

УДК 621.891

М. В. КИНДРАЧУК¹, Д. А. ВОЛЬЧЕНКО², В. С. СКРЫПНИК³, Л. Б. МАЛЫК⁴,
И. О. БЕКИШ²

¹Национальный авиационный университет, Украина

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

³Надворнянский колледж при Киевском национальном транспортном университете,
Украина

⁴Государственное высшее учебное заведение «Дрогобицкий колледж нефти и газа»,
Украина

ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В материалах статьи уделено внимание энергонагруженности дисково-колодочных тормозов транспортных средств и установлено влияние на ее характеристики природы разрушения электрического заряда тепловым импульсом на контактах микровыступов пар трения, а также термических сопротивлений тормозного диска.

Ключевые слова: дисково-колодочный тормоз, пара трения, микровыступы, тепловой импульс, электрический заряд, термические сопротивления

Введение. В процессе торможения дисково-колодочным тормозом транспортного средства тепловая энергия, генерируема его парами трения, согласно коэффициентов распределения тепловых потоков составляет для фрикционных накладок – 6-8%, тормозного диска с фланцем – 92-94% от общего количества аккумулируемой теплоты. От фланца диска теплота передается кондуктивным теплообменом сопряженным элементом тормоза, а от матовых и полированных поверхностей «диск – накладок колодок» отводится в омывающую воздушную среду конвективным и радиационным теплообменом.

Состояние проблемы. Одним из методов интенсификации передачи теплоты через стенки самовентилируемого тормозного диска, разделяющего воздушные среды с температурами t_1 и t_2 (воздух омывает наружные боковые стенки полудисков) является увеличение одной из поверхностей стенки путем обребрения. При этом левый полудиск выполнен с фланцем, а правый – с обребрением, образующим вентиляционные каналы в виде трапециевидных конфузоров (в сечении). Металлоемкость площади матовых поверхностей теплообмена у левого и правого полудисков различные. При этом торцевая поверхность фланца левого полудиска конструктивно (за счет теплопроводности) взаимодействует со ступицей одного из мостов транспортного средства. Эффективность указанного выше метода высока, если интенсивность вынужденной теплоотдачи обребренной внутренней поверхности правого полудиска значительно больше, чем на наружной его поверхности. Более того, термическое сопротивление правого полудиска с ребрами намного больше, нежели левого полудиска с фланцем [1]. Из-за такого существенного различия в термических сопротивлениях левого и правого полудисков самовентилируемого диска в расчетных схемах при оценке напряженно-деформированного состояния необходимо рассматривать отдельно левый и правый полудиски. При этом важную роль играет тепловой баланс сплошных и самовентилируемых дисков в составе дисково-колодочного тормоза транспортного средства.

Однако ни в одной из известных публикаций [1; 2] не было уделено внимание направлениям электрического (поперечное) и тепловому (продольное) полей, что приводит к росту энергонагруженности дисково-колодочного тормоза транспортного средства. Кроме того, не было установлено влияние термического сопротивления тормозного диска на его энергонагруженность.

Постановка задачи. В данном докладе рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме:

- природа разрушения электрического заряда тепловыми импульсами;
- интенсивность термических сопротивлений тормозного диска.

Цель работы – обосновать энергонагруженность пар трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства с позиций нанотрибологии и неравностей термодинамики.

Природа разрушения электрического заряда тепловыми импульсами.

Работы по формированию наноразмерных структур начинается с реализации эффектов массопереноса между парами трения «полимер – металл» и «металл – полимер» в зависимости от энергетических уровней пятен контактов их микровыступов. Энергетические уровни микровыступов пятен контактов, площади которых увеличиваются к завершению процесса электротермического трения, увеличиваются.

На рис. 1 показаны схема пары трения и фрикционное взаимодействие их микровыступов. Пятнам контакта и их номинальным площадям посвящен рис. 2. На последнем пояс трения диска описан радиусами R_4 и R_2 .

