

**В.Е. Юмашев, к.т.н., проф.
О.А. Степчин, інж.**

Житомирський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ ТОЧІННІ

Наведено результати експериментальних досліджень вібрацій при точінні ексцентричної поверхні різцями з різними головними кутами в плані. Надано рекомендації з оптимальних режимів різання для зменшення вібрацій. Зазначено, що результати експериментів не збігаються з результатами, наведеними в науковій літературі.

Постановка проблеми. Процес різання завжди супроводжується вібраціями. Дослідженню вібрацій присвячено багато робіт, але дотепер немає єдиного й остаточного уявлення про причини виникнення вібрацій при різанні металів [1].

Визначено два основних напрямки в дослідженні даного питання: вивчення коливань, що виникають внаслідок фізичних особливостей процесу різання, і коливань, обумовлених конструктивними особливостями й погрішностями верстатів.

Якщо динаміка верстатів більш-менш описана [4–6, 8], то вібрації, викликані процесом різання, вивчені недостатньо. В експериментальних дослідженнях важко виявити, що є причиною виникнення вібрацій - верстат або сам процес різання. Слід зазначити, що вібрації, викликані верстатом, найчастіше проявляються при більших силах різання. При чистових режимах домінують вібрації, викликані процесом різання, тому що в цьому випадку навантаження на вузли верстата невеликі. Але саме при чистовій обробці вібрації погіршують чистоту обробленої поверхні.

Особливу зацікавленість викликає припущення, що вібрації виникають у результаті врізання інструмента в деталь, після чого не згасають, тобто виникає режим автоколивань [4]. Але питання це не до кінця досліджено.

Слід зазначити роботу [8], де динамічна модель верстата розділена на чотири підсистеми: підсистема головного руху, підсистема шпиндельної групи, процес різання та динамічна підсистема супорта. Виходом даної математичної моделі є динамічна похибка обробки. Але, при чистовій обробці, більш важливою є шорсткість оброблюваної поверхні, на яку впливають вібрації, що виникають внаслідок процесу різання.

Для з'ясування характеру виникнення вібрацій необхідно провести експериментальні дослідження вібрацій, які виникають при періодичному врізанні інструмента в деталь. Особливо інтенсивні коливання виникають при точінні переривчастих поверхонь і поверхонь із нерівномірним припуском, що утвориться на ексцентричних поверхнях.

При точінні ексцентричних поверхонь глибина різання зростає від нуля до максимуму, а потім зменшується до нуля. Такий вид роботи інструмента відповідає роботі одного зуба фрези. Виникаючі при цьому вібрації мають переривчастий характер і їх дослідження дасть можливість визначити оптимальні режими різання, які дозволять звести їхній вплив до мінімуму.

Формування мети статті. Дослідження вібрацій при точінні ексцентричних поверхонь із метою оптимізації режимів різання.

Викладення основного матеріалу. Експериментальні дослідження проводилися на токарному верстаті 16K20 різцями із твердого сплаву T15K6 і головними кутами в плані φ 45°, 90° і 93°. Оброблявся вал зі сталі 45 з ексцентриситетом 6,5 мм і максимальним діаметром 69,8 мм (рис. 1). Обробка велася на подачі $s = 0,1$ мм/об., з максимальною глибиною різання $t = 1$ мм і кількості обертів від 200 до 1000 хв⁻¹.

Вібрації знімалися за допомогою п'єзоакселерометра ДН-4, що кріпився на державці різця в перпендикулярному до оброблюваної поверхні напрямку. Запис сигналу здійснювався через аналогово-цифровий перетворювач АЦП Е-2010 за допомогою програми LGraph2 на запам'ятовувальний пристрій комп'ютера. Амплітуда вібрацій записувалася у вольтах. LGraph2 дозволяє обробляти вібросигнал, визначати значення амплітуди та виділити спектр частот вібрацій.

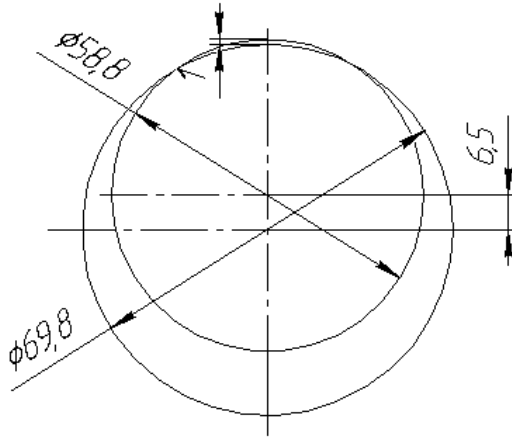


Рис. 1. Параметри оброблюваної ексцентричної поверхні

На рисунку 2 відображено сигнали, що записані при швидкості різання $v = 1,827$ м/с.

