

# Будівельні машини і технологічне обладнання

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Юрій Абрашкевич, Леонід Пелевін, Андрій Поліщук

Київський національний університет будівництва і архітектури, 03680, Повітофлотський пр-кт 31, Київ, Україна,  
+38(044)241-55-52

## INCREASING OPERATIONAL INDEXES OF AN ABRASIVE TOOL

Juriy Abrashkevich, Leonid Pelevin, Andrey Polishchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Povitoflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

**АНОТАЦІЯ.** Проведено реологічні дослідження абразивної маси, що використовується для виготовлення абразивних армованих кругів з ціллю стабілізації її властивостей під час виготовлення інструменту об'ємним способом. Розроблено рекомендації щодо стабілізації властивостей геометричних і експлуатаційних параметрів готових абразивних армованих кругів та рекомендації по підвищенню їхніх експлуатаційних показників.

**Ключові слова:** абразив, зв'язка, властивості маси, абразивний склад маси, бакеліт.

**АННОТАЦИЯ.** Проведены реологические исследования абразивной массы, используемой для изготовления абразивных армированных кругов с целью стабилизации ее свойств при изготовлении инструмента объемным способом. Разработаны рекомендации по стабилизации свойств геометрических и эксплуатационных параметров готовых абразивных армированных кругов и рекомендации по повышению их эксплуатационных показателей.

**Ключевые слова:** абразив, связка, свойства массы, состав абразивной массы, бакелит.

**SUMMARY. Purpose.** The show results of reological research abrasive mass reinforced abrasive wheel for the purpose of stabilizing its properties. **Methodology/approach.** The combined method a research conducted. Theoretically determined parameters abrasive mass to given the fact that it is dispersed systems and for determined experimentally region optimal values derived components of the abrasive mass. **Findings.** Result of the work received method for determining the rate of abrasive wear resistance and weight ratio of steel grinding various steel abrasive wheels. **Research limitations/implications.** Determined that the technological properties of the finished wheel depends on humidity and ambient temperature, so these parameters should be continuously maintained in areas where they are made. **Originality/value.** This returned stabilizing properties abrasive weight of the wheel by geometrical and operational characteristics that increase the wear resistance of abrasive wheels.

**Key words:** abrasive, binding, mass properties, the structure of abrasive mass, bakelite

### Вступ

У теперішній час абразивні армовані круги в поєднанні з ручними, переносними та стаціонарними машинами отримали масове застосування при виконанні трудомістких обрізних і зачисних операцій в будівництві та інших галузях народного господарства. Найбільш значними виробниками кругів в Україні є Запорізький абразивний комбінат, а в СНД – Лузький абразивний завод, який щорічно виготовляє понад 250 млн. кругів.

Існують два основні методи виготовлення кругів шляхом вагового та об'ємного дозування абразивної маси. При застосуванні вагового дозування абразивна маса розрівнюється в прес-формі з наступним пресуванням і термообробкою сформованого виробу. Більш продуктивним є метод, за яким абразивна маса перед пресуванням

дозується за об'ємом прес-форми. За такою технологією працюють практично всі значні виробники абразивних армованих кругів не тільки в нашій країні, але і в країнах ближнього і далекого зарубіжжя.

### Мета і постановка задачі

Стабільні властивості готового круга за геометричних і експлуатаційних параметрів при об'ємному дозуванні абразивної маси можуть бути отримані тільки за умови, що маса протягом усього часу її переробки має постійну насипну щільність і сипучість. Абразивна маса, що застосовується для серійного виготовлення кругів, таких властивостей в більшості випадків не має. У зв'язку з цим проводилися реологічні дослідження абразивної маси з ціллю стабілізації її властивостей.

### Виклад основного матеріалу

Об'єктом реологічних досліджень є дисперсна система, що складається з твердої і рідкої фаз. Тверда – абразивне зерно, рідка – порошкоподібні зв'язувальні СФП та наповнювачі, зв'язані рідким бакелітом. Така система може бути подана у вигляді [1]

$$\sigma = 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon + 2 \cdot \eta \cdot \dot{\varepsilon}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  - напруга, Па;  $\mu$  - модуль зсуву;  $\eta$  - коефіцієнт в'язкості, Па·с;  $\varepsilon$  - деформація, м.

