

УДК 621.923

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Г.М. Мачишин, асист.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація. У процесі роботи полімерно-абразивної щітки при контакті її волокон з поверхнею відбувається виділення тепла, яке розподіляється між поверхнею та полімерними волокнами. Розроблена математична модель дозволяє визначити температуру волокна у процесі його взаємодії з поверхнею та раціональні режими роботи полімерно-абразивної щітки.

Ключові слова: тепло, нагрів, волокно, температурне поле, теплопровідність.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Г.Н. Мачишин, ассист.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Аннотация. В процессе работы полимерно-абразивной щетки при контакте ее волокон с поверхностью происходит выделение тепла, которое распределяется между поверхностью и полимерными волокнами. Разработанная математическая модель позволяет определить температуру волокна в процессе его взаимодействия с поверхностью и рациональные режимы работы полимерно-абразивной щетки.

Ключевые слова: тепло, нагрев, волокно, температурное поле, теплопроводность.

DETERMINATION OF REASONABLE APPLICATIONS FOR POLYMER-ABRASIVE TOOLS

G. Machishyn, Teaching Assistant,
Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. During the work of polymer-abrasive brushes, when their fibers contact the surface, some heat is released and distributed between the surface and the polymer fibers. A mathematical model developed determines the temperature of the fibers during their interaction with the surface as well as reasonable operating modes for polymer-abrasive brushes.

Key words: heat, heating, fiber, temperature field, thermal conductivity.

Вступ

Важливою проблемою застосування полімерно-абразивних щіток (ПАЩ) як робочих органів ручних машин є відсутність інформації виробника щодо рекомендованих параметрів ручних машин, а саме потужності машини та частоти обертання її ротора, а також сили притиснення ПАЩ до поверхні, яку очищають, та швидкості подачі. Адже, знаючи основні вимоги до застосування

ПАЩ як робочих органів ручних машин, можливе їх більш широке використання на будівельних та монтажних майданчиках. Проблемою, що є актуальною на сьогодні, є дослідження теплових процесів у полімерних волокнах.

Аналіз публікацій

Відомі на сьогодні роботи з дослідження теплових процесів у полімерних волокнах, що

є робочими органами обертової дії, проводяться у більшості випадків для щіток комунальних машин [1–3]. Роботи з дослідження теплових процесів, що відбуваються у процесі контакту волокон ПАЩ з поверхнею, відсутні. Відомі тільки роботи з дослідження кінематичних параметрів полімерно-абразивного інструменту [4–7].

Мета і постановка задачі

Відсутність робіт, пов'язаних з вирішенням питання щодо теплових процесів у волокнах ПАЩ, визначає мету даної роботи, яка полягає у визначенні параметрів, які впливають на температурні процеси, що виникають у волокнах ПАЩ при контакті з поверхнею.

Дослідження теплового поля та параметрів робочого процесу ПАЩ

Розглянемо теплове поле волокна полімерно-абразивної щітки для різних випадків дії тепла [8–10].

Наприклад, якщо плоский переріз волокна ПАЩ у місці контакту з поверхнею, яку обробляють, отримує потік тепла (нагрівається), то температурне поле $\Theta(z, t)$ у вістовому перерізі волокна (вздовж осі OZ) має такий вигляд

$$\Theta = \frac{Q}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi a}{t}} \cdot \exp\left\{-\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot t} - bt\right\}, \quad (1)$$

де $b = \frac{2 \cdot \alpha_1 \cdot a}{\lambda_0 \cdot r_c}$; Q – теплова потужність, яка виникає внаслідок тертя волокна з поверхнею щітки; t – час контакту; λ_0 – теплопровідність матеріалу волокна; r_c – радіус волокна; α_1 – коефіцієнт тепловідводу поверхні волокна, що контактує з поверхнею, яку обробляють; a – коефіцієнт температуропровідності волокна.

Розрахунки $\Theta(z, t)$ проведені для значень параметрів:

$$\alpha_1 = 20 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; r_c = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\lambda_0 = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; a = 4 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Довжина волокна $L = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

На рис. 1 наведено залежність температурного поля $\Theta(z, t)$ для торцевого перерізу волокна при $z = [0; L]$ вздовж осі волокна для різних моментів часу.

$$\tilde{\theta} = \frac{\theta}{\left\{ \frac{Q}{T_p \cdot \pi \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \sqrt{\frac{a}{b}} \right\}}, \quad T_p - \text{ час роботи}$$

ПАЩ. $t_1 < t_2 < t_3$.

