

А.А. Якимов, канд. техн. наук, Одесса, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ ПРЕРЫВИСТЫМИ КРУГАМИ НА СТАНКАХ МАОГ. 5851, 5853, РАБОТАЮЩИМИ ПО НУЛЕВОЙ СХЕМЕ

Проведені теоретичні дослідження, спрямовані на визначення геометричних параметрів тарільчатих переривчастих кругів, при шліфуванні якими створюються умови, що визначають необхідну якість поверхневого шару зубів оброблюваних коліс.

Проведены теоретические исследования, направленные на определение геометрических параметров тарельчатых прерывистых кругов, при шлифовании которыми создаются условия, предопределяющие требуемое качество поверхностного слоя зубьев обрабатываемых колес.

Theoretical studies sending to determination of dish discontinued wheels geometrical parameters and creating conditions to predetermine the required processed gear tooth surface layer quality in grinding are carried out.

1. Постановка проблемы. В редукторах авиационных двигателей применяются зубчатые колеса 3÷4 степени точности. Высокую точность таких колес можно обеспечить только шлифованием. Процесс зубошлифования сопровождается высокой теплонпряженностью. Под воздействием высоких температур на зубьях часто возникают прижоги, остаточные растягивающие напряжения и микротрещины. Для снижения температуры при шлифовании успешно применяются прерывистые круги. Особенно успешно они применяются при зубошлифовании двумя тарельчатыми кругами, так как в этом случае обработка производится «всухую», т.е. без применения СОЖ. Однако применение прерывистых тарельчатых кругов при зубошлифовании сдерживается отсутствием методик расчета их геометрических параметров. Расчет длин выступов и впадин абразивных кругов основывается на расчетах температур прерывистого шлифования. Проблемой теплонпряженности процесса зубошлифования занимались авторы [1], [2], [3], [4], [5], [6] и др., но температуру в зоне резания они рассчитывали для сплошного шлифования. Математические модели для определения температур, формируемых при прерывистом шлифовании и импульсной фрикционной обработке, приводятся в работах [7], [8], [9], эти модели нельзя использовать для расчета температур прерывистого зубошлифования тарельчатыми кругами на станках МАОГ, 5851, 5853.

2. Цель исследования. Целью настоящей работы является разработка методики выбора геометрических параметров прерывистых тарельчатых

кругов, применяемых при зубошлифовании на станках МААГ, 5851, 5853. Для этого необходимо разработать математическую модель для определения температуры, формируемой при прерывистом зубошлифовании на указанных станках.

3. Основные материалы исследования. Беря за основу одномерную теплофизическую схему и применяя принцип суперпозиции, разработана математическая модель для определения температур, формируемых при зубошлифовании прерывистыми тарельчатыми кругами на станках, работающих по нулевой схеме.

$$T_k = \frac{2 \cdot \psi}{\sqrt{c \cdot \rho_m \cdot \lambda}} \cdot \sum_{i=1}^k q_i \cdot \left[\sqrt{(k-i+1) \cdot \frac{l'_1}{V_{kp}} + (k-i) \cdot \frac{l'_2}{V_{kp}}} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{t - \sum_{i=1}^k t'_i}{\sqrt{(k-i+1) \cdot \frac{l'_1}{V_{kp}} + (k-i) \cdot \frac{l'_2}{V_{kp}}}} \right) - \sqrt{(k-i) \cdot \frac{(l'_1 + l'_2)}{V_{kp}}} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{t - \sum_{i=1}^k t'_i}{\sqrt{(k-i) \cdot \frac{(l'_1 + l'_2)}{V_{kp}}}} \right) \right] \quad (1)$$

где ρ_m, c, λ – плотность (кг/м^3), теплоемкость ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$) и теплопроводность ($\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$) обрабатываемого материала соответственно;

ψ – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в теплоту $\psi = 0,8$;

k – число режущих выступов, принимающих участие в перерезании адиабатического стержня. (рис.1)

$$k = \frac{\sqrt{2 \cdot r \cdot t_1}}{V_{обк.}} \cdot \frac{V_{kp}}{(l'_1 + l'_2)}, \quad (2)$$