Розглядаючи представлені вібросигнали, слід зазначити, що при деяких окремих різках амплітуда вібрацій відрізняється від інших. Така картина характерна для всіх режимів різання. Тому були обрані середні значення амплітуд вібросигналів, для яких проводилася подальша обробка.

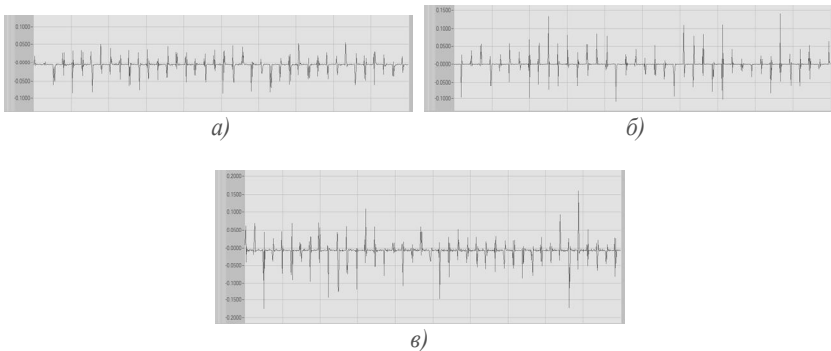


Рис. 2. Загальний вигляд сигналу при точінні ексцентрика на швидкості $v = 1,827$ м/с: а) різцем з кутом $\varphi = 45^\circ$; б) різцем з кутом $\varphi = 90^\circ$; в) різцем з кутом $\varphi = 93^\circ$

На рисунку 3 наведено записи усереднених вібраційних сигналів при точінні ексцентрика при кількості обертів $n = 200 \text{ хв.}^{-1}$, що відповідає швидкості різання $v = 0,73 \text{ м/с}$.

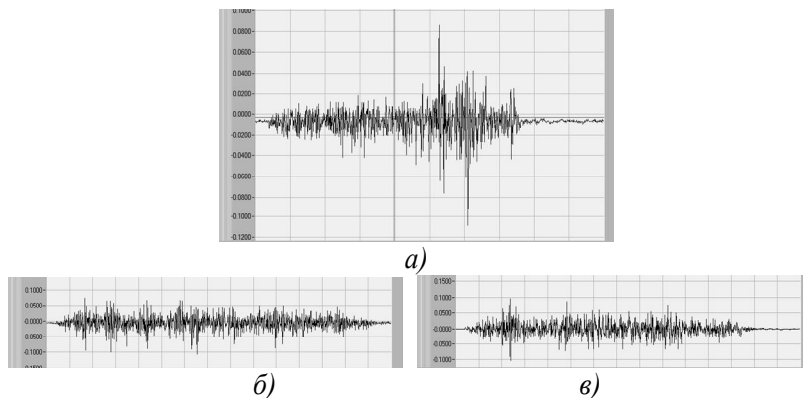


Рис. 3. Запис вібраційного сигналу при точінні ексцентрика при швидкості різання $v = 0,73 \text{ м/с}$:

- а) різцем з кутом $\varphi = 45^\circ$;
- б) різцем з кутом $\varphi = 90^\circ$;
- в) різцем з кутом $\varphi = 93^\circ$

З рисунка видно, що найбільша нерівномірність амплітуди вібрацій уздовж шляху різання проявляється при точінні різцем з кутом $\varphi = 45^\circ$. Максимальне значення амплітуди, у цьому випадку, зміщено відносно центра, де значення глибини різання було найбільшим. Цілком можливо, що тут відіграє роль запізнювання сили різання при зміні товщини шару, що зрізується, тому що сила різання буде пропорційна величині амплітуди сигналу, записуваного п'єзоакселерометром.

Зі збільшенням швидкості різання картина змінюється. На рисунку 4 представлено вібрації при обробці з частотою обертання $n = 1000 \text{ хв.}^{-1}$, що відповідає швидкості різання $v = 3,65 \text{ м/с}$. У цьому випадку характер вібрацій для всіх різців однаковий і відрізняється тільки величиною амплітуди.

