

УДК 621.9.048

Б. Гевко¹, докт. техн. наук; О. Кондратюк², О. Шаблій¹, докт. фіз.-мат. наук, професор; М. Підгурський¹, докт. тех. наук, професор.

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Рівненський національний університет водного господарства та природокористування

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Резюме. Наведено результати експериментальних досліджень технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки. Визначено дискретність зміни шорсткості оброблюваної поверхні та шляхи її усунення. Запропоновано конструктивну схему установки для автоматизації технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки, на яку отримано деклараційний патент України.

Ключові слова: вібраційно-відцентрова обробка, технологічний процес, шорсткість поверхні.

B. Hewko, O. Kondratiuk, O. Shabliy, M. Pidgursky

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL VIBRATION-CENTRIFUGAL PROCESSING OF DETAILS

Summary. The construction of vibration-centrifugal device with complex angular vibration and gimbal suspension, which is placed inside the working chamber, for machine parts treatment with low rigidity and complex profile, was presented. Besides, the machine tool is equipped with a device for smooth change of the angular vibration value and rotation frequency control. Block diagram for the control of the vibration-centrifugal treatment process, which allows to avoid the discrete nature of the change of machined surfaces roughness and reduces the time of obtaining a certain or minimum value of surfaces hardness and provides reliable performance of treatment technological process of complex profile and very low rigidity parts. The objective of the work is to study the influence of structural kinematic parameters of chamber inside which parts are machined on the quality of the vibration-centrifugal treatment of parts with complex configuration and low hardness. The results of experimental investigations of the vibration-centrifugal treatment, were presented. The experimental investigations for determining the changes of the parameters of treated surfaces by vibration-centrifugal treatment were done on unhardened samples after turning and milling of steels 40, 40X, Steel 20, St3, brass LS 59-1 with different initial stiffness, cylindrical and prismatic shape. It was found that during the first 15 minutes of treatment there is intensive reduction of microirregularities, the next 15 minutes the intensity of decreasing the heterogeneity is negligible. Within 30 .. 45 minutes the hardness increases, but the roughness parameters Ra being not higher than the initial. The change of the arithmetic deviation of profile stiffness depending on the duration of treatment with different initial stiffness for the above materials was determined. Practical recommendation on the choice of technological parameters of the process of treatment and choice of design parameters settings are presented.

Key words: vibration-centrifugal processing, manufacturing process, surface roughness.

Умовні позначення:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості поверхні, мкм;

$G_{міц}$ – межа міцності матеріалу деталі, Па;

$G_{зм}$ – межа зминання матеріалу деталі, Па;

G_T – границя текучості матеріалу деталі, Па;

$S_{кр}$ – середній крок нерівностей, мкм;

A – кутова амплітуда, град;

a – частота, c^{-1} ;

P_n – сила, яка притискує гранулу до абразивної поверхні, Н;

P_t – тангенціальна складова сили різання, Н;

ΔE – питома енергія сили різання і зняття металу за один удар гранули робочого середовища;

T – час обробки, с;

$K_{обр}$ – коефіцієнт обробки, який залежить від грануляції $d_{гр}$, зернистості K_a , співвідношення корисної і повної площі робочої камери S_k та інших параметрів.

Постановка проблеми. Вібраційна обробка деталей у вільно сипучому абразивному середовищі більшою мірою базується на верстатах з дебалансними вібраціями. Траєкторія руху робочої камери і робочого середовища на верстатах даного типу нестабільна в часі. Закономірність її руху залежить від багатьох факторів: конструкції пружин, їх жорсткості й розміщення, маси робочого середовища й конфігурації оброблюваних деталей та кінематики привода [1]. Це створює певні незручності для контролю й прогнозування результатів технологічного процесу.

Точніші розрахунки параметрів робочого середовища спостерігаються у верстатах з жорсткою кінематичною схемою, що визначає закономірність руху робочої камери і не змінюється в часі [2]. Це досягається за рахунок жорсткості кінематичного зв'язку ланок механізму.