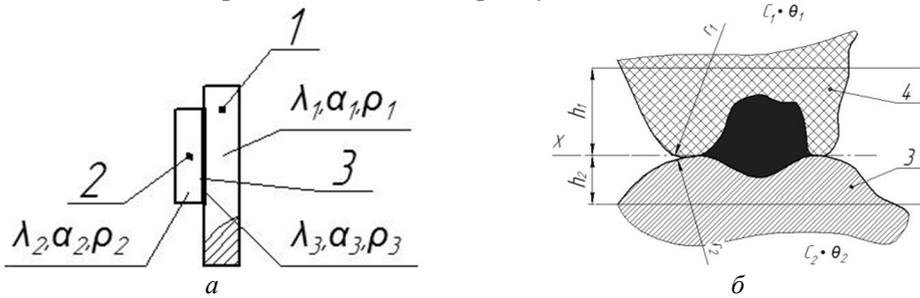


Рис 1. Схема пары трения «диск (1) – накладка (2) колодки (3)» (2) и их микровыступы (4 и 5) [δ]: λ_i, α_i – коэффициенты: теплопроводности; теплоотдачи; ρ_i, C_i – плотность и теплоемкость; θ_1, θ_2 – температуры поверхности пятен контакта микровыступов

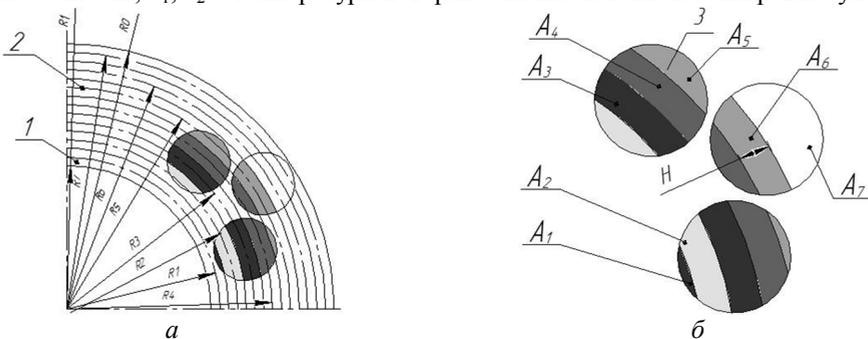


Рис. 2. Пятна контактов на поясе трения диска (а) и номинальные площади ($A_1 \dots A_7$) при фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения тормоза (б): 1, 2 – тормозной диск и его пояс трения; 3 – пятно контакта микровыступов

Для описания протекающих процессов при разрушении заряда тепловыми импульсами, полагаем, что инжектированные заряды положительны, найдем с помощью уравнения Пуассона

$$dE(x, t) / dx = \rho(x, t) / \varepsilon_0 \varepsilon \quad (1)$$

и воспользовавшись зависимостью вида

$$\varepsilon_0 \varepsilon V(t) = \int_0^S \rho(x, t)(S - x) dx \quad (2)$$

в котором x и S - функции времени.

В связи с тем, что тепловой импульс вызывают объемное расширение поверхностного слоя полимера, которое оказывается неоднородным, так как возмущение берет начало на заряжаемой поверхности пленки полимера, где возникает тепловой импульс, и постепенно расплзается по всей пленке. Поскольку

полный заряд $\bar{\sigma} = \int_0^{S(t)} \rho[(x(t), dx(t)dx(t))]$ в процессе расширения сохраняется.

Зависимость (2) можно переписать в виде

$$V(t) = \bar{\sigma} [S(t) - \bar{r}(t)] / \varepsilon_0 \varepsilon \quad (3)$$

где $\bar{r}(t)$ – средняя глубина заряженного облака зарядов пленки.

По изменениям $V(t)$ при $t=0$ и в момент $t=0$, когда тепловой импульс пробьет толщину пленки и ее температура станет всюду одинаковой, можно определить ту среднюю глубину \bar{r}_0 , которая соответствует окончательному расположению зарядов в объеме пленки.

Эта связь имеет вид

$$\Delta V_{t=\theta} / \Delta V_{t=0} = (S_0 - \bar{r}_0) / S_0 \quad (4)$$

Равенство получаем следующим образом. При $t = 0$ разность $S_0 - \bar{r}_0$ изменяется на $\Delta(S_0 - \bar{r}_0)$ вследствие локального расширения в узком слое пленки толщиной l вблизи поверхности $x=0$:

$$\Delta(S_0 - \bar{r}_0) = \alpha l \Delta T'$$

(5) где α – коэффициент теплового расширения материалов полимерной пленки; $\Delta T'$ – локальное повышение температуры в узком слое пленки.