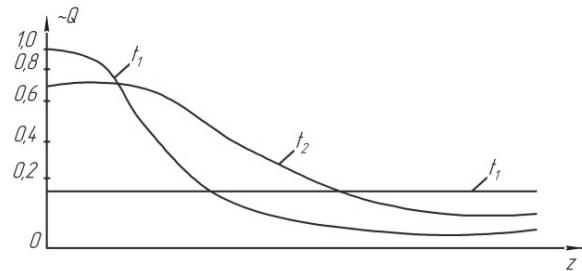


Рис. 1. Залежність розподілу тепла вздовж осі волокна

Джерело тепла діє безперервно протягом часу контакту волокна $\tau_{\text{конт}}$, тоді

$$\theta(z, t) = \frac{Q \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{T_p \cdot \pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \int_0^{\tau_{\text{конт}}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)} - b(t - \tau)\right\} \cdot \frac{d\tau}{\sqrt{t - \tau}}. \quad (2)$$

За тривалої дії джерела тепла ($\tau_{\text{конт}} \rightarrow \infty$) із залежності (2) отримуємо

$$\begin{aligned} \theta(z, t) &= \frac{Q \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{T_p \cdot \pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2 \cdot \sqrt{\pi \cdot b}} \cdot \\ &\cdot \exp\left\{-z \cdot \sqrt{\frac{b}{a}}\right\} = \\ &= \frac{Q}{T_p \cdot \lambda_0 \cdot \pi \cdot r_c^2} \cdot \sqrt{\frac{a}{b}} \cdot \exp\left\{-z \cdot \sqrt{\frac{b}{a}}\right\}. \quad (3) \end{aligned}$$

Якщо ввести поняття теплової потужності джерела

$$q_t = \frac{dQ}{dt},$$

де dQ – кількість тепла, яке передається волокну під час дотику з поверхнею, що обробляється, за час контакту $d\tau_{\text{час}}$ та один оберт

диска ω , то вирази (2) й (3) можна записати так

$$\theta = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \times \int_0^{\tau_{\text{кошт}}} \exp\left\{-\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot (t-\tau)} - b(t-\tau)\right\} \cdot \frac{d\tau}{\sqrt{t-\tau}}, \quad (4)$$

$$\theta = \frac{q_i}{\pi \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \exp\left[-z \cdot \sqrt{\frac{b}{a}}\right] \cdot \sqrt{\frac{a}{b}}. \quad (5)$$

Можна вважати q_i миттєвою потужністю джерела тепла (внаслідок тертя волокна з поверхнею, що обробляється).

Вираз (5) подаємо наближено у вигляді

$$\theta(z, t) = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \exp\left[-\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot \frac{\tau_{\text{кошт}}}{2}} - b \cdot \frac{\tau_{\text{кошт}}}{2}\right] \times \frac{\tau_{\text{кошт}}}{\sqrt{\frac{\tau_{\text{кошт}}}{2}}} = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \times \exp\left[-\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot \tau_{\text{кошт}}} - \frac{b}{2} \cdot \tau_{\text{кошт}}\right] \cdot \sqrt{2 \cdot \tau_{\text{кошт}}}. \quad (6)$$

Для торцевого перерізу полімерного волокна $z = 0$ з виразу (6) маємо

$$\theta(0, t) = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \exp\left[-\frac{b}{2} \cdot \tau_{\text{кошт}}\right] \times \sqrt{2 \cdot \tau_{\text{кошт}}}. \quad (7)$$

За умови, що весь час роботи ПАЩ буде $n = \omega \cdot T_p / 2 \cdot \pi$, контакти кожного волокна з поверхнею, яку обробляють, матимуть вигляд

$$\theta_{\text{заг}}(0, t) = n \cdot \theta(0, t) \cong \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \times \exp\left[-\frac{b}{2} \cdot \tau_{\text{кошт}}\right] \cdot \sqrt{2 \cdot \tau_{\text{кошт}}} \cdot n, \quad (8)$$

$$\theta_{\text{заг}}(0, t) = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \sqrt{2 \cdot \tau_{\text{кошт}}} \times \frac{\omega \cdot T_p}{2 \cdot \pi} \cdot \exp\left[-\frac{b}{2} \cdot \tau_{\text{кошт}}\right]. \quad (9)$$

$$\tau_{\text{кошт}} \cong \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (R-i)^2}}{\omega \cdot R}, \quad (10)$$

де i – натяг волокна; R – радіус полімерно-абразивної щітки.