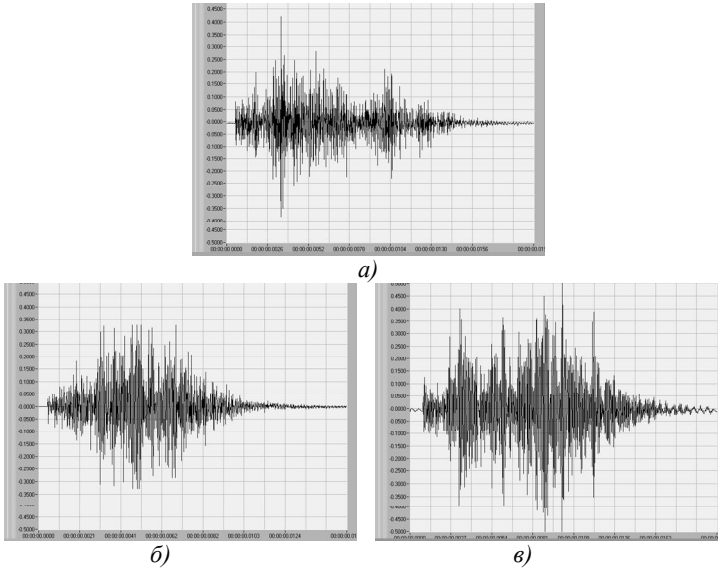


Рис. 4. Запис вібраційного сигналу при точінні ексцентрика при швидкості різання $v = 3,66$ м/с: а) різцем з кутом $\varphi = 45^\circ$; б) різцем з кутом $\varphi = 90^\circ$; в) різцем з кутом $\varphi = 93^\circ$

У таблиці 1 представлені значення максимальних амплітуд і частот основних гармонік за результатами експериментів.

Таблиця 1
Залежність амплітуди вібрацій і частоти основної гармоніки сигналу від швидкості різання

v , м/с	0,73	0,914	1,15	1,462	1,827	2,302	2,922	3,65
різцем із кутом $\varphi = 45^\circ$								
A , в	0,2411	0,2824	0,213	0,3164	0,4329	0,3625	0,5285	0,8339
f , Гц	56552	51532	50595	50075	46172	36896	33877	34002
різцем із кутом $\varphi = 90^\circ$								
A , в	0,2933	0,2861	0,3063	0,2859	0,3972	0,5042	0,6327	0,6327
f , Гц	36472	32826	30205	33284	38790	45575	32004	37723
різцем із кутом $\varphi = 93^\circ$								
A , в	0,2436	0,3492	0,5559	0,4299	0,4315	0,752	0,861	1,2066
f , Гц	39902	38747	37934	32466	36221	35406	31884	28442

На рисунках 5 і 6 зображені графіки за даними таблиці 1. Аналізуючи наведені на рисунку 5 графіки, слід зазначити, що залежність амплітуди вібрацій від головного кута в плані φ не

настільки однозначна, як зазначається в літературних джерелах [2, 3, 7]. Наприклад, при швидкості різання $v = 1,827$ м/с вона практично однакова. При збільшенні швидкості різання вона більше при головному куті в плані $\varphi = 93^\circ$, для кутів $\varphi = 45^\circ$ і $\varphi = 90^\circ$ вона відрізняється незначно.

Частота основної гармоніки вібросигналу (рис. 6) має тенденцію до зниження зі збільшенням швидкості різання. Особливо це характерно для різців з головним кутом у плані $\varphi = 93^\circ$. При швидкості різання $v = 2,922$ м/с частоти практично рівні для будь-яких кутів у плані. Ці дані так само не збігаються з даними, представленими в роботах [3, 7].

Цілоком імовірно, що таке розходження в експериментальних даних викликано недосконалістю апаратури, що застосовувалася в той час. Але може бути й інша причина. Дані, представлені в роботі [3], були отримані при рівномірному точінні, коли була відсутня періодична сила, характерна для нерівномірного точіння при обробці ексцентрика. Однак обробка ексцентрика велася з максимальною глибиною різання $t = 1$ мм, а дані, представлені в роботі [3], були отримані при глибині різання $t = 2$ мм. Тобто, сила різання при нерівномірному точінні була менш., ніж при рівномірному. Хоча вплив сили різання в напрямку, що збігається з напрямком вібрацій, незначний (вона не перевищує 80 Н за розрахунковими формулами).