Рівняння (1) є лінійним диференціальним рівнянням відносно  $\varepsilon$ . Його рішення можна записати у вигляді

$$\varepsilon = l^{\frac{\mu}{\eta}} \cdot \left( \varepsilon_0 + \frac{1}{2 \cdot \eta} \cdot \int \sigma \cdot l^{\frac{\mu}{\eta}} dt \right). \quad (2)$$

З аналізу рівняння (2) визначаємо, що на деформацію абразивної маси основний вплив роблять модуль зсуву  $\mu$ , в'язкість  $\eta$ , початкова деформація  $\varepsilon_0$  і час  $t$ .

Розглянемо вплив цих величин.

За фіксованої напруги система приходить в рух, разом з тим її швидкість постійно зменшується, тому що тверда фаза приймає на себе більшу частину наванта-

ження.

Деформаційні властивості аналізованої дисперсної системи характеризуються взаємодією між твердою і рідкою фазами які можна виразити залежністю

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \left( 1 - l^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (3)$$

де  $E$  – модуль пружності, Па;  $\tau = \frac{\eta}{E}$  – час релаксації системи, с.

Для оцінки опору зрушенню (міцності) досліджуваної системи використовувався метод Вейлера-Рєбіндера [2]. Ємкість, у яку була вміщена рифлена пластина, засипалася і ущільнювалася абразивною масою. При вилученні пластини із маси зі швидкістю 0,001...0,005 м/с реєструвалися зусилля і деформації. На рис. 1 наведені залежності зміни деформації зсуву системи від часу за різних швидкостей вилучення пластини. З наведених на рис. 1 даних графічним шляхом визначалися основні параметри, які кількісно описують реологічні характеристики системи, а саме: модуль пружності та еластичності, пластичну в'язкість.

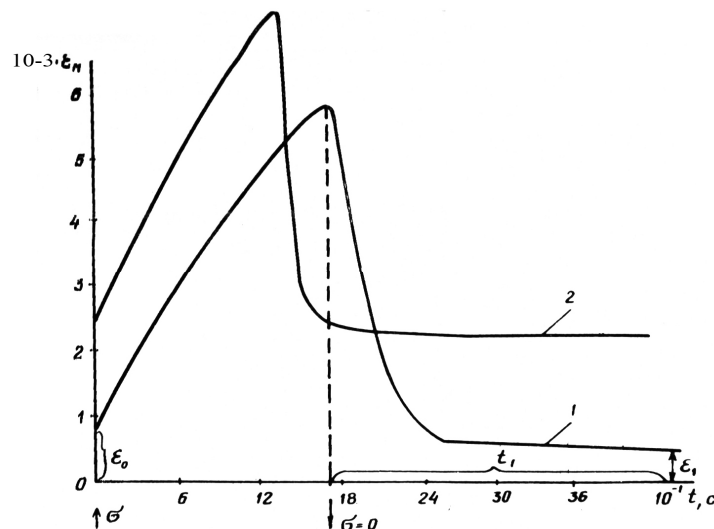


Рис. 1. Залежність деформації  $\varepsilon(t)$  за різних навантажень: 1 – швидкість вилучення пластин  $v = 0,001$  м/с ; 2 – швидкість вилучення пластини  $v = 0,005$  м/с

Fig. 1. The dependence of deformation  $\varepsilon(t)$  under different loads: 1 – speed extraction plates  $v = 0,001$  м/s , 2 - speed extraction plate  $v = 0,005$  м/s

Модуль пружності  $E_1$  визначався за залежністю  $E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ , де пружна деформація

$\epsilon_0$  визначена графічно (рис.1);  $\sigma$  – напруга в системі. Модуль еластичності:  $E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_{\max} - \epsilon_0}$ , де  $(\epsilon_{\max} - \epsilon_0)$  – остаточна деформація системи.

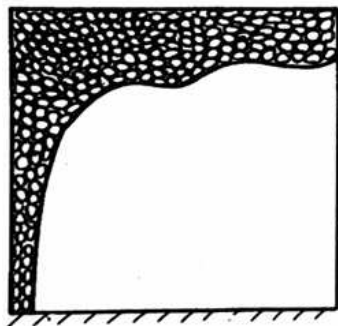
Модуль пружності  $E$  в рівнянні (3), що характеризує жорсткість дисперсної системи, визначається із значень  $E_1$  і  $E_2$ .

В'язкість  $\eta$  в даній системі має складну залежність. В загальному вигляді вона є функцією, що залежить від в'язкості рідкої фази, напруги зсуву, кількісного та хімічного складу порошкоподібних компонентів, температури і вологості навколишнього середовища, часу і ряду інших параметрів.