Отже, поєднуючи залежності (9) та (10), отримуємо

$$\theta(0, t) = \frac{q_i \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\pi^2 \cdot \lambda_0 \cdot r_c^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot \pi} \cdot T_p \cdot \omega \times \sqrt{\frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (R-i)^2}}{\omega \cdot R}} \times \exp\left[-\frac{b}{2} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (R-i)^2}}{\omega \cdot R}\right]. \quad (11)$$

Спростуючи вираз (11), отримаємо

$$\theta_{\text{заг}}(0, t) = \frac{q_i \cdot T_p \cdot 2\sqrt{a}}{\lambda_0 \cdot r_c^2 \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\pi}} \times \sqrt{\frac{\omega}{R}} \cdot \sqrt[4]{R^2 - (R-i)^2} \times \exp\left[-\frac{b \cdot \sqrt{R^2 - (R-i)^2}}{\omega \cdot R}\right]. \quad (12)$$

За умови $\frac{b \cdot \sqrt{R^2 - (R-i)^2}}{\omega \cdot R} \ll 1$ з виразу (12) маємо спрощену формулу

$$\theta_{\text{заг}}(0, t) = \frac{q_i \cdot T_p \cdot 2\sqrt{a}}{\lambda_0 \cdot r_c^2 \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\pi}} \times \sqrt{\frac{\omega}{R}} \cdot \sqrt[4]{2 \cdot R \cdot i - i^2}. \quad (13)$$

Зі співвідношення (13) випливає, що

$$\theta_{\text{заг}}(0, t) \approx T_p \cdot \sqrt{\omega} \cdot \sqrt[4]{i}, \quad (14)$$

бо $I \ll R$, отже $\theta_{\text{заг}}(0, t) \approx T_p$; $\theta_{\text{заг}}(0, t) \approx \sqrt{\omega}$; $\theta_{\text{заг}}(0, t) \approx \sqrt[4]{i}$.

За отриманими залежностями розраховані числові дані (табл. 1) та побудовані графіки (рис. 2, 3), із яких випливає допустимий режим обертання щітки та швидкість її подачі при взаємодії з поверхнею, яку обробляють.

Таблиця 1 Числові значення параметрів робочого процесу взаємодії щітки з поверхнею, яку обробляють

$i, \text{ м}$	$\omega, \text{ с}^{-1}$								
	16,7	33,3	50	66,7	83,3	100	116,7	133,3	θ
$1,0 \times 10^{-3}$	295	298	310	323	330	340	345	360	θ
$2,0 \times 10^{-3}$	303	310	320	340	347	358	365	370	θ
$3,0 \times 10^{-3}$	307	315	323	343	354	367	372	390	θ
$4,0 \times 10^{-3}$	308	317	334	353	362	373	385	395	θ

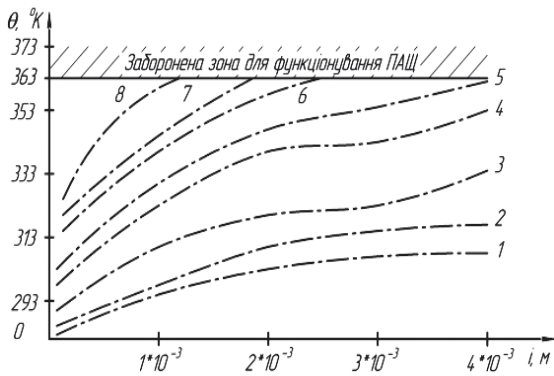


Рис. 2. Залежність θ від натягу i за постійних частот обертання ω та для подачі $V_n = 0,02 \text{ м/с}$

В табл. 2–6 наведені числові значення параметрів робочого процесу взаємодії щітки з поверхнею, яку обробляють, а на рис. 4–8 – залежності відповідних параметрів, що дають можливість оцінити закони їх зміни та визначити раціональну область ефективної роботи ПАЦ.

Таблиця 2 Числові значення продуктивності залежно від частоти обертання щітки

$V_n, \text{ м/с}$	$\omega, \text{ с}^{-1}$					
	25	50	75	100	125	150
0,001	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
0,01	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$	$14 \cdot 10^{-6}$
0,02	$8 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$13 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-6}$	$22 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$

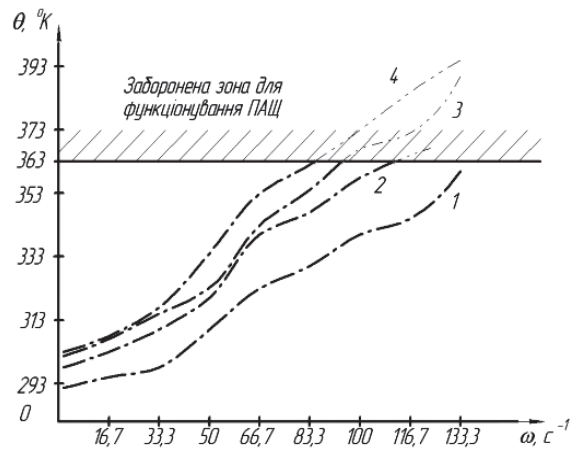


Рис. 3. Залежність $\theta_{\text{заг}}$ від частоти обертання ω (подача $V_n = 0,02 \text{ м/с}$) для різних натягів i