Это ограниченное в пространстве расширение отводит все заряженное облако зарядов дальше от нижней поверхности пленки.

При $t = 0$ расширение пленки уже однородно, поэтому

$$\Delta(S - \bar{r}) = \alpha(S - \bar{r}_0) \Delta T' \quad (6)$$

где ΔT – однородное по объему повышение температуры всей пленки. Предполагая отсутствие тепловых потерь в течение импульса, получим уравнение баланса теплоты в виде

$$l \Delta T' = S_0 \Delta T \quad (7)$$

Объединяя теперь (5) – (6), приходим к равенству (7).

Вместо теплового импульса для создания локального расширения пленки используется импульс нормальных усилий, который можно перевести расчетным путем в импульс удельных нагрузок. Последний метод может применяться

как в зарядовых, так и в токовых измерениях, не требует для нахождения распределения зарядов затруднительной процедуры обращения, так как в течение распространения скачка удельных нагрузок через металлический микровыступ (пятно контакта) локальное сжатие одно и то же во всех точках. С другой стороны, методика требует для своего осуществления сложной измерительной аппаратуры [3].

На рис. 3 проиллюстрирована зависимость площадей (A_k) пятен контактов металлических микровыступов и количества (n) от действующих импульсных нормальных усилий (N). Данные зависимости получены аналитическим путем. При этом были использованы следующие данные: характеристики микрогеометрии поверхностей микровыступов над средней линией профиля R_p и максимальный радиус закругления выступов r_{max} ; a – расстояние между микровыступами; физико-механических характеристик материала – модуль упругости E (модуль Юнга), коэффициент Пуассона μ , удельное электрическое сопротивление материала ρ' , импульсная нормальная сила N , сжимающая контакт [4; 5].

Анализ данных, приведенных на рис. 3 показал следующее:

- увеличение расстояния между микровыступами и площади пятен их контакта при одновременном увеличении их импульсных нормальных усилий способствовало уменьшению удельных нагрузок в зонах пятен контактов;
- количество пятен контактов способствовало увеличению их площадей, и как следствие, уменьшению удельных нагрузок.

Экспериментальные данные, касающиеся зависимости электродного потенциала (φ_y) от скорости скольжения ($V_{ск}$) и импульсной удельной нагрузки (p), изменяющейся большими (p_o) и малыми (p_m) скачками на пятнах контактов микровыступов металлополимерных пар трения, показаны на рис. 4 [6]. Анализ данных, приведенных на рис. 4 показал следующее:

- увеличение скорости скольжения сопровождается увеличением импульсных удельных нагрузок, и как следствие, уменьшением электродного потенциала;
- скачки импульсных удельных нагрузок на пятнах контактов микровыступов способствуют увеличению электродного потенциала к концу завершения процесса фрикционного взаимодействия.

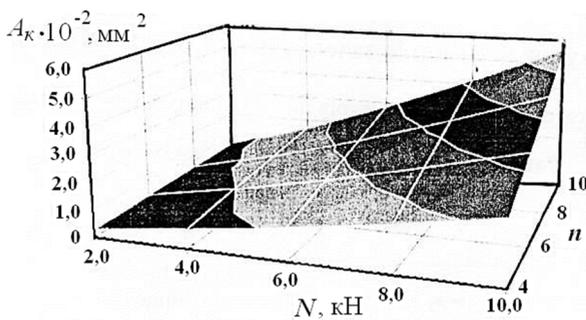


Рис. 3. Зависимость площадей (A_k) пятен контактов металлических микровыступов и их количества (n) от действующих импульсных нормальных усилий

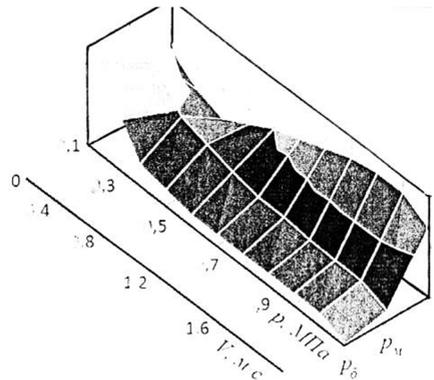


Рис. 4. Зависимость электродного потенциала (φ_y) от скорости скольжения ($V_{ск}$) и удельной нагрузки, изменяющейся большими (p_o) и малыми (p_m) скачками на пятнах контактов микровыступов металлополимерных пар

Интенсивность термических сопротивлений тормозного диска. Тепловой поток, который действует на поясы трения диска определяется зависимостью вида

$$q_i = \frac{E_i}{A_\tau}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (8)$$

где E – энергия, которую воспринимают пары трения передней (1/3 веса) и задней (2/3 веса) оси транспортного средства; A – площади поясов трения; τ – время, за которое совершается один оборот колеса при торможении.