Одним із найпродуктивніших представників верстатів з жорсткою кінематичною схемою є вібраційно-відцентрова установка з об'ємними кутовими коливаннями камери в карданному підвісі [3], кінематична схема якої зображена на рис. 1. Привод задає оберти кривошипу, який складається із гвинта з правою та лівою різьбами, противаги P і сферичного підшипника A . Кривошип через водило надає рух робочій камері, шарнірно закріпленій у карданному підвісі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями вібраційного оброблення деталей присвячені праці Бабичева А.П. [1]. Праці Мориза В.М. [2], присвячені тільки вібраційній обробці деталей на верстатах з жорсткою кінематикою процесу. Одним із найпродуктивніших способів оброблення деталей є вібраційно-відцентрова обробка (ВВО) з об'ємним кутовим коливанням з жорсткою кінематичною схемою підвіски й об'ємними кутовими коливаннями камери в карданній підвісці [3], особливо деталей складної конфігурації і малої жорсткості.

Останні потребують подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Метою роботи є дослідження впливу конструктивних, кінематичних параметрів робочої камери на якість виконання та якість технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей складного профілю і малої жорсткості.

Роботу виконано згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Ресурсозбереженні та енергоефективні технології у машинобудуванні» на 2010...2015 роки.

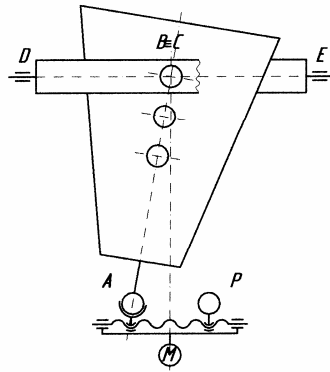


Рисунок 1. Кінематична схема вібраційно-відцентрової установки з робочою камерою в карданному підвісі

Figure 1. Kinematic scheme of vibration-centrifugal device with working chamber with gimbal suspension

Реалізація роботи. На якість технологічного процесу ВВО впливає траєкторія переміщення точок поверхні робочої камери, яка являє собою похилий еліпс зі зміною орієнтації осей по поверхні камери. При переміщенні ексцентриситету кривошипа кутова амплітуда робочої камери може змінюватися в межах від 0° до 10° .

Змінюючи розміщення робочої камери відносно осі ВС, змінюємо хід технологічного процесу. На мікрогеометрію і фізико-механічні властивості поверхневого шару оброблюваної поверхні та продуктивність процесу впливають механічні властивості матеріалу, режим роботи віброустановки, характеристика та розміри робочого середовища.

Для визначення змін параметрів оброблюваної поверхні при вібраційно-відцентровій обробці були проведені експериментальні дослідження на незагартованих зразках після точіння і фрезерування зі сталі 40, сталі 40Х, сталі 20, сталі Ст3, латуні ЛС59-1 з різною вихідною шорсткістю, циліндричної і призматичної форм.

Зміна параметрів поверхні протягом технологічного процесу обробки проходила дискретно. Найбільш виражену дискретність зміни параметрів виявлено при формуванні шорсткості поверхні оброблюваних зразків [4] (рис. 2). Процес формування шорсткості при ВВО здійснюється таким чином. Протягом перших 15 хв обробки проходить інтенсивне зменшення мікронерівностей, наступні 15 хв інтенсивність зниження шорсткості незначна. В період від 30 до 45 хв шорсткість збільшується, але при цьому параметр R_a не перевищує вихідний. При подальшій обробці з 45 до 60 хв спостерігається повторне зниження шорсткості, інтенсивність зниження якої приблизно дорівнює інтенсивності зниження в початковий період від 0 до 15 хвилин.

Увесь процес обробки деталей можна розділити на такі етапи. В початковий період обробки удари абразивних гранул доводяться на вершини мікронерівностей вихідної поверхні зразків. Проходить інтенсивне зниження гребенів мікрорельєфу, в результаті інтенсивно знижується шорсткість і підвищується поверхнева міцність оброблюваної поверхні. Цей етап закінчується формуванням поверхні, яка має вищі значення показників якості поверхні. Умовно можна назвати таку частину технологічної операції вібраційним проходом. Тривалість такого проходу при ВВО знаходиться в межах 15÷30 хв. За цей час вся вихідна поверхня деталі покривається слідами взаємодії з абразивними гранулами робочого середовища. В наступний період

обробляється поверхня, яка сформована першим вібраційним проходом. Режим обробки не змінюється, стійкість робочого середовища забезпечує майже незмінну його властивість. Гранули робочого середовища, маючи ту ж енергію, що і в першому проході, залишають на поверхні слід, глибина якого дещо більша, ніж висота мікронерівностей, сформованих першим проходом. Гранула деформує метал в основі виступів вихідного мікрорельєфу поверхні зразка. При цьому збільшується ступінь і глибина наклепу.