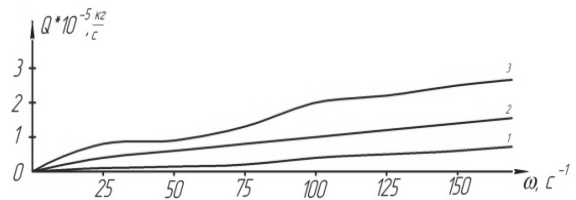


Рис. 4. Залежність продуктивності Q від частоти обертання ω

Таблиця 3 Числові значення параметрів робочого процесу залежно від швидкості подачі

$\omega, \text{ с}^{-1}$	$V_n, \text{ м/с}$			
	0,005	0,01	0,015	0,02
33,3	$0,8 \cdot 10^{-5}$			
66,7	$1,05 \cdot 10^{-5}$			
83,3	$1,8 \cdot 10^{-5}$			
141,7	$2,3 \cdot 10^{-5}$			

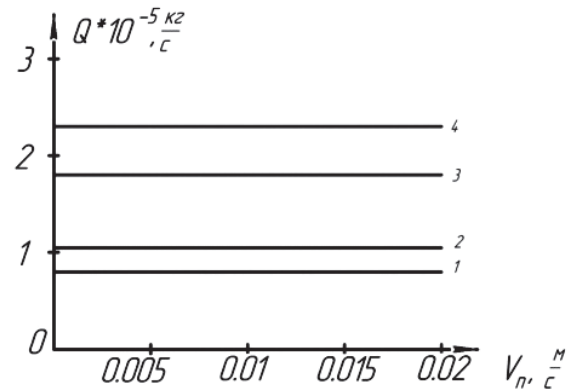


Рис. 5. Залежність продуктивності Q від швидкості подачі V_n

Таблиця 4 Числові значення продуктивності залежно від величини натягу

$\omega, \text{с}^{-1}$	$i, \text{м}$			
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
33,3	$0,7 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
66,7	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
83,3	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
141,7	$1,45 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$

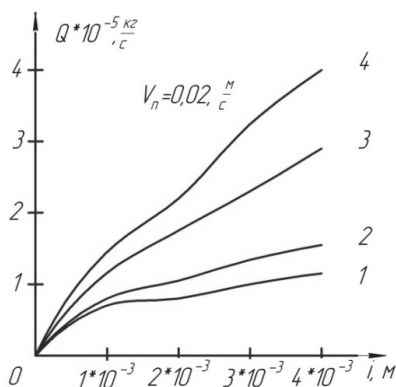


Рис. 6. Залежність продуктивності Q від величини натягу i

Таблиця 5 Числові значення продуктивності залежно від величини натягу

$\omega, \text{с}^{-1}$	$i, \text{м}$			
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
16,7	294	298	300	301
33,3	298	313	314	318
50,0	302	319	333	334
66,7	323	336	340	353
83,3	332	349	355	362
100,0	339	356	366	373
116,7	349	365	373	383
133,3	362	375	383	396

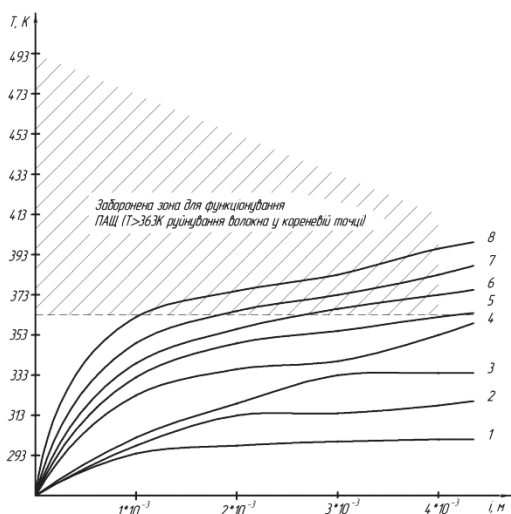


Рис. 7. Залежність усталеної температури T волокна від натягу i

Таблиця 6 Числові значення потужності, що споживається щіткою, залежно від частоти