где r – радиус закругления режущей кромки круга, $r = 0,4 \cdot m$;

m – модуль обрабатываемого колеса; l'_1 – длина режущего выступа;

l'_2 – ширина впадины;

$V_{обк.}$ – скорость обката;

V_{kp} – окружная скорость круга.

q_i – интенсивности тепловых потоков, формируемых при срезах металла отдельными режущими выступами прерывистого круга

$$q_i = \frac{P_{z,i} \cdot V_{kp}}{\Phi_i} \quad (3)$$

где $P_{z,i}$ – тангенциальная составляющая силы резания, возникающей от одновременного внедрения в i -ую полосу рабочей поверхности шлифовального круга всех нормальных составляющих элементарных слоев обрабатываемого материала;

Φ_i – площадь участка i -ой полосы рабочей поверхности шлифовального круга, входящего в состав площади пятна контакта инструмента с обрабатываемым зубом.

$$P_{z,i} = 0,469 \cdot A \cdot \left[\frac{t g \gamma \cdot k'}{b} \right]^{0,25} \cdot \left(\frac{6,75 \cdot V_{обк} \cdot \sqrt{2 \cdot t_i}}{(R_{kp} - r) \cdot V_{kp}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_i}{r}} \right)^{0,75} \cdot B_i \cdot \left(\frac{(X - S)(2 \cdot i - 1)}{2 \cdot k} \right)^{1,75} \quad (4)$$

где γ – половина угла при вершине зерна;

b – максимальная высота выступления режущих зерен над уровнем связки круга $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{x}$; \bar{x} – зернистость круга; S – продольная подача;

$(1 - \varepsilon)$ – коэффициент, учитывающий высоту выступления зерен над связкой; $k' = \frac{3 \cdot m' \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{x}^2}$;

m' – объемная концентрация зерен круга, %;

$m' = (60 - 2 \cdot N)$;

N – номер структуры шлифовального круга;

B_i – ширины участков рабочей поверхности круга

$$B_i = \sqrt{t_i'^2 + \left[\frac{(l'_1 + l'_2)}{V_{kp}} \cdot \frac{V_{обк}}{(\rho - t_1)} \cdot \left(\rho - \sum_{j=1}^i t_j' \right) \right]^2}, \text{ где } 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

где ρ – радиус кривизны эвольвенты;

$$t_i = t_1 - \sum_{j=1}^{i-1} t'_j, \text{ где } 2 \leq i \leq k$$

$$t'_1 = \sqrt{r^2 - \left\{ \left(1 - \frac{i}{k} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_1}{r}} \cdot [r + (\rho - t_1)] \right\}^2} - (r - t_1), \quad (6)$$

$$t'_i = \sqrt{r^2 - \left\{ \left(1 - \frac{i}{k} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_1}{r}} \cdot [r + (\rho - t_1)] \right\}^2} - (r - t_1) - \sum_{j=1}^{i-1} t'_j, \text{ где } 2 \leq i \leq k \quad (7)$$

$$\Phi_i = \frac{(X - S) \cdot B_i \cdot (2 \cdot i - 1)}{2 \cdot k}, \text{ где } 1 \leq i \leq k \quad (8)$$