Пластична в'язкість  $\eta$  визначалася із залежності

$$\eta = \frac{(\sigma - \sigma_k) \cdot t_1}{\epsilon_1}, \quad (4)$$

де  $\sigma_k$  – навантаження, за дії якого спостерігається тільки пружна деформація, Па;  $t_1$  – час з моменту зняття навантаження до відновлення системи, с (рис. 1);  $\epsilon_1$  – деформація системи після зняття навантаження, м.



До зсуву

Час релаксації  $\tau$  характеризує зміну деформації в системі. Зі збільшенням  $\tau$  деформація системи зменшується. Зі збільшенням навантаження зменшується величина модуля еластичності, а модуль пружності зберігає приблизно постійне значення, що свідчить про деформації порошкоподібних компонентів і переважний вплив пружних характеристик абразивного зерна. Пластична в'язкість і час релаксації збільшуються зі збільшенням навантаження.

З іншого боку, деформація зсуву може бути визначена із співвідношення

$$\epsilon = \frac{z}{x}, \quad (5)$$

де  $x$  – вихідний параметр, м (рис. 2);

$z$  – зсув, м (рис. 2).

З аналізу рівнянь (3) і (5), що визначають деформацію зсуву системи, видно, що характеризувати її може і величина  $\frac{z}{x}$ , що

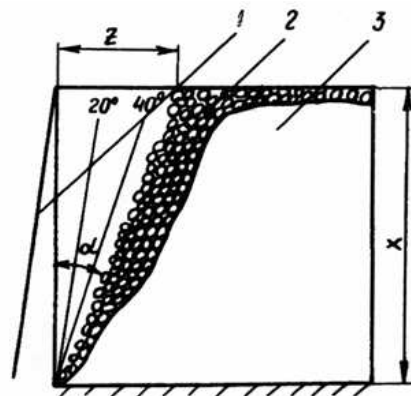
дорівнює, з одного боку:

$$\epsilon = \frac{z}{x} = \frac{\sigma}{E} \left( 1 - l^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (6)$$

а з іншого боку:

$$\epsilon = \frac{z}{x} = tg\alpha, \quad (7)$$

де  $\alpha$  – кут природного обвалення, який утворюється як наслідок зсуву структури порошкоподібного тіла, градус [3].



Після зсуву

Рис. 2. Зсув абразивної маси: 1 - рухома стінка, 2 - абразивна маса, 3 - коробка  
Fig. 2. The offset abrasive mass: 1 - moving wall, 2 - abrasive mass, 3 - box

Знаючи кількісну величину кута  $\alpha$ , можна визначити технологічні властивості маси. Для визначення кута обвалення було виготовлено пристосування коробчастого типу, представленого на рис. 2. Його ємкість заповнюється абразивною масою, рухома стінка відкривається, маса висипається і по нанесеному градуванню визначається кут природного обвалення.

В процесі досліджень встановлено, якщо величина кута  $\alpha$  складає не менше  $50^{\circ}$ , то абразивна маса має стабільні характеристики. Виготовлені з неї вироби мають постійні геометричні параметри. Кут обвалення серійної маси складає  $25 \dots 30^{\circ}$ .

Встановлено, що кут обвалення стабілізується протягом певного часу. Так, властивості серійної абразивної маси стабілізуються через  $3 \cdot 10^3$  с після її виготовлення. При введенні до її складу активних наповнювачів час стабілізації може бути зменшено у  $3 \dots 5$  разів.

Як наслідок проведених досліджень встановлено оптимальне співвідношення абразивної маси, що дозволяє значною мірою стабілізувати геометричні параметри круга. Разом з тим встановлено, що технологічні властивості маси залежать від вологості і температури навколишнього середовища [5]. Тому слід підтримувати постійними ці параметри в приміщеннях, де виготовляють абразивні вироби.

Абразивна маса, яка використовується при серійному виготовленні інструменту [4], забезпечує високу зносостійкість кругів при різанні вуглецевих сталей. Враховуючи, що при монтажних роботах значно збільшилися обсяги застосування труб з легованих сталей, при визначенні оптимального складу нової маси була поставлена задача підвищити зносостійкість серійних кругів при їх різанні. В процесі досліджень встановлено, що така задача може бути вирішена при введенні до складу круга модифікованого каоліну [6].