$i, \text{м}$	$\omega, \text{с}^{-1}$			
	25	50	75	100
$0,25 \cdot 10^{-3}$	25	30	75	200
$1,0 \cdot 10^{-3}$	105	145	200	350
$2,0 \cdot 10^{-3}$	210	250	310	510
$3,0 \cdot 10^{-3}$	280	310	405	600
$4,0 \cdot 10^{-3}$	350	380	500	690

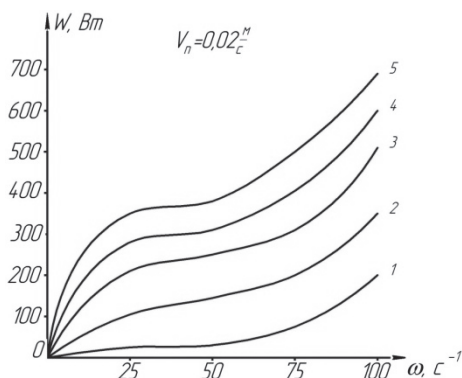


Рис. 8. Залежність потужності щітки W , що споживається, від частоти ω її обертання за значень натягу i : 1 – $i = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{м}$; 2 – $i = 1 \cdot 10^{-3} \text{м}$; 3 – $i = 2 \cdot 10^{-3} \text{м}$; 4 – $i = 3 \cdot 10^{-3} \text{м}$; 5 – $i = 4 \cdot 10^{-3} \text{м}$

Висновок

У результаті проведених досліджень отримані аналітичні залежності, які дозволяють визначити температуру полімерного волокна при його контактній взаємодії з поверхнею, яка піддається обробці. Враховуючи, що теплові процеси справляють найбільш сильний вплив на працездатність полімерно-абразивної щітки, отримані дані дозволяють обрати оптимальні режими її експлуатації, тобто колову швидкість обертання, швидкість подачі та величину натягу, а також приводні машини, які забезпечать ефективне застосування ПАЩ при виконанні масових трудомістких очисних та зачисних операцій на будівельних та монтажних майданчиках.

Література

1. Лепеш А.Г. Прогнозирование изнашивания щеток коммунальных машин / А.Г. Лепеш // Технико-технологические проблемы сервиса: научно-технический журнал.– 2010. – № 2 (12). – С. 25–34.
2. Лепеш А.Г. Методика экспериментального определения износостойкости ще-

- точного ворса коммунальной уборочной техники / А.Г. Лепеш, Г.В. Лепеш, И.И. Воронцов // Техничко-технологичные проблемы сервиса: научно-технический журнал. – 2011. – № 2 (16). – С. 7–19.
3. Лепеш А.Г. Имитационное моделирование рабочего процесса коммунальной уборочной техники / А.Г. Лепеш // Техничко-технологичные проблемы сервиса: научно-технический журнал. – 2011. – № 3 (17). – С. 32–41.
 4. Абрашкевич Ю.Д. Механізм взаємодії полімерного волокна, наповненого абразивом, з оброблювальною поверхнею / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, Г.М. Мачишин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2011): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції: у 2-т. Т. 1. – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2011. – С. 104–108.
 5. Абрашкевич Ю.Д. Вплив теплових процесів на роботоздатність полімерно-абразивної щітки / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, Г.М. Мачишин // Промислове будівництво та інженерні споруди: науково-виробничий журнал. – 2011. – №3. – С. 44–47.
 6. Абрашкевич Ю.Д. Механізм коливання полімерно-абразивного волокна при стаціонарному обертанні щітки / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, Г.М. Мачишин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції: у 2-т. Т. 1. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. – С. 60–65.
 7. Абрашкевич Ю.Д. Динаміка коливання полімерно-абразивного волокна у випадку горизонтального розташування диску щітки / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, Г.М. Мачишин // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012): Всеукраїнська науково-практична конференція, 10–12 жовтня 2012 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. – С. 72–75.
 8. Гончаренко В. М. Основи теорії рівнянь з частинними похідними / В.М. Гончаренко. – К.: Вища школа, 1995. – 353 с.
 9. Недосека А.Я. Основы расчёта сварных конструкций / А.Я. Недосека. – К.: Вища школа, 1988. – 263 с.
 10. Сухорольський М.А. Нестационарне температурне поле для скінченного циліндра при поверхневому локальному нагріванні / М.А. Сухорольський, Н.М. Тимошенко, С.І. Томецька // Прикладна математика: зб. наук. пр. – 2000. – №407. – С. 230–232.
- Рецензент: В.І. Мощенко, професор, к.т.н., ХНАДУ.
- Стаття надійшла до редакції 7 липня 2014 р.
-