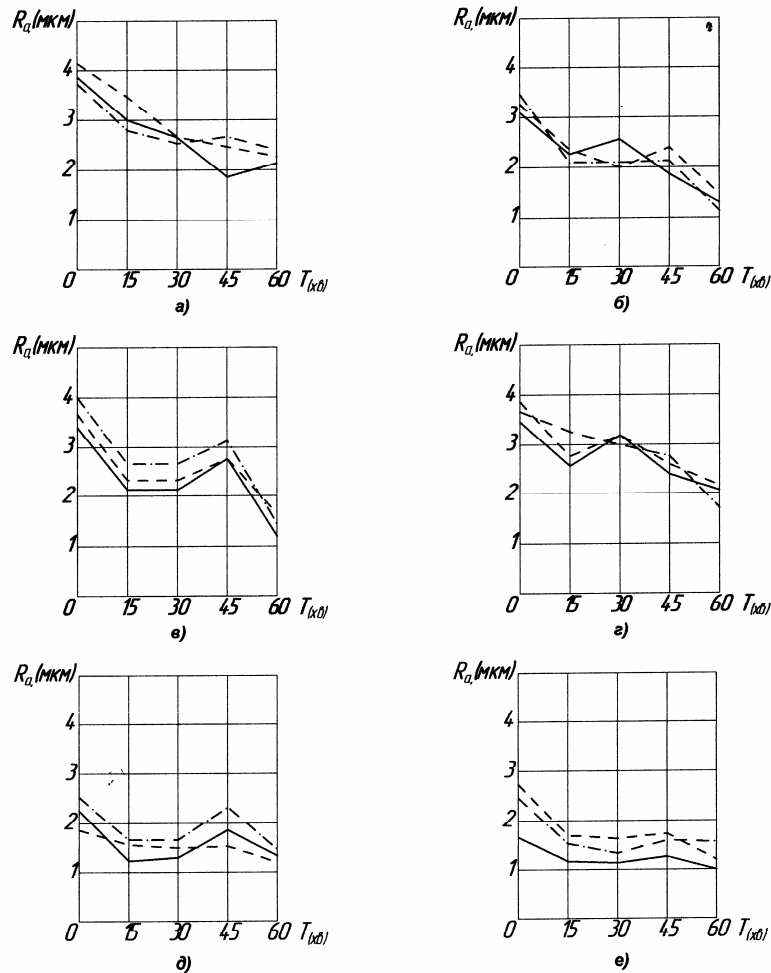


Рисунок 2. Зміна середнього арифметичного відхилення профілю R_a залежно від тривалості обробки при різній вихідній шорсткості: а – сталь 45; б – сталь 40; в – сталь 40Х; г – сталь 20; д – сталь Ст3; е – латунь ЛС50-1; а, б, в, г, д – після точіння три зразки; е – після фрезерування три зразки; умови обробки: $A=4^\circ$, $f=15 \text{ c}^{-1}$, абразив байкаліт зелений, грануляція $10\div 20 \text{ мм}$

Figure 2. Change of the arithmetic mean deviation R_a profile depending on the duration of treatment at different initial roughness: а – steel 45; б – steel 40; в – steel 40Х; г – steel 20; д – steel St3, е – brass LS50-1, а, б, в, г, д – after turning three samples; е – after milling three samples, treatment conditions: $A=4^\circ$, $f=15 \text{ c}^{-1}$, abrasive baykalit green, granulation $10\div 20 \text{ mm}$

Другий вібраційний період характеризується підвищенням параметрів шорсткості, але числове значення R_a в кінці проходу менше вихідного. Цей прохід закінчується приблизно в 45 хвилин після початку обробки.

