

В.М.Пестунов, канд.техн.наук, проф.

О.В.Лисенко, інж.

Розробка та дослідження модульних систем адаптації

У роботі запропоновані та досліджені конструкції оригінальних модулів обробки поверхонь обкаткою, застосування яких дозволить підвищити точність обробки та розширити область їх можливого використання.

Проблему підвищення точності верстатного обладнання можливо вирішити використанням систем автоматичного управління (САУ). Традиційні конструкції САУ мають ряд недоліків. По-перше, їх використання ускладнює конструкцію верстата, і призводить до зниження надійності експлуатації. Ці проблеми певною мірою вирішують модульні системи адаптації. Прикладом таких систем є конструкція, наведена інструмента для обробки обкаткою, на рис.1.

Інструмент для обробки обкаткою складається з корпусу 3, циліндричний ствір якого переходить у внутрішню сферичну поверхню однакового радіуса з отвором. Деформуюча куля 4 – знаходиться всередині отвору на кульках 5 меншого діаметра, що заповнюють порожнину між кулею 4, отворами корпусу і кришкою 2.

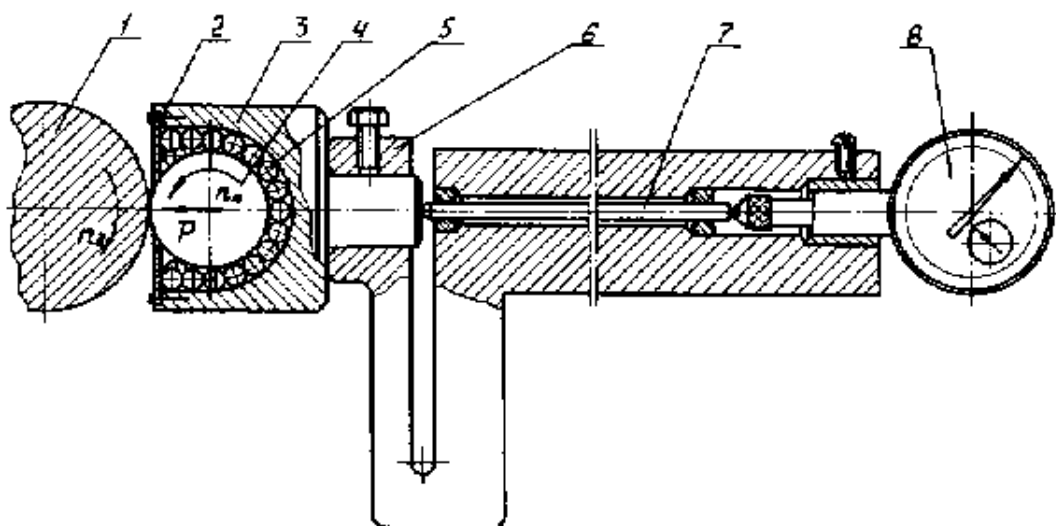


Рис.1. Інструмент для обробки обкаткою з вимірювальними приладами.

Для обробки деталі 1 корпус 3 інструмента закріплюється в пружній державці 6 гвинтом. Через стрижень 7 корпус 3 обкатника зв'язаний з індикатором 8, що вимірює зусилля. Зусилля деформації

передається на опорні кульки 5, що знаходяться у внутрішній сферичній поверхні корпусу 3. Найбільше навантажені кульки знаходяться по лінії дії сили P (див. рис.2).