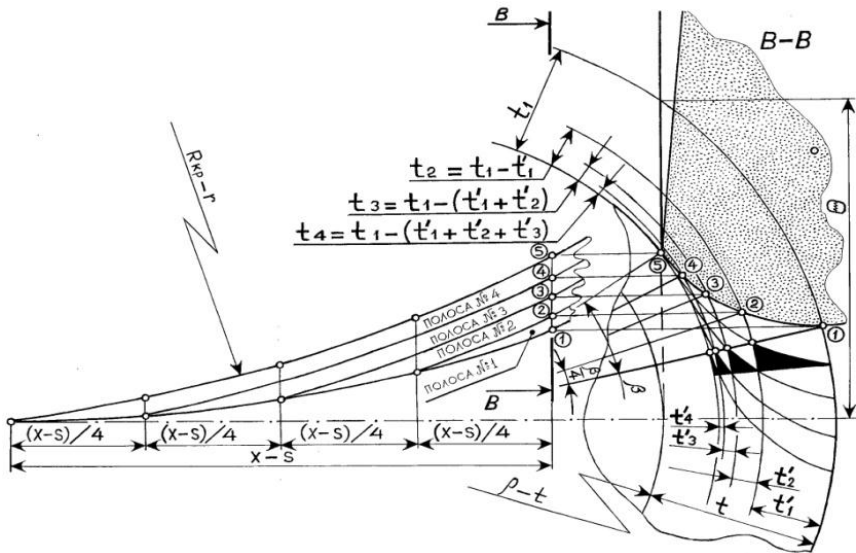


Рисунок 1 – Перерезание адиабатического стержня отдельными выступами прерывистого круга

Моделирование характера нарастания температуры в фиксированной точке профиля зуба осуществлялось по схеме (рис.1), в которой количество разбивок зоны контакта на отдельные полосовые участки равно числу режущих выступов, принявших участие в перерезании стержня, расположенного по нормали к обрабатываемой поверхности.

В структуре формулы (1) заложено суммирование приростов температур ΔT_i , формируемых в точке, расположенной на глубине резания t , при действии на эту точку тепловых потоков разных интенсивностей q_i (рис.2, 3).