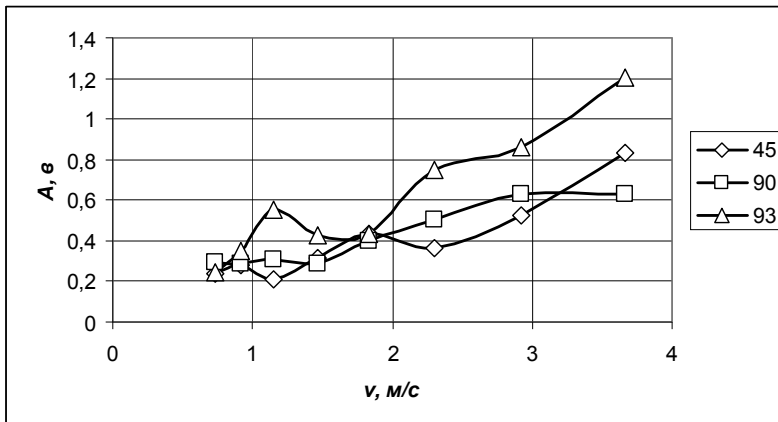


Рис. 5. Залежність амплітуди вібрацій від швидкості різання

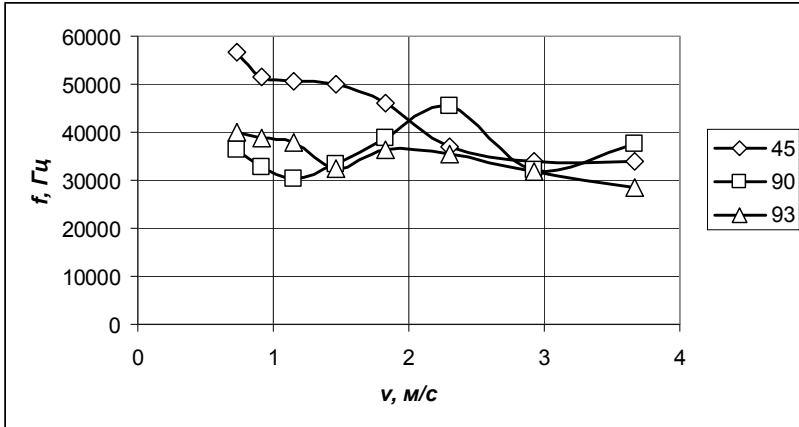


Рис. 6. Залежність частоти основної гармоніки вібросигналів від швидкості різання

Можливо, що це запис коливань сили різання, які обумовлені процесом різання. Частота цих коливань не перевищує 100 Гц. У наведених експериментальних даних частота вібрацій коливається від 20 000 до 80 000 Гц, що в багато разів більше. Це говорить про те, що присутні два види вібрацій – низькочастотні й високочастотні. Низькочастотні проявляються при більших силах різання, а високочастотні домінують при чистових режимах обробки. Імовірно, у цьому випадку відбивається вібраційний процес, який виникає усередині металу при його руйнуванні.

Так само не збігаються дані й із самим характером зміни амплітуди вібрацій від швидкості різання. На рисунку 5 видно, що зі збільшенням швидкості різання амплітуда вібрацій зростає, починаючи зі швидкості різання $v = 1,827$ м/с. Тільки при менших швидкостях її характер схожий на наведений у роботах [3, 7].

Вплив подачі на амплітуду й частоту вібрацій так само не настільки однозначний, як описано в літературних джерелах. Дослідження проводилися при швидкості різання $v = 1,827$ м/с ($n = 500$ хв.⁻¹) для різців з головними кутами в плані $\varphi = 45^\circ$ і $\varphi = 90^\circ$. Результати експериментів наведені в таблиці 2 і на рисунках 7 і 8.

З рисунків видно, що амплітуда вібрацій, зі збільшенням подачі до 0,15 мм/об. для різця з кутом $\varphi = 90^\circ$ більша, ніж у різця з кутом $\varphi = 45^\circ$. При подальшому рості подачі, амплітуда вібрацій стає більшою в різця з кутом у плані $\varphi = 45^\circ$. Частота основної гармоніки вібраційного

сигналу при збільшенні подачі до 0,15 мм/об. так само більша в різця з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$. З подальшим ростом подачі частота в обох різців має незначну відмінність.