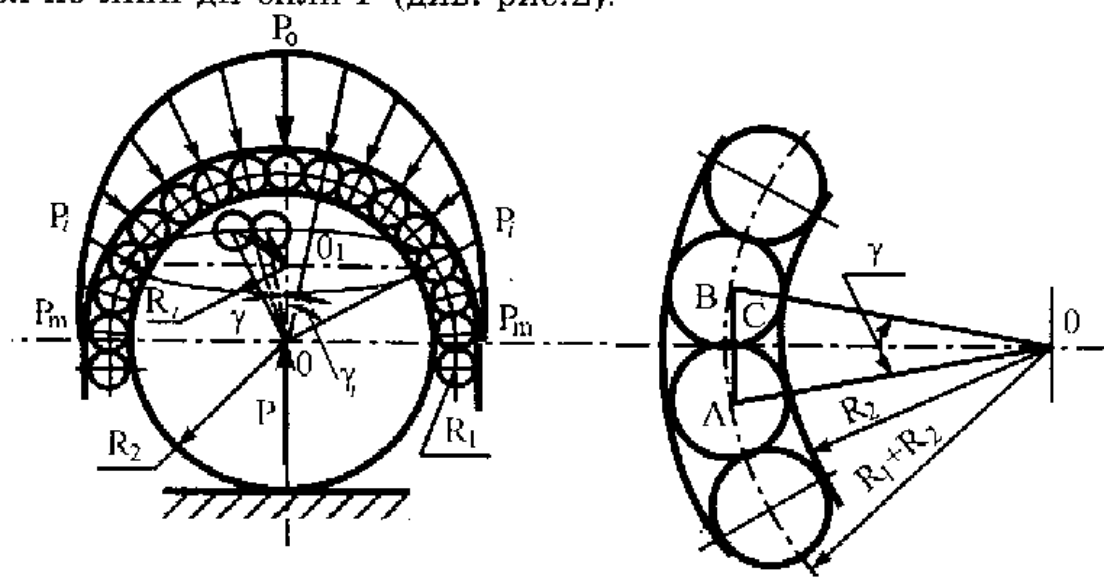


Рис.2. Розрахункова схема конструкції інструмента по статичним навантаженням.

Теоретичний аналіз конструкції інструмента по статичним навантаженням дозволили одержати вираз для визначення зусилля P_0 на найбільше навантажену кульку в залежності від співвідношення радіусів опорної і деформуючої куль $R_1/R_2 = k$:

$$P_0 = \frac{P}{1 + \pi \frac{k+1}{k} \sum_{i=1}^m \sin \frac{i \cdot 2k}{k+1} \cos^{5/2} \frac{i \cdot 2k}{k+1}}, \quad (1)$$

де $m = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{k+1}{k}$ — кількість прошарків опорних кульок, розташованих у порожнині між деформуючою кулею, і півсферою отвору корпусу.

Кількість опорних кульок, що знаходяться під навантаженням у півсфері отвору корпусу, визначалося за формулою:

$$N = 1 + \pi \frac{k+1}{k} \sum_{i=1}^m \sin \frac{i \cdot 2k}{k+1} = 1 + \pi \frac{k+1}{k} \sin \frac{k(m+1)}{k+1} \sin \frac{k \cdot m}{k+1} \operatorname{cosec} \frac{k}{k+1}. \quad (2)$$

За допомогою отриманих рівнянь (1) і (2) були зроблені обчислення і побудовані графіки залежності кількості навантажених кульок N і зусилля P_0 на найбільше навантажену кульку від співвідношення розмірів опорних і деформуючих кульок (R_1/R_2), приведені на рис. 3. З графіків виходить, що навантаження P_0 на найбільше навантажену кульку, а отже, і контактні напруги зменшуються

внаслідок збільшення їхньої кількості N і розподілу зусилля обкатування P на більшу кількість навантажених кульок.