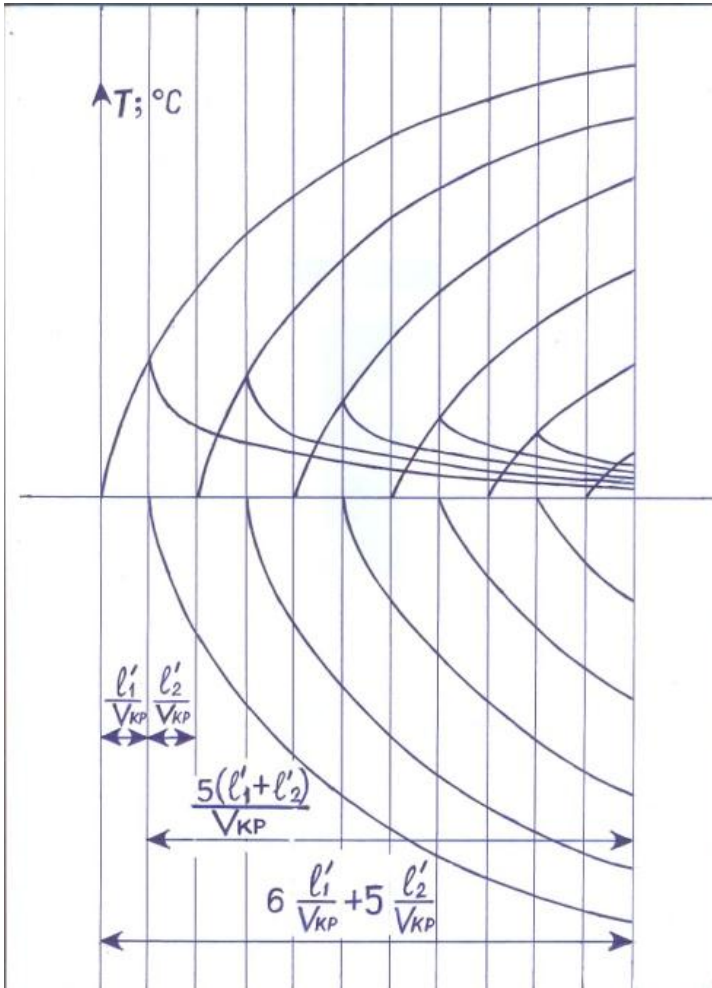


Рисунок 2 – Схема формирования тепловых импульсов при прерывистом шлифовании

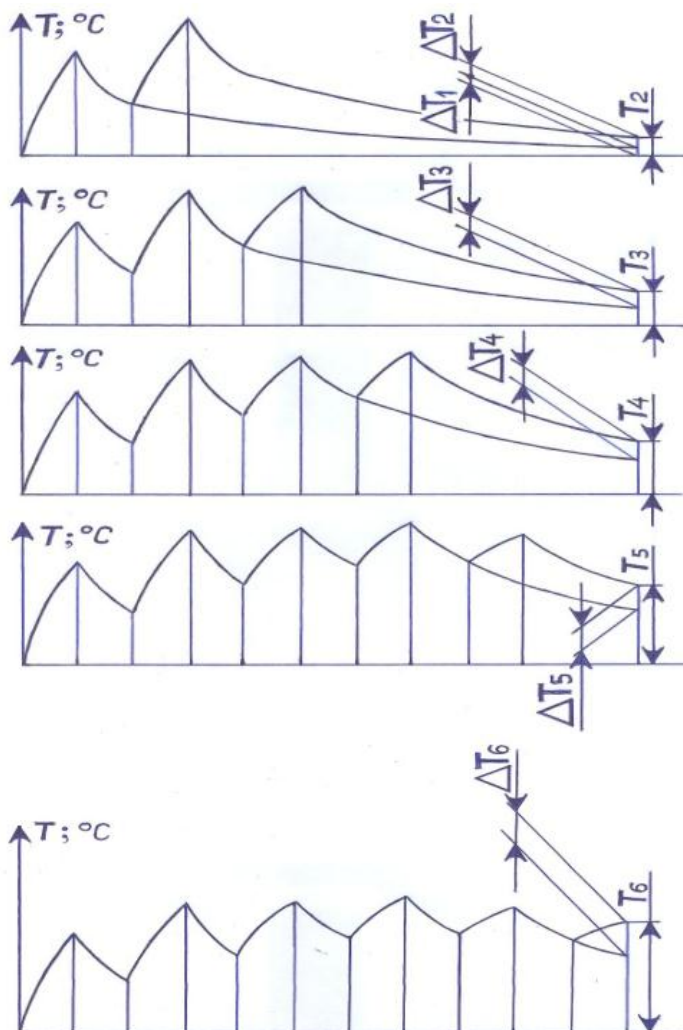


Рисунок 3 – Приросты температур, формируемых при снятии обрабатываемого материала отдельными режущими выступами прерывистого шлифовального круга

Используя математическую модель (1)÷(8) были произведены расчеты температур, формируемых при зубошлифовании прерывистыми тарельчатыми кругами с разным числом n режущих выступов и разными

соотношениями длин впадин и выступов $K_{np} = l'_2 / l'_1$. Результаты расчетов приведены на рис.4.

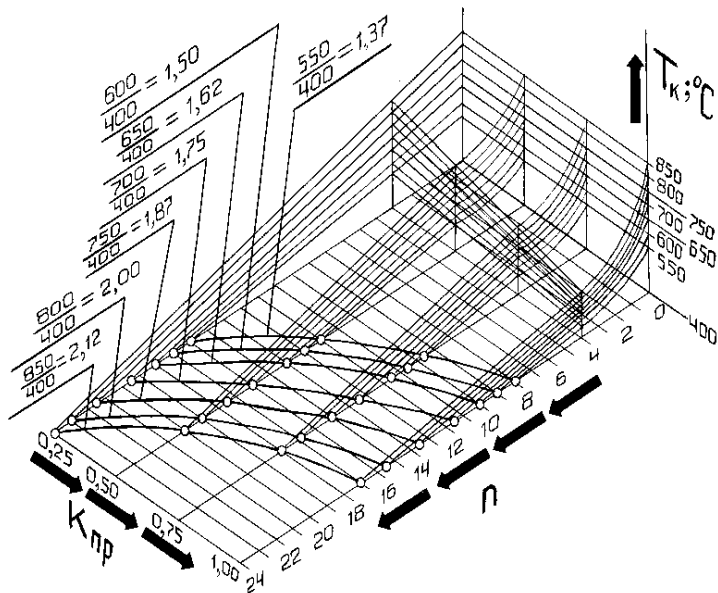


Рисунок 4 – Зависимости температуры прерывистого шлифования T_k от числа режущих выступов на круге для разных значений $K_{np} = l'_2 / l'_1$ при исходных температурах (температурах сплошного шлифования)
 $T_{спл.} = 850^{\circ}\text{C}; 800^{\circ}\text{C}; 750^{\circ}\text{C}; 700^{\circ}\text{C}; 650^{\circ}\text{C}; 600^{\circ}\text{C}; 550^{\circ}\text{C}$