Таблиця 2
Залежність амплітуди вібрацій і частоти основної гармоніки сигналу від подачі

S , мм/об.	0,05	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25
різець із кутом $\varphi = 45^\circ$								
A , в	0,2766	0,4329	0,3284	0,3978	0,5027	0,5937	0,6327	0,6327
f , Гц	30926	46172	33899	32132	30435	27541	31109	33276
різець із кутом $\varphi = 90^\circ$								
A , в	0,3655	0,6303	0,6327	0,3233	0,3021	0,4087	0,3809	0,4184
f , Гц	42020	55973	51970	36155	34877	31614	30964	24995

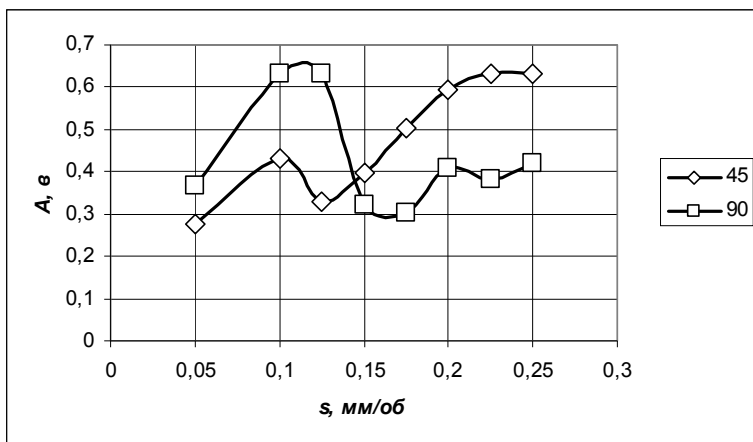


Рис. 7. Вплив подачі на амплітуду вібрацій при точінні ексцентрика

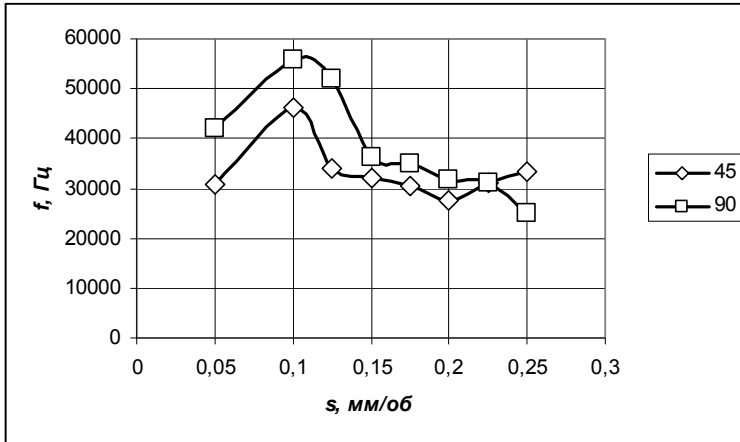


Рис. 8. Вплив подачі на частоту основної гармоніки вібрації при точінні ексцентрика

При обробці результатів експериментів було виявлено, що фактична тривалість вібросигналу більша, ніж час обробки. Тобто вібрації тривають у плинні деякого часу після виходу різця із зони різання. У таблиці 3 наведені результати розрахунків різниці фактичної тривалості вібросигналу t_{ϕ} і часу знаходження інструмента в зоні різання t_{δ} . На рисунку 9 ці дані представлені графічно.

Таблиця 3

Залежність збільшення фактичного часу тривалості вібросигналу від швидкості різання

v , м/с	0,73	0,913	1,15	1,462	1,827	2,302	2,922	3,665
t_{δ} , с	0,0427	0,03775	0,02998	0,02359	0,01888	0,01498	0,0118	0,0094
різець із кутом $\varphi=45^{\circ}$								
t_{ϕ} , с	0,0644	0,0528	0,0421	0,0354	0,0284	0,0232	0,0190	0,0157
Δt , с	0,0217	0,01505	0,01212	0,01181	0,00952	0,00822	0,0072	0,0063
різець із кутом $\varphi=90^{\circ}$								
t_{ϕ} , с	0,048	0,041	0,033	0,0271	0,0213	0,0199	0,0167	0,0151
Δt , с	0,0061	0,00325	0,00302	0,00351	0,00242	0,00222	0,0049	0,0057
різець із кутом $\varphi=93^{\circ}$								
t_{ϕ} , с	0,0668	0,0506	0,0387	0,033	0,02665	0,0221	0,0177	0,0151
Δt , с	0,0241	0,01285	0,00872	0,00941	0,00777	0,00712	0,0059+	0,0057

Із графіків видно, що найменша різниця тривалості вібросигналу у різця з головним кутом у плані $\varphi = 90^{\circ}$. Причому вона практично не залежить від швидкості різання. Для різців із кутами $\varphi = 45^{\circ}$ і $\varphi = 93^{\circ}$, зі збільшенням швидкості різання, різниця тривалості вібросигналу

зменшується, і при швидкостях понад 2,9 м/с практично збігається зі значеннями для $\varphi = 90^\circ$. Тут позначається тривалість силового впливу на супорт із різцем. При більш високих швидкостях різання сили різання не встигають вивести систему з рівноваги.