Тепловой поток, который пронизывает тело диска тормоза составляет

$$q_i = K_i(t_1 - t_2), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, \quad (9)$$

где K – коэффициент теплопередачи; t_1, t_2 – поверхностные температуры поясов трения.

В свою очередь, коэффициент теплопередачи через тело диска на его поясах трения равен

$$K = \frac{1}{\alpha_1^{-1} + \frac{\delta}{\lambda} + \alpha_2^{-1}} \quad (10)$$

где $\frac{1}{\alpha_1}, \frac{\delta}{\lambda}, \frac{1}{\alpha_2}$ – термические сопротивления: разных поясов трения диска – теплоотдачи (α_1 и α_2); толщина диска (δ) при заданной теплопроводности (λ) его материала.

Термические сопротивление толщины сплошного диска и полудисков самовентилируемого диска (один полудиск с фланцем, а второй полудиск с вентиляционными каналами, образованными ребрами) играет существенную роль в процессах кондуктивного теплообмена. Термическое сопротивление толщины диска или полудиска выражается отношением δ/λ и имеет единицу измерения ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), которая является обратной единице измерения $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, т. е. коэффициенту теплопередачи через рассматриваемую толщину диска (рис. 5, а, б).

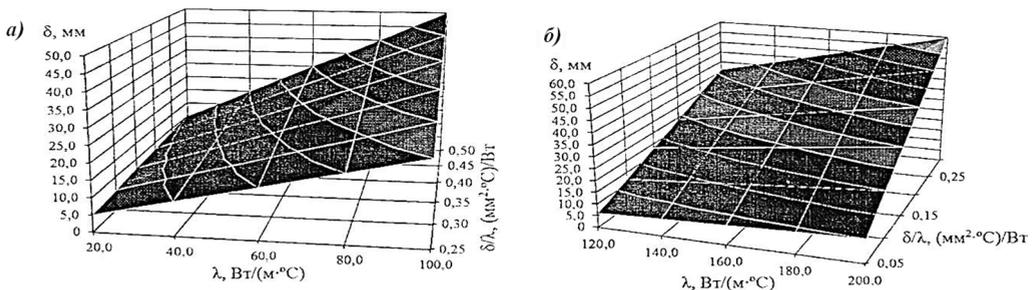


Рис. 5. Закономерности изменения термического сопротивления (δ/λ) тормозных дисков в зависимости от их толщины (δ) и коэффициентов теплопроводности материалов (λ), изменяющихся от: а – (20 - 100) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ и б – (120 - 200) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

Из представленных графических зависимостей следует, что с увеличением толщины диска необходимо варьировать коэффициентом теплопроводности применяемых материалов для изготовления тормозных дисков. При этом с помощью зависимости вида $q = \frac{\lambda}{\delta}(t - t_0)$ (где t, t_0 – температуры: объемная диска

и окружающей среды) проиллюстрирована графическая зависимость вида $q = f\left(\frac{\lambda}{\delta}, t\right)$ (рис. 6). В последней фигурирует величина λ/δ , которая является обратной термическому сопротивлению толщины тормозного диска. Выходит, что расчет и конструирование различных типов дисков подкатегорий транспортных средств проводится не только для определения конструктивных и весовых параметров, но и с учетом энергоемкости поясов трения тормозных дисков.