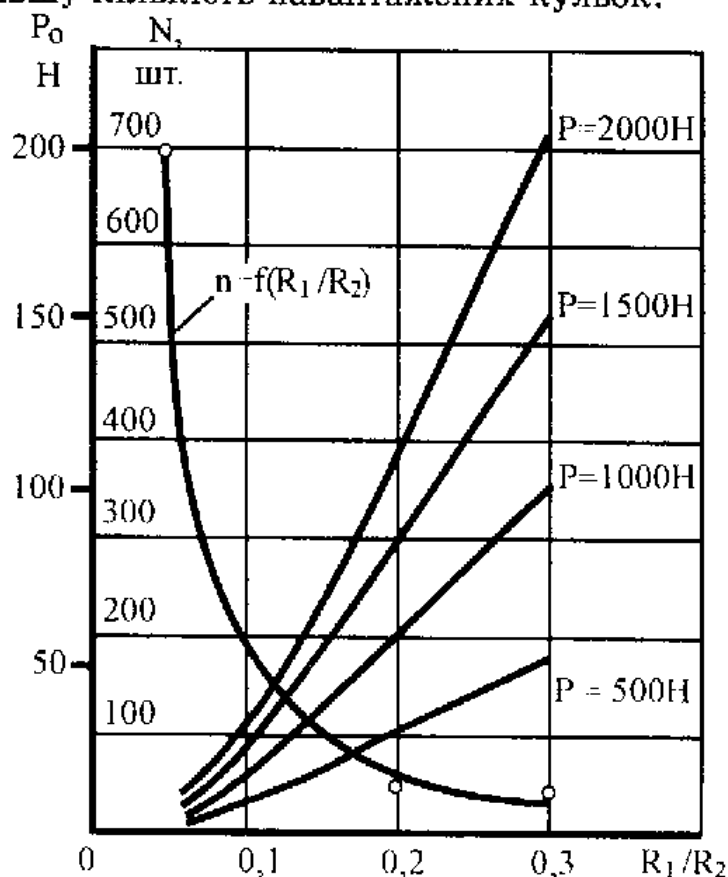


Рис.3. Графіки залежності кількості навантажених кульок N і зусилля P_0 на найбільше навантажену кульку від співвідношення розмірів опорних і деформуючих кульок (R_1/R_2)

Для експериментальних досліджень впливу режимів обкатування на чистоту обробленої обкаткою поверхні був виготовлений обкатник (рис.1) із розмірами куль: опорних $R_1 = 2,775$ мм, деформуючих $R_2 = 15,875$ мм. Експерименти провадилися на попередньо обточених циліндричних зразках $\varnothing 70$ мм із сталі 45 і алюмінієвого сплаву АЛ10В.

За результатами експериментів побудовані графіки залежності ступеня шорсткості обробленої обкаткою поверхні від режимів обкатування і величини вихідної шорсткості поверхні заготовки, приведені на рис.4.

На рис.4, а приведені графіки залежності отриманого ступеня шорсткості поверхонь, оброблених обкатуванням заготовок, від початкової шорсткості заготовок. При вихідному ступені шорсткості заготовки $R_a = 1,6 \dots 3,2$ мкм у результаті обкатки з зусиллям $P = 2000$ Н, подачі $S = 0,84$ мм/об, швидкості обкатування $V = 50$ м/хв., за один прохід кульковим обкатником досягається ступінь шорсткості по-

верхні $Ra = 0,1 \dots 0,2$ мкм при глибині зміцненого прошарку металу до $0,3$ мм. Зусилля обкатування $P = 2000$ Н є оптимальним для даного обкатника, тому що подальше збільшення зусилля обкатування призводить до погіршення ступеня шорсткості обробленої поверхні через перенаклеп поверхневого шару металу. Як для сталі так і для алюмінію збільшення вихідної шорсткості деталі, обробленої обкаткою до значення $Ra = 6$ мкм призводить до незначного збільшення шорсткості обробленої поверхні, тому, в залежності від вимог до шорсткості обробленої поверхні, необхідно одержання попередньою обробкою шорсткості вихідної поверхні у визначених межах.

