. *Kachestvo poverhnosti i trenie v mashinah. Kiev, «Tehnika», 1969.*
 8. Puzankov V. V. *Issledovanie optimal-noj chistoty poverhnosti trudyashihsya par. Kachestvo poverhnostej detalej mashin. 1959. № 4.*
 9. Tenenbaum M. M. *Analiz izmenenij sherohovatosti obrabotannyh poverhnostej. Zavodskaya laboratoriya. 1950. № 2.*
 10. Hrushov M. M. *Issledovanie prirabotki podshipnikovyh splavov i capf. Moskva, Izd-vo AN SSSR, 1946.*
 11. Shedrov V. S. *Issledovanie processov treniya i iznosa na skolzyashem kontakte. Dokt. diss. Moskva, 1953.*
 12. Seraya E. A. *Metodika opredeleniya parametrov optimalnoj sherohovatosti poverhnosti detalej pri remonte dvigatelej traktorov selskohozyajstvennogo naznacheniya. Avtoref. kand. diss. Moskva, 1971.*
 13. Ryzhov E. V. *Kontaktynaya zhestkost detalej mashin. Moskva: Mashinostroenie, 1966.*
 14. Hovorostuhin L. A., Mashkina V. N., Chaban S. A. *Vliyanie almaznogo vyglazhivaniya na iznosostojkost detalej, podvergnutyh himiko-termicheskoj obrabotke. Sb. «Tehnologiya ma-shinostroeniya». 1973.*
 15. Shnejder Yu. G., Kravcov A. N. *Vliyanie mikrorel'efa poverhnostej na sily tre-niya. Vesti, mashinostroeniya. 1968. № 6.*
 16. Williamson I. V. P., Hunt R. T. *Res. Rept. N 59. Burneau Res. Division (USA). 1968*
 17. Kislik V. A. *Iznos detalej parovozov. Trudy Vsesoyuznogo n.-issl. in-ta zhelez-nodorozhnogo transporta, 1948. Vyp. 24.*
 18. Tenenbaum M. M. *Mikrogeometriya i iznos poverhnostej treniya. Sb. «Kachestvo poverhnostej detalej mashin». 1950. Kn. 16.*
 19. Tenenbaum M. M. *Analiz izmenenij mikrogeometrii pri trenii babbita o stal. Trenie i iznos v mashinah. 1950. № 4.*
 20. Tenenbaum M. M. *Iznosostojkost konstrukcionnyh materialov i detalej ma-shin. Moskva: Mashinostroenie, 1966.*
 21. Shedrov V. S. *K teorii abrazivnogo iznashivaniya metallov. Trudy 2-j Vsesoyuznoj konferencii po treniyu i iznosu v mashinah». 1949. T. 3. Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1949. Str. 184–189.*
 22. Shedrov V. S. *Temperatura na skolzyashem kontakte. Trenie i iznos v mashinah. 1955. № 10.*
 23. Kombalov V. S. *Vliyanie sherohovatosti tverdyh tel na trenie i iznos. Moskva, Nauka, 1974. 112 s.*
 24. Barancev R. G. *Vzaimodejstvie razrezhen-nyh gazov s obtekaemyimi poverhnostyami. Moskva: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1975. 343 s.*
 25. Aksenova O. A., Khalidov I. A. *The diffusion process as a model of rarefied gas atom scattering from a surface. Proc. IHH Int. Symp. on Rarefied Gas Dynamics. Oxford. 1995. Vol. 2. R.1030–1036.*
 26. *High-speed in situ surface X-ray diffraction studies of the electrochemical dissolution of Au / Golks F., Krug K., Grunder Y., Zegenhagen J., Stettner J., Magnussen O. M. J. Am. Chem. Soc. 2011. № 133. R. 3772–3775.*
 27. Sawada T., Horie B. Y., Sugiyama W. *Diffuse scattering of gas molecules from conical surface roughness. Vacuum. 1997. Vol. 47 (6–8). R. 795–797.*
 28. Belkin E.A. *Modulno-geometricheskij podhod k modelirovaniyu processa formirovaniya mikrorel'efa poverhnosti: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskikh nauk: 05.01.01 / N. Novgorod, 2012. 341 s.*
 29. Kosoalopov V. B., Litovka S. V., Haas S. A. *Povyshenie nadezhnosti obemnyh gidroprivodov putem podbora racionalnoj mikrogeometrii triboso-pryazhenij. Visnik Harkivskogo nacionalnogo tehnicnogo*

universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. 2007. № 51. Str. 178–184.

Косолапов Віктор Борисович, к.т.н., доцент, каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, dr.tribolog@gmail.com, тел.+38 097-535-64-78

Analysis of the influence of the change in the geometric parameters of the micro roughness of the mobile connected surfaces with the adsorption layer of pairs on their convergence

Abstract. Problem. In connection with the trend of increasing the volume of road construction work, there is a need to ensure increased reliability of road machines. Most earthmoving machines operate under high loads. Severe working conditions and the dynamic, vibrational nature of the load of these machines reduce the reliability and operating time of their hydraulic drives. The complexity of friction and wear processes in the joints of real machine parts does not yet allow us to describe them quantitatively with sufficient accuracy. However, for engineering calculations of the influence of the roughness parameters of friction surfaces on the intensity of their wear, already known dependencies can be used that establish the relationship between the wear intensity and the friction parameters of the surfaces. There are different models for the formation of conditions for the development of the process of wear of the surfaces of movable joints. One of the issues of modeling the process of wear of the surfaces of mobile joints is the question of the influence of the adsorption layer of surfactant on the stress state at the basis of their microroughness. **Goal.** The goal of the studies was to determine the change in the convergence of microprotrusions of mating surfaces with a change in the radius of the tops of microprotrusions in the presence of a surfac-

tant adsorption layer on them. **Methodology.** Solution of the problems set involved the formation of a model of the process of contact of individual microprotrusions of rough surfaces coated with a surfactant adsorption layer, and its application to determine the dependence in the change in the approach of microprotrusions with a change of the radius of their top and the thickness of the surfactant adsorption layer on them. **Results.** The dependence of the amount of convergence of micro-uniformities in the coupling on the geometry of micro-uniformities and the thickness of the adsorbed surfactant layer was obtained. The performed calculation of the convergence of micro-uniformities taking into account the thickness of the surfactant adsorption layer showed that under these initial conditions, the convergence of the surfaces of micro-uniformities can be up to 19% relative to the radius of their tops. **Originality.** A model of the process of interaction of individual microroughnesses of rough surfaces of movable tribocoupling is proposed, which allows one to analyze the influence of the load in contact, the geometrical parameters of the contacting microprotrusions, and the parameters characterizing the surfactant adsorption layer on the approach value of contacting microprotrusions. **Practical value.** The use of the proposed mathematical model allows predicting the result of the process of interaction of rough friction surfaces in the presence of a lubricating material, based on the convergence of the friction surfaces. **Key words:** adsorption, adsorbed layer, SÀS is considered, microrelief, submicrorelief.

Kosolapov Viktor, Assoc. Prof., candidate of Engineering Sciences, Kharkov National Automobile and Highway University, dr.tribolog@gmail.com, tel. +38 097-535-64-78.