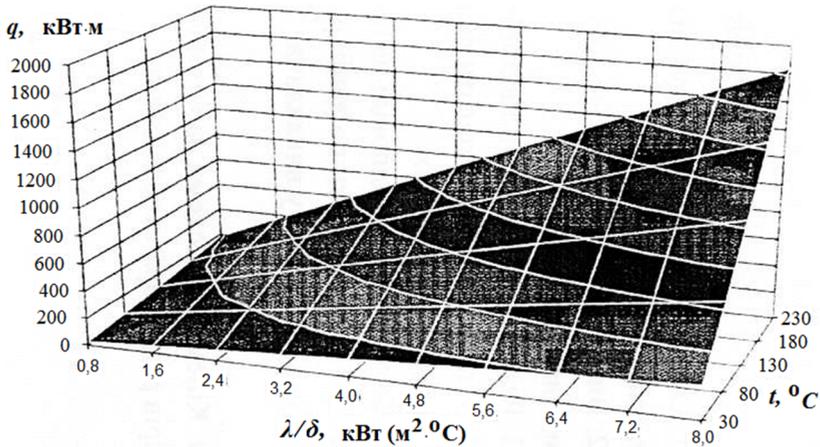


Рис. 6. Закономерности изменения теплового потока (q), пронизывающего пояс трения тормозного диска при фрикционном взаимодействии пары трения «накладка – диск» тормоза в зависимости от параметра (λ/δ) и объемной температуры в теле диска

Выводы. Таким образом, в данном материале рассмотрено взаимодействие электрического и теплового полей на пятнах контактов микровыступов металлополимерных пар трения, действующих поперечно и продольно в своих полях. Более того, установлена взаимосвязь между термическим сопротивлением толщины диска и его коэффициента теплопередачи.

Список литературы

1. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств / А. Х. Джанахмедов, Дж. Г. Гурбанов, А. И. Вольченко и др. // Баку: "Апострофф", 2016. – 272 с.
2. Гудз Г. С. Комплексна оцінка теплонавантаженості дискових гальм автобусів на тривалих режимах роботи / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Р. Клипко. – Львів: Галицька видавнича спілка, 2017. – 124 с.
3. Сесслер С. Электреты / С. Сесслер. – М.: Мир, 1983. – 481 с.
4. Компьютерное моделирование энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровых лебедок (часть первая) / Д. Ю. Журавлев, С. И. Крыштопа, И. О. Бекиш и др. // Научно-техн. журнал. – Киев: НАУ. - №4(65). – 2014. – С.47 – 59.
5. Демкин Н. Б. Зависимость эксплуатационных свойств фрикционного контакта от микрогеометрии контактирующих поверхностей // Н. Б. Демкин, В. В. Измайлов. Трение и износ. 2010. Т. 31. №1. – С. 68 – 77.
6. Журавлев Д. Ю. Термодинамический предел поверхностных слоев полимерных накладок при фрикционном взаимодействии / Д. Ю. Журавлев. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков: №2/11(68). 2014. – С. 20-26.

M. V. KINDRACHUK, D. O. VOLCHENKO, V. S. SCRYPNYK, L. B. MALYK, I. O. BEKISH,

ENERGY LOADING DISC BRAKE VEHICLES

The materials of the article paid attention to the energy load of disc-block brakes of vehicles and established the influence on its characteristics of the nature of the destruction of an electric charge by a thermal impulse at the contacts of microprotrusions of friction pairs, as well as the thermal resistances of the brake disc. One of the methods for intensifying the transfer of heat through the walls of a self-ventilating brake disc separating air environments with temperatures (air washes the outer side walls of the half-discs) is to enlarge one of the wall surfaces by ribbing. In this case, the left half-disk is made with a flange, and the right one - with fins, which form the ventilation ducts in the form of trapezoid holders (in section). The work on the formation of nanoscale structures begins with the realization of mass transfer effects between friction pairs polymer-metal and metal-polymer depending on the energy levels of the contact spots of their microprotrusions. The energy levels of microprotrusions of contact spots, the areas of which increase towards the completion of the process of electrothermal friction, increase. Due to the fact that the thermal impulse causes a volume expansion of the polymer surface layer, which turns out to be non-uniform, since the disturbance originates on the charged surface of the polymer film, where the thermal impulse occurs, and gradually spreads throughout the film. Instead of a thermal impulse, a normal effort impulse is used to create a local expansion of the film, which can be converted into a specific load impulse. The latter method can be used both in charge and in current measurements, it does not require an inconvenient handling procedure for finding the charge distribution, since during the propagation of a jump in specific loads through a metal microprotrusion (contact patch), local compression is the same at all points. The thermal resistance of the thickness of a solid disk and half disks of a self-ventilating disk (one half-disk with a flange, and the second half-disk with ventilation channels formed by the ribs) plays an essential role in the processes of conductive heat transfer. From the graphical dependences, it follows that with increasing disk thickness, it is necessary to vary the thermal conductivity of the materials used to manufacture brake discs. It turns out that the calculation and design of various types of disks of subcategories of vehicles is carried out not only to determine design and weight parameters, but also taking into account the energy intensity of friction belts of brake disks. Thus, this material considers the interaction of electric and thermal fields on contact spots of microprotrusions of metal-polymer pairs friction acting transversely and longitudinally in their fields. Moreover, a relationship has been established between the thermal resistance of the thickness of the disk and its heat transfer coefficient.