На рис.4 показаны температуры $T_k = 850^{\circ}\text{C}$, 800°C , 750°C , $T_k = 700^{\circ}\text{C}$, 650°C , 600°C , 550°C , сформированные при шлифовании абразивным инструментом с непрерывной рабочей поверхностью на разных режимах, и снижение этих температур до уровня $T_k = 400^{\circ}\text{C}$, что достигается применением прерывистых шлифовальных кругов. На рис.4 в плоскости $(K_{np}; n)$ показано семейство кривых, представляющих собой геометрические множества точек, каждая из которых является такой совокупностью коэффициента прерывистости K_{np} и числа режущих выступов на круге, при которой температура прерывистого шлифования равна 400°C . Из рисунка

видно, что понизить температуру прерывистого шлифования можно увеличением числа впадин на абразивном инструменте и увеличением величины отношения их длин к длинам режущих выступов.

На рис. 5 показаны зависимости температуры T_k от количества режущих выступов n на прерывчатом шлифовальном круге, рассчитанные для двух значений коэффициента прерывистости $K_{пр} = 0,333$ и $K_{пр} = 1$. Расчеты температур проводились по формуле (1) для $4 \leq n \leq 160$.

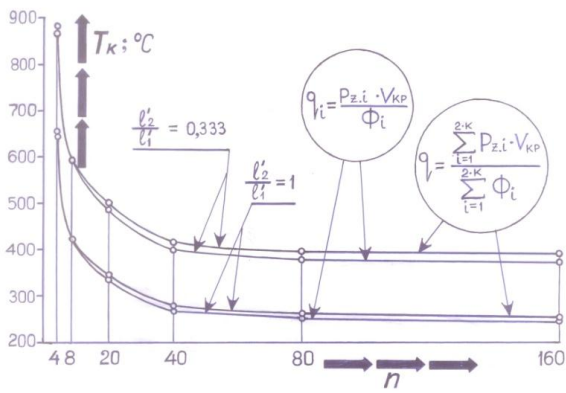


Рисунок 5 – Зависимости температуры T_k от количества режущих выступов n на прерывчатом шлифовальном круге, рассчитанные для следующих условий:

$$D_{kp} = 225 \cdot 10^{-3} \text{ м}; V_{kp} = 30 \text{ м/с}; S = 3,57 \cdot 10^3 \text{ м/кач.}; t = 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$V_{обк} = 0,044 \text{ м/с}; N = 7; \bar{x} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}; m = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \lambda = 16,7 \text{ Вт/ (Г.°С)};$$

$$\psi = 0,8; \gamma = 45^\circ; c \cdot \rho_m = 4,175 \cdot 10^6; A = 210000$$

На рис. 5 видно, что с увеличением количества режущих выступов n на круге происходит снижение температуры шлифования T_k . Увеличение количества режущих выступов $n = 40$ сопровождается интенсивным снижением температуры T_k . Дальнейшее увеличение количества выступов ($n > 40$) нецелесообразно, так как не приводит к заметному снижению теплонапряженности.

4. Выводы. Получена математическая модель (1)...(8) для определения температуры, формируемой при зубошлифовании прерывистыми тарельчатыми кругами на станках МААГ. 5851, 5853. Исследование математической модели (1)...(8) показало, что понизить температуру

прерывистого шлифования можно увеличением количества прорезей на абразивном круге при неизменной величине отношения длин впадин к длинам выступов. Установлено, что нецелесообразно изготавливать прерывистые круги, у которых число впадин больше 40.