Наступний прохід відрізняється зниженням шорсткості. Це пояснюється двома факторами. По-перше, з кожним наступним проходом зона взаємодії гранули з поверхнею наближається до основ виступів мікрорельєфу, в результаті чого

збільшується площа взаємодії гранули з поверхнею. По-друге, перших два проходи призвели до підвищення поверхневої міцності матеріалу зразка. Це додатково призводить до збільшення реакції поверхні при силевій взаємодії з нею абразивних гранул робочого середовища. Від проходу до проходу пружна фаза удару гранули об поверхню буде збільшуватися.

Аналіз перших проходів ВВО свідчить, що формування шорсткості поверхні проходить дискретно зі зменшенням ступеня дискретності при збільшенні часу обробки. В міру наближення до сталої шорсткості силова взаємодія гранули з поверхнею деталі набуває характеру пружного удару.

Для скорочення часу ВВО й уникнення дискретності необхідно керувати в процесі обробки кількістю енергії, яку отримує абразивна гранула від поверхні робочої камери, тобто режимом обробки. Різновидність режимів обробки протягом усього технологічного процесу потребує використання програм його розрахунку. Блок-схема програми управління технологічним процесом ВВО (рис. 3) містить такі параметри:

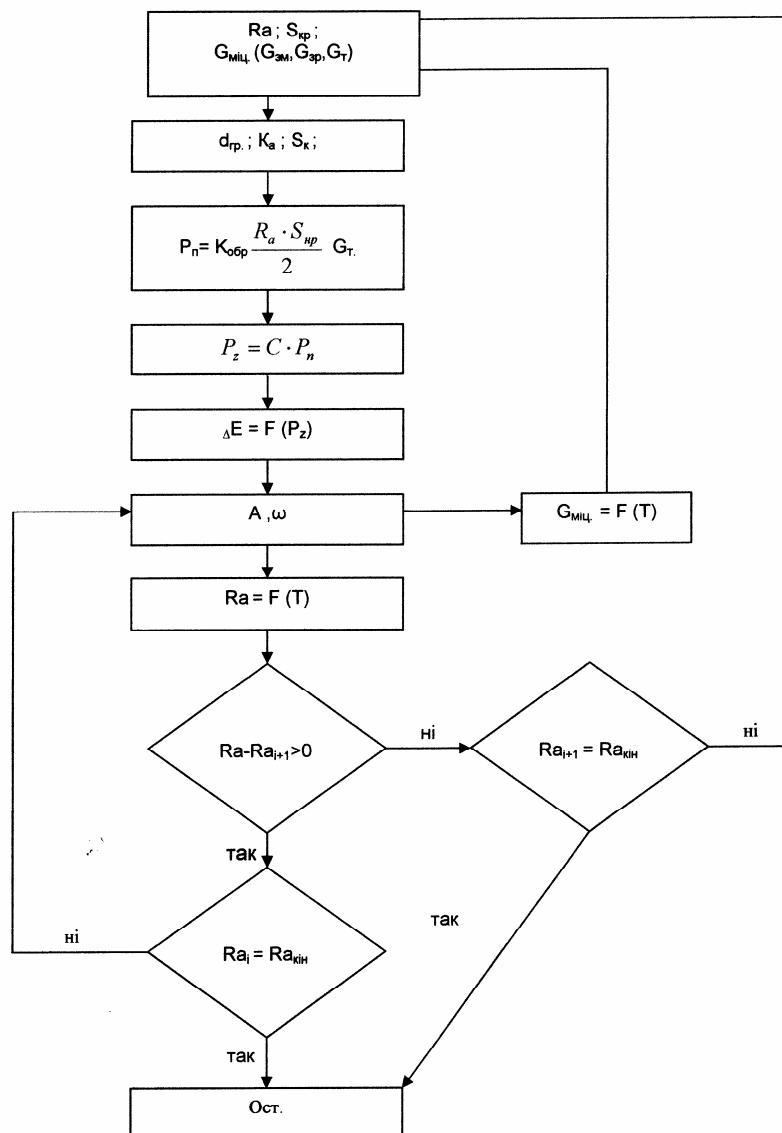


Рисунок 3. Блок-схема управління режимом процесу ВВО
Figure 3. Block chart of VCT treatment process control

Програма управління працює таким чином. Вводяться вхідні параметри шорсткості R_a , межі міцності $G_{міц}$, кутова амплітуда A , частоти ω , характерні параметри робочого середовища: грануляції $d_{гр}$, зернистість K_a , коефіцієнта корисного використання робочої камери S_k .