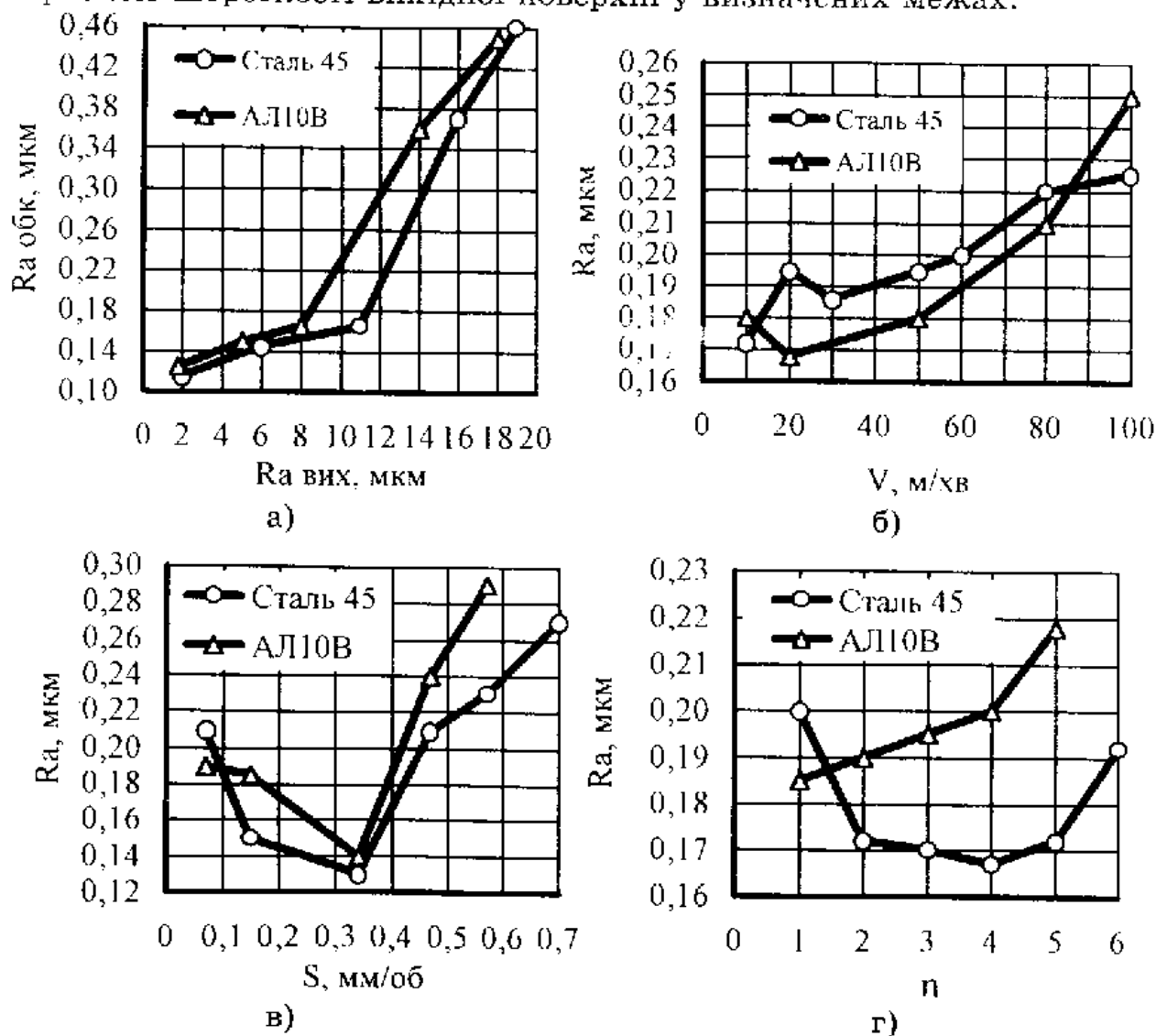


Рис.4. Графіки залежності ступеня шорсткості обробленої обкаткою поверхні від: а) початкової шорсткості заготовки; б) швидкості обкатки; в) подачі обкатки; г) кількості проходів.

На рис. 4, б та в подані графіки залежності ступеня шорсткості поверхні, отриманої в результаті обкатування, від режимів обробки – швид-

кості і подачі обкатки. Велика величина шорсткості обробленої поверхні заготовок із сталі й алюмінію при подачі до значення $S = 0,34$ мм/об пояснюється тим, що кожна точка обробленої поверхні декілька разів потрапляє в зону пластичної деформації, унаслідок чого спочатку отриманий мікропрофіль обробленої обкаткою поверхні змінюється, що призводить до збільшення шорсткості. Зі збільшенням швидкості обкатування шорсткість поверхні заготовок і зі сталі і з алюмінію збільшується, але в залежності від вимог до якості поверхні можна рекомендувати обкатування зі швидкістю до 100 м/хв.

На рис. 4, г подані графіки залежності отриманої шорсткості поверхні оброблених заготовок від кількості проходів. Повторні проходи ($n = 2 - 4$) кульковим обкатником для сталі 45 лише незначно зменшують шорсткість поверхні, а при п'ятих і більше проходах призводять до її збільшення внаслідок перенаклепа. Для алюмінієвого сплаву АЛ10В повторні проходи з зусиллям обкатування $P = 2000$ Н призводять до збільшення шорсткості поверхні до помітного на око її лущення. Це пояснюється низькими пластичними властивостями алюмінієвого сплаву АЛ10В і перенаклепом поверхневого шару металу зразка.