Оптимальний склад абразивної маси визначався за основою планування експериментів. Область визначення компонентів абразивної маси була встановлена в наступних межах, вагових частинах: рідкий бакеліт ( $\bar{X}_1$ ) –  $2, \dots 9,7$ ; модифікований каолін марки КМП – 2, ( $\bar{X}_2$ ) –  $0 \dots 11,0$ ; кріоліт ( $\bar{X}_3$ ) –  $3,1 \dots 11,0$ ; сполучна СФП – 012А, ( $\bar{X}_4$ ) –  $6,5 \dots 18,5$ .

Для установлення залежності між параметрами складу круга з його зносостійкістю (тобто коефіцієнтом шліфування) проводився повний факторний експеримент  $2^4$ .

Як модель приймаємо рівняння першого ступеня:

$$S = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4, \quad (8)$$

де  $S$  – параметр оптимізації (коефіцієнт шліфування),  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – коефіцієнти рівняння;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – кодовані значення факторів.

Перехід від натуральних значень факторів ( $\bar{X}_j$ ) до кодованих значень ( $X_j$ ) здійснюється за залежністю

$$X_j = \frac{\bar{X}_j - X_{j0}}{I_j}, \quad (9)$$

де  $X_{j0}$  – натуральне значення основного рівня;  $j$  – номер фактора;  $I_j$  – інтервал варіювання.

У табл. 1 наведено умови першої серії дослідів, матриця планування і результати експериментів.

Перевірка на залежність коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента при 6-ти відсотковому рівні значущості вказала на значимість всіх коефіцієнтів. Оцінка дисперсії відтворюваності показала її однорідність.

Адекватність моделі проводилася за допомогою критерію Фішера. Запропонована модель (8) адекватна.

За результатами експериментів під час різання заготовки зі сталі X18H10T експериментальними кругами (склад яких ви-

## Будівельні машини і технологічне обладнання

Таблиця 1. Результати першої серії експериментів  
Table 1. The results of the first series of experiments

Рівні		Фактори				
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
Основний		6,0	8,5	7,0	12,7	
Інтервал варіювання		3,7	2,5	4,0	6,0	
Верхній		9,7	11,0	11,0	18,5	
Нижній		2,3	4,0	3,0	6,5	
Номер до- сліду	Кодоване значення факторів					
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$S$
1	+	-	-	-	-	1,2
2	+	+	-	+	-	1,55
3	+	-	-	+	+	1,72
4	+	-	+	-	+	1,0
5	+	+	+	-	-	0,9
6	+	+	-	-	+	1,71
7	+	-	+	+	-	0,95
8	+	+	+	+	+	1,25
$a_j$	1,285	0,675	-0,26	0,825	0,135	

значався умовами табл.1.) виходить, що для збільшення параметра оптимізації треба зменшувати значення фактора  $X_2$ , тобто вміст у абразивній масі модифікованого каоліну типу КМП-2. У другій серії дослідів було змінено інтервал варіювання факторів і зменшені значення фактора  $X_2$ .

Із аналізу коефіцієнтів  $a'_j$  виходить, що коефіцієнт при факторі  $X_2$  дорівнює  $a'_2 = -1$ . Це свідчить про значний вплив даного чинника на параметр оптимізації. Наявність негативного знака при  $a'_2$  вимагає для збільшення параметра оптимізації зменшення значення фактора  $X_2$ .

Таблиця 2. Результати другої серії експериментів  
Table 2. Results of the second series experiments

Рівні		Фактори				
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
Нижній		5,5	1,0	5,0	11,0	
Основний		7,6	2,0	8,0	14,5	
Верхній		9,7	3,0	11,0	18,0	
Інтервал варіювання		2,1	1,0	3,0	3,5	
Номер до- сліду	Кодоване значення факторів					
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$S$
1	+	-	-	-	-	3,5
2	+	+	-	+	-	3,9
3	+	-	-	+	+	3,9
4	+	-	+	-	+	1,7
5	+	+	+	-	-	1,65
6	+	+	-	-	+	3,9
7	+	-	+	+	-	1,7
8	+	+	+	+	+	2,1
$a'_i$	2,79	0,094	-1,0	1,45	0,1	

Кращі результати, як видно з табл. 2, отримані в дослідях 1,2,3,6, тобто в умовах, коли вміст активної добавки складав 1,0 ваги частин. Середнє значення  $a'_0$  в другій серії дослідів у 2,17 рази вище ніж у першій серії.