Keywords: disk-brake brake, friction pair, microprotrusions, thermal impulse, electric charge, thermal resistance.

References

1. Proektynyj i proverochnyj raschet phriktsionnykh uzlov barabanno- i discovo-kolodochnykh tormozov transportnykh sredstv/ A. Kh. Dzhanakmedov, Dzh. G. Gurbanov, O. I. Volchenko i dr. // Baku: "Apostrof", 2016. – 272 s.
2. Gudz G. S. Kompleksna otsinka teplonavantazhenosti dyscovykh galm avtobusiv na tryvalykh rezhymakh roboty / G. S. Gudz, M. V. Globchak, O. R. Klipko. – Lviv: Galytska vydavnycha spilka, 2017. – 124 s.
3. Sessler S. Elektrety / S. Sessler. – M.: Mir, 1983. – 481 s.
4. Komp'yuternoe modelirovaniye energonagruzhennosti metalopolimernykh par treniya lentochno-kolodochnogo tormoza burovyykh lebedok (chast' pervaya) / D. Yu. Zhuravlev, S. I. Kryshchop, I. O. Bekish i dr. // Nauchno-tekhn. zhurnal. – Kiyev: NAU. - №4(65). – 2014. – S.47 – 59.
5. Demkin N. B. Zavisimost' ekspluatatsionnykh svojstv phriktsionnogo kontakya ot mikrogeometrii kontaktiruyushikh poverkhnostey // N. B. Demkin, V. V. Izmajlov. Treniye i iznos. 2010. T. 31. №1. – S. 68 – 77.

6. Zhuravlev D. Yu. Termodinamicheskiy predel poverkhostnykh sloyev polimernykh nakladok pri phriksionnom vzaimodejstvii / D. Yu. Zhuravlev. // Vostochno-evropejskiy zhurnal передових технологій. – Kharkov: №2/11(68). - 2014. S. 20-26.

М. В. КИНДРАЧУК, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, В. С. СКРИПНИК, Л. Б. МАЛИК, І. О. БЕКИШ

ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНІСТЬ ДИСКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У матеріалах статті приділено увагу енергонавантаженості дисково-колодкових гальм транспортних засобів і встановлено вплив на її характеристики природи руйнування електричного заряду тепловим імпульсом на контактах мікрровиступів пар тертя, а також термічних опорів гальмівного диска.

Ключові слова: дисково-колодкове гальмо, пара тертя, мікрровиступи, тепловий імпульс, електричний заряд, термічний опір

Киндрачук Мирослав Васильевич – докт. техн. наук, професор, завідує кафедрою машинобудівництва, Київський національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Київ, Україна, 03058, E-mail: nau12@ukr.net

Вольченко Дмитрій Александрович – докт. техн. наук, професор кафедри добычи нафти і газу Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, моб. 050-373-82-42 E-mail: divo99@ukr.net.

Скрыпник Василий Степанович – канд. техн. наук, доцент, преподаватель Надворнянского колледжа при Киевском национальном транспортном университете, Ивано-Франковская обл., г. Надворная.

Малык Леся Богданівна – канд. пед. наук, преподаватель ГВУЗ «Дрогобицкий колледж нафти і газу», циклової комісії «Общетеchnических дисциплин», Львівська обл., г. Дрогобич, ул. М. Павлыка, 5 б, 82100, Україна. Моб.тел.: [067 305 90 75](tel:0673059075) E-mail: drreg@ukr.net

Бекиш Ирина Орестивна – канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної і комп'ютерної графіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел.: +38 0342 72 47 19, E-mail: ikg@nung.edu.ua