Проведені експерименти показали, що інструмент забезпечує високий ступінь шорсткості поверхні. Інструмент дозволяє застосовувати порівняно велику подачу, що забезпечує кочення кульок в опорі незалежно від режимів обробки, а це значно підвищує стійкість інструмента і розширює галузь його можливого використання.

На основі результатів отриманих при дослідженні інструмента розроблена модульна конструкція інструменту (рис.5), у яку вбудована замкнена система адаптації. Це дозволяє підвищити точність обробки і розширення області можливого використання шляхом застосування елементів системи автоматичного управління процесом пружної деформації, і таким чином стабілізації розміру обробки.

В корпусі обкатника 1 (рис.5) розташована деформуюча куля 2 на кульках 3 меншого діаметру, закритих кришкою 4. Корпус 1 обкатника виступом входить у отвір державки 5 і закріплюється гвинтом 6. Державка 5 має поперечний паз, в якому встановлений механізм малих переміщень, виконаний у вигляді п'єзoeлемента 7. У повздовжньому отворі знаходиться гвинт 6, який притискує шайбу 8 до датчика зусилля 9, наприклад п'єзoeлектричного, і з'єднує корпус обкатника 1 з державкою 5. Система управління включає в себе задавальний пристрій 11, порівняльний пристрій 12, перетворювач 13 та механізм малих переміщень 7.

Перед початком обробки порівняльний пристрій 12 балансується спільно з датчиком 9 і задавальним пристроєм 11, а на п'єзoeлемент 7

подається первинний сигнал від перетворювача 13. Попереднє зусилля $P_{ГВ}$, що реєструється датчиком 9, регулюється за допомогою гвинта 6. У порівняльний пристрій надходять сигнали від дії вихідної сили навантаження державки 5 інструмента $P_{ВИХ} = P_{ГВ}$ і сигнал постійної величини $P_3 = A$, що видається задавальним пристроєм 11.