У цій області факторного простору вплив вмісту модифікованого каоліну на параметр оптимізації значно вище, ніж у першій серії. Враховуючи, що параметр оптимізації в області  $0 < X_2 < 1$  не досліджений, було прийнято рішення провести третю серію дослідів (табл. 3). Як видно з табл. 3, умови для проведення дослідів, в яких значення коефіцієнтів шліфування максимальні, лежать в області, близької до оптимальної. Середнє значення коефіцієнта  $a''_2$  в третій серії дослідів майже в два рази вище

порівняно з першою і приблизно дорівнює  $a'_2$  з другої серії. Це свідчить про близькість області оптимуму.

Вплив фактора  $X_2$  - модифікований каолін типу КМП - 2, має найбільше значення, що позначається на коефіцієнті шліфування. Зменшення кількісного співвідношення цієї добавки в складі абразивної маси, як видно з дослідів № 1-3,5,9-11, призводить до різкого зниження параметра оптимізації.

Таким чином, в результаті досліджень встановлено оптимальні співвідношення компонентів абразивної маси. Абразивні круги, виготовлені з неї, показали високу зносостійкість і, отже, їх застосування є економічно вигіднішим, ніж застосування кругів, що серійно випускаються.

Таблиця 3. Результати третьої серії експериментів

Table 3. The results of the third series experiments

Рівні		Фактори				
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
Нижній		5,5	0	5,5	11,0	
Основний		7,6	0,5	8,0	14,5	
Верхній		9,7	1,0	11,0	18,0	
Інтервал варіювання		2,1	0,5	3,0	3,5	
Номер дослідів	Кодоване значення факторів					
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$S$
1	+	-	-	-	-	3,5
2	+	+	-	+	-	3,9
3	+	-	-	+	+	3,9
4	+	-	+	-	+	1,7
5	+	+	+	-	-	1,65
6	+	+	-	-	+	3,9
7	+	-	+	+	-	1,7
8	+	+	+	+	+	2,1
Додаткові дослідів						
9	+	7,6	0,5	8,0	14,5	3,4
10	+	5,5	0,5	5,0	11,0	3,65
11	+	9,7	0,5	11,0	18,0	3,0
$a''_j$	2,51	0,0375	1,28	-0,0625	-0,0875	

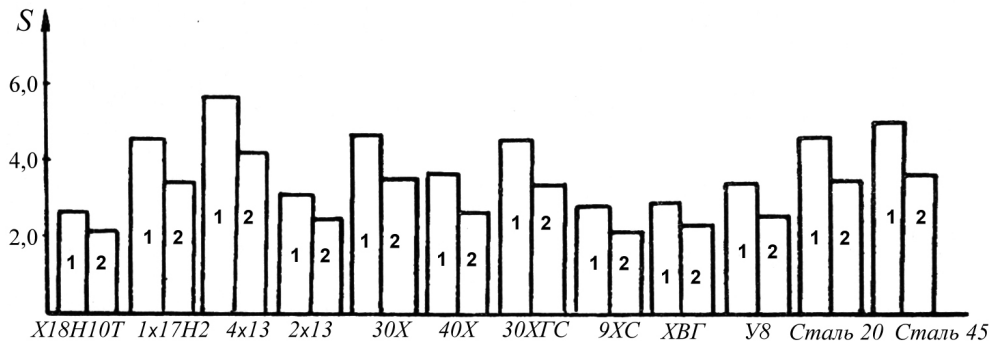


Рис. 3. Коефіцієнт шліфування при різанні різних сталей: 1 - експериментальні круги; 2 - серійні круги

Fig. 3. Is coefficient of grinding in cutting various steels: 1 - experimental discs; 2 - serial circles.

На рис. 3 наведені дані по зносостійкості кругів Д400х4х32мм, отримані при різанні прутків Ø 32мм з хромистих нержавіючих сталей, легованих конструкційних і інструментальних сталей на маятниковій пилці. Для порівняння на рис. 3 наведені так само результати по зносостійкості отримані в повністю ідентичних умовах при різанні кругами з серійної маси.

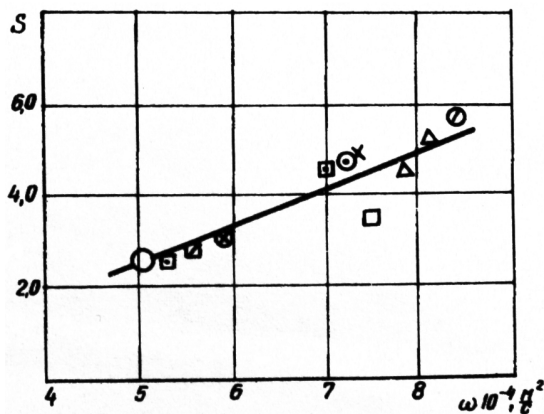


Рис. 4. Залежність коефіцієнта (S) зносостійкості експериментальних кругів від коефіцієнта температуропровідності матеріалу заготовки: (W): O – X18H10T, ⊙ – 1X17H2; ∅ – 4X13; ⊗ – 2X13; x – 30X; □ – 30XГС; ⊠ – ХВГ; ⊞ – У8; △ – сталь 20; △ – сталь 45