Виходячи з цих величин, програма управління технологічним процесом ВВО визначає вихідну і наступну сили P_i , яка притискає абразивне зерно до оброблюваної поверхні, а також тангенціальну складову сили різання та питому енергію сил різання і зняття металу за один удар абразивного зерна залежно від зміни параметрів режиму обробки деталей. Зміна вихідних параметрів технологічного процесу проходить при зміні шорсткості поверхні R_a і фізико-механічних властивостей за певний період часу обробки T . Система контролю програми повторює цикл обробки з новими параметрами технологічного процесу або при досягненні повної величини шорсткості $R_{a_{кін}}$ завершує його.

Запропонована формалізація процесу ВВО і блок-схема програми розрахунку технологічного процесу дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості оброблюваної поверхні, спонукає для створення нових вібраційно-відцентрових установок, які дозволяють керувати режимом обробки протягом усього технологічного процесу.

Вібраційно-відцентрова установка зі складними кутовими коливаннями з карданним підвісом, розміщеним усередині торової робочої камери зображена на рис. 4 [5]. Станина 1 установки виконана із сталюї труби. До нижнього торця станини 1 приварено основу, виготовлену з товстого сталюго листа, до верхнього торця якої приварено кришку з вікном. По периметру станини приварені кронштейни 2 динамічних пружин 3 торової прогумованої камери 4. На кришці станини закріплені стійки 5 із завулканізованими гумою капроновими (бронзовими) втулками для рухомого з'єднання з роз'ємними опорами 6, 7 карданного підвісу 8. У карданному підвісі приварена ступиця з квадратним отвором, у який вільно входить водило 9, посаженого нижнім своїм кінцем у сферичний підшипник кочення. Корпус 10 сферичного підшипника за допомогою шарнірів зв'язаний звилкоюю 11, яка з противагою 12 переміщається в пазах корпусу кривошипа 13, який обертається за допомогою клино-пасової передачі від електродвигуна. Сійка 14 кривошипа жорстко кріпиться до основи станини 1. Механізм плавної зміни кутових коливань містить групу гвинт-гайка 15 звилкоюю, шарнірно зв'язаною з обоймою 16, яка зв'язана тягами 17 звилкоюю 11 та противагою 12 і може плавно переміщатися по направляючих, паралельних осі обертання, кривошипа 13. Переміщення обойми 16 донизу при допомозі групи гвинт-гайка 15 звилкоюю зсовуєвилку 11 і противагу 12 до центра осі обертання, зменшуючи величину кутових коливань установки. Переміщення обойми вгору по направляючих кривошипа 13 призводить до відхиленнявилки і противаги від осі обертання, що збільшує амплітуду кутових коливань.