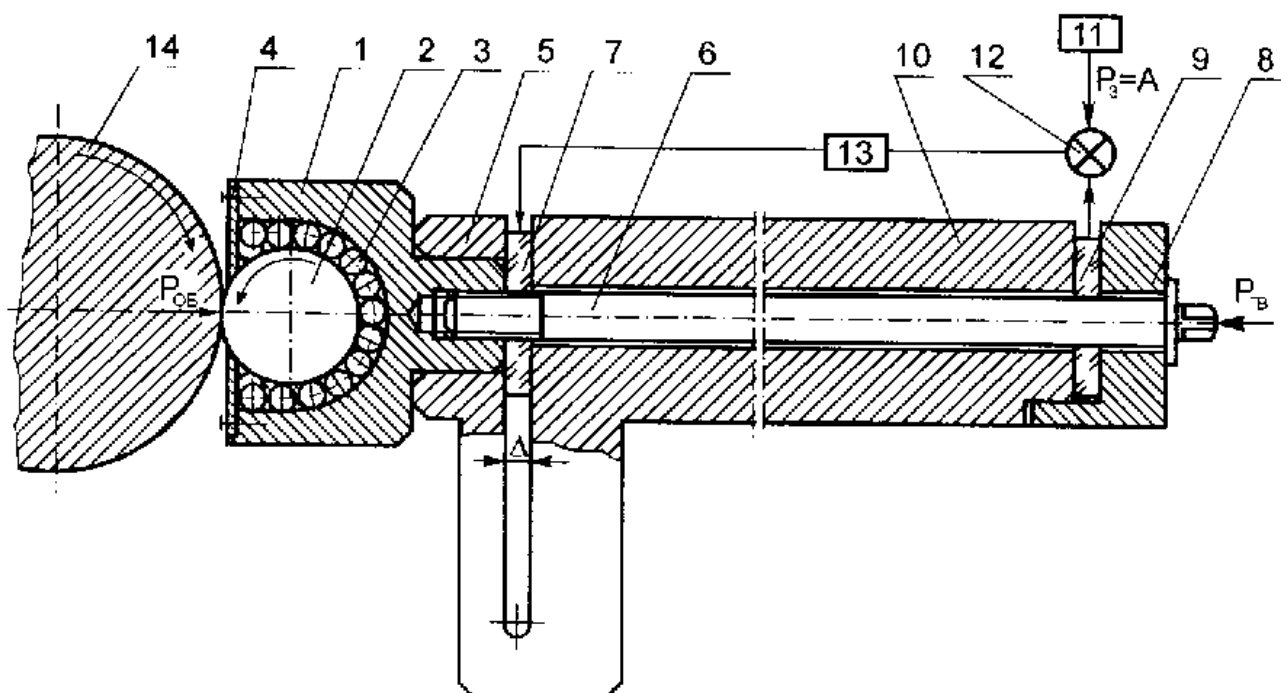


Рис.5. Інструмент для обробки обкаткою з вмонтованою системою управління.

У процесі обробки деталі 14 виникає сила обкочування $P_{ОВ}$, яка діє на датчик 9, що надсилає сигнал у порівняльний пристрій 12. У тому випадку, якщо сила $P_{ОВ}$ і деформації технологічної системи верстата перевищують допустиме значення, яке встановлюється за допомогою задавального пристрою 11, сумарне зусилля на датчик 9 зменшується ($P_{\Sigma} \neq P_{ВИХ}$; $P_{\Sigma} = P_{ГВ} - P_{ОВ}$) і датчик через порівняльний пристрій 12 надсилає сигнал у перетворювач 13, що в свою чергу посиляє сигнал на механізм малих переміщень п'єзоелемент 7, який шляхом збільшення розміру Δ розвертає корпус обкатника 1 і компенсує пружну деформацію технологічної системи верстата і стабілізує розмір обробки.

При увімкненні механізму малих переміщень 7 одночасно зі збільшенням розміру Δ відбувається збільшення сили $P_{ГВ}$, до тих пір, поки сумарне зусилля P_{Σ} , що діє на датчик 9, не стане дорівнювати вихідному $P_{ВИХ}$:

$$P_{\Sigma} = P_{ГВ} - P_{ОВ} = P_{ВИХ}, \quad (3)$$

де $P_{ГВ}$ – зусилля, що створюється гвинтом 7, $P_{ОВ}$ – технологічне зусилля, що виникає у процесі обробки, $P_{вих}$ – вихідне зусилля, що створюється гвинтом 6, перед початком обробки.

Якщо значення сили обкочування зміниться, зміниться і деформація технологічної системи верстата, то перестане виконуватись умова (3). Зміну зусилля P_{Σ} зафіксує датчик 9, сигнал з якого через порівняльний пристрій 12 і перетворювач 13 надійде у механізм малих переміщень 7, а він у свою чергу відповідно (у бік зменшення або збільшення) почне корегувати величину Δ , до ти, поки не буде виконуватись умова (01). Таким чином буде справедливим наступний вираз

$$P_{\Sigma} = P_{ГВ} - P_{ОВ} = \text{const} = A \quad (4)$$

Стабілізація пружної деформації технологічної системи верстата ($\Delta_{ОВ} = \text{const}$) призводить до підвищення точності обробки.

Висновки:

1. Конструкція інструмента дозволяє мати порівняно більшу подачу, що значно підвищує продуктивність та стійкість інструмента.

2. Простота конструкції і експлуатації обкатника дозволяє його широко застосовувати для обробно-зміцнювальної обробки не тільки зовнішніх, але і внутрішніх поверхонь з будь-якою траєкторією відносного руху деталі і інструмента.

3. Інструмент дозволяє підвищити точність обробки, розширити область можливого використання.

Список використаної літератури

1. Адаптивное управление станками. Под редакцией д-ра техн. наук. Б.С. Балакшина. – М.: Машиностроение. – 1973. – С. 688.
2. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др. Адаптивное управление технологическими процессами. – М.: Машиностроение. – 1980. – С. 536.
3. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці. – Київ. – 1999, – С.212.
4. А.с. № 368994 (СССР). Устройство для обработки плоских поверхностей виброобка-тыванием / В.М. Пестунов, – Опубл. в БИ, 1973, № 10.