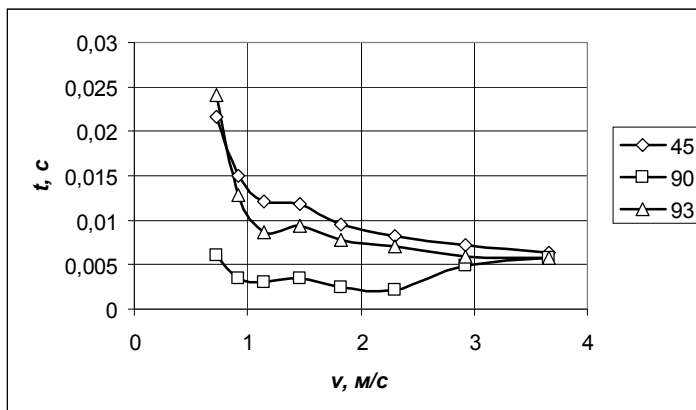


Рис. 9. Залежність збільшення фактичного часу тривалості вібрації від швидкості різання

Висновки:

1. Для забезпечення мінімальної амплітуди вібрацій при чистовому точінні сталевих заготовок обробку варто вести на швидкостях різання 1,15 м/с різцями з головними кутами в плані $\varphi = 45^\circ$ і $\varphi = 90^\circ$. При швидкостях різання рівних 1,83 м/с амплітуда буде мінімальною для всіх різців з кутами в плані від 45° і до 93° . Мінімальне значення амплітуди вібрацій забезпечується при подачі 0,15 мм/об.

2. Необхідно провести додаткові експериментальні дослідження вібрацій з використанням сучасної апаратури й програмного забезпечення для корекції раніше опублікованих у науковій літературі експериментальних даних.

Список використаної літератури:

1. Чернышев Е.А. Развитие представлений о вибрациях при резании / Е.А. Чернышев // Научный вестник ДГМА. – 2010. – № 1. – С. 223–229.
2. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металлов / А.И. Каширин. – М. ; Ленинград : АН СССР, 1944. – 134 с.

3. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов / *В.Ф. Бобров.* – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. *Ильницкий И.И.* Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения / *И.И. Ильницкий.* – М. ; Свердловськ : Машгиз, 1958. – 144 с.
5. *Кудинов В.А.* Динамика станков / *В.А. Кудинов.* – М. : Машиностроение, 1978. – 200 с.
6. *Эльясберг М.Е.* Автоколебания металлорежущих станков: теория и практика / *М.Е. Эльясберг.* – Спб. : ОКБС, 1993. – 180 с.
7. *Филоненко С.Н.* Резание металлов / *С.Н. Филоненко.* – М. : Машгиз, 1963. – 211 с.
8. *Струтинський В.Б.* Математичне моделювання металорізальних верстатів : монографія / *В.Б. Струтинський, П.П. Мельничук.* – Житомир : ЖІТІ, 2002. – 570 с.

ЮМАШЕВ Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- робототехніка;
- верстати з ЧПУ.

СТЕПЧИН Олег Анатолійович – інженер кафедри технології машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія різання;
- верстати з ЧПУ.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2013

Юмашев В.Є., Степчин О.А. Дослідження вібрацій при нерівномірному точінні.

Юмашев В.Е., Степчин О.А. Исследование вибраций при неравномерном точении.

Yumashev V.E. Stepchin O.A. Research of vibrations at non-uniform turning processing.

УДК 621.914

Исследование вибраций при неравномерном точении / В.Е.

Юмашев, О.А. Степчин

В статье приведены результаты экспериментальных исследований вибраций при точении эксцентричной поверхности резцами с разными

главными углами в плане. Даны рекомендации по оптимальным режимам резания для уменьшения вибраций. Отмечено, что результаты экспериментов не совпадают с результатами, приведенными в научной литературе.

УДК 621.914

Research of vibrations at non-uniform turning processing / V.E.

Yumashev, O.A. Stepchin

The results of vibrations experimental researches at turning an eccentric surface by cutters with different major cutting edge angle are in article. There are recommendations about optimal cutting parameters for diminution of vibrations. The results of experiments are different from the results present in the scientific literature.