Fig. 4. Dependence of the (S) wear resistance experimental discs on the coefficient of thermal conductivity workpiece material : (W): O - H18N10T, ⊙ – 1H17N2; ∅ – 4H13; ⊗ – 2H13; x – 30H; □ – 30hHS; ⊠ – HVG; ⊞ – U8; △ – steel 20; △ – steel 45

Встановлено, що зносостійкість кругів із розробленої маси вище ніж із серійної.

Відмінність в зносостійкості кругів, отриманих при різанні прутків з різних сталей, пояснюється їх теплофізичними властивостями і, в першу чергу, температуропровідністю. З рис. 4 видно, що коефіцієнт шліфування прямопропорційний величині коефіцієнта температуропровідності матеріалу, що розрізається.

### Висновки

На основі проведених досліджень було розроблено оптимальне співвідношення компонентів складу абразивної маси. Визначено, що технологічні властивості готового круга залежать від вологості і температури навколишнього середовища, тому ці параметри повинні постійно підтримуватись в приміщеннях де їх виготовляють.

Завдяки цьому ми отримуємо стабілізацію властивостей абразивної маси готового круга за геометричних та експлуатаційних показників, що збільшить зносостійкість абразивних кругів.

**Література**

1. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. Ленинградское отделение “Химия”, 1974, 351 с.
2. *Вейлер С.Я., Ребиндер П.А.*, Исследование упругопластических свойств и тиксотрипии дисперсных систем // ДАН СССР. - 1945. - Т. 49. -И2 5. С. 354-357
3. *Андрианов Е.И.* Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. М., “Химия”, 1982, 256с.
4. *А.с. 663574 (СССР).* Масса для изготовления абразивного инструмента/ Ю.Д. Семечко, В.И. Суровцев, Ю.Д. Абрашкевич, Г.И. Лысюк, Г.А. Сотников. Опубл. в Б.И., 1979, №19
5. *Исследование* теплофизических свойств, абразивных армированных кругов. Труды ВНИИМСС, 1981.
6. *А.с. 887593 (СССР).* Масса для изготовления абразивного инструмента/ Ю.Д. Абрашкевич, Ю.И. Химченко, В.М. Беликович, И.Е. Еременко, Г.А. Сотников. – Опубл. в Б.И., 1981, №45

**References**

1. *Fridrihsberg D.A.*, 1974. Kurs kolloidnoj himii [The kolloydnoy chemistry course]. St. Petersburg, Himija Publ., 351.
2. *Vejler S.Ja., Rebinder P.A.*, 1945. Issledovanie uprugoplasticheskikh svojstv i tiksotropii dispersnyh sistem [The study of elastic-plastic and thixotropy properties of dispersed systems]. Doklady Akademii nauk SSSR [Reports of the Academy Sciences USSR], Vol. 49, I25, 354-357.
3. *Andrianov E.I.*, 1982. Metody opredelenija strukturno-mehaničeskikh harakteristik poroshkovoobraznyh materialov [Methods for determination of the structural and mechanical properties of powder materials]. Moscow, Himija Publ., 256.
4. *Semechko Ju.D.*, Surovcev V.I., Abrashkevich Ju.D., Lysjuk G.I., Sotnikov G.A., 1979. Massa dlja izgotovlenija abrazivnogo instrumenta [Mass for making abrasive tools]. Patent USSR, no. 663574.
5. *Issledovanie* teplofizicheskikh svojstv, abrazivnyh armirovannyh krugov [The study of thermophysical properties, reinforced abrasive wheels]. Trudy VNIIMSS [Trudy Union Scientific Research Institute for the mounting and special construction works], 1981.
6. *Abrashkevich Ju.D.*, Himchenko Ju.I., Belikovich V.M., Eremenko I.E., Sotnikov G.A., 1981. Massa dlja izgotovlenija abrazivnogo instrumenta [Mass for making abrasive tools]. Patent USSR, no. 887593.

Надійшла до редакції  
20.02.2012 р.

Затверджена до друку  
11.12.2012 р.