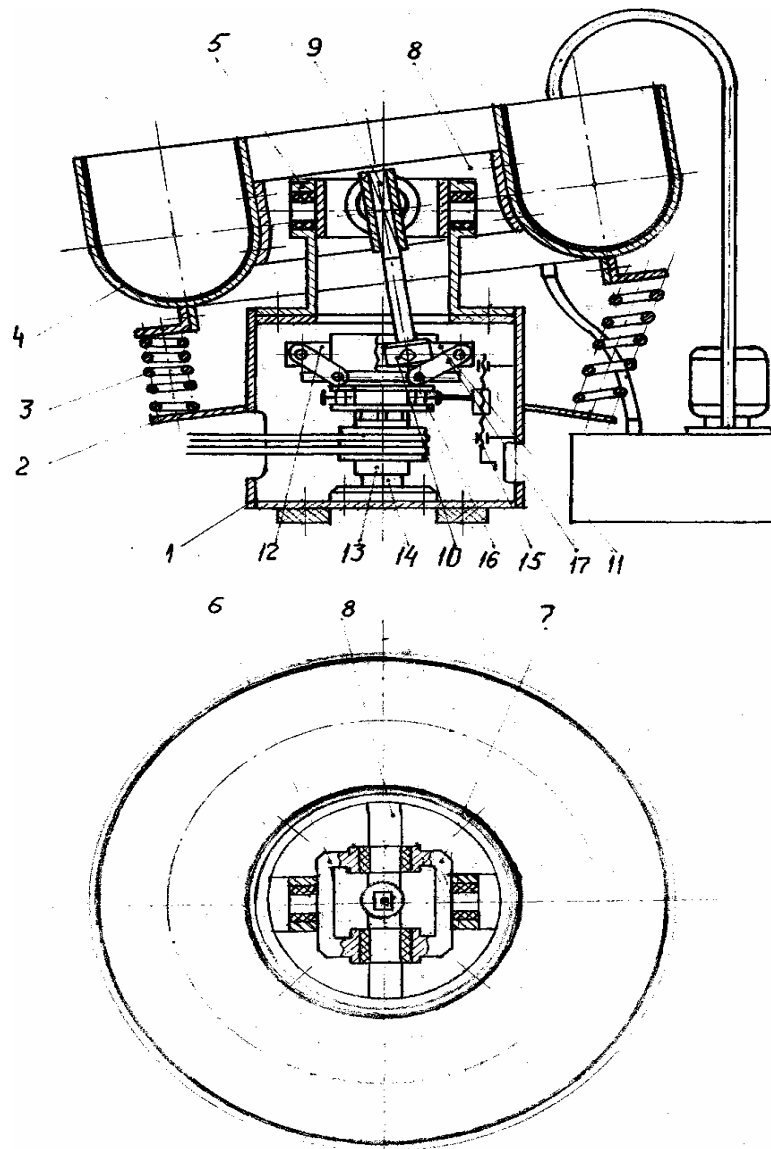


Рисунок 4. Конструктивна схема вібраційно-відцентрової установки
 Figure 4. Design scheme of vibration-centrifugal device

Використання вібраційно-відцентрової установки з механізмом плавної зміни величини кутових коливань, регульованою частотою обертання і блок-схеми програми управління технологічним процесом ВВО дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості оброблюваної поверхні, скорочує час досягнення певного чи мінімального значення величини шорсткості поверхні й забезпечує надійний технологічний процес оброблення складних профілів деталей, особливо малої жорсткості.

Висновки. Управління технологічним процесом вібраційно-відцентрової обробки деталей дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості поверхні, скорочує час обробки. Запропонована конструктивна схема вібраційно-відцентрової установки дає можливість автоматизувати технологічний процес ВВО і підвищити його продуктивність, особливо для деталей складної конфігурації і малої жорсткості.

Conclusions. Control process of vibration-centrifugal treatment of parts allows to avoids the discrete nature of the change of surface roughness, reduces treatment time.

Proposed design scheme of vibration-centrifugal device which enables to automate workflow VCT and to increase its productivity, for parts with complex configuration and low rigidity in particular.

Список використаної літератури

1. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
2. Мороз, В.М. Анализ конструктивных схем оборудования для вибрационно-центробежной обработки [Текст] / В.М. Мороз // Прогрессивная отделочно-упрочняющая технология. – Ростов н/Д.: РИСХМ, 1982. – С. 76–87.
3. Кондратюк, О.М. Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-відцентровій обробці деталей [Текст] / О.М. Кондратюк, І.В. Ромейко // Вісник НУВГП. – Рівне, 2006. – С. 253–271.
4. Кондратюк, О.М. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей [Текст] / О.М. Кондратюк, Л.С. Серілко. – Вінниця, 2011. – № 1(61). – С. 87–93.
5. Кондратюк, О.М. Оптимізація параметрів проведення експериментальних досліджень вібраційно-відцентрової обробки [Текст] / О.М. Кондратюк. – Рівне, 2008. – Вип. 1(41). – С. 315–321.

Отримано 22.03.2012