Список использованных источников: 1. Калинин Е.П. Исследование процесса зубошлифования на станках с червячным абразивным кругом в связи с нахождением путей устранения прижогов и трещин//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн.наук/05.02.08/ ППИ. – Пермь, 1966. – 24с. 2. Головизин А.С. Пути повышения качества поверхностного слоя при шлифовании конических колес с круговыми зубьями//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн.наук/05.02.08/ ППИ. – Пермь, 1968. – 28с. 3. Бояршинов Ю.А. Разработка и исследование способов повышения качества поверхностного слоя при шлифовании высокоточных зубчатых колес//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук/05.02.08/ ППИ. – Пермь, 1970. – 19с. 4. Бахвалов В.А. Исследование влияния параметров процесса зубошлифования конусным кругом и исходного состояния материала на качество поверхностного слоя//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн. наук/05.02.08/ ОПИ. – Одесса, 1977. – 16с. 5. Лебедев В.Г. Технологические основы управления качеством поверхностного слоя при шлифовании//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. доктора техн.наук/05.02.08/ КПИ. – Киев, 1991. – 33с. 6. Нежебовский В.В. Технологическое обеспечение качества обработки зубчатых колес приводов шахтных конвейеров на операциях зубошлифования//Автореферат дис. на соиск. уч. степ. кандидата техн.наук/05.02.08/ ХПИ. – Харьков, 2011. – 20с. 7. Лищенко Н.В., Ларшин В.П., Якимов А.В. Определение температуры прерывистого шлифования//Пр. Одес. Політехн. Ун-ту.– Одеса, 2012. – Вип.2(39). – С.80-85. 8. Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Определение температуры шлифования при импульсном тепловом потоке//Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: Зб. наук праць.– Одеса, 2013. – Вип.1(2). – С.41-49. 9. Гурей І.В. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей виробів параметрами імпульсної фрикційної обробки//Автореферат дис. на здоб. наук. ступ. доктора техн.наук/05.02.08/ ОНПУ. – Одеса, 2002. – 36с.

Bibliography (transliterated): 1. Kalinin E.P. Issledovanie processa zuboshlifovaniya na stankah s chervyachnym abrazivnym krugom v svyazi s nahozhdeniem putej ustraneniya prizhogov i treshhin//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. kandidata tehn.nauk/05.02.08/ PPI. - Perm', 1966. - 24s. 2. Golovizin A.S. Puti povysheniya kachestva poverhnostnogo sloja pri shlifovanii konicheskikh koles s krugovymi zub'yami//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. kandidata tehn.nauk/05.02.08/ PPI. □ Perm', 1968. - 28s. 3. Bojarshinov Ju.A. Razrabotka i issledovanie sposobov povysheniya kachestva poverhnostnogo sloja pri shlifovanii vysokotocnykh zubchatykh koles//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. kandidata tehn. nauk/05.02.08/ PPI. - Perm', 1970.- 19s. 4. Bahvalov V.A. Issledovanie vlijaniya parametrov processa zuboshlifovaniya konusnym krugom i ishodnogo sostojaniya materiala na kachestvo poverhnostnogo sloja//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. kandidata tehn. nauk/05.02.08/ OPI. - Odessa, 1977. - 16s. 5. Lebedev V.G. Tehnologicheskie osnovy upravleniya kachestvom poverhnostnogo sloja pri shlifovanii//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. doktora tehn.nauk/05.02.08/ KPI. - Kiev, 1991. - 33s. 6. Nezhebovskij V.V. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva obrabotki zubchatykh koles privodov shahtnykh konveerov na operacijah zuboshlifovaniya//Avtoreferat dis. na soisk. uch. step. kandidata tehn.nauk/05.02.08/ HPI. - Har'kov, 2011. - 20s. 7. Lishhenko N.V., Larshin V.P., Jakimov A.V. Opredelenie temperatury preryvistogo shlifovaniya//Pr. Odes. Politehn. Un-tu.- Odessa, 2012. - Vip.2(39). - S.80-85. 8. Larshin V.P., Lishhenko N.V. Opredelenie temperatury shlifovaniya pri impul'snom teplovom potoke//Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobniactvi: Zb. Nauk Prac '- Odessa, 2013. - Vip.1(2). - S.41-49. 9. Gurej I.V. Tehnologichne zabezpechennja jakosti ta ekspluatacijnih vlastivostej vrobiv parametrami impul'snoi frikcijsnoi obrobki//Avtoreferat dis. na zdob. nauk. stup. doktora tehn.nauk/05.02.08/ ONPU. - Odessa, 2002. - 36s.

Поступила в редколлегию 16.09.2013